المؤتمر الرابـع
للتشييد في المناطق الصحراوية

The Fourth Conference on Construction in Desert Areas

تنظيم

جامعة وادي الشاطئ

كلية الهندسة

قسم الهندسة المدنية

2025 / 10 /29-28

مجلد أبحاث المؤتمر

2025

cconf4@wau.edu.ly
https://cconf4.wau.edu.ly

تحرير :
ا.د. عبد السلام عكاشة
د. عبد القادر الضعيف

المؤتمر الرابع

للتشييد في المناطق الصحراوية

The Fourth Conference on Construction in Desert Areas

تنظيم

جـــــامعـــــــة وادي الشاطـــــــــئ

كـــليـــــــة الـــهندســـــــــــة

قســـم الهندسة المدنيـــة

28-29 \ 10 \ 2025م

مجلد أبحاث المؤتمر

تـــحـــريـــــر

أ.د. عبدالسلام عكاشة

د. عبد القادر الضعيف

المؤتمر الرابع للتشييد في المناطق الصحراوية

براك الشاطئ 28-29 \ 10 \ 2025م

الوكالة الليبية للترقيم الدولي الموحد للكتاب

دار الكتاب الوطنية

بنغازي - ليبيا

هاتف: 9090509-9096379-9097074

بريد مصور:9097073

البريد الإلكتروني:nat_lib_libya@hotmail.com

رقم الإيداع القانوني: 2025\586

رقم الإيداع الدولي: ردمك ISBN 978-9959-942-1-1

حقوق النشر و الطبع محفوظة لمركز البحوث و الإستشارات جامعة وادي الشاطئ

الطبعة الأولي 2025م

مقدمـــة

نظرًا لما تتميز به ليبيا من تنوع فريد في الطابع المناخي متمثلا في المناخ المعتدل الرطب على مناطق الشريط الساحلي إلى المناخ الحار الجاف بمناطق الجنوب والذي بدوره يحتم وجود مواصفات للتشييد و البناء تتلائم و طبيعة كل حيز مناخي، حيث يؤثر المناخ على المنشآت بشكل كبير, الأمر الذي يدعو الي إيجاد تصاميم وإعتبارات ومعالجات خاصة وذلك لجعل المنشآت أكثر مرونة وإستدامة. إن الحرارة العالية وإنخفاض الرطوبة النسبية والرياح المحملة بالغبار وكذلك أشعة الشمس المباشرة كان لها بالغ الأثر في حدوث إنهيارات في طبقات رصف الطرق وهذا ما أكدته بعض الدراسات السابقة كما أن هذه العوامل المناخية لها تأثير سلبي على بعض المواد الداخلة في صناعة المنشآت والتي تؤدي بالتالي الي حدوث أضرار منها على المواد الخرسانية والموصلية الحرارية للمباني. وبنـاءًا على أهمية الموضوع وتأسيسا على ما تم ذكره أنفا خصوصا مع قلة الأبحاث المتعلقة بتأثيرات العوامل الجوية على المنشآت, جاءت فكرة عقد مثل هذه المؤتمرات من قسم الهندسة المدنية بجامعة سبها (سابقا) والتي توجت بعقد المؤتمر الأول للتشييد في المناطق الصحراوية عام 2008. و نتيجة للنجاح و التفاعل الكبير الذي توج فعاليات الملتقي الأول للمؤتمر, استمر انعقاده في مناسبات اخري. ففي عام 2021, عقد المؤتمر الثاني بجامعة الرفاق بمدينة طرابلس وفي عام 2023 عقد المؤتمر الثالث بجامعة الجفرة بمدينة هون, وها هو المؤتمر الرابع للتشييد في المناطق الصحراوية يتم استضافته من قبل جامعة وادي الشاطئ شعورا منها بأهمية وضرورة التركيز على هذه المواضيع المهمة حيث أن القسم الاكبر من الاراضي الليبية ذات طابع صحراوي او شبه صحراوي. ستتميز هذه الدورة بالتركيز الكبير على تأثير الأجواء الصحراوية على تنفيذ المنشآت بصورة خاصة ودراسة الأسباب الموضوعية التي تؤدي الى حدوث تدهور في تلك المنشآت وتقديم بعض المقترحات والحلول الناجعة لتفادي حدوث أي مشاكل فنية مستقبلا. وبنـاءًا على ذلك, صدر قرار رئيس جامعة وادي الشاطئ رقم (214) بتاريخ 5 /08 / 2024 بشان تشكيل اللجنة العلمية والتحضيرية للمؤتمر و الذي تترجم لاحقًا الي الإعلان عن إقامة المؤتمر الرابع للتشييد في المناطق الصحراوية في رحاب جامعة وادي الشاطئ في الفترة من 28–29\ أكتوبر 2025. تشارك في هذا المؤتمر جميع المؤسسات العلمية والهيئات والشركات المتخصصة في مجالات البناء والتشييد وكذلك شريحة كبيرة من المهندسين المهتمين بموضوع الإستدامة في البيئات الصحراوية. كما يتم دعوة عدد من الشخصيات العلمية المحلية المهتمة بالتشييد في المناطق الصحراوية للمشاركة بخبرتهم في هدا المجال والإستفادة منهم في المساهمة في حل بعض المشاكل الموجودة. وفى إطار الإستجابة لدعوة البحوث والدراسات التي عممتها اللجنة العلمية للمؤتمر على العديد من المؤسسات والهيئات الأكاديمية والبحثية والمهنية بليبيا، فقد استلمت اللجنة العلمية أربعة و تسعون ملخص بحث وتم قبول خمسة و ثمانون ملخص بحث بشكل مبدئي، كما إستلمت اللجنة ثلاثة و ستون ورقة بحثية في صورتها النهائية، وأجازت منهم اثنان وأربعون بحثًا التي يتضمنها هذا المجلد. وبهـذه المناسبة يسر اللجنة العلمية للمؤتمر الرابع للتشييد في المناطق الصحراوية أن تقدم للمشاركين في هذا المؤتمر والقارئ وكل المؤسسات والهيئات ذات العلاقة بموضوع هذا المؤتمر هذه الحصيلة العلمية، والمتمثلة في الدراسات والبحوث التي وصلت في الموعد المحدد والتي إستوفت الشروط الخاصة بالمستوى العلمي والطباعة التي أقرتها اللجنة العلمية، والتي قمنا بترتيبها وتبويبها حسب محاور المؤتمر الأربعة في مجلد واحد والمتمثلة في تخطيط وتصميم المنشآت في البيئة الصحراوية، مواد البناء الملائمة للبيئة الصحراوية، تنفيذ وصيانة المنشآت في البيئة الصحراوية، المشاكل والحلول في البيئة الصحراوية. هذا ويحدونا الأمل في أن تتم الإستفادة من هذه الدراسات والبحوث وما تتضمنه من مقترحات، وما ينتج عن هذا المؤتمر من نتائج وتوصيات ليتم ترجمتها على أرض الواقـع. كما تنتهز اللجنة العلمية هذه الفرصـة لتتوجه بالشكر والتقدير لمقرر اللجنة الدكتور عبدالقادر عبدالرحمن حسن الضعيف على الجهد المبذول من أجل متابعة مراحل إستقبال وترتيب وتبويب التقييمات والردود الواردة للجنة، وكذلك لكافة الأخوة الذين ساهموا في هذا العمل سواءًا بإعداد الورقات أو المشاركة أو التحضير لهذا المؤتمر العلمي، وكافة الجهات التي تبنت ودعمت المؤتمر ماديًا ومعنويًا وأسهمت في إظهار هذا الحدث بالشكل المطلوب.

وفي الختام نسأل الله العلى القدير أن يوفقنا الى ما فيه الخير

والسلام عليكم ورحمة الله وبركاته

أ. د. عبد السلام المبروك عكاشة

منسق مؤتمرات التشييد في المناطق الصحراوية

ورئيس اللجنة العلمية للمؤتمـر

أعضاء اللجنة العلمية:

1.	أ.د. عبد السلام المبروك عكاشة	رئيس اللجنة
2.	د. عبدالقادر عبدالرحمن حسن	مقرر اللجنة
3.	أ.د. مسعود فرج أبوكليش	عضوا
4.	أ.د. فؤاد فرج فروج	عضوا
5.	أ.د. مسعود علي دخيل	عضوا
6.	أ.د. محمد عمران امبارك	عضوا
7.	أ.د. حكيم سالم عبدالقادر	عضوا
8.	أ.د. المبروك عبد القادر السنوسي	عضوا
9.	أ.د. إبراهيم محمد الحاج	عضوا
10.	أ.د. محمد العربي المحروق	عضوا
11.	أ.د. فرحات غريبي فرحات	عضوا
12.	أ.د. احمد سلامة التواتي	عضوا
13.	أ.د. أحمد محمد الحضيري	عضوا
14.	أ.د. مختار معمر ابوراوي	عضوا
15.	أ.د. محمد أمحمد شاهين	عضوا
16.	أ.د. منصور اعليوة الزوي	عضوا
17.	أ.د. أحمد محمد القاضي	عضوا
18.	أ.د. محمد عبد الفتاح صالح	عضوا
19.	د. إسماعيل علي قودان	عضوا
20.	د. حسن عويدات سالم	عضوا

أعضاء اللجنة التحضيرية:

1.	أ.د. ناصر منصور أبوهمود	رئيس اللجنة
2.	د. منصور أبوهديمة بن مسكين	مقرر اللجنة
3.	أ.د. علي عبدالرحمن عكاشة	عضوا
4.	د. حسن عويدات سالم	عضوا
5.	د. علي عبدالقادر الشنوكي	عضوا
6.	علي محمد أبوشيعة	عضوا
7.	أ. محمد أنوير عبدالرحمن	عضوا
8.	أ. محمد عبدالسلام عكاشة	عضوا
9.	أ. ابراهيم سليمان الساعدي	عضوا
10.	أحمد بشير البركولي	عضوا
11.	أحمد نصر الفتحي	عضوا

أعضاء لجان التقييم:

1. أ.د.مصطفي الطويـــــــــــل
2. أ.د.عبدالسلام المبروك عكاشـــة
3. أ.د.محمد عمران امبارك السكبـــي
4. أ.د.مسعود فرج أبوكليـــــــش
5. أ.د.احمد محمد الحضيـــــــري
6. أ.د.منصور اعليوة الـــــــزوي
7. أ.د.فوزي محمد علي عقيـــــل
8. أ.د.فـــؤاد فـــــرج فـــــروج
9. أ.د.محمد الشتيوي محمد بن عمر
10. أ.د.مختـــــــار ابـــــوراوي
11. أ.د.محمد الولي عبدالقادر الشريف
12. أ.د.محمد علـــى الصغيـــــر
13. أ.د.محمد المحـــــــــــروق
14. أ.د.محمد عبدالفتاح صالح محمد
15. أ.د.مسعود علي دخيـــــــل
16. أ.د.محمد خليفة علي احمـــــد
17. أ.د.المبروك عبد القادر السنوسي
18. أ.د.حسن الصقـــــــــــري
19. أ.د.إبراهيم الفقهـــــــــــي
20. أ.د.إبراهيم محمد الحـــــــاج
21. أ.د.محمد أمحمد شاهيـــــــن
22. أ.د.فرحات غريبي فرحـــــــات
23. أ.د.غصن محمد الكفـــــــري
24. أ.د.حكيم السموعـــــــــــي
25. أ.د.محمد عمار المجـــــــذوب
26. أ.د.بشير صالـــــــــــح
27. أ.د.فرج أبوبكر العقـــــــوري
28. أ.د.علي ساســـــــــــي
29. أ.د.اشرف عبدالقادر نجـــــم
30. أ.د.علي سالم انقـــــــاب
31. أ.د.عمر رمضان الزروق عمـــر
32. أ.د. أحمد محمد القاضـــــي
33. د. حسن عويدات سالـــــــم
34. د. إسماعيل علي قـــــودان
35. د. إبراهيم علي خليفة غرغـــار
36. د. عبدالقادر عبدالرحمن الضعيف
37. د. هناء عبدالفتاح صالح محمـد
38. د. عثمان أبوبكر عثمان القاضي
39. د. محمد الكيلاني يحـــــــي

جدول المحتويات

مقدمـــة 3
المحور الأول..... 8
القوى المكافئة لتأثير فرق درجات الحرارة بين سطحي عارضة كاملة التثبيت عند الطرفين..... 9
دراسة مقارنة لأنماط تسليح مختلفة لمقاومة القص في العتبات العميقة 17
أثر البيئة الصحراوية على المتانة والسلامة الإنشائية للهياكل الخرسانية المسلحة 27
التوجه نحو الاستدامة في مجال البناء والتشييد بالبيئة الصحراوية..... 36
إستخدام الأسطح الخضراء لتقليل استهلاك الطاقة والانبعاثات الكربونية 46
استغلال التقنيات المعمارية التقليدية في خفض استهلاك الطاقة 58
عبقرية التخطيط الحضري " مدينة غدامس القديمة كحالة دراسية"..... 70
خصائص البنية المكانية او الفراغية..... 80
التوعية البيئية ودورها في تحسين أداء فريق التصميم نحو مخرجات تصميم مستدام..... 89
دراسة مقارنة عن النمذجة غير الخطية للجدران الإنشائية الخرسانية المسلحة..... 99
توظيف استراتيجيات المعالجات البيئية في المباني السكنية متعددة الأدوار بالمناطق الحارة 108
المحور الثاني..... 123
تأثير إضافة مسحوق مطاط الإطارات المستهلكة على خواص الخلطة الإسفلتية..... 124
تحديد نسبة ثاني أكسيد السيليكون ($Sio2$) في تربة الكثبان الرملية بمنطقة رمال زلاف 136
دراسة مواصفات رمال الجنوب الليبي 148
صناعة الطوب الإسمنت الخفاف باستخدام المواد المحلية..... 158
دراسة تأثير إضافة ألياف البولي بروبلين على الخرسانة ذاتية الدمك..... 169
دراسة مرجعية حول بيوت الخشب في ليبيا..... 181
استخدام البوزولانا المحلية في الخرسانة..... 189
دور الصلب المستدام في استدامة قطاع البناء 198
دراسة تأثير حجم الركام بمحاجر بني وليد على انسياب ومقاومة الخرسانة ذاتية الدمك..... 206
تأثير انوع الركام المحلي في جنوب ليبيا على مواصفات الخرسانة ذاتية الدمك..... 216

دراسة مرجعية لتحديد النسبة المثلى لغبار السيليكا بالخرسانة 226
دراسة تأثير غبار السيليكا على مقاومة الخرسانة الجيرية 239
تأثير خبث فرن القوس الكهربائي (EAFS) على تصميم خليط ملاط الجيوبوليمر 249
المحور الثالث 259
تقييم أداء الخلطات الاسفلتية التقليدية والمعدلة بالإضافات تحت تأثير درجات الحرارة العالية 260
تحليل تدهور الأعمدة الخرسانية الناتج عن الاختبارات الاتلافية وتقييم استجابتها للترميم عبر النمذجة العددية 273
دراسة مرجعية للمقارنة بين طرق تأهيل وترميم العناصر الخرسانية 288
استخدام نظم المعلومات الجغرافية لدراسة تأثير السيول الفجائية على سلامة الطرق و العبارات 300
تأثير إضافة البوزلانا المحلية كبديل جزئي للأسمنت على الانكماش اللدن للخرسانة 317
العلاقة بين مؤشّر حالة الرصف (PCI) ونظام مسح وتقييم الحالة (CRS) للطرق الإسفلتية باستخدام تقنيات تعلم الالة 327
تأثير إضافة البوزلانا الطبيعية كبديل جزئي للإسمنت المقاوم للكبريتات علي مقاومة الضغط 338
واقع الرقابة الهندسية على جودة تنفيذ المشاريع الهندسية في الجنوب الليبي 349
دراسة أسباب تأخير تنفيذ المشاريع في مدينة مرزق 360
تأثير اختلاف درجات حرارة المعالجة على مقاومة الضغط للمونة الجيوبوليمرية 368
تصنيف المادة الرابطة الاسفلتية بنظام درجة الاداء حسب درجات الحرارة في ليبيا 380
المحور الرابع 389
استخدام الخلايا الشمسية كوسيلة مزدوجة لحماية طريق سبها – براك من زحف الرمال وإنتاج الطاقة 390
تأثير دورات الجفاف والرطوبه على تلف الخرسانة المعرضة لكبريتات الصوديوم 405
تقييم كفاءة المونة المطاطية كمادة عازلة حرارية للمباني باستخدام برنامج eQUEST 419
دراسة العزل الحراري للطوب المستخدم في جنوب ليبيا 434
دراسة هيدرولوجية لاحواض الاودية المتقاطعة مع الجزء الأول من طريق الشويرف تينيناي 444
دراسة عناصر الاستدامة في المدن الصحراوية (منطقة الدراسة مدينة غدامس القديمة) 459
تقييم التأثيرات البيئية الناتجة عن الأنشطة البشرية في بلدية وادي عتبة 479

المحور الأول

التخطيط وتصميم المنشآت في البيئة الصحراوية

- أسس ومعايير التخطيـــــــــط
- أسس ومعايير التصميـــــــــم
- أسس و معايير التأثيرات البيئيـة

القوى المكافئة لتأثير فرق درجات الحرارة بين سطحي عارضة كاملة التثبيت عند الطرفين

أ. د. مصطفى محمد الطويل
أستاذ شرف الهندسة المدنية
جمعية المهندسين العلمية، طرابلس – ليبيا
mmtawil01@gmail.com

الملخص

تختلف درجات الحرارة في المناطق الصحراوية ما بين سطحي العنصر الإنشائي بدرجة كبيرة، وإذا ما كان هذا العنصر ممنوع الحركة المحورية فسيتقوس نتيجة الفرق فيما بين درجتي حرارة السطحين. هذا التقوس سيؤدي إلى زيادة في عزوم الإنحناء الداخلية وعزمي الإنحناء عند الطرفين كاملي التثبيت للعنصر يجب إعتبارها عند القيام بعملية حسابات التحليل الإنشائي وقبل عملية التصميم.

تهدف الدراسة في هذه الورقة إلى استنتاج فوة مكافئة تنتج تقوسا محاكيا للتقوس الناتج عن فرق درجة الحرارة من حيث الشكل والطول لعارضة كاملة التثبيت عند الطرفين ممنوعة الحركة المحورية وثابتة الصلادة العزمية، ولحالتي تحميل الأولى لقوة مركزة تؤثر عند منتصف العارضة والثانية لقوة ثابتة التوزيع على كامل طولها. ستعطى النتائج المتحصل عليها لهاتين الحالتين ولعدد من فروقات درجة الحرارة في صورة جداول ورسومات بيانية، على أن يتم تقديم إقتراح بتحديد القوة المكافئة في كل حالة.

الكلمات الدالة: *المناطق الصحراوية، فرق درجة الحرارة، التقوس، القوة المكافئة، العارضة*

Abstract

The difference in temperature between upper and lower surfaces of a structural element, especially in desert regions, changes to a high degree. If this element is restrained against axial movement then it will sag due to this difference in temperature. This sagging will induce extra bending moments both internally and at fixed ends, which are to be considered in structural analysis before performing the design process. The study in this paper focuses on determining equivalent thermal loads due to difference in temperature causing similar shape and length of curve, for fixed-fixed beam having constant bending rigidity. Two loads are to be applied, one is of point concentrated load at mid-span and the other is of a uniformly distributed load acting on the whole span. Results of this study will be presented in tables and curves for a number of difference values of surfaces temperature. Proposal about using equivalent thermal loads for each case will be presented.

Keywords: *desert regions, temperature degree, sagging, equivalent load, beam*

1. مقدمة

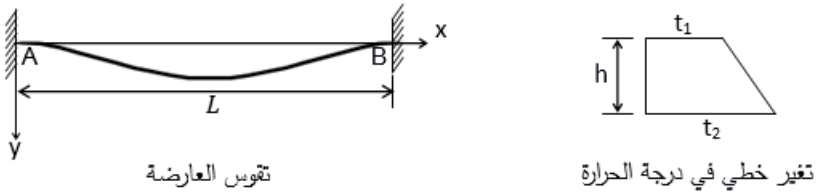
تتقوس العارضة بسيطة كاملة التثبيت عند الطرفين وممنوعة الحركة المحورية بسبب وجود فرق في درجة الحرارة بين سطحيها، وينتج عن ذلك قوى داخلية يجب أن تضاف إلى القوى الناتجة عن الأحمال الخارجية الأخرى المتعرضة لها. يتم في هذه الورقة تمثيل القوى الداخلية الناتجة عن فرق درجة الحرارة بقوى خارجية مكافئة تضاف إلى القوى الخارجية المسلطة على العارضة، حيث تم تقريب التقوس الناتج عن فرق درجة الحرارة بالتقوس الناتج عن قوة مركزة رأسية عند منتصف الباع مرة والناتج عن قوة موزعة بانتظام على طول العارضة مرة أخرى. تعرض النتائج في جداول ورسومات بيانية بقيم عزوم الإنحناء والقوى الموزعة بانتظام لعدد من قيم الفرق في درجات الحرارة، يتم بعدها إقتراح بتحديد القوى المكافئة الممثلة لتأثير فرق درجة الحرارة بين سطحي العارضة في علاقات عامة. وقد سبق للمؤلف دراسة حالتي العارضة بسيطة الإرتكاز [1]، والعارضة بسيطة الإرتكاز عند طرف وكاملة التثبيت عند الطرف الآخر [2].

2. تقوس العارضة كاملة التثبيت عند الطرفين

يتقوس هذا النوع من العوارض، ممنوعة الحركة المحورية، نتيجة وجود فرق في درجة الحرارة بين سطحيها وعند تعرضها لقوى خارجية مختلفة.

3. التقوس نتيجة الفرق في درجة الحرارة

يمثل الشكل 1 التغير الخطي فيما بين درجة السطح العلوي للعارضة (t_1) ودرجة حرارة السطح السفلي للعارضة (t_2) والتقوس الناتج عن فرق درجة الحرارة (Δt).



الشكل 1. التقوس نتيجة فرق درجة الحرارة

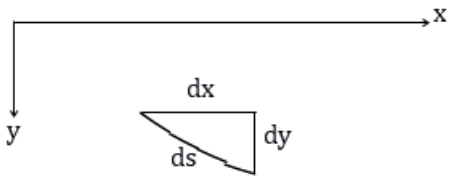
يكون طول القوس (L_1) في هذه الحالة:

$$L_1 = L + \alpha L \Delta t \quad (1)$$

حيث (L) هو طول العارضة و(α) هو معامل التمدد لمادة العارضة و($\Delta t = t_2 - t_1$).

4. طول التقوس بصورة عامة

يمثل الشكل 2 جزءا متناهيا من قوس بطول (ds) والذي يعبر عنه رياضيا كما يلي:



الشكل 2. جزء متناهي من التقوس

$$\cong \sqrt{1+z^2}dxds \cong \sqrt{1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2}\,dx \tag{2}$$

حيث: $z = \frac{dy}{dx}$

بتكامل الطرفين:

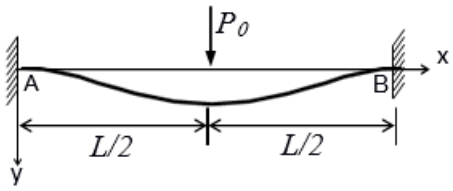
$$L_1 \cong \int \sqrt{1+z^2}\,dx \cong 1 + \frac{z}{2} - \frac{z^2}{8} \tag{3}$$

5. التقوس نتيجة قوة مركزة رأسيا عند منتصف الباع

يمثل الشكل 3 التقوس الناتج عن قوة (P_0) مركزة رأسيا عند منتصق الباع. ويمكن استنتاج معادلة الميل لهذا النوع من التحميل من علاقة عزم الإنحناء (M_x) بالتقوس:

$$\frac{\mathrm{d}^2\mathrm{y}}{\mathrm{dx}^2} = -\frac{M_x}{EI} \tag{4}$$

حيث: (E) معامل يانغ للمرونة و(I) عزم القصور الذاتي لقطاع العارضة.



الشكل 3. التقوس نتيجة القوة المركزة

عزم الإنحناء(M_x) في هذه الحالة:

$$M_x = \frac{P_0}{8}(4x - L)\,, \qquad 0 \le x \le L/2$$

وتكون معادلة الميول:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{P_0}{8EI}(Lx - 2x^2) \tag{5}$$

يتم استنتاج طول القوس (L_2) في هذه الحالة بتطبيق المعادلتين (3 و5) ووضعه في الصورة التالية:

$$L_2 \cong L + L\left(1091520\beta^2 - 6405L^4\right)/(1209600\beta^4) \tag{6}$$

حيث: $\beta = \frac{8EI}{P_0}$

بمساواة الطول (L_2) من المعادلة (6) بالطول (L_1) من المعادلة (1) يتم التوصل للعلاقة الآتية:

$$\gamma^2 - 84\gamma + 1008\alpha\Delta t = 0 \tag{7}$$

حيث: $\gamma = \left(\frac{P_0L^2}{8EI}\right)^2$

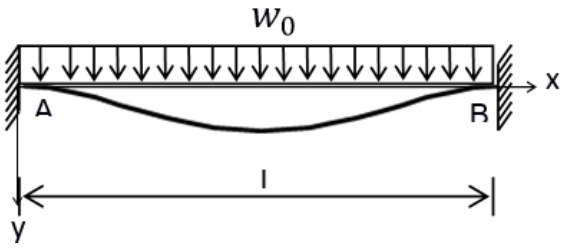
وبمعرفة قيمة $(\alpha\Delta t)$ تحسب قيمة (γ) من حل المعادلة (7). الجدول 1 يعطي قيم $(\frac{P_0L^2}{EI})$ بإعطاء قيمة $(\alpha = 10^{-5})$ ولقيم (Δt) من 5 درجات إلى 40 درجة مئوية.

الجدول 1. قيم معاملات القوى المركزة المكافئة للتقوس نتيجة الفرق في درجة الحرارة

Δt^o	5	10	15	20	25	30	35	40
P_0L^2/EI	0.6197	0.8764	1.0734	1.2395	1.3858	1.5182	1.6399	1.7532
P_0L^2 ___	0.2771	0.2771	0.2771	0.2771	0.2771	0.2771	0.2772	0.2772

6. التقوس نتيجة قوة موزعة بانتظام على طول العارضة

يمثل الشكل 4 التقوس الناتج عن قوة موزعة بانتظام (w_0) على طول العارضة.



الشكل 4. التقوس نتيجة الحمل الموزع بانتظام

عزم الإنحناء(M_x) في هذه الحالة:

$$M_x = \frac{w_0}{12}(-6x^2 + 6Lx - L^2)$$

وتكون معادلة الميول:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{w_0}{12EI}(2x^3 - 3Lx^2 + L^2x) \quad (8)$$

يتم استنتاج طول القوس (L_3) في هذه الحالة بتطبيق المعادلتين (3 و8) ووضعه في الصورة التالية:

$$L_3 \cong L + \left(572\beta^2L^7 - L^{13}\right)/\left(240240\beta^4\right) \quad (9)$$

حيث: $\beta = \frac{12EI}{w_0}$

بمساواة الطول (L_3) من المعادلة (9) بالطول (L) من المعادلة (1) يتم التوصل للعلاقة الآتية:

$$\gamma^2 - 572\gamma + 240240\,\alpha\Delta t = 0 \quad (10)$$

حيث: $\gamma = \left(\frac{w_0 L^3}{12EI}\right)^2$

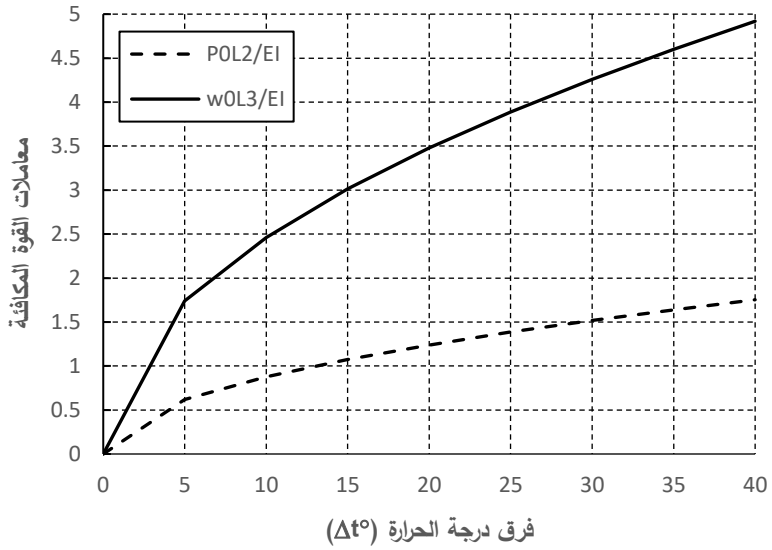
وبمعرفة قيمة $(\alpha\Delta t)$ تحسب قيمة (γ) من حل المعادلة (10). الجدول 2 يعطي قيم $(\frac{w_0 L^3}{EI})$ بإعطاء قيمة $(\alpha = 10^{-5})$ ولقيم (Δt) من 5 درجات إلى 40 درجة مئوية.

الجدول 2. قيم معاملات الحمل الموزع المكافئ للتقوس نتيجة الفرق في درجة الحرارة

Δt^o	5	10	15	20	25	30	35	40
w_0L^3/EI	1.7390	2.4593	3.0121	3.4781	3.8888	4.2600	4.6014	4.9192
w_0L^3	0.7777	0.7777	0.7777	0.7777	0.7777	0.7777	0.7777	0.7778

7. القوى المكافئة المحسوبة والمقترحة

يوضح الشكل 5 تبيانا لتغير معاملات القوى المكافئة المحسوبة في هذه الورقة مع فرق درجات الحرارة لكل من قوة مركزة عند منتصف الباع من جهة والقوة الموزعة بانتظام على طول العارضة من جهة أخرى.



الشكل 5. معاملات القوة المكافئة لحمل فروق درجات الحرارة

من الجدول (1) يلاحظ أن النسبة $P_0L^2/(EI\sqrt{\Delta t})$ ثابتة لثلاثة أرقام عشرية في حالة وجود قوة رأسية مسلطة على منتصف الباع وتساوي (0.277) لكل فروق درجة الحرارة المطبقة في هذه الدراسة، كما يلاحظ من الجدول (2) أن النسبة $w_0L^3/(EI\sqrt{\Delta t})$ ثابتة لثلاثة أرقام عشرية في حالة الحمل الموزع بانتظام على طول العارضة وتساوي (0.778) لكل فروق درجة الحرارة أيضا. وعليه يتم هنا إقتراح وضع علاقات عامة لتحديد القوة المكافئة لأي قيمة للفرق في درجة الحرارة بين سطحي العارضة كاملة التثبيت عند الطرفين كما يلي:

في حالة القوة المركزة رأسيا عند منتصف الباع (P_0):

$$P_0 = 0.277\sqrt{\Delta t}EI/L^2 \quad (11)$$

في حالة الحمل الموزع بانتظام على طول العارضة (w_0):

$$w_0 = 0.778\sqrt{\Delta t}EI/L^3 \quad (12)$$

8. القيم القصوى للقص وعزم التثبيت

يعطي الجدول 3 القيم القصوى للقص وعزم التثبيت لكل حالة من حالات التحميل باستعمال القوة المكافئة المقترحة.

الجدول 3. قوى القص وعزوم التثبيت للقوى المكافئة المقترحة

التحميل	القيمة القصوى للقص	قيمة عزم التثبيت
قوة مركزة عند منتصف الباع	$0.138\sqrt{\Delta t}EI/L^2$	$0.035\sqrt{\Delta t}EI/L$
القوة الموزعة بانتظام	$0.389\sqrt{\Delta t}EI/L^2$	$0.065\sqrt{\Delta t}EI/L$

9. الإستنتاجات والتوصيات

بالرجوع إلى الجدول 3 يتضح أن القوة القصوى وعزم إنحناء التثبيت الناتجتان من الحمل الحراري، بتحميل مكافئ موزع بانتظام (w_t) على كامل طول العارضة، هي الأكبر. وبهذا يقترح ومن خلال بيانات الجدول 2 على أن تكون شدتها في الصورة التالية:

$$w_t = 0.778\sqrt{\Delta t}\ EI/L^3 \quad (13)$$

كما يقترح معاملة هذا الحمل الحراري المكافئ معاملة الأحمال الحية عند حساب الأحمال القصوى على العنصر الإنشائي من حيث المعاملات المحددة بالمواصفات.

9. المراجع

[1] الطويل، مصطفى محمد، "القوى المكافئة لتأثير فرق درجات الحرارة بين سطحي عارضة خرسانية بسيطة الإرتكاز"، المؤتمر الثاني للتشييد في المناطق الصحراوية، مجلد الأبحاث العلمية، 15 توفمبر 2021، جامعة الرفاق للعلوم الإنسانية والتطبيقية، طرابلس – ليبيا. ص 14–25

[2] الطويل، مصطفى محمد، "القوى المكافئة لتأثير فرق درجات الحرارة بين سطحي عارضة بسيطة الإرتكاز عند طرف وكاملة التثبيت عند الطرف الآخر"، المؤتمر الثالث للتشييد في المناطق الصحراوية، مجلد الأبحاث العلمية، 24 – 2023/10/25، جامعة الجفرة، هون – ليبيا. ص 1–8

الرموز

E	معامل يانغ للمرونة
h	سمك العارضة
I	معامل القصور الذاتي للقطاع
L	طول باع العارضة
L_1	طول التقوس نتيجة فرق درجات الحرارة
L_2, L_3	أطوال التقوس نتيجة الأحمال المختلفة
M_x	عزم الإنحناء عند المسافة (x)
P_0	الحمل التعامدي المركز عند منتصف العارضة
t_1	درجة حرارة السطح العلوي للعارضة (درجة مئوية)
t_2	درجة حرارة السطح السفلي للعارضة (درجة مئوية)
w_0	الحمل الموزع بانتظام على طول العارضة
w_t	الحمل الحراري المكافئ الموزع بانتظام على طول العارضة
x	المحور السيني
y	المحور الصادي
z	معادلة الميل
α	معامل التمدد الحراري
β, γ, λ	معاملات وعلاقات متنوعة
Δt	الفرق في درجة الحرارة (درجة مئوية)

دراسة مقارنة لأنماط تسليح مختلفة لمقاومة القص في العتبات العميقة

عثمان أبوبكر الحضيري, الساعدي عبدالقادر محمد
استاذ مساعد, قسم الهندسة المدنية والبيئية, كلية الهندسة, جامعة سبها
طالب دراسات عليا, قسم الهندسة المدنية والبيئية, كلية الهندسة, جامعة سبها
otm.alhodiry@sebhau.edu.ly

الملخص

أجرى الباحثون العديد من البحوث حول تعزيز مقاومة القص في العتبات الخرسانية العميقة، وقدمت صيغ رياضية وتجريبية مختلفة لأجل الوصول الى معرفة دقيقة لسلوك تلك العتبات، ولكن تلك الجهود لاتزال بعيدة المنال للوصول إلى صيغ دقيقة تصف سلوك الخرسانة المعقد والمتمثل في تركيبة نسيجها العشوائي وتفاوت مقاومة المواد الداخلة في صناعتها إضافة الى صعوبة التنبؤ بسلوك تلك العتبات بسبب تأثرها بمجموعة كبيرة ومتنوعة من المتغيرات لاتزال غير معرفة تماما. تقدم هذه الورقة ملخصا لدراسة تحليلية غير خطية لمقارنة أنماط متعددة من التسليح التقليدي وغير التقليدي، الهدف منها الوصول الى تحسين قوى القص الناشئة في العتبات الخرسانية المسلحة العميقة عن طريق توظيف نموذج الفشل اللدن Concrete Damage Plasticity المعروف باسم CDP والذي يتيحه برنامج ABAQUS في نسخه المتعددة [1]، حيث صممت نماذج ثلاثية الابعاد لعتبات خرسانية مسلحة بأنماط مختلفة من التسليح العمودي والافقي والمائل والشبكي. أجري اختبار التحميل التدريجي على العتبات للوصول الى مرحلة الفشل النهائي وتم رصد سلوك واستجابة تلك العتبات ورصد مقاومتها لقوى القص والتشوهات أثناء التحميل اضافة الى رصد تطور التشققات الناتجة. أظهرت النتائج أن العتبة ذات التسليح المركب (العمودي مع المائل) كان الاكثر فعالية بزيادة قدرها 15% في مقاومة القص كما أن التشققات في هذا النمط كانت الاقل اتساعا وانتشارا بينما كانت العتبة ذات التسليح الافقي هي الاقل فاعلية كذلك أشارت الانماط الاخرى الى توسط في السلوك من حيث المقاومة والصلادة والانحراف. تم عرض النتائج في شكل مقارنات تبين سلوك تلك العتبات مع توضيح للتشققات القطرية الحاصلة في أحد العتبات كنموذج.

الكلمات المفتاحية: *العتبات الخرسانية العميقة، مقاومة القص، التسليح العرضي، التشققات القطرية.*

1. مقدمة.

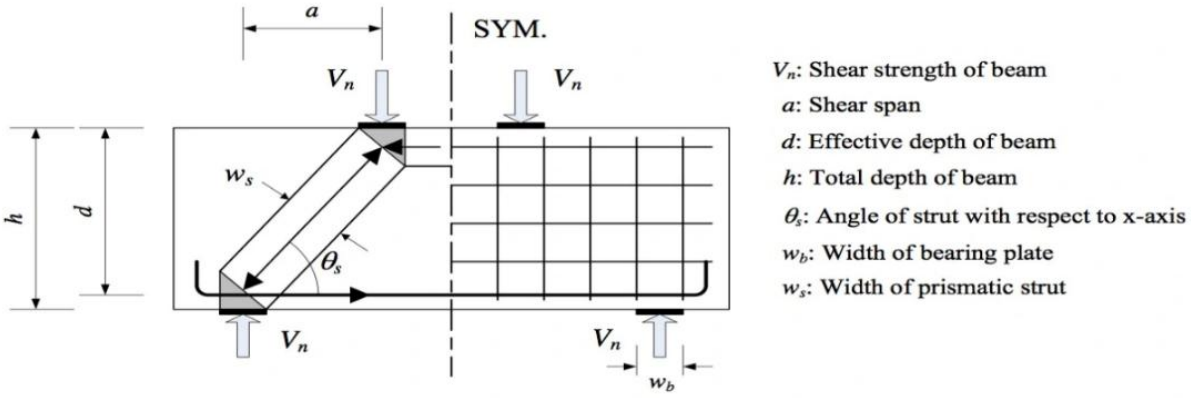
ترتبط الخرسانة، كمادة إنشائية واسعة الاستخدام ومادة معقدة بآليات فشل متعددة ومتنوعة تعتمد بشكل أساسي على خصائص مادتها المكونة لها وتفاعلها مع الأحمال الخارجية. إن مقاومتها للفشل هي ظاهرة تتعلق بالسلوك المجهري لمكوناتها، مما يتطلب ذلك فهمًا عميقًا لتصميم هيكلي قوي. تنشأ مقاومة العناصر الخرسانية للفشل بشكل أساسي من قوة التماسك الداخلي وقوة الاحتكاك بين جزيئاتها على طول القطاع الخرساني وهذه المقاومة ليست ثابتة [2]، بل تتأثر ديناميكيًا بمقاومة الخرسانة للضغط، وقوة الركام، وقوة فولاذ التسليح، وأي مواد أخرى يمكن اضافتها تكون مدعمة للقطاع، حيث يتطور نظام معقد من الإجهادات الداخلية، يتألف من إجهادات عمودية (شد وضغط) بسبب الانحناء، وإجهادات قص داخل العناصر الخرسانية.

من منظور ميكانيكي، تُصنف الخرسانة عادةً على أنها مادة هشة عند تعرضها لإجهادات الشد والقص، حيث تُظهر انفعالًا كليًا يبدأ بتشكل شروخ طفيفة تتعمق تدريجيا أو تظهر بشكل مفاجئ حتى تصل الى الفشل النهائي على نحو يبين نوع وسبب هذا الفشل. إن هشاشة الخرسانة المتأصلة في ضعف مقاومتها لقوى الشد والقص مقارنة بقدرتها على تحمل إجهادات الانضغاط يدفع العناصر الخرسانية المعرضة لمثل هذه الاجهادات الى دراستها بشكل وثيق، فمثلا في العتبات الخرسانية البسيطة تبدأ الشروخ بالظهور أسفل العتبة نتيجة قوى الشد الناتجة عن الانحناء التي تنتشر بسرعة بسبب ضعف مقاومة الخرسانة لها حيث يعمل فولاذ التسليح الطولي على كبح او تقليل تلك الشروخ. وفي المقابل، تتكون إجهادات القص التي تسبب شروخا قطرية غير مرغوب فيها للغاية حيث تعد نمطا من أنماط الفشل المفاجئ والهش، هذا الفشل يقدم القليل من التحذير المسبق وأحيانا لا يقدم أي تحذير على الإطلاق. وتعد الشروخ القطرية سمة لفشل القص التي تظهر في مختلف العتبات ولكنها تكون أكثر وضوحًا في العتبات العميقة. وتتحدد آلية الفشل في العوارض العميقة بشكل أساسي بسبب فقدان قوة الترابط في الجناح بين نقاط تطبيق الحمل والنقاط الساندة مسببة ما يعرف بالشد القطري [3] و[4]، لذلك فإن تأثير إجهادات القص في العتبات الخرسانية العميقة ظل دوما محل اهتمام الباحثين منذ زمن بعيد، وتتجه العديد من الدراسات الى تعزيز مقاومة القص باستخدام العديد من الاساليب المتنوعة.

تعرف العتبات العميقة وفق الكود الامريكي [5] على أنها عناصر انشائية تكون مسنودة عند أحد الاسطح ومعرضة لأحمال عند الاسطح المقابلة بحيث تنشأ عنها دعامات ضغط تنحصر بين المساند ونقاط تطبيق الحمل ويجب أن يراعى التوزيع اللا خطي للإجهادات على طول عمق العتبة عند التصميم [6]. ويمثل الشكل (1) تفصيل في عتبة خرسانية عميقة، حيث أن: Vn مقاومة العتبة للقص و a جناح القص و d العمق الفعال للعتبة و h عمق العتبة الكلي و θs زاوية ميل الضاغط محسوبا من محور x و wb عرض لوح التحميل اسفل القوة و wsعرض الضاغط.

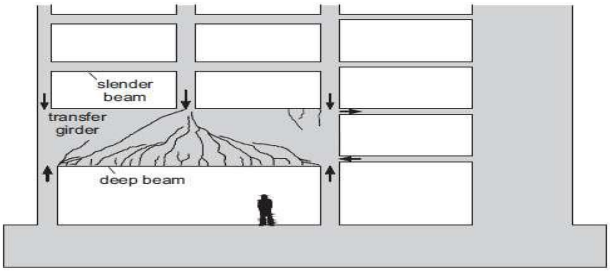
بالإضافة الى ذلك يجب أن تتوفر في العتبات العميقة الشروط التالية:

1. ألا يتجاوز الطول الصافي للعتبة عن (4) أمثال عمقها (h).
2. أو أن تقع الاحمال المركزة ضمن بعد لا يتجاوز(2h) عن وجه المسند.



شكل (1) نموذج لتفصيل في عتبة خرسانية عميقة [7].

يزداد استخدام العتبات الخرسانية العميقة بشكل كبير في المباني الشاهقة، ويبين شكل (2) مثالا توضيحيا لإحدى استخدامات العتبات العميقة ضمن هيكل خرساني.



شكل (2) عتبة خرسانية عميقة ضمن هيكل إنشائي [8].

تتناول هذه الورقة دراسة تعزيز مقاومة إجهادات القص في العتبات العميقة عن طريق استخدام أنماط متنوعة من التسليح المتنوع يشمل التسليح العمودي والمائل والافقي والشبكي مع المحافظة على نفس نسبة التسليح. وتتلخص في إجراء تحليل لا خطي باستخدام طريقة العناصر المحدودة عن طريق نمذجة العتبات الخرسانية العميقة في ثلاثة أبعاد، حيث تم إجراء تحميل تدريجي حتى الانهيار ورصد السلوك اللحظي عبر العلاقة بين قوة القص والانحراف الحاصل في منتصف العتبة ومقارنة تأثير هذه الأنماط على مدى التحسن الطارئ على مقاومة القص ومدى التغير في السلوك.

2. منهجية البحث.

في هذه الورقة تم استخدام برنامج ABAQUS لتمثيل العتبات العميقة في ثلاثة أبعاد عن طريق التحليل بنظرية العناصر المحدودة. يشمل التحليل التحميل التدريجي للعتبة للوصول الى مرحلة الفشل متضمنا السلوك اللا خطي مع توظيف نموذج الفشل اللدن المعروف باسم Concrete Damage Plasticity(CDP) المتاح بالبرنامج، هذا النموذج الذي يصف فشل العنصر في مرحلة اللدونة بشكل دقيق.

1.2 نموذج الفشل اللدن CDP.

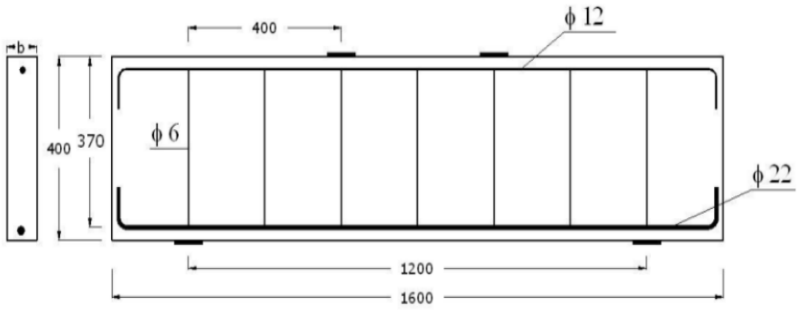
يعتبر نموذج الفشل اللدن في برنامج ABAQUS أحد أكثر النماذج تطورا وموثوقية لتحليل الهياكل الخرسانية [9]. يرتكز هذا النموذج على مجموعة من العوامل او المعلمات الأساسية التي تصف او تحدد سلوك الخرسانة ما بعد مرحلة المرونة (أي مرحلة اللدونة) مستندا على مفاهيم علم ميكانيكا المواد. لم تتناول دراسة عرب زاده وفريقه [10] الخصائص الميكانيكية المرتبطة بمعلمات CDP، ولضمان دقة النتائج في النمذجة كان لابد من اختيار معلمات ملائمة تعكس نتائج دقيقة عند مقارنتها بالبيانات المعملية. بناء على ذلك تم اعتماد قيم مناسبة تحقق تقاربا وقبولا مع النتائج المعملية بهدف استخدامها لاحقا في التحليل المراد الوصول إليه من هذه الدراسة. ونظرا لمحدودية المجال في هذه الورقة تم الاقتصار على تقديم تعريفات موجزة لأبرز المعلمات والقيم المستخدمة في النمذجة كما هو مبين في جدول رقم (1).

جدول رقم (1) قيم وتعريف المعلمات الأساسية للنموذج الفشل اللدن المستخدمة في النمذجة.

Parameter	Value	Description
ψ	35	Dilation angle
ϵ	0.1	Eccentricity
fb0/fc0	1.16	The ratio of initial equibiaxial compressive yield stress to initial uniaxial compressive yield stress
K	0.667	Kc, the ratio of the second stress invariant on the tensile meridian
μ	0.007985	Viscosity Parameter

2.2. العتبات المختبرة معمليا.

تم اختيار دراسة سابقة معملية قام بها عرب زاده وفريقه [10] لاختبار مقاومة القص على مجموعة واسعة من العتبات العميقة التي تم تقسيمها الى 4 مجموعات A,B,C,D حيث تم اختيار المجموعة A كعينة للدراسة وكذلك لاختبار نتائج البرنامج، وهي تتكون من عدد 6 عتبات عميقة. الشكل (3) يبين أبعاد العتبة والقطاع والجدول رقم (2) يبين توزيع ونسب فولاذ التسليح ومقاومة الانضغاط للخرسانة أما الجدول رقم (3) يبين الخواص الميكانيكية لفولاذ التسليح المستخدم. تم اختبار العينة المختارة مجموعة(A) وكخطوة أولى تم التحليل رقميا باستخدام القيم في الجدول 1.



شكل (3) العتبة العميقة المنمذجة [10].

جدول (2) توزيع الحديد ومقاومة الانضغاط للخرسانة في العتبات المختبرة [10].

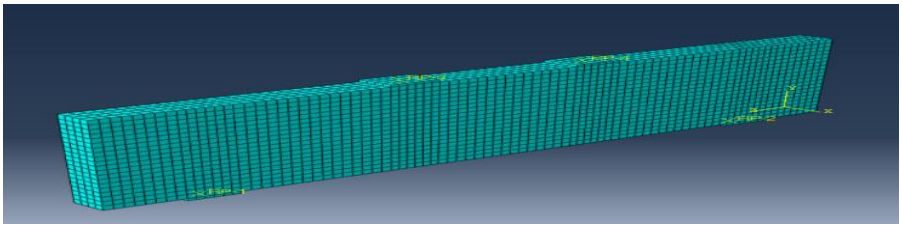
Reinforcement								
Series	ID	Fc	Bottom		Top		Vertical	
		Mpa	No.	ρ'ₛ (%)	No.	ρ'ₛ (%)	No.	ρ'ᵥ (%)
A	A-1	59	1-12D	0.4	1-22D	1.32	–	–
	A-2	60					6-6D	0.18
	A-3	61					10-6D	0.29
	A-4	60					16-6D	0.47
	A-5	65					21-6D	0.62
	A-6	60				1.66	28-6D	0.82

جدول (3) الخواص الميكانيكية لفولاذ التسليح للعتبات المختبرة [10].

Bar ID.	ε_y	ε_u	f_y (MPa)	f_u (MPa)	E (MPa)
25D	0.0027	0.271	577	577	214000
22D	0.0028	0.263	585	589	206000
12D	0.0021	0.200	433	491	208000
6D	0.0020	0.097	397	469	201000

3. شبكة العناصر المحدودة.

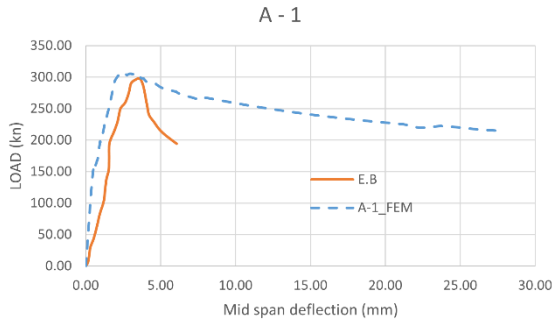
في برنامج ABAQUS تم تقسيم العتبة الخرسانية الى شبكة صغيرة من العناصر المحدودة المتساوية في الحجم لضمان تشارك كل عنصرين متجاورين في نقاط التماس لتنقل الاجهادات فيما بينها بصورة سليمة ولتعطي نتائج صحيحة. تم استخدام العنصر C3D8R لتمثيل الخرسانة والعنصر T3D2 لتمثيل فولاذ التسليح. شكل (4) يبين النموذج المستخدم للعتبة الخرسانية العميقة في التحليل.



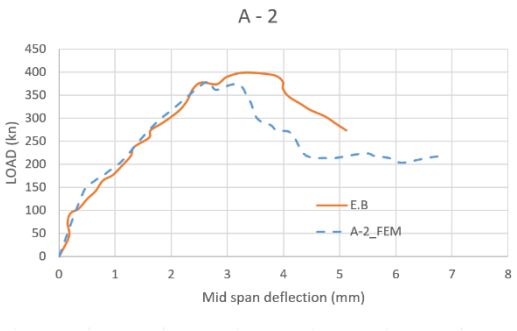
شكل (4) نموذج التمثيل الشبكي للخرسانة في برنامج ABAQUS

4. مطابقة النتائج الرقمية بالتجريبية.

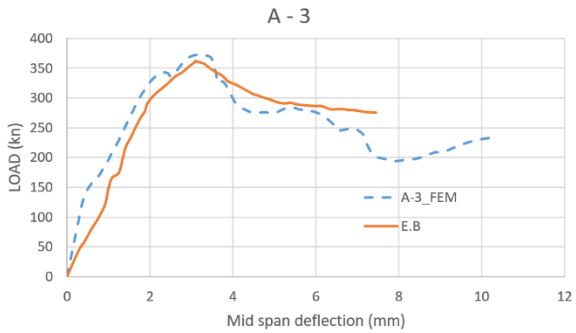
من خلال إجراء مطابقة النتائج للعلاقة بين الحمل والازاحة لست (6) عتبات عميقة منمذجة أخذت من الدراسة المقدمة من عرب زادة وفريقه [10] يلاحظ وجود توافق كبير وجيد بين النتائج المعملية والنتائج المتحصل عليها من ABAQUS كما هو مبين في الاشكال، من شكل (5) الى شكل (9). في المجمل يلاحظ تقارب مقبول في مستويات الصلادة لجميع العينات عند صعود المنحنى حيث يُظهر ABAQUS مستوى صلادة أقل بقليل عن النتائج المعملية مع وجود تطابق شبه تام في العينة A–2 أما ما بعد الفشل فإن جميع العينات ترصد مستويات مختلفة من المرونة(softening)حيث تتقارب النتائج في العتبات رقم A–2 و A–3 كما في شكل 6 و7 وتبتعد قليلا في A–1 كما في شكل (5) بينما يمكن اعتبار انحدار المنحنى في A–4 يتوسط في الانخفاض والارتفاع في اتجاه سلوك العتبة الحقيقي. أما في شكل 9 فان مستوى الصلادة في نتيجة ABAQUS أعلى بقليل عن النتيجة المعملية للعتبة A–7 وربما يرجع ذلك الى السلوك العشوائي للخرسانة. وبالمقابل فيمكن ملاحظة تقارب أدق بين النتائج عند مستوى أعلى قيمة للفشل لكل العينات كما هو موضح بالشكل رقم 11.



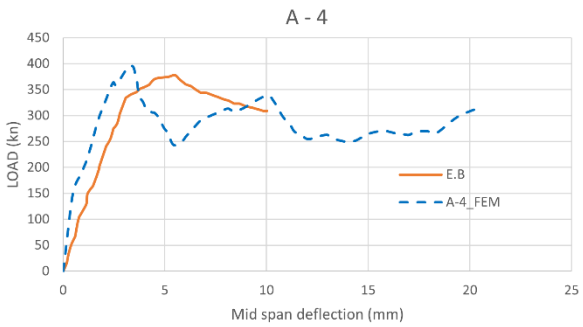
شكل (5) مقارنة للعتبة A–1



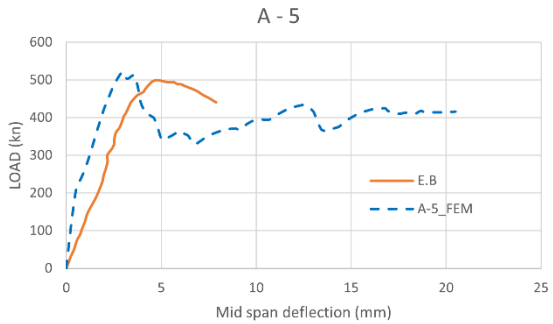
شكل (6) مقارنة العتبة A–2



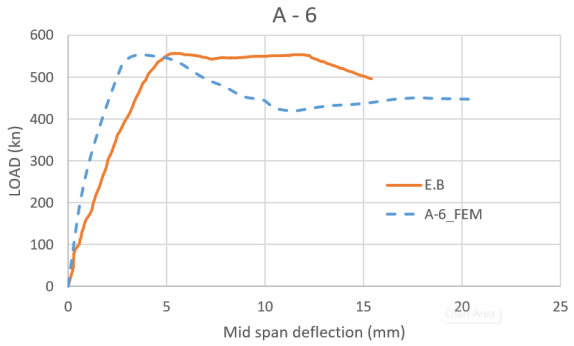
شكل (7) مقارنة العتبةA–3



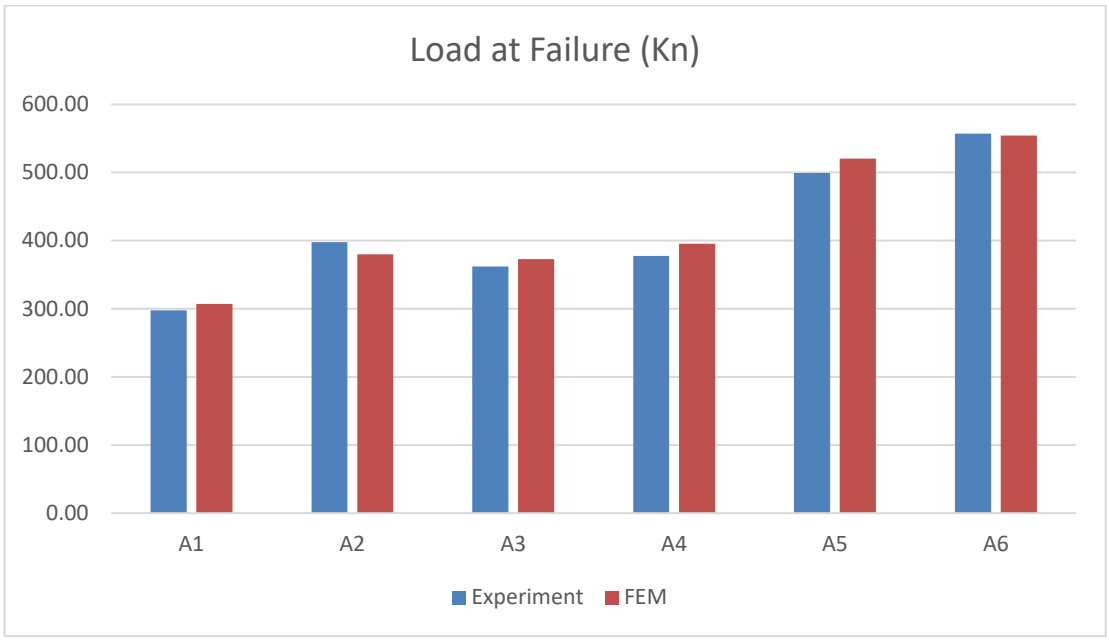
شكل (8) مقارنة العتبة A–4



شكل (9) مقارنة العتبة A–5



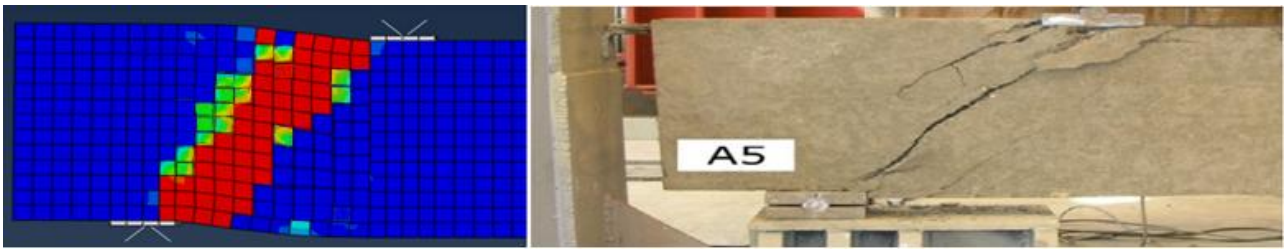
شكل (10) مقارنة العتبة A–6



شكل (11) مقاومة العتبة لأقصى قوة قص.

5. نوع الفشل.

عند تحميل العتبات الخرسانية تدريجيا الى حد الفشل، فإن الشروخ الأبرز الناشئة عند الانهيار كانت شروخا قطرية تنتشر بين نقاط تطبيق الحمل ونقاط الاسناد وتشبه انهيار العتبات المعملية في كل العينات. الشكل (12) يوضح نموذجا متكررا لهذه الشروخ كما هو موضح في العتبة A-5.

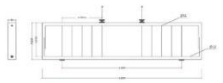
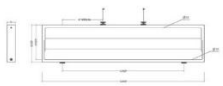
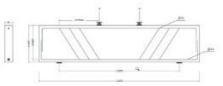
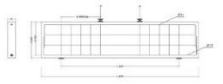
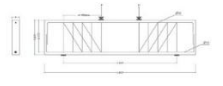
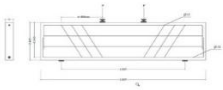
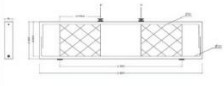


شكل (12) مقارنة بين الشروخ الحاصلة عند انهيار العتبة في المعمل وبين النمذجة للعتبة A-5

6. أنماط التسليح المقدمة في هذه الدراسة.

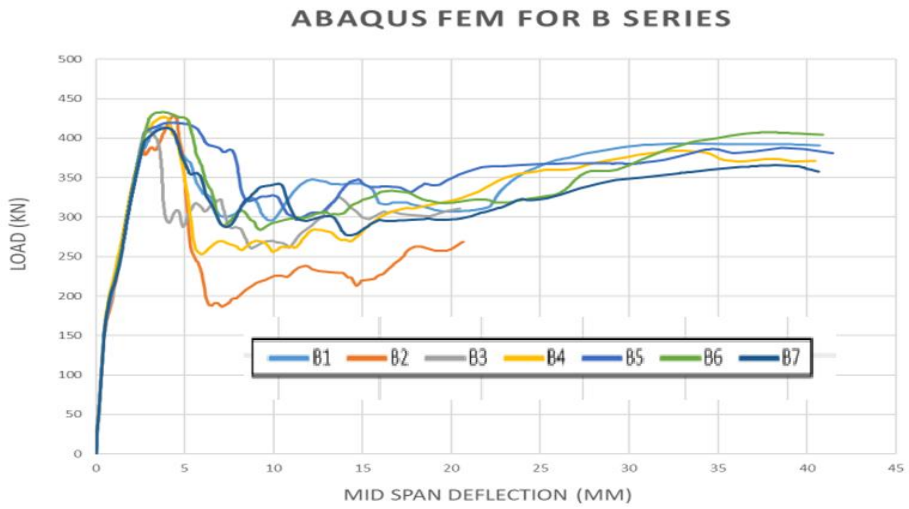
تم اختبار سبعة (7) أنماط مختلفة للتسليح العرضي لتدعيم منطقة القص من B1الى B7 واستنتاج أثرها على مقاومة القص، جدول (4) يوضح خواص ومواصفات العتبات المدروسة وشكل ونسب التسليح العرضي والطولي. تم تحميل هذه العتبات حتى الانهيار ومقارنة نتائجها. أعتمد في التحليل على توحيد نسب التسليح العرضي للوصول الى أي الأنماط أكثر فاعلية في مقاومة القص. كذلك تم توحيد مقاومة الانضغاط للخرسانة التي تساوي (Mpa 60) ومقاومة فولاذ التسليح الذي يساوي (Mpa 585).

جدول (4) خصائص وأنماط التسليح للعتبات المقترحة بالدراسة.

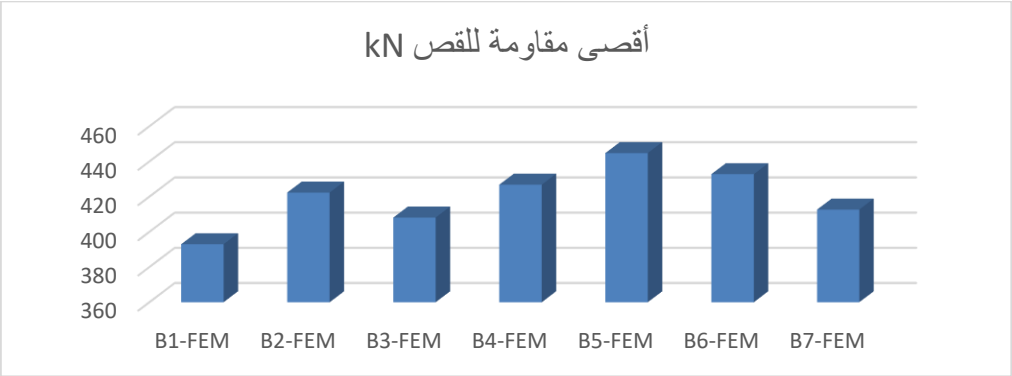
Beams	b mm	d mm	a/d	ρs(%)	ρv(%)	ρh(%)	ρi(%)	Shape
B1-FEM	80	370	1.1	1.32	0.188	/	/	
B2-FEM	80	370	1.1	1.32	/	0.170	/	
B3-FEM	80	370	1.1	1.32	/	/	0.129	
B4-FEM	80	370	1.1	1.32	0.188	0.170	/	
B5-FEM	80	370	1.1	1.32	0.188	/	0.129	
B6-FEM	80	370	1.1	1.32	/	0.170	0.129	
B7-FEM	80	370	1.1	1.32	/	/	0.311	

7. مناقشة النتائج.

من خلال المقارنة المبينة في الشكل(13) بين الازاحة ومقاومة القص والشكل(14) الذي يوضح أعلى مقاومة للعتبات المدروسة، تم ملاحظة بأن المقاومة القصوى لأفضل العينات كانت في العتبة B5 حيث أن التحسن في المقاومة زاد من 390 kN الى 450 kN تقريبا بنسبة زيادة في المقاومة حوالي 15 % عن باقي العتبات الاخرى , ويلي هذه العتبة في الأفضلية نموذج التسليح المائل فقط في العتبة B6 ثم B4 ذات التسليح الشبكي العمودي والقائم، بينما سلكت جميع العتبات نفس السلوك تقريبا بعد أن تعتبت أقصى مقاومة بحيث اتجه المنحنى الى الانحدار قليلا ثم الصعود ثانية معبرا عن تشابه في المطيلية (Ductility). ويبين الشكل (15) أفضل مقاومة بين جميع العتبات حيث سجل نمط التسليح (العمودي مع المائل) B5 أعلى مقاومة بينما أقل مقاومة كانت لنمط التسليح التقليدي في العتبةB1 .



شكل (13) مقارنة بين الازاحة وقيمة المقاومة القصوى للعتبات المدروسة



شكل(14) مقارنة لأقصى مقاومة قص للعتبات المدروسة.

8. الاستنتاج والتوصيات.

بناء على تحليل نتائج الاختبارات السابقة للعتبات الخرسانية العميقة لأنماط التسليح المختلفة يمكن تلخيص النتائج في التالي:

1- بإمكان برنامج ABAQUS رصد سلوك العتبات العميقة في جميع مراحل التحميل وبشكل جيد ووفقا للمعطيات الصحيحة الخاصة بنموذج الفشل اللدن CDP.

2- تتكون شروخ قطرية تمتد من نقاط تطبيق الحمل الى نقاط الاسناد سواء في حالة التجارب المعملية او نتائج النمذجة وهذا يدل على أن نوع الفشل كان بسبب بروز تأثير إجهادات القص على الاجهادات الاخرى وأن برنامج ABAQUS قادر على إلتقاط هذه الشروخ بشكل جيد.

3- تتحسن قدرة تحمل العتبات لمقاومة القص إذا تم استخدام نموذج تسليح مائل مع العمودي بنسبة زيادة 15% كما هو موضح في العتبة B5.

4- يمكن توسيع هذه الدراسة باختبار أنماط أخرى جديدة لتسليح القص.

5- يمكن دراسة تأثير التغير في مقاومة الخرسانة للانضغاط (صغيرة متوسطة كبيرة) مع التغير في أنماط تسليح القص.

9. المراجع

[1] Dassault Systèmes. (2022). (Abaqus 2022 Analysis User's Guide). Providence, RI: Dassault Systèmes Simulia Corp.

[2] Lubliner, J., Oliver, J., Oller, S., & Onate, E. (1989). (A plastic-damage model for concrete. International Journal of Solids and Structures) 25(3), 299–326.

[3] Harsha, Sri, and P. Polu Raju. (Shear strength of deep beams: a state of art.) 2019.

[4] Rao, G. Appa, K. Kunal, and R. Eligehausen. "Shear strength of RC deep beams." Proceedings of the 6th international conference on fracture mechanics of concrete and concrete structures. Vol. 2. Didcot, UK: Taylor and Francis, 2007.

[5] A. A. Standard Building code requirements for structural concrete, ACI 318-1 in American Concrete Institute, 2011.

[6] A. B. Shuraim, F. Aslam, R. Hussain, and A. Alhozaimy,) Analysis of punching shear in high strength RC panels-experiments, comparison with codes and FEM results) Compute

[7] Chetchotisak, Panatchai, et al. "New strut-and-tie-models for shear strength prediction and design of RC deep beams." *Computers and Concrete* 14.1 (2014): 19-40.

[8] Demir, Aydin, Hakan Ozturk, and Gokhan Dok. "3D numerical modeling of RC deep beam behavior by nonlinear finite element analysis." *Disaster Science and Engineering* 2.1 (2016): 13-18.

[9] Lu, Dechun, et al.) A cohesion-friction combined hardening plastic model of concrete with the non-orthogonal flow rule: Theory and numerical implementation) Construction and Building Materials 325 (2022): 126586. Concrete, vol. 17, no. 6, pp. 739–760, 2016.

[10] A. Arabzadeh, R. Aghayari, and A. R. Rahai,) Investigation of experimental and analytical shear strength of reinforced concrete deep beams) 2011.

أثر البيئة الصحراوية على المتانة والسلامة الإنشائية للهياكل الخرسانية المسلحة

[1]*زينب م. العريضة ، [2]عيد أ. عبد الرازق ، [3]محمود أ.ت. خطاب
1 طالب دراسات عليا – قسم الهندسة المدنية – جامعة عمر المختار
2 أستاذ مشارك – قسم الهندسة المدنية – جامعة عمر المختار

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم أثر الظروف البيئية الصحراوية القاسية على سلامة الهياكل الخرسانية المسلحة، مع التركيز على آليات التشوه والفشل الناتجة عن الأحمال الزلزالية. تم استخدام التحليل الاستاتيكي غير الخطي (Pushover Analysis) لمحاكاة سلوك الإطارات الإنشائية، وفق إرشادات FEMA-356 وATC-40. تم تطوير نماذج في برنامج ETABS20 ، تتضمن أربع حالات لتباعد التسليح العرضي (70، 100، 150، 200 مم). أظهرت النتائج أن تقليل التباعد يحسن سعة الإزاحة بنسبة كبيرة، ويقلل من التشوهات الحرجة في المفاصل البلاستيكية، خاصة بالأعمدة القاعدية. تم تسجيل تكوّن مفاصل بلاستيكية أولية عند نهايات الكمرات، وتفاوتت شدة الفشل حسب نمط توزيع التسليح. توصي الدراسة بضرورة تعديل خصائص المفاصل في نمذجة المباني القديمة، ودمج ظروف البيئة الصحراوية في التصميم المقاوم للزلازل.

الكلمات الدالة: *البيئة الصحراوية، الدفع الزلزالي، المفاصل البلاستيكية، التسليح العرضي، التحليل غير الخطي.*

Abstract

This study evaluates the impact of harsh desert environmental conditions on the structural safety of reinforced concrete frames under seismic actions. Nonlinear static pushover analysis was used to model deformation and failure mechanisms, guided by FEMA-356 and ATC-40 standards. Numerical simulations were carried out in ETABS20 with four variations in transverse reinforcement spacing (70, 100, 150, 200 mm). The findings show that reduced spacing significantly improves displacement capacity, especially in critical plastic hinge zones at column bases. Initial hinges appeared at beam ends, and failure patterns differed according to reinforcement distribution. The study recommends modifying hinge properties for older structures and integrating desert-specific environmental factors into seismic design strategies.

Keywords: *Desert environment, Pushover analysis, Plastic hinges, Transverse reinforcement, Nonlinear analysis*

1. المقدمة:

نظرًا لأن السلوك غير المرن متوقع في معظم الهياكل الخرسانية المسلحة (RC) المعرضة للظروف البيئية الصحراوية القاسية، بما في ذلك الزلازل والتعرض طويل الأمد للتقلبات المناخية الحادة، فإن تطبيق التحليل غير الخطي أصبح ضرورة

ملحة لتقييم الأداء الحقيقي لهذه المنشآت. فقد أظهر Inel et al. (2018) [1] أن تحليل الدفع الزلزالي (Pushover Analysis) يُعد أداة فعالة لتقدير استجابة المباني منخفضة ومتوسطة الارتفاع، خصوصًا في حالات الزلازل المعتدلة.

الهياكل الخرسانية في البيئة الصحراوية تواجه تحديات إضافية مثل التمدد والانكماش الحراري، العواصف الرملية، وتلف المواد الناتج عن الرطوبة والجفاف المتكرر. وقد ناقش Chang et al. (2025) [2] أثر التغيرات الحرارية في البيئة الصحراوية على سلوك الأعمدة الخرسانية، مشيرين إلى أن هذه الظروف تستلزم تقليل التباعد العرضي لزيادة مقاومة القص والانبعاج. كما أكد Tripathi & Dhakal (2021) [3] أن تصميم التسليح العرضي يضبط قدرة التشوه في مناطق المفاصل البلاستيكية، ما يجعله عاملًا حاسمًا في مقاومة الأحمال الزلزالية.

تعتمد فعالية تحليل الدفع الزلزالي على دقة النمذجة، التي يجب أن تُراعي السلوك غير الخطي للمكونات الإنشائية. وتوفر إرشادات FEMA-356 [4] و ATC-40 [5] أسسًا معيارية لتحديد خصائص التشوه والقدرة، إلا أن بساطتها، رغم كونها ميزة عملية، قد لا تعكس بشكل كاف التأثيرات البيئية المحلية. وقد أشار Guettala et al. (2025) [6] إلى ضرورة استخدام منهجيات دفع زلزالي متقدمة لتحسين دقة التنبؤ، خصوصًا في الهياكل المتدهورة بيئيًا.

في هذا السياق، تسلط دراسات مثل Bashirzade et al. (2025) [7] الضوء على أهمية نمذجة المفصل البلاستيكي بدقة، حيث يمكن أن يؤدي اختيار نموذج غير ملائم لطول المفصل أو انحنائه إلى نتائج غير دقيقة في تقييم القدرة التشوهية. كما بيّن Kyei & Braimah (2017) [8] أن التباعد العرضي يؤثر جوهريًا على مقاومة الأعمدة للأحمال الديناميكية، مما يجعل بحثك ذا صلة مباشرة بهذه النقاط.

يبرز بحث قوته الله وآخرون (2025) [9] أهمية تعديل نماذج المفاصل البلاستيكية لتتماشى مع الخصائص البيئية والمناخية في شمال إفريقيا، وهو ما يدعم منهجيتك في توطين النماذج العالمية لتناسب الإطار المحلي الليبي.

2. وصف الهياكل:

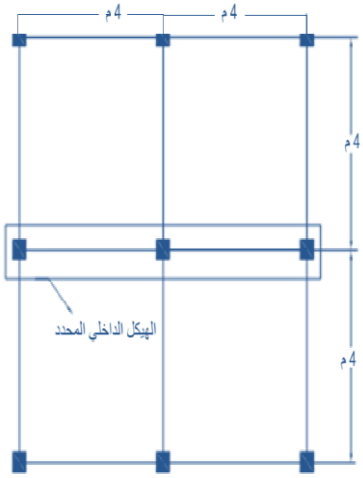
تأخذ هذه الدراسة بعين الاعتبار هيكلًا خرسانياً مسلحًا بإطار واحد لتمثيل المباني الخرسانية المسلحة متوسطة الارتفاع في البيئات الصحراوية. يتكون الهيكل المختار من إطار شعاعي–عمودي بدون جدران قص، ويقع في المنطقة الصحراوية في ليبيا .تم تصميم المبنى المكون من خمسة طوابق وفقًا لمواصفات ACI 318 [10]، مع الأخذ في الاعتبار ظروف التحميل الجاذبي والزلازلي. تشمل معايير التصميم الزلزالي تسارعًا أرضيًا قدره 0.4 من قيمة الجاذبية الأرضية وتصنيفًا للتربة من النوع B.

تم افتراض خصائص المواد المستخدمة في التحليل بحيث يكون مقاومة الضغط للخرسانة 25 ميجا باسكال، بينما تبلغ مقاومة الخضوع للتسليح الطولي والعرضي 400 ميجا باسكال. كما تم اعتماد أربعة تباعدات مختلفة للتسليح العرضي في المناطق المعرضة لتشكّل المفاصل البلاستيكية، وهي (70 مم، 100 مم، 150 مم، 200 مم)، مما يعكس الممارسات الإنشائية الشائعة.

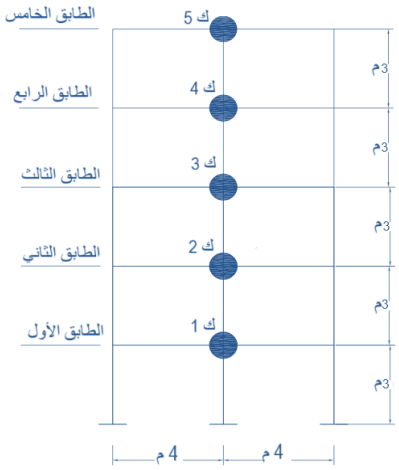
يحتوي المبنى المكون من خمسة طوابق على مخطط مربع بقياس (8 م × 8 م)، مع ارتفاع طابق قياسي يبلغ 3 م. يمثل الإطار الداخلي، كما هو موضح في (الشكل 1)، نموذجًا ثنائي الأبعاد للهيكل. تم اعتماد أبعاد الأعمدة والجوائز بما يتماشى مع النسب الشائعة في المباني الخرسانية المسلحة متوسطة الارتفاع. يبلغ الارتفاع الكلي للمبني 15 م ، كما هو موضح في (الشكل 2)، بينما يوضح (الشكل 3) تفاصيل أبعاد الأعمدة وتوزيع التسليح الطولي.

تبلغ أبعاد جميع الجوائز داخل الهيكل (400 مم × 500 مم)، وتم تحديد كميات التسليح العلوي والسفلي بالسنتيمتر المربع في المخطط المرفوع .كما أن جميع الأعمدة لها أبعاد (400 مم × 400 مم) (الشكل 4). تم اعتماد أحمال ثابتة ومتحركة على الإطار بقيم (2كيلو نيوتن/م² و4 كيلو نيوتن/م²) على التوالي، مع مساهمة الحمل المتحرك بنسبة 25%.

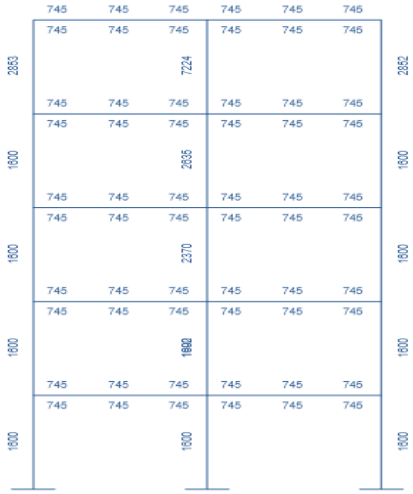
تم تسجيل الفترة الزمنية للأسلوب الأساسي للاهتزاز للهيكل ب مقدار 0.622 ثانية، وتم تلخيص الخصائص النمطية لأول ثلاثة أنماط في (الجدول 1 والجدول 2) .كما تم تطبيع أشكال الاهتزاز إلى قيمة 1 عند مستوى السقف.



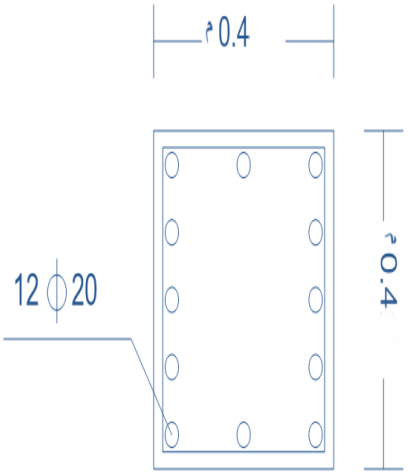
شكل رقم (1): مسقط افقي للمبني المكون من 5 طوابق



شكل رقم (2): تكوين إطار الخرسانة المسلحة المكون من 5 طوابق



شكل رقم (3): كمية التسليح الطولي (مم²) في المبنى المكون من 5 طوابق



شكل رقم (4): أبعاد العمود بالمتر و التسليح الطولي .

جدول (1): سعة الشكل النمطي المعياري لإطار مكون من 5 طوابق

المستوي	النمط 1 (ux) مم	النمط 3 (ux) مم	النمط 4 (ux) مم
الطابق الخامس	−1.000	−1.000	0.918
الطابق الرابع	−0.900	−0.908	0.245
الطابق الثالث	−0.720	−0.742	−0.612
الطابق الثاني	−0.480	−0.517	−1.000
الطابق الاول	−0.220	−0.250	−0.633

جدول (2): الخصائص الديناميكية للإطار الخرساني المسلح المكون من 5 طوابق

الخاصية	النمط 1	النمط 3	النمط 4
معامل المشاركة	−1.273	−1.263	−0.404
نسبة الكتلة المشاركة	60%	62%	6%
الفترة الزمنية (بالثانية)	0.622	0.49	0.204

3. نهج النموذجة:

تم إجراء التحليلات باستخدام برنامج ETABS 20 (الإصدار غير الخطي) [11]، من أكثر البرمجيات استخدامًا في نمذجة وتحليل الهياكل الإنشائية. تم إنشاء نموذج إنشائي ثنائي الأبعاد يُمثل العناصر الرئيسية للمبنى، حيث تم اعتماد النمذجة غير الخطية لتمثيل الأعمدة والكمرات باستخدام مفاصل بلاستيكية في أطراف العناصر، وذلك وفقًا لإرشادات FEMA–356 و ATC–40 ، كما هو موضح في الشكلين (5) و(6) .

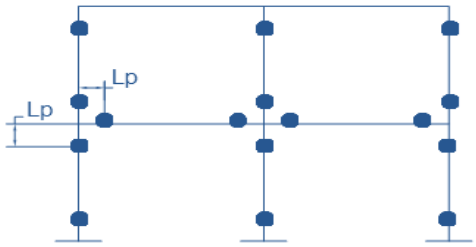
تُحدد خصائص هذه المفاصل بخمس نقاط رئيسية (A–E) تختلف تبعًا لنوع العنصر، وخواص المواد، وتفاصيل التسليح، وكذلك تأثير الأحمال المحورية. يعتمد البرنامج على مفاصل بلاستيكية افتراضية تُضاف تلقائيًا أثناء النمذجة؛ حيث يُوصى باستخدام مفصل من نوع PMM للأعمدة ومفصل من نوع M3 للكمرات. يُسهم ذلك في تسريع عملية النمذجة، دون الحاجة لإجراء حسابات منفردة لكل عنصر. ولضمان دقة التمثيل، تم إجراء تحليل عزم–انحناء لكل عنصر باستخدام نموذج Kent and Parkللخرسانة المحصورة [12]، ونموذج Mander للفولاذ [13]، مع مراعاة تأثير تصلب الانفعال.

نظرًا لأن مطاوعة التشوه لم تكن محورًا أساسيًا في هذه الدراسة، فقد تم تقدير نقطة الخضوع وفق صلابة ابتدائية تقريبية قدرها EI 0.5 للكمرات و EI 0.70 للأعمدة، استنادًا إلى توصيات ATC–40. تم نمذجة القوى المحورية في الأعمدة كأحمال ثابتة تُعادل الوزن الذاتي مضافًا إليه 25% من الأحمال الحية، حسب متطلبات CSI318 ، بينما أُهملت في الكمرات.أما بالنسبة لطول المفصل البلاستيكي، فقد تم تحديده باستخدام النموذج المبسط المقترح من Park and Paulay [14] والمعتمد ضمن أدلة مثل ATC–32 [15]، وفق المعادلة التالية:

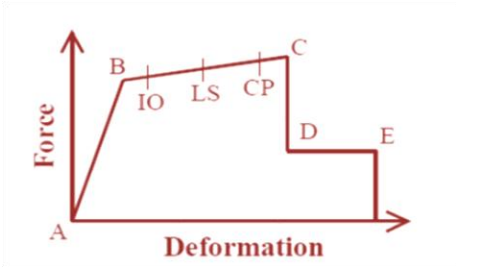
$$Lp = 0.5H \quad \dots \quad (1)$$

حيث Lp هو طول المفصل البلاستيكي و Hعمق المقطع الإنشائي.

بعد تحديد سعة الدوران النهائية لكل عنصر، تم تصنيف القبول الإنشائي إلى ثلاث مستويات رئيسية: (IO الإشغال الفوري)، (LS السلامة الهيكلية)، و (CP منع الانهيار)، وفقًا للنسب التالية: 10%، 60%، و90 %من سعة تشوه المفصل البلاستيكي.كما هو موضح في الشكل (6)



شكل رقم (5): مواقع المفصلات البلاستيكية في الاعمدة والكمرات



شكل رقم (6): العلاقة بين القوة والتشوه لمفصل بلاستيكي نموذجي

4. تحليل استقرارية الهياكل الخرسانية للاحمال العرضية

تمت دراسة أربع حالات تحليلية مميزة للإطار الإنشائي، وذلك من خلال تعديل خصائص المفاصل البلاستيكية المعرفة يدويًا ضمن برنامج ETABS 20، وتغيير تباعد التسليح العرضي s لكل حالة على النحو التالي: الحالات (أ ، ب ، ج ، د) (70 مم ، 100 مم ، 150 مم ، 200 مم) علي التوالي .

تضمن التحليل تطبيق الأحمال الجاذبية بالتزامن مع نمط تحميل جانبي محدد مسبقًا، حيث تم الحفاظ على الأحمال الرأسية طوال مرحلة التحميل الجانبي. وقد نُفّذ التحليل غير الخطي بأسلوب تدريجي خطوة بخطوة، مع توزيع القوى الأفقية وفقًا لكتلة كل طابق وشكل النمط الأول للاستجابة الديناميكية عند كل مستوى. ولم يشمل التحليل تأثيرات P–Delta، وذلك بهدف التركيز على سلوك التشوهات الناتج عن المفاصل البلاستيكية.

رغم اعتماد الشكل النمطي الأول في هذه الدراسة، يظل بالإمكان استخدام توزيعات أخرى، مثل الشكل المثلثي المقلوب أو المنتظم، حسب هدف التحليل. وقد تم التعبير عن استجابة الهيكل عبر منحنى السعة، الذي يصف العلاقة بين القص القاعدي والإزاحة السطحية، ويُعد أداة فعّالة لتفسير سلوك المنشآت تحت تأثير الزلازل، خاصة عند استخدام إزاحة السقف كمؤشر رئيسي للأداء الهيكلي، نظرًا لانتشاره في التطبيقات العملية. سيتم استعراض نتائج تحليل الدفع الزلزالي لاحقًا، بما في ذلك خصائص المفاصل البلاستيكية وآليات التكوين، مع تفسير منحنيات الأداء الناتجة ضمن الأقسام التالية من الورقة.

4.1 – منحنى السعة:

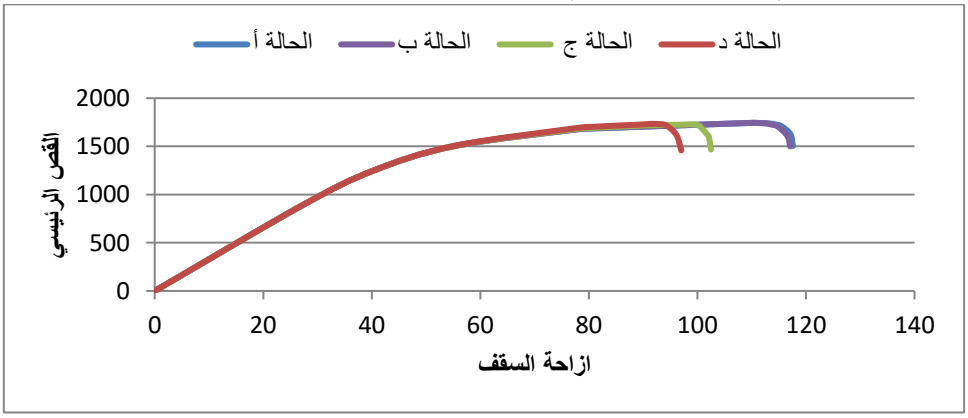
أظهر تحليل الدفع الزلزالي في هذه الدراسة عدم تسجيل أي حالات فشل بالقص ضمن جميع الحالات المدروسة، وهو ما يُعزى أساسًا إلى مقاومة الضغط المفترضة للخرسانة، التي أظهرت كفاءة ملحوظة في التخفيف من احتمالية هذا النوع من الفشل حتى عند تباعد التسليح العرضي بمقدار 200 مم. كانت قدرة عناصر الهيكل على مقاومة القوى القصية المحرضة كافية، ما أدى إلى سلوك إنشائي يغلب عليه تأثير العزم .(Flexure–dominated behaviour) وتجدر الإشارة إلى أن حالات الفشل بالقص تُرصد عادة في المنشآت ذات مقاومة ضغط منخفضة للخرسانة، وتباعد أكبر للتسليح العرضي، كما لاحظت دراسات سابقة في نماذج الهياكل المتضررة، خصوصًا في البيئات الصحراوية، حيث تؤدي عوامل الحرارة والجفاف والتآكل إلى تدهور خصائص الخرسانة بمرور الزمن.

تم عرض منحنيات السعة الناتجة عن تحليل الدفع الزلزالي في الشكل (7)، لتوضيح آثار الاختلاف في طول المفصل البلاستيكي وتباعد التسليح العرضي. وبالرغم من التباين في الإعدادات، حافظت جميع الإطارات المدروسة على اتجاهات عامة متقاربة في منحنيات السعة، حيث لم تُظهر قدرة القص القاعدية حساسية كبيرة لتعريفات خصائص المفصل البلاستيكي.

فقد لوحظ أن الفروقات في مقاومة القص القاعدي عبر الحالات الأربع لا تتجاوز 5%، وهو فرق يُعزى أساسًا إلى اختلاف مواقع المفاصل البلاستيكية داخل العناصر الإنشائية.

من جهة أخرى، فإن تباعد التسليح العرضي أثّر بشكل واضح على سعة الإزاحة للإطارات، حيث لوحظ أن تقليل التباعد يؤدي إلى تحسن ملحوظ في قدرة الإطار على التشوه. على سبيل المثال، خفض التباعد من 200 مم إلى 70 مم أدى إلى زيادة سعة الإزاحة بنسبة تقارب 20%، في حين أن تقليص التباعد من 200 مم إلى 150 مم أسفر عن تحسين أقل، بلغ نحو 9.6%. وتُعزى هذه الفروقات إلى تأثير الاحتكاك والتقييد الناتج عن التقارب بين حلقات التسليح، مما يحدّ من انتشار الانبعاج ويزيد من مطاوعة العنصر.

تُعتبر الخصائص المُعتمدة للمفاصل البلاستيكية في دليلَي FEMA-356 و ATC-40 معيارًا شائعًا في تصميم وتحليل الهياكل الخرسانية المسلحة، كما يوفر برنامج ETABS 20 إعدادات افتراضية لهذه المفاصل تُستخدم على نطاق واسع في التطبيقات الهندسية. وبينما يُمكن للمستخدم إدخال خصائص خاصة بناءً على ظروف المشروع، فإن الإعدادات الافتراضية للبرنامج غالبًا ما تكون الخيار الأكثر اعتمادًا. وتشير نتائج التحليل في هذه الدراسة إلى أن سعة الإزاحة في حالتي (أ) و(ب) كانت أعلى بشكل واضح مقارنةً بحالة (د)، وهو ما يُعزز أهمية التباعد العرضي كعامل مؤثر في أداء المفصل البلاستيكي وسلوك الإطار الكلي، كما هو موضح في الشكل (7).



شكل رقم (7): منحني السعه للهيكل ذو خمس طوابق للحالات الأربعة المختلفه من حديد التسليح

4.2- آلية المفاصل البلاستيكية

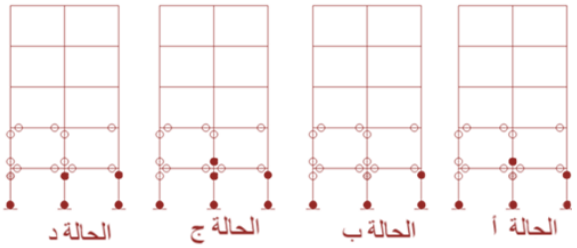
أجريت الدراسة تقييمًا دقيقًا لأنماط تشكل المفاصل البلاستيكية في الإطارات الإنشائية عند مستويات مختلفة من إزاحة السقف، بهدف فهم آليات الفشل المحلي والعالمي، بما في ذلك سلوك العمود الضعيف–الكمره القوية، وظاهرة الطابق الطري، وهما عاملان جوهريان في تحليل سلامة المنشآت. وقد تم التركيز على نقاط إجهاد الخضوع العالمي، والتي تُعد لحظة بداية التلين على منحنى السعة، لتحديد مواقع نشوء المفاصل البلاستيكية بشكل دقيق. ونظرًا لتشابه منحنيات السعة الناتجة عن تباعدات مختلفة للتسليح العرضي، تمت مقارنة أنماط التشكل عبر جميع الحالات الإنشائية المدروسة.

شملت المقارنة أربع تباعدات للتسليح العرضي وهي: 70 مم، 100 مم، 150 مم، و200 مم، كما تم تصوير هذه التشكيلات في الشكل (8)، حيث تم عرض الحالات أ، ب، ج، ود عند مستويات الإزاحة النهائية. تُظهر النتائج أن نمط تشكل المفاصل البلاستيكية عند مرحلة الخضوع يظل نسبيًا ثابتًا عبر الحالات المختلفة، حيث تبدأ المفاصل في الظهور عند نهايات الكمرات في الطوابق السفلية، ثم تنتقل تدريجيًا إلى الطوابق العليا، لتنتهي بخضوع في الأعمدة القاعدية. ورغم هذا التماثل في مواقع

التشكل، تم رصد تلف إنشائي ملحوظ في الحالة (ج)، والذي تركز في الأعمدة القاعدية، ما يشير إلى ضعف إنشائي محتمل في تلك المنطقة الحيوية.

تم تلخيص عدد المفاصل البلاستيكية ومستويات التلف الناتجة في الجدول (4)، حيث لوحظ في الحالة (ب) أن الأعمدة الوسطى أظهرت قدرة أكبر على المقاومة مقارنة بالأعمدة الخارجية، مما ساهم في تعزيز الاستقرار العام للهيكل.

من منظور تصميمي، تُشير النتائج إلى أن تقليل تباعد التسليح العرضي، خاصة إلى 70 مم أو 100 مم، يساهم في رفع أداء الهيكل في مواجهة الأحمال الزلزالية، ويؤدي إلى تحسن كبير في قدرة التشكيل دون التأثير سلبًا على السلامة الإنشائية. ولهذا، فإن تقليص التباعد العرضي، إلى جانب إضافة تعزيزات موضعية، يُعد خيارًا فعالًا لتحقيق كفاءة إنشائية أعلى وتقليل فرص حدوث تشوهات أو انهيارات غير مرغوبة.



مستوي الضرر	الخضوع	قريب من الانهيار	انهيار
الرموز	○	⊖	●

شكل رقم (8): أنماط لمفاصل البلاستيكيه للهيكل في الحالة النهائية .

جدول (4): ملخص تشكّل المفاصل البلاستيكية ضمن تحليل الدفع الزلزالي للحالات المختلف

تباعد التسليح العرضي مم	A–B	B–C	C–D	D–E	>E	A–IO	IO–LS	LS–CP	> CP	العدد الكلي
70 مم	161	39	10	0	0	191	14	0	5	210
100 مم	161	39	10	0	0	192	14	0	4	210
150 مم	161	38	11	0	0	191	13	0	6	210
200 مم	161	37	12	0	0	192	9	4	5	210

5. مناقشة النتائج:

أُجري تحليل غير خطي لإطارات داخلية في مبنى خرساني مسلح مكوّن من خمسة طوابق، باستخدام نموذج اللدونة المجمعة عبر مفاصل بلاستيكية في أطراف الأعمدة والكمرات، بهدف تقييم سلوك الإطار الزلزالي عند تغيّر خصائص المفاصل.

- أظهرت النتائج أن سعة الإزاحة ترتبط مباشرة بتباعد التسليح العرضي في مناطق المفصل البلاستيكي. تقليص التباعد من 200 مم إلى 70 أو 100 مم عزّز السعة بنسبة تصل إلى 20%، بينما كان التحسن أقل عند 150 مم (نحو 9.6%).

- تكوَّنَت المفاصل البلاستيكية عند نقطة الخضوع بشكل متسق في حالتي (أ) و(ب)، إلا أن المرحلة النهائية كشفت اختلافًا في توزيع الضرر، حيث أظهرت الحالة (ج) تلفًا ملحوظًا في الأعمدة الخارجية نتيجة تفوق الأعمدة الوسطى من حيث الصلابة.
- تشير منحنيات السعة الناتجة عن المفاصل الافتراضية في برامج مثل ETABS 20 إلى توافق جيد مع الهياكل المصممة وفق المعايير الحديثة FEMA-356 و ATC-40 ، لكنها قد تُبالغ في تقدير سعة الإزاحة للهياكل القديمة المصممة بأنظمة سابقة.
- لتفادي نتائج غير دقيقة، يُوصى بتعديل خصائص المفاصل الافتراضية أو استخدام مفاصل مخصصة مبنية على منحنيات العزم–الانحناء، خاصة عند تحليل المنشآت القديمة أو منخفضة الصلابة الإنشائية.

6. الاستنتاج والتوصيات :

- تقلل زيادة التسليح العرضي في المفاصل البلاستيكية من التشوهات وتزيد سعة الإزاحة . لذلك يُنصح بتقليل تباعد التسليح العرضي إلى أقل من 100 مم في المناطق الحرجة لرفع كفاءة الأداء الزلزالي.
- تظهر أنماط التشكّل للمفاصل البلاستيكية ثباتًا عند مرحلة الخضوع، لكن توزيع الضرر النهائي يختلف باختلاف توزيع الصلابة . وبالتالي فإن تقييم نمط المفاصل البلاستيكية عبر مراحل الإزاحة ضروري لتحديد نقاط الضعف وتفادي الطابق الطري أو سلوك العمود الضعيف.
- استخدام المفاصل الافتراضية في البرامج مثل ETABS 20 مناسب للهياكل الحديثة، لكنه غير دقيق للمباني القديمة دون تعديل خصائصها. نوصي عند تحليل المباني القديمة، ان يتم تعديل خصائص المفاصل الافتراضية أو استخدام نماذج مخصصة تعتمد على منحنيات العزم–الانحناء.
- يُفضّل أخذ تأثير البيئة الصحراوية بعين الاعتبار في نمذجة خصائص الخرسانة وتوزيع الضرر.

شكر وتقدير:

أتقدم بجزيل الشكر والتقدير لجميع المساهمين الذين دعموا هذه الدراسة حول أنماط المفاصل البلاستيكية في الإطارات الإنشائية. شكر خاص للباحثين والمهندسين الذين ساهمت رؤاهم في تعزيز فهم تأثير تباعد التسليح وآليات الفشل.

7. قائمة المراجع:

[1] Inel, M., Özmen, H. B., & Bilgin, H. (2018). Comparative seismic performance assessment of RC buildings with different heights using nonlinear static and dynamic analyses. Engineering Structures, 160, 295–307. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.01.065

[2] Chang, R., Altay, S., & Al-Dulaimy, R. (2025). Thermal degradation of reinforced concrete columns in arid climates: Implications for transverse reinforcement. Desert Engineering Journal, 7(1), 45–56.

[3] Tripathi, R., & Dhakal, R. P. (2021). Design considerations for transverse reinforcement in RC walls under seismic loading. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 50(9), 2085–2103. https://doi.org/10.1002/eqe.3405

[4] Federal Emergency Management Agency. (2000). Prestandard and commentary for seismic rehabilitation of buildings (FEMA-356). Washington, DC.

[5] Applied Technology Council. (1996). Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings (ATC-40, vols. 1 and 2). California.

[6] Guettala, A., Benguediab, M., & Makhloufi, Z. (2025). Recent trends in pushover analysis methodology for reinforced concrete frames under desert conditions. Journal of Structural Engineering and Environmental Studies, 43(2), 97-110.

[7] Bashirzade, M., Elgohary, M., & Sharifi, V. (2025). Plastic hinge modeling in RC elements using DIANA FEA: Influence of material and confinement. Structural Analysis and Simulation Journal, 12(3), 221-234.

[8] Kyei, Y., & Braimah, A. (2017). Influence of transverse reinforcement spacing on RC column behavior under blast and seismic loads. Journal of Performance of Constructed Facilities, 31(5), 04017084. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001061

[9] قوته الله، أ.، بن ساسي، م.، وعبد الكريم، ص. (2025). تطوير نموذج الدفع الزلزالي للمنشآت الخرسانية في المناخات الصحراوية: حالة الجزائر. المجلة العربية للهندسة المدنية، 19(1)، 22-36.

[10] American Concrete Institute. (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318M-14).

[11] Verma, G. (2021). ETABS V20 Black Book (4th ed.). Cadcamcae Works.

[12] Scott, B. D., Park, R., & Priestley, M. J. N. (1982). Stress–strain behavior of concrete confined by overlapping hoops at low and high strain rates. ACI Structural Journal, 76(1), 13–27.

[13] Mander, J. B. (1984). Seismic design of bridge piers (Research report 84-2). Department of Civil Engineering, University of Canterbury.

[14] Park, R., & Paulay, T. (1975). Reinforced concrete structures. John Wiley & Sons.

[15] Applied Technology Council. (1996). Improved seismic design criteria for California bridges: Provisional recommendations (ATC-32). Redwood City, CA.

[16] Priestley, M. J. N., Seible, F., & Calvi, G. M. S. (1996). Seismic design and retrofit of bridges. John Wiley & Sons.

[17] Fardis, M. N., & Biskinis, D. E. (2003). Deformation of RC members, as controlled by flexure or shear. In Proceedings of the international symposium honouring Shunsuke Otani on performance based engineering for earthquake resistant reinforced concrete structures.

التوجه نحو الاستدامة في مجال البناء والتشييد بالبيئة الصحراوية

* ا. غزالة محمد عبد القادر هارون [1]، ا.د/ منصور علي عليوة الزوي [2]
[1] قسم العمارة، الأكاديمية الليبية للدراسات العليا، طرابلس، ليبيا
[2] قسم العمارة، الأكاديمية الليبية للدراسات العليا، طرابلس، ليبيا
*ghazalah.haroon87@Gmail.com
Mansour.ealiwa@Gmail.com

الملخص

تُعتبر مواد البناء الخضراء جزءًا أساسيًا من جهود الاستدامة في قطاع البناء والتشييد، حيث تتطلب البيئات الصحراوية استخدام مواد تتكيف مع الظروف المناخية القاسية، مثل درجات الحرارة العالية وقلة المياه. تهدف هذه المواد إلى تقليل استهلاك الطاقة والحفاظ على الموارد الطبيعية. توجد العديد من مواد البناء الخضراء التي تُعتبر أفضل من الخرسانة في عمليات البناء، مع العلم أن الخرسانة تُستخدم بشكل أساسي في إنشاء مجموعة متنوعة من المنشآت مثل الكباري والمباني الإدارية والسكنية. يؤدي استخدام الخرسانة إلى انبعاث العديد من الغازات السامة، مثل غاز ثاني أكسيد الكربون، التي تضر بالبيئة سنويًا وتساهم في التغيرات المناخية. لذا هناك حاجة ماسة للبحث عن مواد بناء جديدة لا تؤدي إلى تلوث الهواء وتكون بديلة للخرسانة، مع الأقل تأثير سلبي على البيئة المحيطة. يُعرف مفهوم المباني الخضراء بأنه المبنى الذي تم تصميمه أو بناؤه أو تشغيله أو صيانته أو إعادة استخدامه بهدف حماية صحة قاطنيه وتحسين إنتاجية مستخدميه، واستخدام الموارد الطبيعية بحكمة، وتقليل التأثير البيئي. بمعنى آخر، تتضمن عملية البناء الأخضر الاعتبارات البيئية في كل مرحلة من مراحل تشييد المبنى، حيث تركز على مراحل التصميم والبناء والتشغيل والصيانة، وتراعي التصميم الكمي وكفاءة الاستخدام للطاقة والمياه والموارد، وجودة البيئة الداخلية، وصيانة المالك للمبنى، والتأثير العام للمبنى على البيئة، لذا يجب أن يبدأ تصميم المباني الخضراء باختيار واستخدام مواد صديقة للبيئة ذات ميزات أفضل من مواد البناء التقليدية. وتكمن أهمية البحث في الحاجة الملحة اليوم للبحث عن مواد بناء خضراء مستدامة، والتي تُعتبر أفضل من الخرسانة في عمليات البناء ولديها أقل تأثير سلبي على البيئة المحيطة. إن استخدام مواد بناء خضراء في البيئة الصحراوية يُعد خطوة نحو تحقيق الاستدامة والحفاظ على البيئة، مما يسهم في تحسين جودة الحياة في هذه المناطق.

الكلمات المفتاحية: *الاستدامة – مواد البناء الخضراء – مباني صحراوية مستدامة – المباني البيئية.*

Abstract

Green building materials are an essential part of sustainability efforts in the construction sector, as desert environments require the use of materials that are adapted to harsh climatic conditions, such as high temperatures and water scarcity. These materials aim to reduce energy consumption and conserve natural resources.

There are several green building materials that are considered better than concrete in construction processes, given that concrete is primarily used in the construction of a variety of structures such as bridges, administrative buildings, and residential buildings. The use of

concrete results in the emission of numerous toxic gases, such as carbon dioxide, which harm the environment annually and contribute to climate change. Therefore, there is an urgent need to search for new building materials that do not cause air pollution and are alternatives to concrete, with minimal negative impact on the surrounding environment.

A green building is defined as a building that is designed, constructed, operated, maintained, or reused with the goal of protecting the health of its occupants, improving the productivity of its users, using natural resources wisely, and minimizing environmental impact. In other words, the green building process incorporates environmental considerations into every phase of building construction, focusing on design, construction, operation, and maintenance. It also considers quantitative design and energy, water, and resource efficiency, indoor environmental quality, owner maintenance, and the building's overall impact on the environment. Therefore, green building design must begin with the selection and use of environmentally friendly materials with superior properties to traditional building materials.

The importance of this research lies in the urgent need today to find sustainable green building materials that are superior to concrete in construction processes and have less negative impact on the surrounding environment.

The use of green building materials in desert environments is a step toward achieving sustainability and environmental conservation, contributing to improving the quality of life in these areas.

Keywords: *sustainability – Green Building materials – Sustainable Desert Buildings – Environmental buildings.*

---

1. المقدمة:

تواجه المجتمعات الحديثة تحديات بيئية واقتصادية متزايدة تدفع نحو إعادة النظر في أساليب البناء والتشييد التقليدية، خاصة في المناطق ذات الخصوصية المناخية مثل البيئات الصحراوية، حيث تؤدي درجات الحرارة المرتفعة، وشحّ الموارد المائية، وضعف الغطاء النباتي إلى ضغوط مضاعفة على الأبنية والبنية التحتية .في هذا السياق، برز مفهوم الاستدامة في البناء بوصفه توجهًا استراتيجيًا يهدف إلى تحقيق التوازن بين متطلبات التنمية العمرانية والحفاظ على البيئة من جهة، وتخفيض التكاليف التشغيلية وتعزيز جودة الحياة من جهة أخرى.

وعلى الرغم من التقدم المحرز في تبني بعض مفاهيم البناء الأخضر في عدد من البلدان، إلا أن تطبيق هذه المفاهيم في البيئات الصحراوية يظل محدودًا، ما يطرح تساؤلات جدية حول أسباب ذلك، والإمكانات الكامنة لتكييف تقنيات البناء المستدام

مع الخصائص المناخية المحلية .يقتصر البحث على مجال البناء والتشييد من حيث التصميم، المواد، والتقنيات المستخدمة، ومدى توافقها مع معايير الاستدامة البيئية.

1.1.الهدف الرئيسي من البحث:

دراسة دور استخدام مواد البناء الصديقة للبيئة في تحقيق مبادئ الاستدامة في مشاريع البناء والتشييد بالبيئة الصحراوية، من خلال تحليل خصائص هذه المواد، مدى ملاءمتها للظروف المناخية الصحراوية، وتأثيرها على كفاءة الطاقة وتقليل الأثر البيئي للمباني.

1.2.مشكلة البحث:

تُعاني البيئات الصحراوية من تحديات متفاقمة في قطاع البناء والتشييد، ترتبط بطبيعتها المناخية القاسية، وشحّ الموارد الطبيعية، وارتفاع معدلات استهلاك الطاقة، فضلاً عن ضعف الالتزام بمعايير الاستدامة البيئية. وعلى الرغم من تصاعد الدعوات إلى تبني مفاهيم البناء الأخضر، لا تزال وتيرة تطبيق تقنيات البناء المستدام في هذه المناطق بطيئة وعشوائية في كثير من الأحيان، وهو ما ينعكس سلبًا على البيئة ويؤدي إلى ارتفاع كبير في التكاليف التشغيلية للمباني.

ومن هنا تكمن مشكلة البحث في التساؤل الرئيسي التالي:

- كيف يمكن توجيه ممارسات البناء والتشييد في البيئة الصحراوية نحو الاستدامة، بما يحقق كفاءة بيئية واقتصادية دون الإخلال بمتطلبات الأداء الوظيفي والمعماري؟

1.3. منهجية البحث:

تم الاعتماد على المنهج الوصفي التحليلي من خلال مراجعة الأدبيات السابقة، وتحليل دراسات حالة لمشاريع نفذت في مناطق صحراوية باستخدام مواد مستدامة.

2. مفاهيم الاستدامة في البناء:

يتناول المفهوم العام للاستدامة في قطاع التشييد، والذي يشمل الاستخدام الفعّال للموارد الطبيعية، خفض الانبعاثات، وتوفير بيئة معيشية صحية.

2.1.مفهوم الاستدامة:

هو مفهوم واسع يمتد ليشمل مختلف جوانب الحياة على سطح الأرض، ويتدرج من المستوى المحلي إلى المستوى العالمي، عبر أزمنة مختلفة. ويُنظر إلى الاستدامة بوصفها مبدأ يقوم على الاستمرارية والصيانة طويلة الأمد للموارد، بحيث يُمكن الاستفادة منها دون أن تنفد أو تُستنزف. ومن هذا المنطلق، تُعنى الاستدامة بإيجاد أنماط معيشية متوازنة تتفاعل بشكل إيجابي مع البيئة، وتتبنى أساليب تُحافظ على الموارد الطبيعية لصالح الأجيال الحالية والمستقبلية (مدكور،2021).

2.2.مفهوم البناء المستدام:

يشير مفهوم البناء المستدام إلى النهج الذي يهدف إلى تصميم وتنفيذ وتشغيل المباني بطريقة تقلل من الأثر البيئي السلبي، وتزيد من كفاءة استخدام الموارد مثل الطاقة والمياه، مع تحسين صحة وسلامة المستخدمين. ويشمل ذلك اختيار المواد الصديقة للبيئة، وتعزيز استخدام الطاقات المتجددة، وتقنيات العزل الحراري، وإدارة المخلفات الناتجة عن الإنشاء والتشغيل (عبد الباسط، 2019).

ويرتبط البناء المستدام ارتباطًا وثيقًا بمبادئ "العمارة الخضراء" التي تركز على التكامل مع البيئة المحيطة، وتوظيف عناصر المناخ المحلي في التصميم المعماري، خاصة في البيئات القاسية مثل الصحارى، حيث يكون التحدي مضاعفًا بسبب الظروف المناخية والموارد المحدودة (الشهري، 2018).

2.3.استراتيجيات الاستدامة في البناء الصحراوي:

1. الاعتماد على العمارة التقليدية المحلية:
   - استخدام تقنيات بناء مثل القباب، العقود، والسقوف الطينية لتقليل الحرارة كما موضح بالشكل (1).
   - استلهام الطرز المعمارية من المدن التاريخية كغدامس وواحة سيوة.

شكل (1) يوضح السقوف الطينية لتقليل الحرارة (مدكور ، 2021)

2. استخدام مواد بناء محلية وطبيعية:
   - الطين المضغوط، الحجر الجيري، والجريد.
   - تقليل تكلفة النقل وانبعاثات الكربون.
3. تصميم المباني حسب المناخ:
   - توجيه المبنى لتقليل التعرض المباشر لأشعة الشمس.
   - الاعتماد على التهوية الطبيعية والتظليل.
4. إدارة المياه بفعالية:
   - تجميع مياه الأمطار (إن وجدت).
   - إعادة تدوير المياه الرمادية.
   - استخدام تقنيات التبريد التبخيري.
5. تقنيات الطاقة المتجددة:
   - استخدام الألواح الشمسية لتوليد الكهرباء.
   - أنظمة تسخين المياه بالطاقة الشمسية كما موضح بالشكل (2)

6. العزل الحراري:

- الجدران السميكة والمواد العازلة الطبيعية لتقليل الفاقد الحراري كما موضح بالشكل (3).

شكل (2) استخدام الألواح الشمسية لتوليد الكهرباء (مدكور، 2021)

شكل (3) يوضح الجدران السميكة والمواد العازلة الطبيعية (مدكور، 2021)

جدول (1) يوضح استراتيجيات الاستدامة في البناء الصحراوي

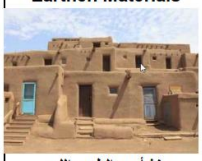
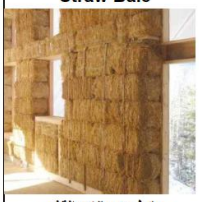
	الاستراتيجية	كيف تدعم الاستدامة
1	قباب وسقوف طينية	تعمل كعزل طبيعي وتقلل ارتفاع درجات الحرارة الداخلية.
2	المواد المحلية (طين/جريد/حجر)	تقلل الانبعاثات، رخيصة، وتُعزز من العزل الحراري بكتلها الطبيعية.
3	التهوية الطبيعية والتظليل	التوجيه الذكي للفتحات يقلل احتياج الكهرباء للتبريد.
4	ألواح شمسية وتجميع مياه	تمكين المبنى من تشغيل ذاتي للطاقة والإعتماد جزئياً على المياه المتجددة.

2.4.أمثلة على مواد البناء الخضراء المستخدمة في البيئات الصحراوية:

جدول (2) وشكل (4) يوضح مواد البناء الخضراء المستخدمة في البيئات الصحراوية.

جدول: (2) يوضح مواد البناء الخضراء المستخدمة في البيئات الصحراوية

	المادة	الاستخدامات	الفوائد البيئية	التطبيق
1	الطين المضغوط (مصنوع من التربة المحلية)	الجدران والأسقف	عزل حراري طبيعي، متوفر محليًا، لا يحتاج طاقة حرارية في تصنيعه ويقلل من الانبعاثات الكربونية	استُخدم في واحة سيوة بمصر ومشاريع الإسكان في السودان
2	الخرسانة الخضراء (تحتوي على الرماد المتطاير أو خبث الحديد)	الأساسات والهيكل الإنشائي	تقلل استخدام الأسمنت، وتخفض الانبعاثات الكربونية.	استُخدمت في مشاريع البنية التحتية المستدامة بدولة الإمارات، مثل "مدينة مصدر."
3	الحجر الرملي المحلي	البناء والكسوة	مقاوم للحرارة والغبار، متوفر في البيئة الصحراوية	منتشر في البناء التقليدي بمدينة العلا (السعودية) وصحراء النوبة (مصر).
4	ألواح العزل المصنوعة من الألياف النباتية (مثل سعف النخيل)	العزل الداخلي والخارجي	مستدامة، قابلة للتحلل، متوفرة محليًا في البيئات الصحراوية، وتُستخدم للعزل في الأسقف والجدران.	في الواحات المغربية وبعض المساكن الريفية في سلطنة عمان.
5	الزجاج منخفض الانبعاث (Low-E Glass)	النوافذ والواجهات	يعكس الأشعة تحت الحمراء ويقلل من انتقال الحرارة إلى الداخل دون حجب الضوء.	مستخدم في المباني التجارية والسكنية في دبي والرياض لتقليل الحمل الحراري.
6	الجبس الطبيعي المعالج	التشطيبات الداخلية	عزل الصوت والحرارة، وهو مقاوم للرطوبة في حال معالجته جيدًا.	يُستخرج ويُستخدم في مناطق مثل الصحراء الليبية والجزائرية.

اللوحات الهيكلية المعزولة Structural Insulated Panels SIPs	الخيزران Bamboo منشأ من الخيزران	الخشب Wood خشب يستخدم في البناء	المواد الترابية Earthen Materials  منشأ من الطوب اللبن
أكياس ترابية Earth Bags حوائط من الأكياس الترابية	بالات القش Straw Bale  حائط من بالات القش	الألواح الخشبية Cordwood حائط من جزوع الشجر	قوالب الخرسانة المعزولة Insulated Concrete Forms حوائط من قوالب الخرسانة المعزولة
الوحدات المركبة Comosites	القش Thatch	الحديد Steel	أسقف صخرية Slate/ Stone Roofing
السليلوز Cellulose	الألياف الزجاجية Fiber Glass	البولي يوريثين Polyurethane	الألياف الطبيعية Natural Fiber

شكل (4): يوضح مواد البناء الخضراء المستخدمة في البيئات الصحراوية(مدكور ، 2021)

2.5.التحديات التي تواجه استخدام مواد البناء الخضراء في المناطق الصحراوية:

1. نقص الوعي الفني والمعرفي.
2. ارتفاع التكلفة الأولية لبعض المواد.
3. غياب التشريعات البيئية الملزمة.
4. قلة المراكز البحثية.

3. خصائص البيئة الصحراوية:

تتسم البيئة الصحراوية بمجموعة من الخصائص المناخية والبيئية التي تفرض تحديات كبيرة أمام عمليات البناء والتشييد ومن أبرز هذه الخصائص:

- التفاوت الحراري الكبير بين درجات الحرارة النهارية المرتفعة والانخفاض الشديد ليلاً، مما يتطلب حلولاً تصميمية تحقق الراحة الحرارية للمستخدمين (القريوتي، 2013).
- ندرة الموارد المائية، وهو ما يستوجب تطبيق أساليب إدارة فعالة للمياه واستخدام مصادر بديلة مثل المياه الرمادية أو تقنيات حصاد مياه الأمطار (الهلالي، 2017).

- الرياح المحملة بالغبار والعواصف الرملية، وهي من العوامل المناخية التي تؤثر سلبًا على جودة الهواء وتتطلب عزلًا محكمًا واستخدام مواد مقاومة (سلمان، 2014).
- السطوع الشمسي العالي على مدار السنة، مما يُشكل فرصة للاستفادة من الطاقة الشمسية، لكنه يتطلب كذلك حلولاً معمارية تقلل من الإشعاع الحراري المباشر على الواجهات (عبد الرازق، 2020).

إن هذه الخصائص تبرز أهمية تبني مفاهيم الاستدامة والعمارة المناخية في البيئات الصحراوية، لضمان التكيف مع المناخ المحلي وتقليل الأثر البيئي للمباني.

4. استخدام مواد البناء الخضراء في مدينة مصدر: نموذج للبناء المستدام في البيئات الصحراوية

تُعد مدينة مصدر في دولة الإمارات العربية المتحدة من أبرز النماذج العالمية للمدن المستدامة، وهي تمثل مختبرًا حيويًا لتطبيق مفاهيم العمارة الخضراء واستخدام المواد الصديقة للبيئة في المناطق الصحراوية. حيث أنشئت المدينة بهدف تقليل البصمة الكربونية وتعزيز كفاءة الطاقة في بيئة صحراوية شديدة الحرارة.

اعتمدت مواد بناء محلية منخفضة الانبعاث مثل الطين المضغوط، وخليط من الخرسانة الخضراء، وأساليب عزل طبيعية، مما أدى إلى خفض استهلاك الطاقة بنسبة تزيد عن 40% (يوسف، 2020).

4.1.أنواع المواد الخضراء المستخدمة في مدينة مصدر:

1. الخرسانة الخضراء: تحتوي على مواد بديلة عن الأسمنت التقليدي مثل الرماد المتطاير (Fly Ash) وخبث الأفران العالية(GGBS) ، مما يقلل من الانبعاثات الكربونية حيث تُستخدم في الهياكل الأساسية للمباني.
2. الزجاج منخفض الانبعاث (Low–E Glass): استُخدم هذا النوع من الزجاج لعزل المباني وتقليل الحرارة المنبعثة إلى الداخل، مما يُقلّل من استخدام أنظمة التكييف.
3. الألمنيوم المعاد تدويره: استُخدم في أعمال التشطيبات والواجهات، لما له من خصائص عزل جيدة ووزن خفيف وقدرة على إعادة التدوير.
4. الأخشاب والمواد النباتية المحلية: استُخدم الخشب المستدام وسعف النخيل المعالج في بعض التشطيبات الداخلية، خاصة في المباني التي تتبع النهج التقليدي المستدام.

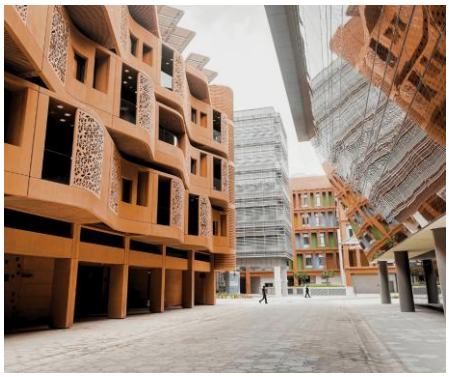
4.2.فوائد استخدام المواد الخضراء في مدينة مصدر:

1. خفض استهلاك الطاقة بنسبة تصل إلى 50% مقارنة بالمباني التقليدية.
2. تقليل البصمة الكربونية الناتجة عن عمليات الإنشاء والتشغيل.
3. تحسين جودة الهواء الداخلي، ما ينعكس إيجابيًا على صحة السكان.
4. رفع كفاءة استخدام المياه من خلال أنظمة التدوير وإعادة الاستخدام.
5. زيادة عمر المباني وتقليل تكاليف الصيانة (World Green Building Council, 2021)

4.3.التحديات التي واجهت استخدام المواد الخضراء في مصدر:

1. ارتفاع التكلفة الأولية لبعض المواد المستدامة.
2. الحاجة إلى تدريب الكوادر المحلية على تقنيات البناء الحديثة.
3. ضرورة توفير سلسلة توريد موثوقة للمواد المستدامة (يوسف،2020).

يؤكد نموذج مدينة مصدر على الدور الجوهري للمواد الخضراء في تحقيق الاستدامة في البناء والتشييد، خاصة في البيئات الصحراوية ويعكس هذا التوجه تحولًا استراتيجيًا نحو بناء مدن المستقبل، التي توازن بين التطور العمراني والحفاظ على البيئة.



شكل (5) يوضح استخدام مواد البناء الخضراء والتصميم المستدام في مدينة مصدر

5. خاتمة

إن التوجه نحو استخدام مواد البناء الصديقة للبيئة يمثل خطوة محورية في تحقيق الاستدامة بالبيئات الصحراوية ويوفر هذا التوجه إمكانيات هائلة لتحسين ظروف المعيشة، والحفاظ على البيئة، وتحقيق تنمية متوازنة تحترم الطبيعة وتستثمر مواردها بشكل مستدام.

6. النتائج والتوصيات

6.1.النتائج:

1. ظهرت الدراسات الميدانية والتجريبية أن استخدام المواد المحلية التقليدية، مثل الطوب الطيني والأرض المدكوكة، يُسهم بشكل فعّال في تعزيز استدامة المباني في البيئات الصحراوية ، ففي مدينة غدامس الليبية على سبيل المثال تم توظيف هذه المواد بفعالية في تصميم المساكن التقليدية، مما أدى إلى تحسين كفاءة الطاقة والمواءمة مع الظروف المناخية القاسية.
2. تشير الأبحاث إلى أن استخدام مواد البناء المستدامة، مثل الطوب الطيني يقلل من الانبعاثات الكربونية مقارنة بالخرسانة التقليدية، ففي دراسة نُشرت في مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية، تم التأكيد على أن هذه المواد تساهم في تقليل التأثير البيئي السلبي للبناء في المناطق الصحراوية .
3. رغم الفوائد البيئية والاقتصادية لاستخدام المواد المستدامة، إلا أن هناك تحديات تواجه تطبيقها، مثل نقص الوعي والمعرفة التقنية ومع ذلك توفر هذه التحديات تعد فرصًا لتطوير تقنيات البناء وتعزيز التعليم والتدريب في هذا المجال.

6.2.التوصيات:

بناءً على النتائج السابقة، يُوصى بما يلي:

1. تشجيع الدراسات والبحوث التي تركز على تحسين خصائص المواد المستدامة وتطوير تقنيات البناء المناسبة للبيئات الصحراوية.
2. توفير برامج تعليمية وتدريبية للمهندسين والمعماريين حول استخدام المواد المستدامة وطرق تطبيقها بفعالية.
3. وضع سياسات وتشريعات تشجع على استخدام المواد المستدامة في مشاريع البناء، مع تقديم حوافز للمطورين والمستثمرين.
4. تعزيز التعاون مع المؤسسات الدولية والمنظمات غير الحكومية لتبادل الخبرات والمعرفة في مجال البناء المستدام.

7. المراجع:

[1] مدكور ، مي وهبة. مواد البناء الخضراء نحو مباني بيئية في الصحراء .مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية ،عدد خاص (2)، (2021).

[2] عبدالباسط ،محمود عبد الواحد. البناء الأخضر وتحديات الاستدامة في الوطن العربي .القاهرة :الهيئة المصرية العامة للكتاب، (2019).

[3] الشهري ،عبدالله بن محمود. دور مفاهيم العمارة الخضراء في تحقيق الاستدامة البيئية في المباني السكنية بمدينة الرياض. رسالة ماجستير، جامعة الملك سعود، كلية العمارة والتخطيط ، (2018).

[4] الهاشمي ،فاطمة أحمد. المواد المحلية واستخدامها في البناء الصحراوي المستدام. مجلة بحوث البناء والبيئة ، العدد (22)، (2019).

[5] سلمان ،فاطمة عبدالكريم. تحديات البيئة الصحراوية وأثرها على التصميم العمراني. المجلة العربية للتخطيط البيئي ، العدد (12)، (2014).

[6] القريوتي، خالد عبدالله. تأثير المناخ الصحراوي على تصميم المباني السكنية في المناطق الجافة . الأردن، جامعة اليرموك ، (2013).

[7] الهلالي ، محمود عبدالرحمن. إدارة المياه في المباني المستدامة بالمناطق الصحراوية . مصر، المركز القومي للبحوث ، (2017).

[8] عبدالرزاق ، نجلاء محمد. التصميم المناخي للمباني في البيئات الحارة الجافة . مصر، دراسة حالة المدن الصحراوية المصرية ، جامعة القاهرة ، كلية الهندسة، (2020).

[9] World Green Building ،Green building case studies ،Masdar city ، (2021).

[10] يوسف ، عبدالمحسن. تطبيقات العمارة الخضراء في الامارات : حالة مدينة مصدر، جامعة الشارقة،(2020).

إستخدام الأسطح الخضراء لتقليل استهلاك الطاقة والانبعاثات الكربونية

محمد حمزة [1] أحمد سليمان [2] منصور بن مسكين [3] محمد الشريف [4]
1 بكالوريوس ، قسم الهندسة المعمارية وتخطيط المدن ، كلية الهندسة ، جامعة وادي الشاطئ ، براك الشاطئ ، ليبيا
2 بكالوريوس ، قسم الهندسة المدنية والمعمارية ، كلية الهندسة ، جامعة فزان ، وادي الحياة ، ليبيا
3 أستاذ مشارك ، قسم الهندسة المعمارية وتخطيط المدن ، كلية الهندسة ، جامعة وادي الشاطئ ، براك الشاطئ ، ليبيا
4 أستاذ دكتور ، قسم الهندسة المعمارية وتخطيط المدن ، كلية العلوم الهندسية والتقنية ، جامعة سبها ، سبها ، ليبيا
* للمراسلة moha.abdalsalam@wau.edu.ly

الملخص :

بسبب التوسع العمراني المستمر الذي تشهده مدينة سبها في الآونة الأخيرة وكذلك زيادة الكثافة السكانية بها أصبحت الحاجة إلى وجود نسب كبيرة من المسطحات الخضراء مطلبًا ملحًّا تطلب منا البحث عن حلول مبتكرة وفعّالة قادرة على تعويض النقص الوظيفي لهذه المساحات ، لذا سلّطت هذه الدراسة الضوء على تقنية الأسقف الخضراء وتطبيقاتها وفوائدها البيئية والإقتصادية والإجتماعية ومناقشة بعض التحديات المرتبطة بتنفيذها ، وإمكانية دمجها في أنظمة البنى التحتية القائمة من أجل تعويض ندرة المسطحات الخضراء في التجمعات الحضرية ، كما حلّلت هذه الورقة العلمية الدراسات الحالية حول هذا الموضوع وقدّمت لمحة عامة عن مبادرات الأسقف الخضراء في المدن حول العالم ، وركزت الدراسة على محاكاة المباني القائمة في مدينة سبها (حي الجديد تحديدًا) بإستخدام تطبيق (Design Builder) لتقييم النتائج الإيجابية للأسطح الخضراء من حيث توفير الراحة الحرارية داخل المباني وتحقيق الكفاءة في إستخدام الطاقة والتبريد وكذلك التقليل من إنبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون ، وتوصلت هذه الدراسة إلى أن الأسطح الخضراء من شأنها أن تخفض من درجة حرارة الهواء الداخلي للمبنى بمقدار 3 درجات مئوية وتحقق راحة حرارية متوافقة مع الإنسان ما بين المعدل المقبول والمتعارف عليه (0.5 −) و(0.5 +) في الجنوب الليبي ، كما لها القدرة على تقليل أحمال الطاقة للمبنى بمعدل ما بين أقل من الربع في بعض الأشهر ومعدل يفوق النصف في أشهر الذروة ، في حين لوحظ إنخفاض في نسبة إنبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون إلى ما يقارب النصف (50%) ، وتم مقارنة فعالية تركيب الأسطح الخضراء للمباني في ظروف مختلفة بإدراج البيانات المناخية لكل من مدينة (طرابلس وبنغازي) ومقارنتها بنتائج مدينة (سبها) المتحصل عليها ، وكانت النتائج مشابهة في (طرابلس) مع إختلاف بسيط بينما كانت مختلفة بمقدار درجتين في مدينة (بنغازي) ، وأخيرًا من المتوقع أن تساهم نتائج هذه الدراسة في توفير رؤى وتوصيات قيّمة لصنّاع القرار والسياسات والمخططين الحضريين لاستخدام هذه التقنية كأداة للاستدامة الحضرية ودمجها مستقبلًا في استراتيجيات التخطيط الحضري الوطنية .

الكلمات الدالة: *(Design Builder) ، نقص المسطحات الخضراء ، العمارة الخضراء والمستدامة ، كفاءة إستهلاك الطاقة ، الراحة الحرارية ، إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون.*

Abstract :

Due to the ongoing urban expansion witnessed in the city of Sebha recently, along with its increasing population density, the need for large proportions of green spaces has become an urgent demand. This necessitates exploring innovative and effective solutions capable of compensating for the functional deficit of these areas. Therefore, this study highlights green

roof technology, its applications, and its environmental, economic, and social benefits, while discussing some challenges associated with its implementation. It also examines the possibility of integrating green roofs into existing infrastructure systems to mitigate the scarcity of green spaces in urban areas. This paper analyzes existing studies on the topic and provides a comprehensive overview of green roof initiatives in urban areas worldwide, The study focuses on simulating existing buildings in Sebha (specifically in the Al-Jadid district) using the (Design-Builder) software to evaluate the positive outcomes of green roofs in terms of improving thermal comfort inside buildings, enhancing energy efficiency and cooling performance, and reducing carbon dioxide emissions. The findings of this study indicate that green roofs can lower indoor air temperature by up to 3°C and achieve thermal comfort levels within the acceptable and recognized range for human comfort (between −0.5 and +0.5) in southern Libya. Additionally, green roofs can reduce the building's energy consumption by rates ranging from less than a quarter in some months to over half during peak months, while carbon dioxide emissions were observed to decrease by nearly half (50%). The effectiveness of green roof installations under different conditions was compared by incorporating climate data from the cities of Tripoli and Benghazi and contrasting them with the results obtained for Sebha. The outcomes were similar in Tripoli with minor variations, while a difference of 2°C was observed in Benghazi. Ultimately, the results of this study are expected to provide valuable insights and recommendations for policymakers, urban planners, and decision-makers to adopt this technology as a tool for urban sustainability and integrate it into national urban planning strategies in the futur.

Keywords: *Design Builder , Lack of green spaces , Green and sustainable architecture , Energy efficiency , Thermal comfort , Carbon dioxide emissions .*

1. المقدمة :

تشهد المدن تفاقمًا في مشكلات التلوث البيئي والبصري والسمعي بسبب التوسع العمراني غير المدروس ، مما يحتم زيادة المساحات الخضراء كضرورة حيوية لتحقيق التوازن البيئي ، ويُعد غياب السياسات التخطيطية الفاعلة سببًا رئيسيًا في تحول المدن إلى كتل إسمنتية ترفع مستويات الكربون ودرجات الحرارة مما يهدد جودة الحياة ، فتكتسب المسطحات الخضراء أهمية متزايدة في مواجهة تحديات التقدم التكنولوجي ، إذ تعمل كرئة للمدن من خلال تحسين المناخ المحلي وتقليل الحمل الحراري مما يوفر بيئات مريحة للأنشطة البشرية ، وفي هذا الإطار يبرز مفهوم العمارة الخضراء كحلٍ استراتيجي لتصميم مدن ومباني مستدامة تخفف من استنزاف الطاقة وتقلل التلوث الناتج عن المباني والمركبات والمصانع ، ومن بين الحلول المبتكرة تظهر الأسطح والجدران الخضراء كأداة فعالة لتعويض نقص المساحات النباتية ، حيث توفر

عزلًا حراريًا وتقلل اســتهلاك الطاقة وتعزز جمالية المدن ؛ بل وتتحول في بعض الحالات إلى مصــدر للغذاء ، لذا تعمل العديد من الدول على دمج هذه العناصر في سياساتها العمرانية لزيادة المساحات الخضراء وتحقيق الاستدامة الحضرية .

2. المشكلة البحثية :

تواجه مدينة سبها الواقعة في منطقة فزان الليبية مشكلة متنامية مع قلة المساحات الخضراء وزيادة الكثافة السكانية ، ويرجع ذلك إلى مجموعة من العوامل بما في ذلك التوسـع الحضـري السـريع ونقص الاسـتثمار في الحدائق العامة والمسـاحات الخضـــــــــراء الأخرى .

وكان لقلة المساحات الخضراء في سبها أثر سلبي على نوعية الحياة للمواطنين ، حيث أنه بدون الوصول إلى المنتزهات والمناطق الترفيهية الأخرى ، لن يتمكن السـكان من الاسـتمتاع بالأنشـطة الخارجية مثل المشـي أو الركض أو ممارسـة الرياضة ، بالإضافة إلى ذلك وبدون الغطاء النباتي لامتصاص ثاني أكسيد الكربون والملوثات الأخرى من الهواء يمكن أن تتأثر جودة الهواء في المدينة بشـكل كبير ، كما يمكن أن يؤدي هذا إلى ظهور مشـاكل صـحية للقاطنين في المناطق المكتظة مثل الربو وأمراض الجهاز التنفسي .

2.1 مظاهر المشكلة البحثية :

تسبب غياب العنصـر الأخضـر في ظهور ملوثات مختلفة وزيادة تركيزاتها ، الأمر الذي أفضـى إلى تأثيرات سـلبية على مختلف الجوانب منها:

1- زيادة الانبعاثات الصادرة عن عوادم السيارات ، والمولدات الكهربائية المنتشرة على أراضي المدينة وخصوصًا في فصل الصيف نتيجة الشبكة الكهربائية المتردية .

2- تطاير الأتربة والغبار وخصوصًا في الأماكن الغير مزروعة .

3- يعد غياب المسـاحات الخضـراء في مدينة سـبها أحد أهم عوامل ارتفاع درجات الحرارة وتضـاؤل معدل الراحة الفسيولوجية لسكان المدينة.

4- انعدام مظاهر الجمال وزيادة الضوضاء .

3. أهداف الورقة العلمية :

1- تسليط الضوء على أهمية تلك الحلول العملية ومدى مساهمتها في إحتواء المشكلات الناتجة عن افتقار المسطحات الخضراء في المناطق الحضرية ذات المناخ الحار والجاف .

2- إيجاد مدخل يسهم في تعويض نقص المسطحات الخضراء وخلق مساحات أخرى إضافية في منطقة الدراسة عن طريق استغلال أسطح وواجهات المباني السكنية .

3- توضيح الأنظمة الإنشائية لنظم التخضير الرأسي .

4- توضيح دورها الفعال في تحقيق كفاءة استخدام الطاقة وتقليل الإنبعاثات الغازية .

4. منهجية البحث :

4.1 الإطار النظري (نظم وتكنولوجيا التخضير الرأسي) :

يشير التخضير الرأسي إلى زيادة المساحات الخضراء في المناطق الحضرية عبر توظيف التكنولوجيا الحديثة ، مثل :

1- الأسطح الخضراء (حدائق السطح) .

2- الواجهات الخضراء والحوائط الحية : وتهدف هذه الأنظمة إلى تعويض نقص المساحات الأفقية ، وتحسين الأداء البيئي للمباني عبر تقليل التلوث وامتصاص ثاني أكسيد الكربون وتحسين العزل الحراري مما يقلل استهلاك الطاقة ، وإدارة مياه الأمطار وتوفير بيئات حضرية مستدامة [1] .

4.1.1 أنواع الأسطح الخضراء :

1- الأسطح المكثفة (Intensive Green Roofs) : حيث تتطلب تربة عميقة (حتى 36 سم) وتنوعًا نباتيًا (أشجار، شجيرات) وتحتاج صيانة دورية (كما هو موضح بالشكل 1) .

2- الأسطح الواسعة النطاق (Extensive Green Roofs) : منخفضة التكلفة والصيانة بتربة خفيفة (2–4 سم) ونباتات مقاومة (مثل الصباريات) (كما هو موضح بالشكل 2) .

3- الأسطح المنتجة (Vegetated Roofs) : تُستخدم لزراعة الخضروات والفواكه ، مما يسد نقص الغذاء في المدن (كما هو موضح بالشكل 3) [1] .

الشكل (1) يوضح الأسطح الخضراء المكثفة في ولاية سياتل الأمريكية [1]

الشكل (2) يوضح حديقة سطح واسعة النطاق (المباني السكنية في ألمانيا) [1]

الشكل (3) يوضح الأسطح المنتجة في بناية شقق (Alcyone) في ولاية سياتل الأمريكية [1]

4.1.2 المكونات الإنشائية للأسطح الخضراء :

تتكون من طبقات متتالية (كما في الشكل 4) :

1- عازل مائي (لمنع التسرب) .

2- طبقة تصريف (حصى أو مواد صناعية) .

3- تربة مُعدة خصيصًا .

4- نباتات مُختارة وفقًا للمناخ والغرض (كما في الجدول 1.2) [2] .

الشكل (4) يوضح الطبقات المكونة للسطح الأخضر [2]

الجدول (1) يوضح خصائص التربة والنباتات المستخدمة في برنامج (Design Builder)

GREEN ROOF PROPERTIES	TESTED VALUES
Leaf Area Index (LAI)	5
Soil Thickness(ST)	10
Soil (SI) (W/m-K) Conductivity	0.30
Thermal Insulation(TI)	0 - 5

4.1.3 الفوائد البيئية والاقتصادية :

1- بيئيًا : تخفيف (جزر الحرارة الحضرية) ، تنقية الهواء ، دعم التنوع الحيوي .

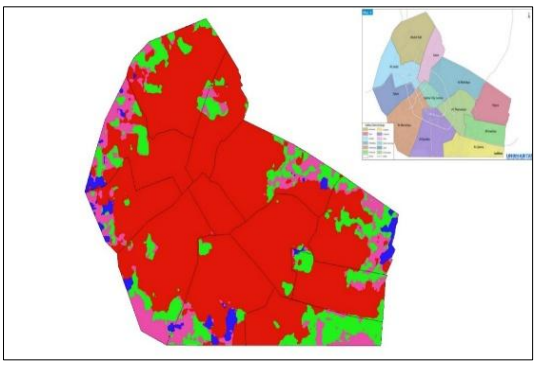
2- اقتصاديًا : توفير الطاقة (حتى 50% في التبريد) ، إطالة عمر المبنى .

4.2 الإطار العملي (تطبيق في مدينة سبها، ليبيا) :

1- منطقة الدراسة : حي الجديد في سبها الذي يعاني من نقص حاد في المساحات الخضراء (1% فقط من مساحة المدينة) (كما هو موضح بالشكل 5 والجدول 2) [7] .

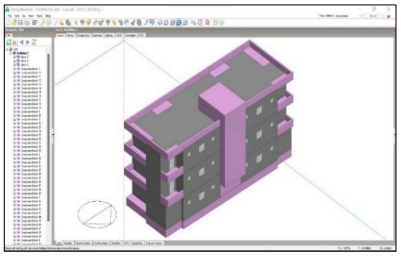
الجدول (2) يوضح نسب ومساحات استعمالات الأراضي في مدينة سبها [7]

الإستعمالات (هكتار)	سكني	تجاري	سكني أو تجاري	صحي	إداري	تعليمي	خضراء	رياضي أو استجمام	زراعي	صناعي	ديني أو ثقافي	أخرى
المنشية	520.3	0.1	14.3	3.7	0.4	12.8		0.3			1.3	1.6
التحرير	39.5	7.1	16.1	4.4	25.0	13.5		5.4			7.2	10.6
سكرة	278.9	5.1	11.0	23.6		8.4	2.1	9.6	129.1		16.8	7.4
الجديد	383.0	8.6	10.9	1.3	5.7	17.6	7.1	8.0			2.4	3.4
عبد الكافي	547.6	0.5	4.9	0.2		2.4	0.2	1.6			0.8	0.5
المهدية	520.3	0.1	14.3	3.7	0.4	12.8		0.3			1.3	1.6
الفرضة	97.1	2.7		2.2	0.4	8.0	55.5	0.6	19.8			2.5
الثانوية	295.7	1.0	2.6		1.0	10.4					0.1	2.3
القاهرة	84.3	2.9	5.5		3.9	19.5	4.7	35.4	3.0	115.2	0.5	9.6
الناصرية	679.7	8.2	10.9	5.6	9.6	27.4		5.7	1.0		13.4	0.9
حجارة	417.0	0.8	7.2		0.0			1.7			0.5	
المجموع	4110.5	42.0	108.6	46.4	46.8	138.1	69.6	72.6	152.9	115.2	45.0	42
النسبة	%82	%1	%2	%1	%1	%3	%1	%1	%3	%2	%1	%2

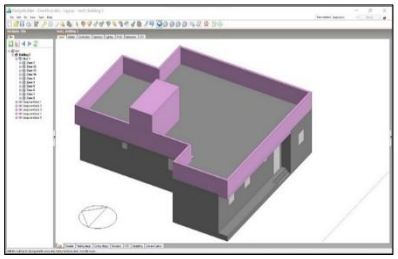


الشكل (5) يوضح استعمالات الأراضي في مدينة سبها [7]

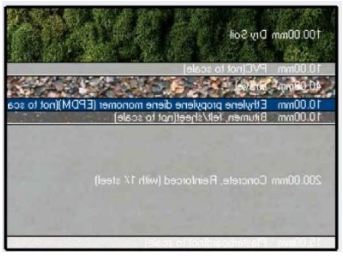
2- المنهجية : نمذجة مبنى سكني موجود وآخر افتراضي باستخدام برنامج (Design Builder) (كما بالأشكال 6 و7) ومقارنة أداء المبنى قبل وبعد تطبيق السطح الأخضر (كما هو موضح بالشكل 8) .



الشكل (6) يوضح منظور آيزومتري للمبنى المتعدد الطوابق (الواقعي) على واجهة البرنامج



الشكل (7) يوضح منظور آيزومتري للمبنى الأرضي (الإفتراضي) على واجهة البرنامج



الشكل (8) يوضح طبقات السقف الأخضر على البرنامج

3- المتغيرات المدروسة : استهلاك الطاقة ، درجة الحرارة ، الراحة الحرارية .

4- النتائج المتوقعة : انخفاض ملحوظ في درجات الحرارة الداخلية ، تحسين كفاءة الطاقة .

5. نتائج محاكاة المبنى بواسطة برنامج (Design Builder) :

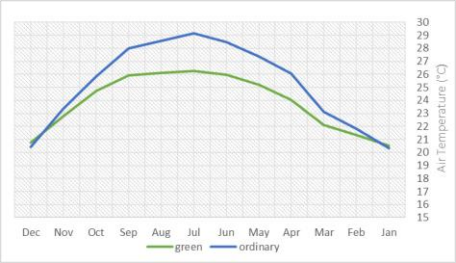
5.1 المبنى الافتراضي :

5.1.1 درجات الحرارة

(Air Temperature) : توضح نتائج المحاكاة أنه في أشهر الذروة حيث يتم تسجيل الارتفاع الملحوظ في درجات الحرارة بأن السطح في حالة زراعته يخفض درجة الحرارة بشكل واضح وبمعدل يصل إلى 3 درجات حرارة فارق بينه وما بين السطح الاعتيادي وهو معدل جيد ومؤثر بشكل واضح وكبير في عملية التكييف مع التغيرات المناخية والحد بشكل ملحوظ من تأثيراتها (كما هو موضح بالشكل 9 والجدول 3).

الجدول (3) يوضح مقارنة بين درجات الحرارة للسقف الاعتيادي والأخضر

Air Temperature (°C)												
Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
ordinary	20	22	23	26	27	28	29	29	28	26	23	20
green	21	21	22	24	25	26	26	26	26	25	23	21



الشكل (9) يوضح درجة حرارة الهواء بالمبنى على مدار العام في حالة السطح التقليدي والمزروع

5.1.2 خريطة الراحة الحرارية

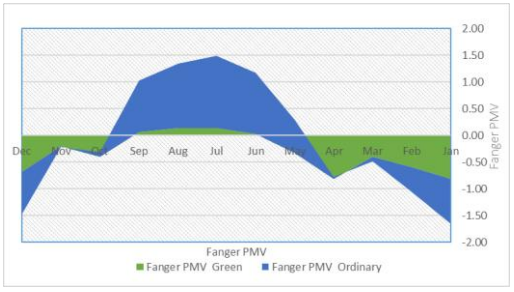
(PMV) (Predicted Mean Vote) : ينحصـــر معدل الراحة الحرارية المقبول والمتعارف عليه على مدى توافقه مع الانسـان ما بين 0.5− إلى 0.5+ ، وفي حالة زراعة السـطح تظهر النتائج مؤشـرًا إيجابيًا بانحصـار أشـهر الذروة ما بين المعدلات المثالية (كما هو موضح بالشكل 10) .

5.1.3 نتائج أحمال الطاقة بالمبنى

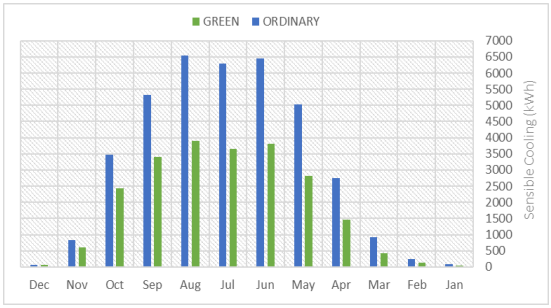
(Annual Sensible Cooling) : يظهر الشـكل (11) مدى التأثير الواضـح الذي تلعبه زراعة السـطح في تخفيف أحمال الطاقة على المبنى ، ويتضـح من النتائج أن الأحمال تراجعت إلى مسـتوى أدنى من الربع في بعض الأشـهر وفي أشهر الذروة نجد أنها تخفض الأحمال بمعدل يفوق النصف وهذه تعد نتيجة إيجابية في مجال تخفيف الأحمال والاستهلاك .

5.1.4 نتائج انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون (CO2 Emissions) :

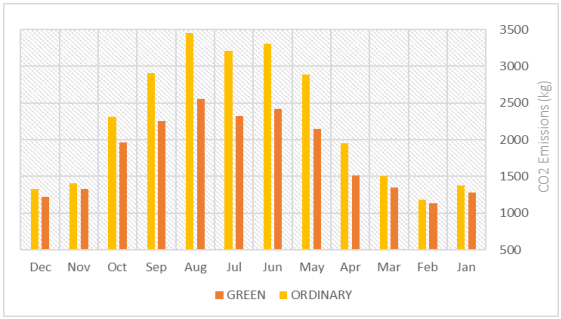
من المعروف أنه مع كل وحدة طاقة يتم اسـتهلاكها داخل المبنى يتم تصـدير غاز ثاني أكسـيد الكربون من محطة التوليد كناتج من عملية التوليد ، وبالتالي تصـبح المباني بتباين اسـتعمالاتها عناصـر مسـاهمة في زيادة غاز ثاني أكسـيد الكربون في الجو ، وبعد تركيب السـطح الأخضـر تشـير نتائج المحاكاة إلى تراجع نسـبة انبعاثات غاز ثاني أكسـيد الكربون إلى ما يقارب النصف خلاف ما كانت عليه في وضعه الاعتيادي (كما هو موضح بالشكل 12) .



الشكل (10) يوضح معدل الراحة الحرارية على مدار العام في حالة السطح التقليدي والمزروع



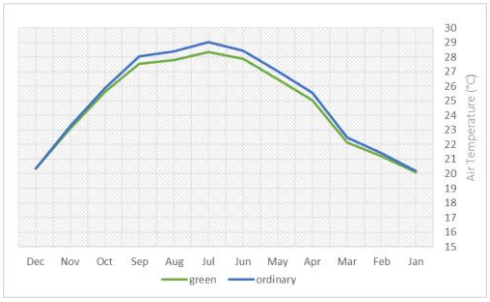
الشكل (11) يوضح أحمال التبريد على مدار العام في حالة السطح التقليدي والمزروع



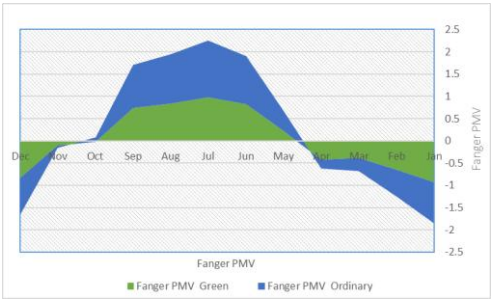
الشكل (12) يوضح نسبة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون على مدار العام في حالة السطح التقليدي والمزروع

5.2 المبنى المتعدد الأدوار :

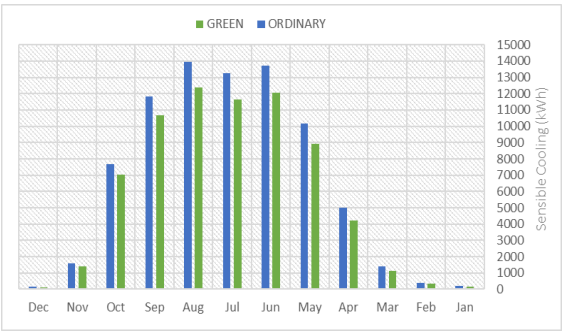
بالنسبة للمباني متعددة الأدوار أظهرت النتائج وجود تحسن ولكن بشكل قليل نسبيًا مقارنة بالمبنى ذو الدور الواحد ، ويرجع ذلك لزيادة مساحة الجدران (المكتسبة والموصلة للحرارة) على مساحة السقف وبالتالي يصبح تأثير زراعة السطح ملحوظ على الدور الأخير والمعرض بشكل مباشر لأشعة الشمس على خلاف الأدوار السفلية ذات الظروف الحرارية المتشابهة في كلا الحالتين (زراعة السطح من عدمه) ، وتوضح الأشكال التالية (13 و14 و 15 و16) نتائج المحاكاة بالنسبة للمبنى ككل فيما يتعلق بدرجة الحرارة وخريطة الراحة الحرارية وكذلك أحمال التبريد والانبعاثات .



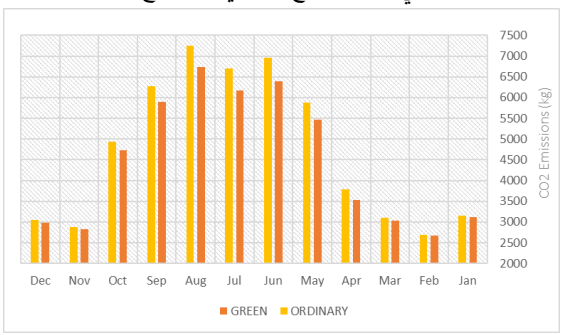
الشكل (13) يوضح درجات الحرارة للمبنى المتعدد الأدوار في حالة السطح التقليدي والمزروع



الشكل (14) يوضح خريطة الراحة الحرارية للمبنى المتعدد الأدوار في حالة السطح التقليدي والمزروع



الشكل (15) يوضح أحمال التبريد على مدار العام للمبنى المتعدد الأدوار في حالة السطح التقليدي والمزروع



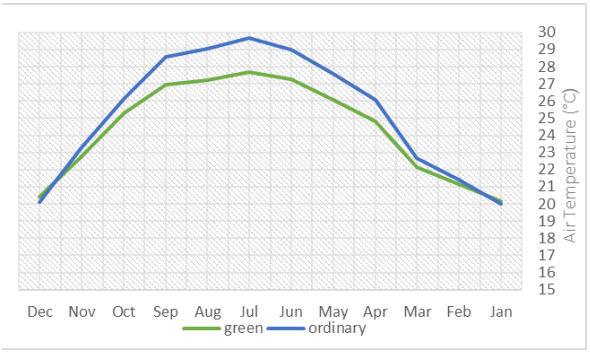
الشكل (16) يوضح نسبة الإنبعاثات للمبنى المتعدد الأدوار في حالة السطح التقليدي والمزروع

فكما هو موضح في البيانات السابقة لم يقدم السطح المزروع في المبنى المتعدد الأدوار النتيجة المرجوة منه كتلك التي أظهرها في المبنى المتكون من دور الواحد ، فنتيجة لما تم ذكره سابقًا يمكن تفادي هذه المشكلة عن طريق تكسية جدران المبنى بالعنصر النباتي وهو ما يعرف في الأوساط المعمارية بالواجهات الخضراء (Green Faced) وهي عبارة عن نباتات متسلقة تزرع أسفل وعبر واجهة المبنى ، ويسهم هذا الحل في تحسين قدرة غلاف المبنى على مقاومة الأحمال الحرارية ، وحتى يتم تحقيق هذه الفرضية على مبنى الدراسة تمت إضافة الواجهات الخضراء للجدران ذات المساحة الأكبر للمبنى وهما الجداران الشمالي والجنوبي واختبار مدى فاعلية الأسطح الخضراء والواجهات الخضراء معًا في تحسين البيئة الحرارية الداخلية للمبنى وتقليل نسبة أحمال التبريد والانبعاثات .

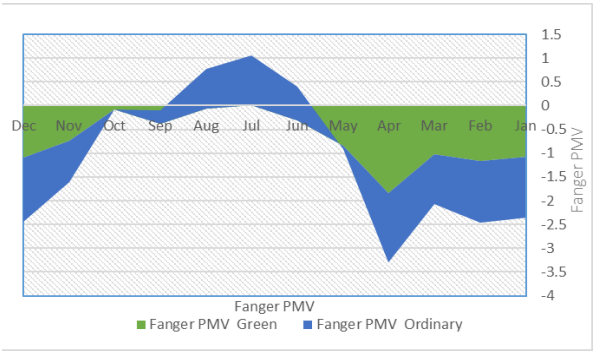
5.2.1 نتائج المحاكاة للمبنى متعدد الأدوار (بعد إضافة الواجهات الخضراء) :

I. درجات الحرارة (Air Temperature) :

تظهر نتائج المحاكاة وجود تغير في درجات الحرارة بعد إضافة الواجهات الخضراء حيث انخفضت في أشهر الذروة بمعدل درجتين حراريتين وبمعدل ثابت ، وهذا الأمر انعكس إيجابًا على معدل الراحة الحرارية داخل المبنى (كما هو موضح بالشكل 17 و18) .



الشكل (17) يوضح درجات الحرارة للمبنى المتعدد الأدوار في حالة السطح التقليدي والمزروع مع الواجهات النباتية



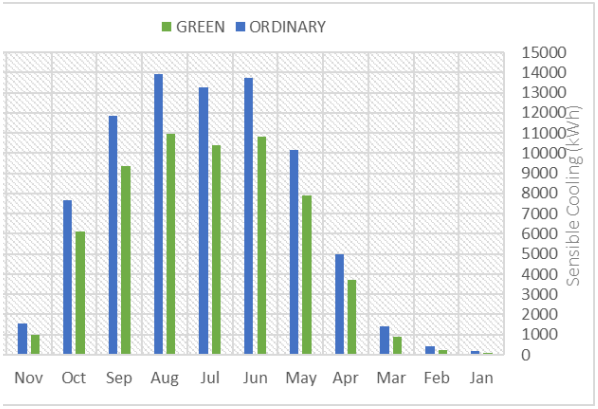
الشكل (18) يوضح خريطة الراحة الحرارية للمبنى المتعدد الأدوار في حالة السطح التقليدي والمزروع مع الواجهات النباتية

II. نتائج أحمال الطاقة بالمبنى (Annual Sensible Cooling) :

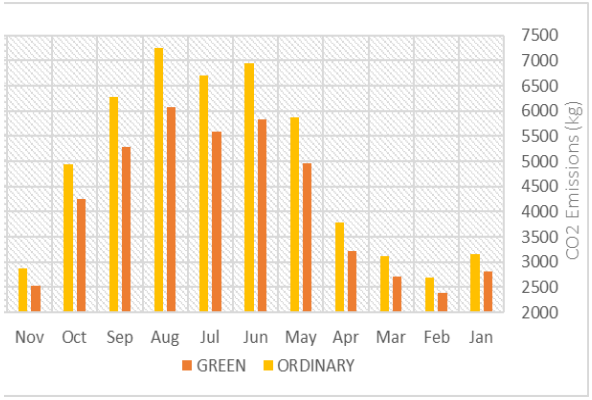
نتيجة لانخفاض درجات الحرارة داخل المبنى أظهرت النتائج إنخفاض في معدل أحمال التبريد (كما هو موضح بالشكل 19) ، وتعد هذه النتيجة أفضل من سابقتها حيث وصلت كمية التوفير خلال أعلى فترة قياس إلى ما يقارب 3000 kw/h

III. نتائج انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2 Emissions) :

شأنها شأن سابقاتها أيضًا فقد أظهرت نتيجة الإنبعاثات وجود تغير ملحوظ في كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعث وذلك بمعدل انخفاض وصل إلى أكثر من طن في أعلى فترة قياس (كما هو موضح بالشكل 20) .



الشكل (19) يوضح أحمال التبريد على مدار العام للمبنى المتعدد الأدوار في حالة السطح التقليدي والمزروع مع الواجهات النباتية



الشكل (20) يوضح نسبة الإنبعاثات للمبنى المتعدد الأدوار في حالة السطح التقليدي والمزروع مع الواجهات النباتية

6. تأثير الأسطح الخضراء في ظروف مختلفة :

وفي محاولة لمقارنة فاعلية تركيب الأسطح الخضراء في ظروف مختلفة تم إدراج البيانات المناخية لكل من مدينة (طرابلس وبنغازي) ومقارنتها بنتائج مدينة سبها لمعرفة الظروف الأمثل ، وبشكل عام تشير القراءات حتى مع تباينها أن للمدن الثلاث إمكانية كبيرة للإستفادة من هذه التقنية .

ففي الظروف المناخية (طرابلس) كانت النتائج متشابهة لتلك التي شوهدت في سبها ولكنها أقل فعالية قليلًا ، حيث كان فرق درجات الحرارة القصوى بين نوعي الأسطح درجتين مئويتين ، أما في الظروف المناخية (بنغازي) أظهرت النتائج اختلافًا في درجات الحرارة القصوى بين درجة واحدة غالبًا إلى درجتين مئويتين .

وبشكل عام تشير هذه النتائج (الموضحة في الجداول 4 و 5 و 6) إلى أن الأسطح الخضراء أكثر فعالية في المناخات الحارة والجافة من المناخات الرطبة والحارة ، إذ أن من المحتمل أن يكون هذا بسبب حقيقة أن الهواء الجاف أكثر قدرة على امتصاص الحرارة من الشمس من الهواء الرطب ، على هذا النحو تعتبر الأسطح الخضراء أكثر فاعلية في تقليل درجات الحرارة أثناء الطقس الحار عند تركيبها في المناخات الجافة مقارنة بالمناخات الرطبة .

الجدول (4) يوضح نتائج محاكاة المبنى الافتراضي لمدينة سبها

One Floor Building Simulation (SEBHA)								
CO2 Emissions (kg)		Cooling (Electricity) (kWh)		Fanger PMV		Air Temperature (C°)		Months
green	ordinary	green	ordinary	green	ordinary	green	ordinary	
1140	1217	39	186	-1.84	-1.46	21	22	Apr
1429	1861	598	1315	-0.85	-0.06	23	25	May
1645	2242	1179	2164	-0.32	0.71	25	27	Jun
2316	3116	2066	3385	0.01	1.05	25	28	Jul
2120	2742	1814	2842	-0.07	0.85	25	27	Aug
1683	2098	1169	1853	-0.39	0.29	24	26	Sep

الجدول (5) يوضح نتائج محاكاة المبنى الافتراضي لمدينة طرابلس

One Floor Building Simulation (TRIPOLI)								
CO2 Emissions (kg)		Cooling (Electricity) (kWh)		Fanger PMV		Air Temperature (C°)		Months
green	ordinary	green	ordinary	green	ordinary	Green	ordinary	
1283	1471	363	901	-1.35	-0.87	22	23	Apr
1931	2421	1796	3170	-0.55	0.2	24	26	May
2149	2795	2606	4427	-0.01	0.99	25	28	Jun
2607	3469	3454	5899	0.05	1.11	26	28	Jul
2605	3397	3205	5412	0.1	1.07	26	28	Aug
2269	2817	2668	4175	-0.05	0.74	25	27	Sep

الجدول (6) يوضح نتائج محاكاة المبنى الافتراضي لمدينة بنغازي

One Floor Building Simulation (BENGHAZI)								
CO2 Emissions (kg)		Cooling (Electricity) (kWh)		Fanger PMV		Air Temperature (C°)		Months
green	ordinary	green	ordinary	green	ordinary	green	ordinary	
1254	1304	-24	-153	-1.92	-1.67	21	21	Apr
1482	1806	-803	-1705	-0.98	-0.38	23	24	May
1725	2207	-1634	-2975	-0.44	0.32	24	26	Jun
2417	3110	-2674	-4578	-0.13	0.66	25	27	Jul
2217	2752	-2509	-3991	-0.2	0.5	25	26	Aug
1755	2079	-1639	-2530	-0.51	-0.02	24	25	Sep

7. الاستنتاجات :

يتبين من خلال الإطار النظري والعملي للورقة العلميّة مجموعة النتائج التالية :

1- عدم الدراية الكافية بالأهمية البيئية والإقتصادية والجمالية للأسطح الخضراء من قبل المواطنين والمقاولين والجهات المعنية بتطبيقها كالبلديات ومجالس المدن .

2- تزداد شعبية الأسطح الخضراء كطريقة لتقليل التأثير البيئي للمباني حيث توفر الأسطح الخضراء مجموعة فوائد على صعيد الجانب الاقتصادي وتحسين جودة الهواء والتنوع البيولوجي وغيرها .

3- من الناحية الاقتصادية يمكن للأسطح الخضراء تقليل تكاليف الطاقة من خلال توفير العزل وتقليل الحاجة إلى تكييف الهواء ، كما بأن إمكانها أيضًا إطالة عمر السقف لأنها توفر طبقة إضافية من الحماية من الأشعة فوق البنفسجية وتأثيرات العوامل الجوية الأخرى التي يمكن أن تلحق الضرر بمواد التسقيف التقليدية مع مرور الوقت ، بالإضافة إلى ذلك يمكن للأسطح الخضراء زيادة قيمة العقارات وجذب المستأجرين أو المشترين الذين يبحثون عن المباني الصديقة للبيئة .

4- من الناحية البيئية تساعد الأسطح الخضراء على تقليل تلوث الهواء عن طريق امتصاص الملوثات وتوفير الظل من أشعة الشمس المباشرة ، كما تساعد على تقليل تأثير الجزر الحرارية الحضرية من خلال توفير الظل وتبخير المياه في الغلاف الجوي ، وتوفر الأسطح الخضراء أيضًا موطنًا للحياة البرية مما يساعد على زيادة التنوع البيولوجي في المناطق الحضرية .

5- من الناحية الاجتماعية يمكن أن توفر الأسطح الخضراء مساحة خارجية جذابة للأشخاص الذين يعيشون في المناطق الحضرية المزدحمة حيث يمكن استخدامها كأماكن ترفيهية أو حدائق تجمع الناس معًا وتعزز التفاعل الاجتماعي ، بالإضافة إلى ذلك يمكن للأسطح الخضراء تحسين الصحة العقلية من خلال توفير بيئة هادئة مع عناصر طبيعية مثل النباتات والأشجار .

6- من الناحية الصحية توفر الأسطح الخضراء عزلًا طبيعيًا يساعد على إبقاء المباني باردة في الصيف ودافئة في الشتاء ، وهذا يقلل من الحاجة إلى أنظمة التدفئة والتبريد الاصطناعية التي يمكن أن تكون ضارة بصحة الإنسان بسبب انبعاثاتها من الملوثات مثل ثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين .

ويتبين من خلال الإطار العملي للبحث مجموعة النتائج التالية :

1- تسهم برامج الحاسوب البيئية مثل (Design Builder) وبرامج الاظهار والمحاكاة الواقعية على مساعدة المصممين المعماريين والمهندسين في اختبار قرارتهم التصميمة وتحديد حلول التصميم الأكثر فعالية لتحسين كفاءة المبنى .

2- تعطي برامج المحاكاة تصورًا للنتائج وبصورة قريبة بشكل كبير إلى الحقيقة كونها تستند الى قيم ومعلومات حقيقة مثل معلومات المناخ ومعلومات مواد البناء وأجهزة التكييف والإنارة .

3- اثبتت نتائج المحاكاة عن وجود فروقات في البيئة الداخلية لمباني الدراسة عند تطبيق فرضية الأسقف الخضراء المستدامة ومقارنتها بالأسقف الاعتيادية ، إذ تمثلت الفروقات في ضبط مستويات الراحة الحرارية وتحسين استهلاك الطاقة لأغراض التبريد ، وتقليل الحاجة إلى تكييف الهواء في أشهر الصيف بالإضافة إلى تقليل الانبعاثات الغازية بنسبة وصلت إلى 50% .

4- من خلال النتائج المستخلصة برزت أهمية استخدام هذه التقنية في المناخات الحارة والجافة كأداة للوصول إلى أعلى معايير الراحة والاستدامة .

5- تباينت فاعلية النتائج ما بين المبنى ذو الدور الواحد (الأرضي) والمبنى ذو الأدوار المتعددة بسبب كثرة العناصر المكتسبة والموصلة للحرارة والتي تمثلت في (السقف والجدران) .

6- حققت الأسقف الخضراء في المبنى ذو الدور الواحد النتائج الأفضل مقارنة بنظيره ذو الأدوار المتعددة وذلك وفقًا لما سبق .

7- في محاولة لإيجاد حل في حالة المبنى ذو الطوابق المتعددة تم الاستعانة بالواجهات الخضراء بسبب إمكانياتها في التقليل من اكتساب الطاقة الشمسية وهو ما انعكس بشكل إيجابي على نتائج المحاكاة مقارنة بالاعتماد على السقف الأخضر لوحده .

8- بتقليل الأسطح الخضراء من نسبة استهلاك الطاقة قلت نسبة الانبعاثات الغازية المرتبطة بها وبالتالي أسهم استخدامها في جهود التخفيف من آثار تغير المناخ .

8. التوصيات :

8.1 توصيات خاصة بالحكومة والجهات المعنية :

1- دمج الحلول الطبيعية في التخطيط والتصميم الحضريين وتشجيع الحكومات المحلية على تبني سياسات تعزز استخدام الأسطح الخضراء في مدنها ، خصوصًا في الأقاليم الصحراوية لزيادة نسبة الرطوبة في الجو للتخفيف من الجفاف السائد بهذه الأقاليم .

2- زيادة الاستثمار في البنية التحتية الخضراء مثل الأسطح الخضراء ، والغابات الحضرية ، والأرصفة القابلة للنفاذ ، لتقليل تأثير الجزر الحرارية الحضرية وتحسين جودة الهواء .

3- دعم البحث في فعالية الحلول الطبيعية في المدن واستخدام هذه البيانات لتوجيه قرارات السياسة التخطيطية .

4- تشجيع الزراعة الحضرية والحدائق المجتمعية لإتاحة الوصول إلى المنتجات الطازجة وخلق مساحات خضراء للاستجمام .

5- وضع اللوائح التي تحتاج من المطورين دمج الحلول الطبيعية في مشاريعهم كلما أمكن ذلك وبشكل يتماشى مع التباينات المناخية بين الأقاليم المختلفة .

6- وضع معايير لتركيب وصيانة السقف الأخضر لضمان مراقبة الجودة والأداء على المدى الطويل.

7- إنشاء صندوق لدعم تركيب الأسقف الخضراء في المباني العامة ، كالمدارس والمكاتب الحكومية ، لتكون مثالًا يحتذى به .

8- الاتجاه إلى استخدام أساليب الري الحديثة واستخدام التكنولوجيا لتحقيق أعلى معدل من الكفاءة مع أقل معدل لاستخدام المياه .

8.2 توصيات خاصة بالجهات المجتمعية :

1- تنظيم حملات توعية عامة لرفع مستوى الوعي حول أهمية الحلول الطبيعية في المدن مثل تحسين العزل وزيادة التنوع البيولوجي وتحسين الجماليات وكيف يمكن للمواطنين المساعدة في دعمها .

2- الشراكة مع المنظمات المحلية لتقديم المساعدة الفنية للشركات وأصحاب المنازل المهتمين بتركيب أسقف خضراء على ممتلكاتهم .

8.3 توصيات خاصة بالجهات التعليمية والأكاديمية :

1- تشجيع البحث في تكنولوجيا الأسطح الخضراء وتطبيقاتها في المناطق الحضرية ، بما في ذلك دراسات حول فوائد الأسطح الخضراء من حيث كفاءة الطاقة وتحسين جودة الهواء وإدارة مياه الأمطار .

2- خلق فرص للطلاب للتفاعل مع المجتمعات المحلية لتطوير المشاريع التي تدمج الحلول الطبيعية في أحيائهم أو مدنهم .

3- توفير الموارد للطلاب لمعرفة المزيد حول فوائد الحلول الطبيعية في المدن من خلال الرحلات الميدانية أو محاضرات الضيوف أو الأنشطة التعليمية الأخرى خارج بيئة الفصل الدراسي .

9. المراجع :

[1] FIGUEROA , M.E. Green Roof Performance in LOS ANGELES , CALIFORNIA. ProQuestLLC , USA , 2008 , 111 .

[2] Peter Mayer , Briefing Note2 : Green Roofs , Specifier 03 (Oct 2008) , Version1 .

[3] فيرغونوف ؛ س . أوجيكوف ؛ م . دنيسوف ، تصميم المناظر الطبيعية باللغة الروسية ، موسكو ، 240 ، 1991 م .

[4] مها بنشي ، نظم الأسطح الخضراء واقع التجارب في المدن الغربية وآفاق تطبيقها في المدن السورية ، 2016 م .

[5] دينا خاطر ، الأسطح الخضراء في الإسكان (دراسة لزراعة أسطح المباني القائمة في المناطق ذات الكثافة السكانية العالية) ، جامعة القاهرة ، 2014 م .

[6] Kelly Luckett , Green Roof Construction and Maintnence , A Green Source Book , 2013 .

[7] CITY PROFILE OF SEBHA , LIBYA , October 2018 , UN HABITAT .

[8] Chowdhury , Rezaul K. and Jameelu S , Abaya , 2018 , An Experimental Study of Greywater Irrigated Green Roof Systems in an Arid Climate.

[9] https://doi.org/10.14796/JWMM.C437 © CHI 2018 , www.chijournal.org ISSN 2292-6062 .

استغلال التقنيات المعمارية التقليدية في خفض استهلاك الطاقة

*احسين مسعود احسين [1] منصور أبوهديمة بن مسكين [2] محمد الولي عبد القادر الشريف [3]
1- بكالوريس، قسم الهندسة المعمارية وتخطيط المدن، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ – براك الشاطئ – ليبيا
2- دكتوراه، ، قسم الهندسة المعمارية وتخطيط المدن، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ – براك الشاطئ – ليبيا
3- أستاذ، قسم الهندسة المعمارية وتخطيط المدن، كلية الهندسية والتقنية، جامعة سبها – سبها – ليبيا
*للمراسلة
h.hosin@wau.edu.ly

الملخص (Abstract) :

تُعد قضية الحفاظ على الطاقة وترشيد استهلاكها من أهم التحديات المعمارية في العصر الحديث، لا سيما في قطاع المباني الذي يستهلك نحو 40% من إجمالي الطاقة الكهربائية، ويتركز هذا الاستهلاك في أنظمة التهوية والتبريد صيفًا، والتدفئة شتاءً، بالإضافة إلى الإضاءة الصناعية.

وبالنظر إلى تقنيات العمارة التقليدية، يتبيّن من خلال تحليل عناصرها أنها تعتمد بشكل ذكي على استغلال الطاقات الطبيعية، كطاقة الشمس السالبة، وحركة الرياح، لتحقيق التبريد والتدفئة والإنارة بشكل طبيعي. ويُعزى ذلك إلى اعتمادها على معالجات مناخية ومعمارية تهدف إلى تحقيق الراحة الحرارية وتقليل الاعتماد على الوسائل الميكانيكية

يسلط هذا البحث الضوء على العناصر المعمارية المستخدمة في العمارة التقليدية وأساليبها المناخية، من خلال عرض الدراسات السابقة التي تناولت تأثيرها، مع تحليل كيفية توظيفها بأسلوب حديث يواكب متطلبات العصر ويُسهم في خفض استهلاك الطاقة في المباني، خاصة في المناطق الصحراوية.

الكلمات الدالة: التقنيات المعمارية، استهلاك الطاقة، مبنى البرج الاداري، المناطق الصحراوية.

Abstract

Energy conservation and consumption reduction are among the most pressing challenges in contemporary architecture, particularly in the building sector, which accounts for approximately 40% of total electrical energy use. A significant portion of this energy is consumed by ventilation and cooling systems in summer, heating systems in winter, and artificial lighting throughout the year. An analysis of traditional architectural techniques reveals their reliance on the intelligent use of natural energy sources—such as passive solar energy and wind movement—for natural cooling, heating, and lighting. These techniques are grounded in climate-responsive architectural solutions designed to achieve thermal comfort while reducing dependence on mechanical systems. This research examines the architectural elements and environmental strategies inherent in traditional architecture, drawing on previous studies that investigated their impact. It further explores how these techniques can be adapted to modern contexts to address contemporary demands while substantially reducing energy consumption in buildings, particularly in arid and desert regions.

1. المقدمة:

تعتبر قضية الحفاظ على الطاقة وترشيد استهلاكها من أهم القضايا في العصر الحديث على مستوي العالم. وذلك بسبب التطور المتلاحق في الأنشطة الحياتية المختلفة مما سبب ضغط ضخما على مصادر انتاجها خاصة المصادر غير المتجددة. ويعتبر المبني بمراحله المختلفة عند أنشائه أو استخدامه أو هدمه من أكثر القطاعات استهلاكا للطاقة. لذلك كان لابد من دراسة العمارة التقليدية وكيفية توفير مبانيها للطاقة حيث انها تعتمد على وسائل وتقنيات متوارثة عبر الأجيال تم تطويرها لتتوافق مع البيئة الطبيعية المحيطة وتوفر بدورها الراحة الحرارية للمستعملين ويقوم البحث بتسليط الضوء على كيفية الاستفادة منها في توفير الطاقة.

2. مشكلة البحث:

تعاني المباني في المناطق الصحراوية بليبيا من ارتفاع استهلاك الطاقة نتيجة الاعتماد على أنظمة التبريد والتهوية الصناعية لمواجهة الظروف المناخية القاسية، حيث يقدّر الاستهلاك السكني والتجاري والصناعي بنحو 64% من إجمالي الكهرباء [1].ومن هنا يبرز التساؤل الرئيسي: كيف يمكن تقليل استهلاك الطاقة في المباني الصحراوية من خلال توظيف تقنيات العمارة التقليدية التي تعتمد على استغلال الطاقات الطبيعية وتحقيق الراحة البيئية؟

3. اهداف البحث:

- دراسة مكونات وعناصر العمارة التقليدية وتحليل دورها في تهيئة بيئة معيشية مريحة.
- التعرف على مواد البناء التقليدية وأساليب التنفيذ المرتبطة بها.
- تحليل أثر العمارة التقليدية في تحقيق التكيف الحراري وتقليل استهلاك الطاقة.
- البحث في كيفية مواءمة العناصر التقليدية مع البيئة المحلية (الطبيعية، الاجتماعية، الثقافية، والاقتصادية).
- تقديم توصيات لتكامل العمارة التقليدية مع متطلبات التنمية العمرانية المستدامة.

4. منهجية البحث:

يعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي من خلال دراسة حالة مبنى البرج الإداري بمدينة براك، لتحليل مدى توظيف عناصر العمارة التقليدية في تحسين كفاءة الطاقة. تم جمع البيانات من الدراسات السابقة وتحليل المخططات المعمارية، مع مقارنة العناصر التقليدية المدمجة في تصميم المبنى بمدى فعاليتها في تحقيق الراحة الحرارية وتقليل الاعتماد على أنظمة التبريد الصناعي.

5. مصادر الطاقة وتنقسم إلى نوعين رئيسيين:

5.1 مصادر الطاقة المتجددة:[2]

- الطاقة الشمسية – تُستخدم في التدفئة، التبريد، وتسخين المياه.
- طاقة الرياح – تُحول طاقة الهواء إلى كهرباء.
- الحرارة الجوفية – حرارة الأرض يمكن استغلالها مباشرة أو توليد كهرباء.
- الكتلة الحيوية – من النبات والحيوان لإنتاج غاز الميثان والكحول.

5.2 مصادر الطاقة غير المتجددة:[3]

مثل الفحم، البترول، الغاز الطبيعي، وتشكل 100% من مصادر الطاقة في ليبيا، وهي ملوِّثة وغير مستدامة.

6. استراتيجيات ترشيد استهلاك الطاقة:

تركز العمارة التقليدية على تقليل الاعتماد على الوسائل الميكانيكية، من خلال:

6.1 استراتيجية التدفئة الطبيعية:

توجيه المبنى.

العزل الحراري.

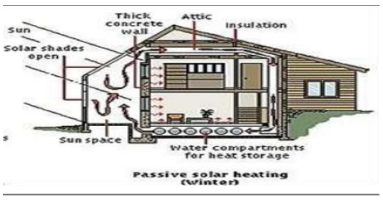
اختيار مواد البناء المناسبة.

6.2 استراتيجية التبريد الطبيعي:

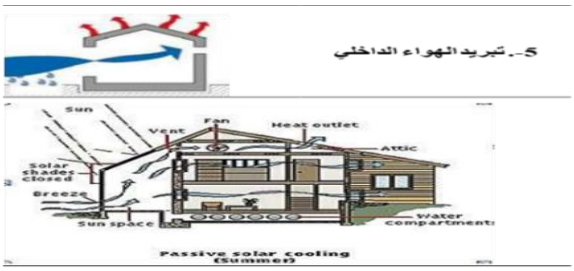
عزل الأسطح والجدران.

التحكم في الفتحات.

السماح بتهوية صيفية طبيعية.



شكل (3): يوضح استراتيجية التسخين والتدفئة الطبيعية في فصل الشتاء.



شكل (4): يوضح التبريد الطبيعي في الصيف داخل المبنى.

7. الإضاءة الطبيعية:

تمثل الإضاءة الصناعية نسبة عالية من الاستهلاك.

يساهم فتح النوافذ وتوجيه الفتحات في تقليل الحاجة للكهرباء.

8. مفهوم العمارة التقليدية:

العمارة التقليدية تعبّر عن احترام البيئة، وتعتمد على موارد طبيعية وتقنيات محلية.

رودفيسكي وصفها بأنها عمارة دون مهندسين[6]

كريستوفر ألكسندر رآها مرتبطة بالبنية الاجتماعية[7]

حسن فتحي وصفها بالعمارة "الأصيلة" المرتبطة بالواقع والبيئة[8]

9. تقنيات العمارة التقليدية في ترشيد الطاقة:

9.1 التخطيط المتضام:

يقلل من الإشعاع الشمسي ويُلطّف الهواء.

9.2 التوجيه:

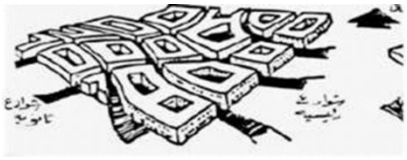
المباني التقليدية وُجّهت نحو الرياح السائدة (الشمالية والشمالية الغربية) لتحسين التهوية وتخفيف حرارة الشمس.

9.3 شبكة الشوارع:

الشوارع الضيقة والمتعرجة تُقلّل من حرارة الشمس وتُوجّه حركة الهواء.

شكل (5): فتحات الإضاءة الطبيعية.

شكل (6): صورة جوية لمدينة غدامس تظهر التصميم المتضام.



شكل (7): شكل شبكة الطرق في المدن التقليدية.

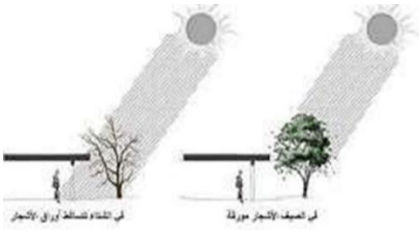
9.3.1 تسقيف الشوارع (السباطات):

تُخفف من الإشعاع وتُساعد في تحريك الهواء.

9.3.2 تنسيق الموقع بالأشجار:

شكل (8): الشوارع المسقوفة في واحة الفرافرة – مصر تُخفّف من حرارة الجدران وتُساعد على خفض الأحمال الحرارية بنسبة تصل إلى 35%– 69% [11]

شكل (9): مبنى مغطى بالنباتات المتسلقة



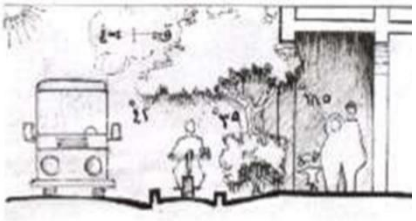
شكل (10): دور الأشجار في السماح بالشمس شتاءً ومنعها صيفًا

10.حماية الغلاف الخارجي للمبنى:

الغلاف هو الحاجز الأول لتقليل فقد الحرارة واكتسابها.

10.1 الحوائط الخارجية:

- بروزات الأدوار العليا لتظليل الواجهات وتبريدها.[11]
- الحوائط المزدوجة مع فراغ هوائي وفتحات للتهوية.[11]
- استخدام البواكي لتوفير الظلال وتقليل الحمل الحراري.
- تغطية الجدران الخارجية بالتربة المبللة (مع الحفاظ على التهوية الطبيعية).[11]
- استخدام مواد بناء ذات كتلة حرارية عالية تؤخر تسرب الحرارة.
- اعتماد الألوان الفاتحة للأسطح والجدران يعكس أشعة الشمس ويخفض درجات الحرارة.[11]



شكل (11): يُظهر البواكي التقليدية ودورها في خفض حرارة الحوائط.

10.2 الأسقف:

10.2.1 .حلول العمارة التقليدية:

القباب والأقبية والأسطح المنحنية:

تُوزّع الإشعاع فوق مساحة أكبر.

تُقلل الحمل الحراري وتبرد ليلاً بالإشعاع.[11]

شكل (12): يوضح كيف تساعد القبة في توزيع الظل وتحريك الهواء.

10.2.2حدائق السطح:

تُستخدم منذ العصور القديمة (مثل بابل المعلقة).

تزيد من الرطوبة وتوفر التظليل الطبيعي.

10.2.3الأسقف المزدوجة:

تُكوّن طبقة هواء عازلة، وتُبرد الهواء الطبيعي.

مواد طبيعية للعزل: مثل جذوع النخيل والطين والحجر.[11]

10.3 الفتحات:

10.3.1 مشكلات الفتحات:

تعتبر نقطة ضعف في الجدار الحراري وتُسرّب الحرارة بسهولة.[11]

10.3.2 المعالجات التقليدية:

1. **صغر حجم الفتحات:**

يُقلل دخول الحرارة ويزيد سرعة الهواء الداخل.

2. **البروزات حول النوافذ:**

تُوفّر الظلال بنسبة تصل إلى 86% صيفًا، وتقللها شتاءً بنسبة 75% [11]

3. **توزيع الفتحات باتجاه الرياح:**

فتحة دخول الهواء أصغر من فتحة الخروج لزيادة الحركة.

4. **المعالجة بالعناصر التقليدية:**

مثل المشربيات، القمرية، الشمسية لتوفير الضوء والهواء بدون حرارة.[13]

شكل (13): فتحات ضيقة تقليدية في مبنى صحراوي.

شكل (14): واجهة تقليدية من صنعاء ببروزات ظل حول الفتحات.

شكل (15): مشربيات تحمي النوافذ وتسمح بالتهوية.

11.جودة البيئة الداخلية في العمارة التقليدية:

سعت العمارة التقليدية إلى توفير الراحة الحرارية والتهوية الطبيعية دون أنظمة ميكانيكية، وذلك باستخدام حلول معمارية ذكية تراعي الظروف المناخية.[4]

11.1 وسائل تحريك وترطيب الهواء:

11.1.1 استغلال مناسيب الموقع:

المباني توضع في تدرجات ارتفاعيه بحيث توجه نحو الرياح الشمالية الشرقية الباردة، مما يعزز التهوية ويقلل الحرارة.

11.1.2 الفناء الداخلي:

يخزن الهواء البارد ليلًا ويُعيد توزيعه نهارًا، مما يُخفض درجات الحرارة الداخلية ويُوفر التهوية الطبيعية.[4]

11.1.3 ملاقف الهواء:

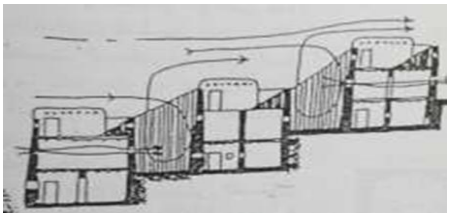
تُستخدم لتوجيه الرياح إلى داخل المبنى وتبريدها عبر جِرار مائية وفحم رطب. تُمكن حتى الغرف غير المواجهة للرياح من الاستفادة من الهواء النقي.[12]

11.1.4 الشخشيخة:

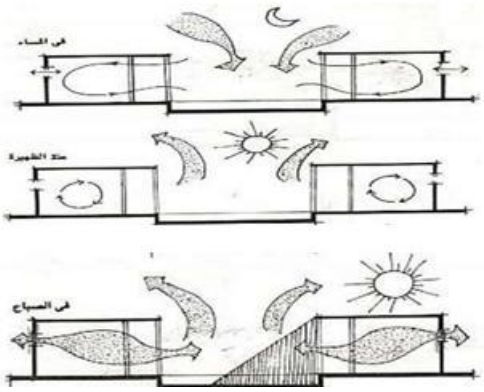
هي فتحة عليا تُستخدم لطرد الهواء الساخن من المبنى، مما يخلق فرق ضغط يسمح بدخول هواء بارد من الفتحات السفلية.[12]

11.1.5 النافورة والسلسبيل:

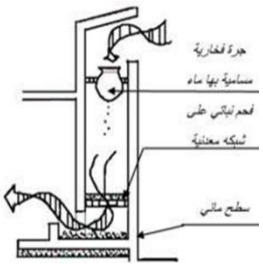
تُستخدم المياه لتبريد الهواء عن طريق التبخير. وجود نافورة في الفناء يُقلل درجات الحرارة بنسبة تصل إلى 10.[13] %



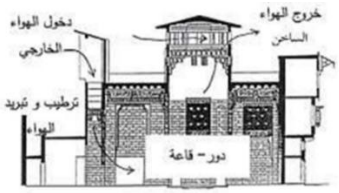
شكل (16): قرية شالي في واحة سيوة – استغلال التضاريس في توجيه الهواء.[4]



شكل (17): يوضح حركة الهواء داخل المبنى من خلال الفناء.



شكل (18): ملقف باتجاه واحد مع تبريد بالجرار.



شكل (19): الشخشيخة ودورها في تدوير الهواء باستمرار.

11.2 عناصر الإضاءة الطبيعية:

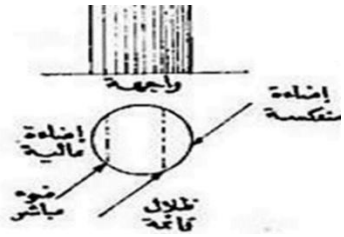
11.2.1 المشربية:

تُخفف الضوء المباشر، وتوفر التهوية والخصوصية. كما أنها تخلق توازنًا بين الظل والضوء.[13]

11.2.2 القمريات والشمسيات:

القمرية: فتحة نصف دائرية فوق النافذة تسمح بمرور ضوء لطيف.

الشمسيات: أصغر منها، تمنع الغبار وتُرشّد دخول الضوء.



شكل (20): تحليل الضوء داخل المشربية.

شكل (21): نموذج لقمرية تقليدية في مبنى إسلامي [13].

12.الدراسات السابقة:

1-تأثير الفناء الداخلي على تقليل استهلاك الطاقة

أثبتت الدراسة أن استخدام الفناء الداخلي يقلل درجات الحرارة بنسبة تصل إلى 35%، مما يُخفض الاعتماد على أنظمة التبريد[14]

2 .المشربيات ودورها في تحسين الأداء الطاقي

تُوفر المشربيات الظل وتُقلل الإشعاع الشمسي، مما يخفض درجات الحرارة الداخلية بنسبة تصل إلى 20% [15].

3 .كاسرات الشمس كوسيلة فعالة لتقليل استهلاك الطاقة

تُشير الدراسة إلى أن كاسرات الشمس تقلل استهلاك الكهرباء للتبريد بنسبة تتراوح بين 15% و25% [16].

4 .أهمية التوجيه الصحيح للمباني في المناطق الصحراوية

التوجيه نحو الشمال والجنوب يقلل من الحرارة الداخلية، وبالتالي يُقلل الحاجة إلى التبريد الصناعي[17] .

5 .استخدام المياه كعنصر تبريد طبيعي داخل المباني

إضافة نافورة في الفناء تساهم في خفض درجات الحرارة بنسبة تصل إلى 10% من خلال التبريد التبخيري[18] .

6 .الألوان الفاتحة في تحسين الأداء الحراري

استخدام الألوان الفاتحة في الواجهات يقلل من امتصاص الحرارة ويخفض درجات الحرارة الداخلية بنسبة تصل إلى 20% [19]

7 .تصميم الفتحات في المباني الصحراوية

تصميم الفتحات الطولية والضيقة يُحسن التهوية ويُقلل من تسرب الحرارة بنسبة تصل إلى 25% [20]

8 .دور الزوايا والبروزات في تقليل الأحمال الحرارية

الزوايا والبروزات تخلق ظلالًا تقلل من تعرض الواجهات للشمس، مما يُخفض استهلاك الطاقة بنسبة 10–20% [21]

13.دراسة الحالة – مبنى البرج الإداري بمدينة براك:

13.1 تحليل معماري لدراسة الحالة

تمثل مدينة براك إحدى المدن الصحراوية جنوب ليبيا، ويقع المبنى الإداري محل الدراسة في بيئة ذات طقس جاف حار، حيث تصل درجات الحرارة إلى 45° مئوية صيفًا. وقد تم تحليل هذا المبنى من منظور معماري–بيئي لتقييم مدى توظيف عناصر العمارة التقليدية الصحراوية داخله، ومدى تأثير ذلك على كفاءة الطاقة والراحة الحرارية.

. توجيه المبنى:

تم توجيه الواجهات الرئيسية نحو الشمال والشمال الغربي بما يتوافق مع اتجاهات الرياح الباردة، مما يقلل من اكتساب الحرارة ويوفر تهوية طبيعية. وهي إحدى أهم توصيات العمارة التقليدية في المناطق الصحراوية.[17]

. الفناء الداخلي:

يتوسط المبنى فناء مفتوح يعمل على توفير الظلال، وتدوير الهواء، وإنارة الفراغات الداخلية بالضوء الطبيعي. يُعد هذا العنصر من أبرز السمات التقليدية في العمارة الإسلامية، لما له من تأثير كبير على تقليل الأحمال الحرارية.[14]

. الكسوة والتظليل:

تم تنفيذ كسوة خارجية مثقبة تعمل كمشربية حديثة، وتوفر تظليلًا مباشرًا للواجهات. كما استُخدمت بروزات أفقية تُقلل من الإشعاع الشمسي، وتدعم نظام التبريد غير المباشر [15.[16]]

. الألوان والمواد:

تتميز الواجهات باللون الأبيض الفاتح، مما يعكس الإشعاع الشمسي ويقلل من امتصاص الحرارة بنسبة كبيرة.[19]

. الفتحات والتهوية:

النوافذ ذات أحجام متوسطة، موزعة بشكل مدروس، ومظللة ببروزات خرسانية، ما يعزز التهوية ويُقلل فقد الطاقة.[20]

. النافورة والعناصر المائية:

توجد نافورة صغيرة في قلب الفناء، تعمل كمصدر تبريد طبيعي عبر التبخير، وهو عنصر مستمد مباشرة من العمارة التقليدية.[18]

شكل (22) صورة توضح مبنى البرج الإداري

شكل (23) صورة توضح الفناء الداخلي للمبنى

شكل(24) صورة توضح الزوايا والبروزات في المبنى

شكل (25) صورة توضح اللون المستخدم للمبنى

شكل (26) صورة توضح الفتحات في المبنى

شكل (27) صورة توضح النافورة في المبنى

جدول المقارنة بين تقنيات العمارة التقليدية وتطبيقها في مبنى البرج الإداري

العنصر التقليدي	أثره في الدراسات السابقة	التطبيق في مبنى البرج الإداري
الفناء الداخلي	يقلل الحرارة الداخلية بنسبة تصل إلى 35% [14]	فناء مفتوح مركزي يحسّن التهوية ويوفّر الضوء الطبيعي
المشربيات / الكسوة	تخفف الإشعاع الشمسي بنسبة 20% [15]	كسوة مثقبة على الواجهات
كاسرات الشمس	تقلل الأحمال التبريدية بنسبة 15–25% [16]	بروزات أفقية خرسانية تظلل الواجهات

التوجيه الصحيح للمبنى	يقلل الحرارة الداخلية عند التوجيه نحو الشمال [17]	توجيه شمالي وشمالي غربي يحقق أقصى تهوية
العناصر المائية	تبريد تبخيري يُقلل الحرارة بنسبة 10% [18]	نافورة داخل الفناء لتبريد الهواء
الألوان الفاتحة	تقلل الحرارة بنسبة تصل إلى 20% [19]	استخدام اللون الأبيض في معظم الواجهات
الفتحات المعالجة	تحسين التهوية وتقليل الحمل الحراري بنسبة 25% [20]	نوافذ مظللة، موزعة حسب اتجاهات الرياح
الزوايا والبروزات	تخفيض الحمل الحراري بنسبة 10–20% [21]	تصميم هندسي يُدمج البروزات كجزء من الكتلة المعمارية

14. النتائج

1. نجح تصميم المبنى في دمج عدد كبير من عناصر العمارة التقليدية بصورة حديثة وعملية.
2. ساهم وجود الفناء والنافورة في خفض درجات الحرارة الداخلية بشكل فعّال، مع تحريك الهواء بوسائل طبيعية.
3. التوجيه الصحيح والبروزات خفّضت الحاجة لاستخدام أجهزة التبريد.
4. اللون الأبيض المستخدم في الواجهات عزّز الأداء الحراري الكلي.
5. المبنى يُمثّل نموذجًا معماريًا قابلًا للتكرار في مدن صحراوية مشابهة.

15. التوصيات

1. تعزيز دمج عناصر العمارة التقليدية في تصميمات المباني الحديثة، لا سيما في المناطق الصحراوية.
2. ضرورة إدراج الفناء الداخلي والعناصر المائية في المباني العامة كمصدر فعّال لتبريد الهواء.
3. اعتماد التوجيه الصحيح كمعيار أساسي في كودات البناء الصحراوي.
4. تشجيع استخدام الكسوات المتحركة أو المثقبة (مثل المشربيات المعاصرة) لتظليل الواجهات.
5. اعتماد ألوان الواجهات العاكسة للإشعاع كحل بسيط وفعّال لرفع كفاءة الطاقة.

16. المراجع:

1. البكوش، ع.، وكواسي، ف. (2015). استكشاف أبعاد استهلاك الطاقة في مبنى سكني في طرابلس، ليبيا . *المجلة الدولية لبحوث الهندسة والتكنولوجيا* .
2. فارس، م. م. إ.، وعلي، ش. أ. (2014). تقنيات العمارة الشمسية بالمباني السكنية في مصر كمدخل تطبيقي لاعتماد البناء الأخضر .*مؤتمر الأزهر الهندسي الدولي الثالث عشر*.
3. يوسف، ع. م. ع. (2011). دراسة إمكانية تطبيق النظم الفوتو فولتية لإمداد المباني بالطاقة في المدن الجديدة (رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة أسيوط).
4. العوضي الوكيل، ش.، وسراج، م. ع .(1989) .*المناخ وعمارة المناطق الحارة* .القاهرة: عالم الكتب.
5. Heath, K. W. M. (2009). *Vernacular architecture and regional design: Cultural process and environmental response*. Elsevier Ltd.
6. Rudofsky, B. (1964). *Architecture without architects: A short introduction to non-pedigreed architecture*. Museum of Modern Art.

7. Alexander, C. (1972). *Notes on the synthesis of form*. Harvard University Press.
8. وليد، س. أ. (2014). التراث المفكر فيه: قراءات في فلسفة التراث في فكر حسن فتحي. بحث بمناسبة الذكرى العشرين لرحيل حسن فتحي.
9. الزبيدي، م. ص. س.، وشاهين، ب. ر. (2008). مبادئ الاستدامة في العمارة التقليدية وفر المنظور الإسلامي. *المجلة العراقية للهندسة المعمارية*، كلية الهندسة، الجامعة التكنولوجية، 4.
10. إبراهيم، ح. ص. ص. (2013). العمارة الخضراء: قراءة نقدية في معمار القاهرة التاريخية (رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة الأزهر).
11. البيلي، ع. ع.، وحماد، ر. م.، ورضوان، م. ع. هـ. (2015). نحو مسكن ريفي مستدام للظهير الصحراوي لمحافظة قنا. *مجلة أسيوط للعلوم الهندسية*، كلية الهندسة، جامعة أسيوط، 34.
12. فجال، خ. س. (2002). *العمارة والبيئة في المناطق الصحراوية الحارة*. القاهرة: الدار الثقافية للنشر.
13. وزيري، ي. (2004). *العمارة الإسلامية والبيئة: الرافد الذي شكل التعمير الإسلامي*. سلسلة عالم المعرفة، المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، العدد 304.
14. السلال، ك. أ.، ومحمود، ف. (2017). الأداء الحراري لمنازل الفناء في المناخات الحارة والجافة: دراسة حالة الرياض، المملكة العربية السعودية. مجلة الطاقة والمباني، المجلد 149، الصفحات 368–380
15. . Taki, A., & Kumari, H. (2023). Examining Mashrabiya's impact on energy efficiency and cultural aspects in Saudi Arabia. Sustainability, 15(13), 10131. https://doi.org/10.3390/su151310131
16. Yang, A. M., Chen, B., & Zhao, X. (2023). Energy-saving potential of solar shading devices in buildings: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 170, 112987. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.112987
17. جيفوني، ب. (1998). *الاعتبارات المناخية في تصميم المباني والمدن*. ويلي.
18. Fang, Z., & Chen, L. (2020). Effects of water bodies on urban microclimate and energy consumption. Energy and Buildings, 216, 109912. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109912.
19. العيساوي، م. (2024). تقييم الأداء الحراري لواجهات مشروعات الإسكان بالعاصمة الإدارية الجديدة. *مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية*، 45.
20. Trepci, E., & Rodriguez-Ubinas, E. (2025). Passive design for residential buildings in arid desert climates: Insights from the Solar Decathlon Middle East. Buildings, 15(15), 2731. https://doi.org/10.3390/buildings15152731
21. Al-Shehri, A., & Al-Tamimi, N. (2020). The role of architectural shading devices in reducing solar heat gain in buildings: A review. Energy and Buildings, 210, 109701. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109701

عبقرية التخطيط الحضري " مدينة غدامس القديمة كحالة دراسية"

[1]عمر علي الأمين, [2]خديجة معمر عزيز, [3]فوزي محمد عقيل, [4]حمزة محمد الخازمي

1 . استاد مساعد بقسم الهندسة المعمارية والتخطيط العمراني ، كلية الهندسة الخمس، جامعة المرقب، الخمس ، ليبيا,

2. محاضر بقسم الهندسة المعمارية والتخطيط العمراني ، كلية الهندسة ، جامعة المرقب الخمس، الخمس ، ليبيا.

3. استاد مساعد بقسم الهندسة المعمارية والتخطيط العمراني ،كلية الهندسة الخمس، جامعة المرقب، الخمس ، ليبيا

4. استاد مساعد بقسم الهندسة المعمارية والتخطيط العمراني ،كلية الهندسة القربوللي ، جامعة المرقب، الخمس ، ليبيا

للمراسلة

omar3228570@gmail,com

oaalameen@elmergib.edu.ly

الملخص

تتناول هذه الورقة البحثية التحليل الحضري لمدينة غدامس القديمة باعتبارها نموذجًا فريدًا في التخطيط المعماري التقليدي المتكامل مع البيئة الصحراوية. تهدف الدراسة إلى إبراز الخصائص التخطيطية والمعمارية التي جعلت من غدامس واحدة من أكثر المدن انسجامًا مع المناخ الجاف، والاحتياجات الاجتماعية لسكانها. كما تستعرض الورقة كيف يمكن لهذا النموذج التقليدي أن يلهم ممارسات التخطيط الحضري المعاصر، خاصة في البيئات القاحلة. المثير للدهشة كيف تحولت تلك الممرات الضيقة إلى ملاذ من حرارة الشمس، وكأنها صممت بذكاء فطري. نظام المياه هناك، بسيط لكنه معجز، يجري في قنوات خفية كأنه دماء في عروق المدينة. في زوايا الأزقة، تجد مقاعد شاهدة على آلاف القصص التي رويت فوقها، هذه التفاصيل البسيطة هي ما يعطي غدامس روحها الخاصة، روح المكان الذي يحمل تاريخاً حياً في كل حجر.

الورقة تحاول أن تمسك بخيط هذا السحر، أن تفهم كيف تتناغم عناصر المدينة معاً لتصنع هذه التحفة المعمارية الفريدة. كل جزء فيها له قصته، وكل حجر يحمل حكاية. إن أهمية هذه الدراسة تحاول أن تمسك بخيط مهم في حياتنا المعاصرة، لنتعلم كيف نخطط لمدننا بطريقة تحفظ ماضيها وتواكب حاضرها. تخيل شوارع غدامس القديمة وتلك الظلال التي صنعها الإنسان بذكائه منذ قرون، كيف كانت تحمي السكان من حرارة الشمس وتوزع المياه بإنصاف. هذا ليس مجرد تراث معماري، بل هو درس حي للعيش بانسجام مع البيئة.

وقد اعتمد البحث على خطوات بسيطة لكنها عميقة، من الحديث مع أهل المدينة الذين يحملون ذاكرة المكان، إلى تتبع الخرائط القديمة التي تحكي قصصاً عن حياة لم نعد نعرفها. الفكرة الأساسية هنا هي أن التخطيط الحضري الجيد لا يبني جدراناً فقط، بل يبني المجتمعات وعلاقات إنسانية.

ما نريده في النهاية هو أن تتحول هذه الأفكار إلى واقع، أن نعيد اكتشاف كيف يمكن للشوارع والمباني أن تعزز هويتنا بدلاً من أن تمحوها. ربما تكون غدامس مجرد بداية، نموذجاً صغيراً يذكرنا بأن المدن ليست حجارة وإسمنت، بل هي ذاكرة جماعية تبحث عن مكان في عالم يتغير بسرعة وتستعرض هذه الورقة عبقرية التخطيط الحضري في غدامس من خلال تحليل مكوناتها العمرانية والاجتماعية والبيئية، وتسلط الضوء على الدروس المستفادة منها في سياق التخطيط المعاصر.

الكلمات المفتاحية: غدامس، التخطيط الحضري، تظليل الشوارع، توزيع المياه، الهوية الاجتماعية. عبقرية التخطيط الحضري.

Abstract

Old Ghadames, a city that seems as if it were carved from the dreams of the Bedouins, holds a unique architectural secret within its alleys. Its narrow, winding streets are not merely passages but stories woven with the wisdom of ancestors who knew how to coexist with the harshness of the desert. Ghadames, that oasis that encapsulates the magic of the desert in every corner. Its streets are not just paths but artistic paintings created by the hands of ancestors who mastered the art of living in harmony with the sands. It is astonishing how those narrow passages transformed into a refuge from the sun's heat, as if designed with innate intelligence. The water system there is simple yet miraculous, flowing through hidden channels like blood in the veins of the city. In the corners of the alleys, you find ancient stone benches, witnesses to thousands of stories told upon them; these simple details are what give Ghadames its unique spirit, the spirit of a place that carries a living history in every stone. The research did not rely solely on dry maps but listened to the tales of the residents who know the city's secrets as well as they know themselves. Perhaps this is the greatest lesson Ghadames offers: how humanity creates beauty even when surrounded by difficulties from all sides. The study seeks to grasp the thread of this magic, to understand how the elements of the city harmonize to create this unique architectural masterpiece. Every part of it has its story, and every stone carries a tale. The importance of this study attempts to hold onto a crucial thread in our contemporary lives: how we plan our cities in a way that preserves their past while keeping up with their present. Imagine the old streets of Ghadames and the shadows that humans have created with their intelligence for centuries, how they protected the inhabitants from the sun's heat and distributed water fairly. This is not just architectural heritage; it is a living lesson in coexisting harmoniously with the environment. The research relied on simple yet profound steps, starting with conversations with the townspeople who carry the memory of the place. To trace the old maps that tell stories of a life we no longer know. The main idea here is that good urban planning does not just build walls, but builds communities and human relationships. What we ultimately want is for these ideas to become reality, to rediscover how streets and buildings can enhance our identity rather

than erase it. Perhaps Ghadames is just the beginning, a small model that reminds us that cities are not just stones and cement, but a collective memory seeking a place in a rapidly changing world. Quickly, this paper showcases the genius of urban planning in Ghadames through an analysis of its architectural, social, and environmental components, highlighting the lessons learned from it in the context of contemporary planning.

Keywords: Ghadames, urban planning, street shading, water distribution, social identity. Genius of urban planning.

1. المقدمة:

تُعد مدينة غدامس من أقدم المدن في الصحراء الكبرى، وقد طُوِّرت بطريقة تستجيب للبيئة القاسية من حيث الحرارة والجفاف، وتراعي في الوقت ذاته النسيج الاجتماعي والثقافي للمجتمع المحلي. يهدف هذا البحث إلى استكشاف عبقرية تصميم المدينة من منظور حضري مستدام، وإبراز مدى توافقها مع المعايير البيئية والاجتماعية، مع تقديم قراءة نقدية قابلة للتطبيق في نماذج الإسكان الحديثة بالمناطق الصحراوية.

هده الورقة تفتح الباب أمام سؤال مثير: هل يمكن لمدينة مثل غدامس أن تكون مصدر إلهام لتصميم مدن اليوم؟ خاصة تلك التي تعاني من مشاكل المناخ والاكتظاظ السكاني. تخيل كيف يمكن لخبرات الماضي أن تقدم حلولاً لمشاكل الحاضر. و لفهم كيف يمكن للعمارة القديمة أن تساعدنا في بناء مدن أكثر استدامة. في ليبيا مثلاً، حيث التوسع العشوائي أصبح مشكلة كبيرة، ربما تكمن الإجابات في تحليل الوثائق القديمة ودراسات العمارة، بالإضافة إلى مراجعة تجارب التخطيط في المناطق الصحراوية مثل تفاصيل سكان مدينة غدامس: كيف تتحرك الناس فيها، أين يعيشون، كيف توزعت الخدمات، وحتى كيف تعاملوا مع ندرة المياه وحرارة الشمس.

2. أهداف الدراسة

هذه الدراسة تهدف إلى فهم مدينة غدامس القديمة بشكل معمق، المدينة التي تمثل تحفة معمارية فريدة في ليبيا. سنحاول في هذا البحث أن نكتشف أسرار هذه المدينة العريقة ودلك وفق:

أولاً: تحليل البنية التحتية للمدينة

بدرس كيف تم تخطيط غدامس قديما مثل الطرق كيف كانت ممهدة، والأماكن العامة كيف وزعت, أيضاً العلاقة بين المباني والبيئة المحيطة، وكيف تأقلم السكان مع الظروف الصعبة.

ثانياً: اكتشاف الحكمة المحلية

هناك حكمة كبيرة في طريقة بناء المدينة. نسعى لاكتشاف كيف استطاع الأهالي التعامل مع الصحراء القاسية. بدارسة التفاصيل الصغيرة التي جعلت الحياة ممكنة في هذه البيئة.

ثالثاً: الاستدامة في التخطيط القديم

من المدهش كيف أن المدينة القديمة كانت مستدامة قبل أن يصبح هذا المصطلح شائعاً. لغرض فهم كيف استخدمت الموارد الطبيعية بذكاء، وكيف تم توفير الراحة في الجو الحار.

رابعاً: مقارنة مع مدن أخرى

غدامس ليست الوحيدة في المنطقة. هناك مدن أخرى في شمال أفريقيا والشرق الأوسط تشبهها. سنقارن بينها لنرى أوجه التشابه والاختلاف.

أخيراً: الدروس المستفادة

نأمل أن نستخرج من هذه الدراسة أفكاراً مفيدة. يمكن تطبيق هذه الأفكار على مدن ليبية أخرى تعاني من نفس الظروف البيئية. ربما نجد حلولاً لمشاكل الحاضر من ماضي هذه المدينة العظيمة.

3. أهمية دراسة

- غدامس ليست مجرد مدينة عادية، إنها تحفة معمارية نادرة. لو تأملنا طريقة بنائها، سنكتشف كيف استطاع أجدادنا التكيف مع الصحراء بذكاء مدهش. البيوت هناك بنيت بطريقة تمنع دخول الحر الشديد، وتسمح بمرور الهواء البارد. المثير للاهتمام أن المدينة القديمة تقدم لنا دروساً قيمة في العمارة المستدامة. الجدران السميكة، والأزقة الضيقة، كلها حلول عملية لمشاكل المناخ الحار. لو فكرنا في تطبيق بعض هذه الأفكار في المباني الحديثة، قد نوفر كثيراً من الطاقة.
- هناك شيء محزن بعض الشيء. مع مرور الوقت، بدأت بعض معالم المدينة تختفي. الدراسة تساعدنا في توثيق هذه التفاصيل قبل أن تندثر. من اجل المحافظة على تراثنا للأجيال القادمة.
- المدن الحديثة تعاني من مشاكل كثيرة. الازدحام، ارتفاع درجات الحرارة، قلة المساحات الخضراء. لو أخذنا بعض الأفكار من تخطيط غدامس، ربما نجد حلولاً لهذه المشاكل.
- أخيراً، هذه الدراسة ليست مجرد أوراق وأرقام. إنها أداة عملية لمساعدة المسؤولين في ترميم المدينة بشكل صحيح. عندما نفهم المدينة بعمق، نستطيع تطويرها دون أن نفقد روحها الأصيلة.

4. منهجية البحث

تم اعتماد منهج تحليلي مقارن، يجمع بين مراجعة الأدبيات والتحليل المكاني للفراغات الحضرية باستخدام أدوات وصفية وخطط توثيق بصري ومعماري.

كما تم تحليل الخصائص البيئية والمعمارية للمدينة من خلال صور الأقمار الصناعية، والمخططات التوثيقية، والزيارات الميدانية، إضافة إلى المقارنة بمدن مشابهة في المناخ والبيئة.

5. مدينة غدامس القديمة

غدامس القديمة، تلك المدينة الساحرة التي تُلقب بلؤلؤة الصحراء، تقع في واحة نائية تبعد قرابة 600 كيلومتر عن العاصمة طرابلس. تقع المدينة قريباً من نقطة التقاء الحدود الليبية مع الجزائر وتونس الشكل (1). و يعود تاريخ تأسيسها إلى عصور قديمة جداً، ربما قبل التاريخ المكتوب .كانت غدامس في الماضي موقعاً لحامية رومانية مهمة. عُرفت قديماً باسم "سيداموس"، لكن الطابع المعماري المميز الذي نراه اليوم يعود إلى العصر الذهبي للتجارة الصحراوية بين القرنين الثالث عشر والسادس عشر. شكل المدينة دائري تقريباً، وهذا ما يميزها. جدران المنازل الخارجية سميكة جداً، وكأنها تشكل سوراً يحمي المدينة من الخارج. البيوت هنا بنيت بطريقة ذكية، فالطابق الأرضي مخصص للتخزين والأعمال التجارية، بينما الطابق الأول للمعيشة العائلية [1] . من أجمل ما في المدينة تلك الأسطح المسطحة المترابطة. هناك ممرات علوية مفتوحة تربط بين المنازل، كانت مخصصة للنساء للتنقل بحرية. بعض غرف الطابق الأول تمتد فوق الأزقة الضيقة، مكونة سقفاً لها، مما يخلق شبكة من الممرات المغطاة الرائعة. غدامس كانت في

السابق مكانًا حيويًا للتجارة. موقعها الاستراتيجي جعلها محطة رئيسية للقوافل القديمة. كانت هذه القوافل تمر عبر طرق تمتد من البحر المتوسط إلى أعماق أفريقيا. كما كانت طريقًا للحجاج المتجهين نحو مكة المكرمة. المدينة كانت توفر للمسافرين مكانًا للاستراحة والتزود بالمؤن. البيوت فيها بنيت بشكل دائري تقريبًا. الجدران الخارجية السميكة كانت تعمل كخط دفاع للمدينة. هذا التصميم ساعد في حماية السكان من الظروف القاسية. التجار كانوا يقصدون غدامس لنشاطها التجاري النشط. الحجاج أيضًا كانوا يتوقفون فيها خلال رحلاتهم الطويلة. المكان كان مألوفًا للكثيرين من المسافرين في تلك الأيام. حتى الآن، لا تزال البلدة القديمة تحتفظ بجزء من هذا التاريخ العريق[2].

شكل رقم (1) موقع غدامس في ليبيا [2]

6. المناقشة

1.6. التخطيط الحضري في غدامس

1. النسيج العمراني

تتميز المدينة بتخطيطها الدائري، حيث تتجمع البيوت بشكل عنقودي، مما يوفر الظل ويقلل من تأثير الرياح الصحراوية. تُستخدم الممرات الضيقة والمغطاة لتوفير بيئة مريحة للمشاة، مع تخصيص الشرفات العليا للنساء، مما يعكس تنظيمًا اجتماعيًا دقيقًا وهو ما يؤكد عبقرية التخطيط الحضري لهذه المدينة ومن خصائصه [3] :

- تخطيط عضوي متماسك:يعتمد على تداخل الكتل السكنية، وترتيب الأزقة الضيقة والمظللة بطريقة تحمي من أشعة الشمس وتسمح بالتهوية.
- التركيبة الشعاعية: تتوزع الأحياء حول مركز المدينة، وتُقسم حسب النسب أو الانتماء الاجتماعي.
- الخصوصية:ُقسم المدينة إلى فراغات عامة (الساحات، المساجد)، وأخرى خاصة (البيوت)، ويُراعى فيها الفصل بين الحركة العامة والخاصة، خصوصًا للنساء.
- الشوارع والممرات: مصممة لتقليل التعرض للحرارة والغبار، كثير منها مسقوف (يسمى "السقائف) .
- الساحات الصغيرة ُستخدم كمراكز تجمع محلية، وتربط البيوت بالمساجد والأسواق.

2. التحليل الحضري والمناخي

غدامس، تلك المدينة القديمة التي تحكي قصصاً منسوجة بحجر وطين، تمتلك أزقة ضيقة تتدفق بين البيوت كأنها شرايين حية. تخيل السير في ممرات لا يتجاوز عرضها ثلاثة أمتار، لكنها مصممة بذكاء يجعلها تتنفس. الأعمدة المنتظمة كل خمسة عشر متراً تقريباً ليست مجرد دعامات، بل نوافذ تسمح للضوء والهواء بالتخلخل في الدروب شكل رقم (2) .

هناك شيء ساحر في طريقة تحكم الظل والنور في هذه الأزقة، وكيف يلعبان معاً لخلق مناطق مختلفة من الضغط. الهواء هنا لا يركد، بل يتحرك كضيف عزيز يزور كل زاوية. عندما يسخن الهواء في مكان، يجد طريقه إلى مناطق أكثر برودة، وكأن المدينة تتنفس بصمت.

شكل رقم (2) موقع غدامس في ليبيا [14]

هذا التصميم ليس مجرد هندسة، بل حكمة قديمة تحولت إلى حل عملي. في غدامس، حتى الأزقة الضيقة تصبح أنظمة تبريد طبيعية، تروي ظمأ الحجر. حقاً، لطالما كانت المدن القديمة تختزن حلولاً بسيطة لعواصف الحياة ودلك بواسطة:

- يتسم تخطيط غدامس بتشابك الأزقة الضيقة، مما يقلل من تعرض الأسطح لأشعة الشمس المباشرة، ويخلق تيارات هوائية داخلية تساعد على التبريد للوصول لتهوية الطبيعية والعزل الحراري
- المساحات العامة محدودة، لكنها فعالة من حيث التفاعل الاجتماعي، كما أن الفناء الداخلي يلعب دورًا مهمًا في التهوية وتخفيف حرارة الجو.
- تُظهر المدينة استخدامًا ذكيًا للمواد المحلية مثل الطين والجريد، مما يسهم في خلق بيئة مريحة دون الاعتماد على أنظمة التكييف الحديثة.
- توزيع المباني بطريقة تظلل بعضها البعض.

3.إدارة الموارد المائية

تعتمد المدينة على نظام توزيع مائي دقيق يُعرف بـ"عين الفرس"، حيث يُقسم الماء بين السكان وفقًا لنظام اجتماعي متفق عليه، مما يضمن العدالة والاستدامة في استخدام الموارد [5].

شكل (3) صورة عين الفرس [15]

4. الأبعاد الاجتماعية والثقافية

يُظهر التخطيط الحضري في غدامس احترامًا للعادات والتقاليد، حيث يُخصص الفضاء العام والخاص بطريقة تُراعي الخصوصية وتُعزز التفاعل الاجتماعي. كما تُظهر المدينة توازنًا بين الاحتياجات الفردية والجماعية، مما يُعزز من تماسك المجتمع.

6.2 المقارنة والنقاش

- عند مقارنتها بمدن صحراوية أخرى، مثل تمبكتو أو سيوة، تُظهر غدامس تميزًا في تكامل العناصر المعمارية مع النظام الاجتماعي والمناخي.
- تعد المدينة نموذجًا عضويًا حقيقيًا، لا يعتمد على تقسيمات صارمة بين الفضاءات الخاصة والعامة، بل يتدرج بينها تدريجيًا.
- بخلاف الاستنساخ الشكلي في بعض مشاريع الاستدامة الحديثة، فإن عبقرية غدامس تكمن في بساطة التصميم وعمق الفهم المحلي للبيئة.
- هذا التكامل يجعل منها حالة يمكن أن تلهم نماذج الإسكان المعاصر في المناطق الحارة.

6.3 الدروس المستفادة للتخطيط المعاصر

1. الاستجابة المناخية الذكية باستخدام التصميم المعماري لتحقيق الراحة الحرارية دون الاعتماد على تقنيات حديثة، مثل:

- الممرات المسقوفة والضيقة لتقليل الحرارة.
- التهوية الطبيعية من خلال الأفنية الداخلية.

2. التكامل بين المجتمع والفراغ العمراني

توزيع الفضاءات بما يُعزز العلاقات الاجتماعية، ويُراعي الخصوصية (خصوصًا بين الجنسين.(

وجود تقسيم واضح بين الفراغات العامة والخاصة دون حواجز صلبة.

3. الاستدامة في استخدام الموارد

- استخدام مواد محلية صديقة للبيئة.
- إدارة المياه من خلال نظم تقليدية فعّالة (مثل "عين الفرس).

4. التنظيم الذكي للحركة

- هيكل حركة يخدم المشاة أولاً، يُقلل من التعرض للمناخ القاسي، ويُوجه التنقل وفق الحاجة الاجتماعية لا الآلية.

5 . قابلية التكيّف مع التحولات

- المدينة بنيت على مراحل لكنها حافظت على تماسكها البصري والوظيفي.
- ظهر مرونة عمرانية تُمكنها من التوسع دون فقدان هويتها.

6. الهوية المعمارية

- تعكس المباني والفراغات هوية ثقافية متجذرة، ما يمنحها قيمة حضرية لا يمكن نسخها من أنماط غربية.

7. الاستنتاج

- غدامس ليست نموذجًا تاريخيًا جامدًا، بل تقدم فكرًا حضريًا يمكن أن يسهم في رسم سياسات إسكان ذكية ومستدامة في البيئات الصحراوية.
- تصميم المدينة يعكس نظامًا بيئيًا اجتماعيًا متكاملًا من شأنه إلهام مشاريع الإسكان المعاصرة، خصوصًا في المناطق التي تواجه تحديات بيئية ومناخية مماثلة.
- تُساهم في تطوير استراتيجيات تخطيط حضري مستدام يحترم البيئة، المجتمع، والهوية.
- تقدم حلولًا للمدن المعاصرة في المناطق الصحراوية أو التي تواجه تحديات بيئية واجتماعية مشابهة.
- استخدام مواد محلية وتقنيات بناء تقليدية يُقلل من الأثر البيئي.
- تصميم الفضاءات بما يُراعي الخصوصية والتفاعل الاجتماعي.
- تطبيق أنظمة محلية لإدارة الموارد يُعزز من العدالة والاستدامة.

8. الخاتمة

غدامس.. تلك المدينة التي تقف بشموخ كشاهد حي على عبقرية الإنسان في التعامل مع الصحراء. لا تزال منازلها القديمة تحكي قصة تصميم حضري فريد، وكأنها مدرسة تعلّمنا كيف نعيش بتناغم مع البيئة القاسية .الماء هنا ليس مجرد مورد، بل روح المكان التي شكلت كل شيء. الأزقة الضيقة ليست عشوائية، بل لوحة مرسومة بدقة لتوفير الظل والهواء النقي. حتى الجدران تبدو وكأنها تتحدث بلغة السرية والدفاع، تحمي سكانها من حرارة الشمس ومن غزاة الماضي.

تُقدم مدينة غدامس نموذجًا ملهمًا للتخطيط الحضري الذي يدمج بين البيئة والمجتمع والثقافة. يُبرز هذا النموذج أهمية العودة إلى الجذور المحلية في تصميم المدن المعاصرة، خاصة في البيئات ذات التحديات المناخية.

ما يدهشك حقاً هو كيف تحولت التحديات إلى فرص إبداعية. العواصف الرملية التي تخيف الآخرين، وجد أهل غدامس طريقة لتحويلها إلى نظام تهوية طبيعي. الشوارع المتعرجة ليست للجمال فقط، بل تشكل متاهة تحمي المدينة كقلعة منيعة. في كل زاوية من هذه المدينة تجد حكمة قديمة. العلاقات الاجتماعية القوية لم تكن صدفة، بل نتاج تصميم يجبر الجيران على التواصل. حتى الاقتصاد المحلي كان جزءاً من هذه المعادلة الذكية، حيث تتداخل الحياة اليومية مع البناء العمراني بانسجام تام. لهدا مدينة غدامس القديمة ليست مجرد بُنى قديمة، بل تُعبر عن ذكاء عمراني محلي عميق، وتقدم نماذج ملهمة لتخطيط بيئي مستدام ومتوازن يمكن الاستفادة منه في تطوير المدن المعاصرة. وهي ليست مجرد مدينة، بل فلسفة حياة كاملة منقوشة في الطين والحجر. دروس الماضي هنا لا تزال حية، تنتظر من يقرأها بعين الحاضر ليبني مستقبلاً أكثر عبقرية و استدامة.

9. التوصيات:

- دمج مبادئ التخطيط التقليدي في السياسات العمرانية الحديثة، خاصة في المدن الصحراوية بهدف تعزيز إدماج مفاهيم التخطيط التقليدي في تطوير المدن الصحراوية.
- تطوير كودات بناء مستوحاة من عناصر العمارة المحلية في غدامس، لتحقيق استدامة بيئية واجتماعية
- تشجيع البحوث التطبيقية والميدانية، لفهم المزيد من أنماط التخطيط التقليدي في المدن الليبية وتوجيه البحث العلمي الميداني حول المدن التاريخية المحلية لتعزيز التعليم المعماري بقضايا التراث، من خلال اعتماد غدامس كنموذج تدريبي في الجامعات بهدف الحفاظ على المدن التقليدية كأمثلة تعليمية في كليات العمارة والتخطيط الحضري.
- الاستثمار في السياحة الثقافية والتنمية المحلية، مع الحفاظ على النسيج التاريخي وعدم تشويهه
- وضع آليات تشريعية واضحة لحماية التراث العمراني، بالشراكة بين الدولة والمجتمع المحلي لتطوير نماذج سكنية مستوحاة من مبادئ غدامس مع مراعاة الاحتياجات المعاصرة. .

10. المراجع

[1] UNESCO World Heritage Centre. (n.d.). Old Town of Ghadamès. Retrieved from https://whc.unesco.org

[2] Ghadames, French Occupation (1949 – 1951). Dead Country Stamps and Banknotes. (2018, January 3). https://www.dcstamps.com/ghadames-french-occupation/

[2] Alabid, J., & Taki, A. (2014). Bioclimatic housing design to desert architecture: A case study of Ghadames, Libya. Science and Technology for the Built Environment, 20(7).

[3] Salem, A. City of Ghadames & Design of Neighborhood Unit [Ph.D. Thesis]. University of Warsaw. 1985.

[4] Abufayed, A. A. (2005). Traditional Adobe Building Practices In The Historic City Of Ghadames, Libya. WIT Transactions on The Built Environment.

[5] Ghadames architecture. (n.d.). Libyan Hertitage. 2006. Retrieved January 5, 2006, from https://www.libyanheritage.com/arch/ghadames.htmt

[6] UNESCO World Heritage Centre. Old Town of Ghadamès.

[7] Alabid, J., & Taki, A. (2014). Bioclimatic housing design to desert architecture: Ghadames case study.

[8] Abufayed, A. (2005). Traditional Adobe Practices in Historic Ghadames.

[9] ICOMOS Reports on Libyan Heritage Sites.

[10] Al-Akkari, F. R. (2013). The Continuity of the Social and Cultural Heritage of Ghadames.

[11] Al-Mirath. Retrieved from https://mirathlibya.blogspot.com/2013/10/blog-post_7.html

[12] Hakim, B. (2001). Urban Design in Traditional Islamic Cultures.

[13] Ham, A. Lonely Planet Libya. Lonely Planet. 2023

[14]Ghadames City Development Agency. 2023. https://www.facebook.com

[15] Fathy, H. (1986). Natural Energy and Vernacular Architecture. Chicago: The University of Chicago Press.

[16] Salem, F. (2004). Traditional Architecture in Libya. Benghazi: Dar Al-Fikr.

خصائص البنية المكانية او الفراغية

[1]*فوزي محمد عقيل, [2]عياد عبد الله ابورويص , [3]عمر علي الامين, [4] منصور عليوة الزوي
1 استاذ مساعد، قسم الهندسة المعمارية والتخطيط العمراني، كلية الهندسة، جامعة المرقب، الخمس ليبيا
2 كلية الهندسة التقنية مسلاته
3 جامعة المرقب
4 الاكاديمية الليبية للدراسات العليا جنزور
*للمراسلة fawzi6664@gmail.com

الملخص:

تستكشف هذه الدراسة السمات الحضرية لمدينة براك الشاطئ، مع تحليل تأثير التكوينات المكانية على الأنشطة الاجتماعية والاقتصادية فيها. تُعد المدينة نموذجاً فريداً لتداخل العوامل التاريخية والثقافية مع التحديات العمرانية المعاصرة. اعتمد البحث على منهجية "Space Syntax" وأداة "Depthmap" لتحليل البنية المكانية، ودراسة تأثيرها على حركة الأفراد وتفاعلاتهم، بهدف فهم كيفية تحسين جودة الحياة الحضرية عبر تصميم فراغات عامة أكثر تفاعلاً.

كشفت النتائج المتوقعة عن ارتباط وثيق بين البنية المكانية وأنماط استخدام الأراضي، مما يساعد في تشخيص تحديات مثل الازدحام ونقص المساحات العامة. كما أوصت الورقة بتبني تخطيطٍ قائم على البيانات، وتعزيز التعاون بين الجهات المعنية لتحقيق تنمية مستدامة، مع التركيز على مشاركة المجتمع لضمان انسجام المشاريع المستقبلية مع احتياجات السكان وتطلعاتهم.

الكلمات المفتاحية: براك الشاطئ، التخطيط الحضري، space syntax، التحليل المحوري، التنمية المستدامة.

Abstract:

This paper investigates the impact of urban spatial configurations on socio-economic activities in Brak Al-Shati City, employing Space Syntax theory and axial analysis via Depthmap software to examine how urban design shapes pedestrian movement and social interactions. The study highlights the intersection of historical-cultural factors and contemporary urban challenges, aiming to enhance public space utilization and address issues like congestion. Methodologically, it combines spatial data analysis with Space Syntax models to map movement patterns and land-use dynamics. Findings underscore the need for data-driven planning and stakeholder collaboration to foster sustainable development. The paper advocates for community-inclusive planning processes to align future projects with residents' needs and aspirations.

Keywords: *Brak Al-Shati; urban planning; Space Syntax; axial analysis; sustainable development*

1. المقدمة:

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل الملامح المكانية لمدينة براك الليبية – ذات التاريخ العريق والنسيج العمراني المميز – باستخدام نظرية التركيب الفراغي(Space Syntax) ، لفهم تأثير تنظيمها الحضري على التفاعلات الاجتماعية وحركة السكان والزوار. تعتمد المنهجية على أعمال هيلر وزملائه [1]، التي قدمت إطارًا كميًا لتحليل الفراغات عبر مؤشرات رياضية، مع الاستناد إلى مفهوم "المنطق الاجتماعي للفراغ" الذي يربط بين التكوين المكاني والسلوك البشري [2،3]. يتمثل التحليل في رسم الخطوط المحورية (Axial Lines) لتمثيل اتجاهات الحركة ومجالات الرؤية [4]، مما يسمح بفهم تدفقات الحركة وتطور المدينة تاريخيًا وحديثًا عبر توليد رسوم بيانية ونتائج كمية [5]. تُعد براك نموذجًا فريدًا لتفاعل الخصائص التقليدية مع متطلبات التحديث، حيث تسعى الدراسة إلى تقديم توصيات قائمة على الأدلة لتحقيق توازن بين الاستدامة والهوية المكانية [6]، مع توقع أن تسهم النتائج في سياسات التطوير الحضري المستقبلية.

1.1. اهداف الدراسة :

تحليل التحديات الحضرية المحلية ووضع إطار تكاملي للتنمية المستدامة وفق معايير دولية و توفير بيانات قابلة للقياس لدعم القرارات الحضرية، مع تعزيز المشاركة المجتمعية في صياغة السياسات وتنفيذها.

2.1. اهمية الدراسة

إضافة معرفية :تحليل نقدي للتحديات الحضرية عبر نموذج متكامل يربط الاستدامة البيئية والكفاءة الاقتصادية والشمول الاجتماعي، سدًّا لفجوة في الدراسات الإقليمية.

دعم القرار :تطوير مؤشرات قائمة على الأدلة وخرائط تفاعلية (space syntax) لتحليل التوزيع المكاني.

بُعد مجتمعي :تعزيز الحوكمة التشاركية عبر إشراك أصحاب المصلحة، تماشيًا مع الهدف 11 للتنمية المستدامة (مدن مستدامة).

3.1. منهجية الدراسة:

اعتمدت الدراسة البحث التطبيقي والتحليل المكاني عبر "نظرية التركيب المكاني" لتحليل شبكات الحركة والرؤية البصرية، وتحديد مؤشرات الكفاءة الوظيفية والترابط المكاني، مع بناء نموذج تنبؤي لمحاكاة التفاعلات المكانية–الزمانية. استُخدم برنامج (Depthmap) للتحليل الكمي.

2. نظرية التركيب المكاني (Space Syntax):

طورها (بيل هيلير 1970م) [7] وتمثلت في إطار كمي لتحليل البيئات المبنية عبر قياس التفاعلات الفراغية، باستخدام مؤشرات رياضية (كعمق الفراغ، التكامل، الترابط) لتحليل الخصائص المورفولوجية[8] , وفرضيتها الأساسية تمثلت التكوين الفراغي ينظّم الأنشطة البشرية بربط المتغيرات المادية (الحركة، الاستخدامات) بالسوسيولوجية (الإدراك، التفاعلات المجتمعية)[9] , وتعمل على نمذجة الشبكات الفراغية بخوارزميات حسابية لتحديد الوصولية والاستخدام الأمثل[10] , و تشخيص التشوهات الوظيفية في النسيج العمراني، وتخطيط سيناريوهات تصميمية مستدامة[11] , وتحقق القيمة الإبستمولوجية, وهي الربط بين تحليل الشكل الفراغي والديناميات الاجتماعية–الاقتصادية.[12]

3. الحالة الدراسية : مدينة براك:

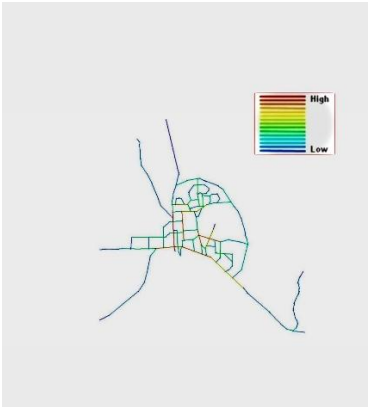
تقع مدينة براك الليبية على بعد نحو 700 كيلومتر جنوب العاصمة طرابلس، وحوالي 60 كيلومتراً شمال مدينة سبها، ضمن الشعبية الإدارية لوادي الشاطئ، حيث تُعتبر المركز الإداري لها. شكل رقم (1) وفق إحصاء عام 2004، بلغ عدد سكانها حوالي 43,100 نسمة، مما يجعلها أكبر تجمع سكاني في المنطقة وأكثفها تاريخيًا وحاضرًا.

شكل رقم (1): موقع مدينة براك

4. تحليل البيانات باستخدام (SPACE SYNTAX):

1.4. انماط شبكة الشوارع:

تحليل شبكة شوارع مدينة براك – باستخدام منهجية Space Syntax– كشف أن قيمة مؤشر الترابطية بلغت 2.69639 (الشكل 2)، وهي أقل من المتوسطين الليبي والعربي 2.98(الجدول 1)، مما يعكس هيمنة الأزقة المغلقة والمتعرجة (كالنهايات المسدودة) والتأثيرات التضاريسية و التقسيمات القبلية [13] التي شكلت شبكة حركة معزولة نسبيًا. يؤدي هذا الانخفاض إلى محدودية خيارات



شكل رقم (2): مؤشر الاتصالية connectivity

جدول (1): مؤشرات دولية مختلفة [5]

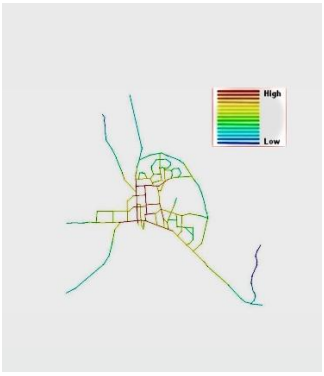
Cities	Cases	Axial size	Connectivity C	Local integration R3	Global integration Rn	Intelligibility Rn / c	Synergy Rn /R3
U.S Cities	12	5420	5.835	2.956	1.61	0.224	0.559
Euro Cities	15	5030	4.609	2.254	0.918	0.137	0.266
English Cities	13	4440	3.713	2.148	0.720	0.124	0.232
Arabic Cities	18	840	2.975	1.619	0.650	0.231	0.160
Libyan Cities	6	1416	3.53	3.53	0.904	0.192	0.369
Ghadames City	1	744	2.7	2.7	0.558	0.122	0.227

المسارات وازدحام محتمل على الطرق الرئيسية، بينما يعزز الخصوصية المجتمعية ويُحيّد التدفق العشوائي للحركة، مما يدعم التفاعلات المحلية واقتصاد الأزقة غير الرسمي (كالحرف العائلية). مقارنةً بالنمط العربي التقليدي (2.98)، تُظهر براك نمطًا أكثر انغلاقًا بسبب عوامل تاريخية/جغرافية وغياب مشاريع التحديث. للتغلب على هذه التحديات، تُوصي الدراسة بتحسين الاتصال عبر فتح ممرات استراتيجية، واستخدام أدوات Space Syntax لتحديد الاختناقات، ودمج الاعتبارات التضاريسية في التوسع المستقبلي لتحقيق توازن بين متطلبات التنمية والهوية الحضرية.

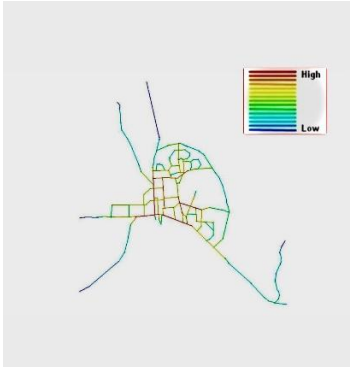
2.4. والوصول والحركة لفراغات الشاملة والمحلية : (Integration)

كشف تحليل مؤشر التكامل الشامل (Global Integration [HH]) لمدينة براك باستخدام منهجية Space Syntax عن قيمة بلغت 0.664812 (الشكل 3)، تُصنف ضمن المتوسط عالميًا وتقترب من نمط المدن العربية التقليدية [14]، نتيجة هيمنة الشوارع العضوية والأزقة الضيقة التي تعكس أولوية الخصوصية المجتمعية على الكفاءة الحركية. رغم أن هذه القيمة تُظهر توازنًا بين القيم الاجتماعية والاحتياجات الوظيفية، إلا أن تركيز الحركة في محاور رئيسية (كشارع التركيات) يسبب ازدحامًا ويُضعف وصولية الأحياء الطرفية للخدمات، خاصة مع ارتفاع العمق البصري وتفتت النسيج العمراني الناتج عن النمو العشوائي وغياب التخطيط الشبكي.

من جهة أخرى، سجل التكامل المحلي (Local Integration) قيمة منخفضة بلغت 1.26629 (الشكل 3)، مع عمق بصري متوسط بحد أقصى 3 انتقالات بين العُقد [15]، مما يؤكد العزل المكاني وضعف الترابط الوظيفي بين مكونات المدينة، وفق تحليل الخطوط المحورية (نصف قطر 3). يُوصي التحليل بمواجهة هذه التحديات عبر دمج ممرات استراتيجية تربط الأطراف بالمركز، وتحليل نقاط الاختناق، مع الحفاظ على الهوية العمرانية لتحقيق تكامل مكاني مستدام.



التكامل الشامل



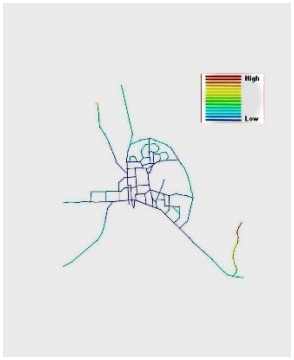
التكامل المحلي

شكل رقم (3): مؤشر التكامل integration

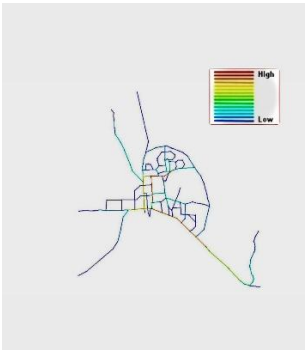
4.4. سهولة الوصول للمواقع الحضرية و المسارات الاقصر والاكثر استعمالا :

سجلت مدينة براك متوسط عمق بصري–حركي (Depth) بلغ 8.66084 (نطاق 7–10)، يعكس تباينًا مكانيًا معتدلًا في الوصول، حيث يظهر (الشكل 4) توزيعًا مكانيًا يتدرج من مناطق مركزية (قيم 0.5–4.5) ذات تكامل عالٍ، إلى أحياء شبه طرفية (6–8) تحتاج محاور ربط ثانوية، ومناطق طرفية (9–12) متعزلة، مع كفاءة وظيفية تصل إلى 63% للنقاط الحيوية بأقل من 9 خطوات. تشير القيمة المرتفعة مقارنة بالمعيار الأمثل (5–7) إلى فجوة تصميمية، مما يستدعي تطوير حلول تنقل ذكية وتعزيز الربط البصري عبر سياسات "المدن المدمجة."

من جهة أخرى، سجل مقياس الاختيارية – (Choice) الذي يحسب عدد المسارات الأقصر عبر شارع ما [16] – متوسطًا بلغ 8412.3، مع تركيز حركي غير فعّال على شارع التركيات قيمة 218,216، (الشكل 4) رغم كونه غير معبد، مما يُظهر تفاوتًا في تكاملية الشوارع بين القيم النظرية والواقع الميداني. يُوصي التحليل بتطوير بنية تحتية موازية في الشوارع عالية الاختيارية لتحقيق عدالة مكانية، ودمجها مع سياسات الربط البصري لتعزيز الكفاءة الحضرية.



مؤشر العمق



مؤشر الاختيار

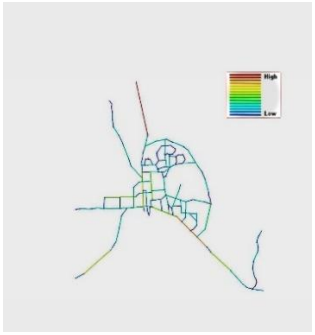
شكل رقم (4): مؤشرات الوصول واقصر الطرق

6.4. نمط شبكة مدينة براك:

يقيس طول المحاور (Line Length) طبيعة الشبكة الحضرية، حيث تشير القيم المرتفعة إلى شوارع طويلة مُصممة لحركة المركبات، بينما القيم المنخفضة تعكس مدنًا مخصصة للمشاة مع تغييرات اتجاهية متكررة [17]. في مدينة براك، بلغ أطول محور 5014.11 مترًا (مُشيرًا إلى مسارات طويلة)، بينما سجل متوسط الطول 162.92 مترًا (الشكل 5)، وهو رقم ضمن الحدود العليا للمتوسط، مما يعكس تخطيطًا هجينًا يجمع بين شوارع متوسطة الطول تُناسب الحركة اليومية، ومسارات أطول لاحتياجات التنقل الأوسع، مع الحفاظ على خصائص تقليدية في التصميم.

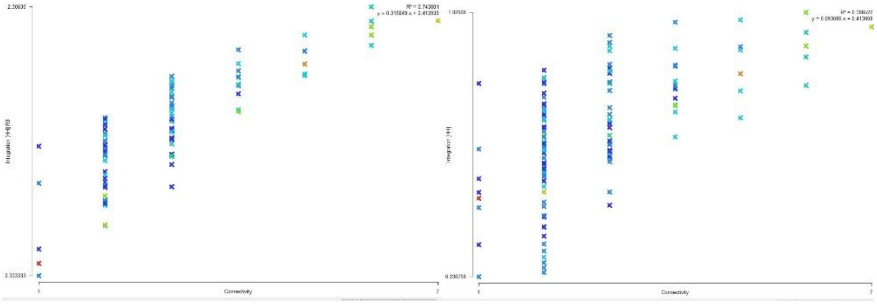
7.4. فهم فراغات مدينة براك:

مؤشر الوضوح – (Intelligibility) الذي يقيس قدرة الفرد على فهم الفراغات الحضرية عبر ربط التكامل الشامل والاتصال [18] – أظهر في مدينة براك (المكونة من 145 فراغًا) وضوحًا شاملاً منخفضًا 0.388522، (الشكل 6) يتطلب ≈8 خطوات طوبولوجية لفهم النظام كاملاً، مما يعكس صعوبة تكوين صورة ذهنية شاملة دون تجول مكثف. في المقابل، سجل الوضوح المحلي قيمة مرتفعة 0.743001، (الشكل 6) مع ≈3 خطوات، مما يدعم كفاءة التصميم المحلي ويُسهل التنقل



شكل رقم (5): طول المحاور

اليومي. يُبرز هذا التفاوت بنية محلية واضحة لكنها تعاني من ضعف الترابط الشامل، مما يحد من استيعاب الأنشطة المعقدة، ويُناسب المدن التراثية الصغيرة على حساب الخصائص الديناميكية للمدن الأكبر.

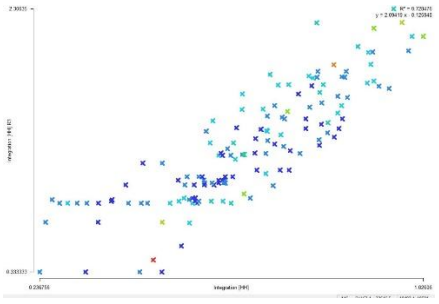


الوضوح الشامل الوضوح المحلي

شكل رقم (6): مؤشر الوضوح

8.4. التآزر الحضري في مدينة براك: التفاعل بين البنية المحلية والنظام الشامل

التآزر الحضري – (Synergy) الذي يقيس تفاعل التكامل الشامل والمحلي لترابط الفراغات الحضرية وقدرتها على دعم الحركة عبر توظيف الخصائص المكانية [19] – سجل في مدينة براك قيمة مرتفعة بلغت 0.728476 (الشكل 7)، تعكس



شكل رقم (7): مؤشر التازر

كفاءة الربط بين المكونات المحلية والهيكل الشامل. يتحقق هذا التآزر عبر تنظيم مترابط للمباني والمساحات المفتوحة، وتوزيع وظيفي للمواقع داخل الأحياء، مع تقييم انسجام البنية المحلية مع النظام الأوسع (التآزر المحوري). أسهم الدعم

المتبادل بين الفراغات في تعزيز تقبُّل السكان للزوار، وتحسين الوظائف المكانية والحركية، مما أنتج بيئة حضرية حيوية قادرة على التكيف مع احتياجات المجتمع.

5. النتائج:

أظهر تحليل خصائص شبكة الشوارع في مدينة براك نتائج متباينة: بدءًا من الترابطية التي بلغت 2.69639 , مما يعكس هيمنة الأزقة الضيقة على النسيج الحضري، فيما تراوح طول المحاور بين 5014.11 مترًا (أطول محور) و162.92 مترًا كمتوسط. في إمكانية الوصول، سجل التكامل الشامل 0.664812 , مما يُصنف الشبكة كشبه عضوية، بينما أظهر التكامل المحلي قيمة أعلى (1.26629)،

تشير إلى عزلة الأحياء السكنية. أما أنماط الحركة، فسجل مؤشر الاختيارية (Choice) متوسطًا عامًا بلغ 8412.3، مع ذروة وصلت إلى 218,216 في شارع التركيات . من ناحية الوضوح المكاني، كان الوضوح الشامل منخفضًا (0.388522) مما يعكس صعوبة تكوين صورة ذهنية شاملة للمدينة، بينما كان الوضوح المحلي مرتفعًا (0.743001) مما يدعم سهولة التنقل اليومي. أخيرًا، بلغ التآزر الحضري 0.728476 , مما يُظهر توازنًا بين خصوصية الأحياء وترابطها الشامل، وهو ما يعزز كفاءة التفاعلات الحضرية.

6. مناقشة النتائج وتحليلها

كشفت تحليلات "Space Syntax" لمدينة براك تفاعلًا معقدًا بين بنيتها الحضرية والأنماط الاجتماعية والحركية، حيث تسيطر الأزقة الضيقة والمتعرجة (ترابطية = 2.69639) على النسيج العمراني، مما يعكس تخطيطًا تقليديًا يركز على الخصوصية المجتمعية، متأثرًا بالعوامل التضاريسية والتاريخية. يُظهر التكامل الشامل المتوسط (0.664812) شبكة حركة شبه عضوية، تتركز حول محاور رئيسية كشارع النخيل (الذي سجل أعلى قيمة اختيارية = 218,216) مسببة ازدحامًا، بينما تعاني الأحياء الطرفية من عزلة (تكامل محلي = 1.26629) وعمق بصري–حركي مرتفع (8.66084)، حيث تحتاج 37% من مناطقها إلى أكثر من 9 خطوات للوصول إلى الخدمات.

من جهة أخرى، يُبرز التوزيع غير المتكافئ للخدمات – المتركزة حول المحاور الرئيسية – اعتماد الأحياء على الاقتصاد غير الرسمي في الأزقة الثانوية (متوسط الاختيارية = 8412.3). فيما يتعلق بالوضوح المكاني، يصعب على الزائر تكوين صورة شاملة للمدينة (وضوح شامل = 0.388522)، لكن الوضوح المحلي المرتفع (0.743001) يُسهل التنقل اليومي للسكان. أخيرًا، تُظهر قيمة التآزر العالية (0.728476، الشكل 10) نجاح المدينة في موازنة الخصوصية المحلية مع الترابط الشامل، مدعومةً بتنظيم مترابط للمساحات رغم تحديات الشبكة، مما يعزز تقبُّل السكان للزوار ويُحافظ على الهوية المجتمعية.

7. خاتمة

تُجسد براك نموذجًا لمدينة مغلقة تُوازن بين الخصوصية المجتمعية وتحديات التكامل الحضري.

التفاوت بين التكامل المحلي والشامل يُشكل تحديًا لتحقيق العدالة في توزيع الخدمات ويتطلب سياسات تعزز العدالة الحضرية

التآزر العالي بين المكونات الحضرية يُظهر إمكانية التطوير دون المساس بالهوية التراثية.

التفاوت المكاني في الخدمات.

8. التوصيات

تشمل مقترحات تحسين النسيج الحضري لمدينة براك ثلاث استراتيجيات رئيسية: أولاً، تعزيز الربط بين الأطراف والمركز عبر فتح ممرات استراتيجية لخفض العمق البصري في المناطق الطرفية، مع استخدام نماذج "Space Syntax" لتحديد نقاط الاختناق في الشوارع وتحسينها. ثانيًا، تعزيز التكامل الشامل عبر دمج محاور موازية للشوارع الرئيسية (كشارع النخيل) لتخفيف الازدحام، وتطوير شبكة نقل عام تغطي الأحياء ذات التكامل المنخفض. ثالثًا، الحفاظ على التوازن الاجتماعي-الحضري من خلال سياسات "التجديد اللطيف" التي تحافظ على طابع الأزقة التقليدية مع تطوير بنيتها التحتية، وإضافة معالم إرشادية (كالممرات المظللة أو اللوحات) لتعزيز الربط البصري بين الفراغات، مما يدعم الهوية المحلية ويُحسّن تجربة المشاة

9. المراجع

[1] Hillier, B., et al. (1976). "Space Syntax: A Different Urban Perspective." Environment and Planning.

[2] Hillier, B., & Hanson, J. (1984). The Social Logic of Space. Cambridge University Press.

[3] Penn, A. (2003). "Space Syntax and Spatial Cognition." Environment and Behavior.

[4] Agael , Fawzi et al.Tribe environment, built environment and urban privacy Bani Walid city as a case study, international conference on science and engineering (ICSE 2023) , Bani Walid , Libya.

[5] Agael , Fawzi, (2018) . Measuring urban clarity of the built environment , First Conference for Engineering Sciences and Technology (CEST-2018)

[6] Yamu, C.; van Nes, A. Garau, C. (Eds.). 2021. Bill Hillier's Legacy: Space Syntax—A Synopsis of Basic Concepts, Measures, and Empirical Application. Sustainability, 13(6), 3394; https://doi.org/10.3390/su13063394. 1–25.
Mahklouf, M; Sherif, A; Betelmal, A. 2018. Floristic Study for Tarhuna–Libya. Hacettepe Journal of Biology and Chemistry. 1–29.

[7] Hillier, B., & Hanson, J. (1984). The Social Logic of Space. Cambridge University Press.

[8] Al-Mansouri, F. et al. (2020). Urban Synergy in Traditional Arab Cities. Journal of Urban Heritage.

[9] حمدي، محمد.(2010). التوصيف الكمي للتركيب الفراغي بالتطبيق على مدينة الاسكندرية وجدة. قسم التصميم العمراني، كلية التخطيط الإقليمي والعمراني، جامعة القاهرة.1.

[10] عقيل , فوزي.(2019). قياسات البيئة الحضرية المبنية من الانتقائية الى القياسات الرقمية الرياضية، المؤتمر الثاني للعلوم الهندسية والتقنية (2019 -cest) ، صبراته.

[11] عقيل , فوزي.(2021). "قياس التشكل المكاني للتعقيد الهيكلي لانماط الشبكات المكانية الحضرية ", المؤتمر الهندسي الدولي , كلية الهندسة جامعة مصراته , مصراته .(المجلة الدولية للهندسة وتقنية المعلومات).

[12] عقيل , فوزي.(2022). التركيب المجالي كأداة للقياسات الحضرية "التراكيب المكانية لبعض المدن الليبية"، المؤتمر الدولي الأول حول التركيب المجالي Space Syntax: نظريات وتطبيقات، جامعة فرحات عباس، سطيف، الجزائر، معهد الهندسة المعمارية وعلوم الأرض، قسم الهندسة المعمارية، مخبر السكن والبيئة .

[13] عقيل , فوزي.(2023). مفردات الجملة الفراغية للبيئة الصحراوية " التركيب المكاني لمدينة غات القديمة "، المؤتمر الثالث للتشييد في المناطق الصحراوية , جامعة الجفرة، هون – ليبيا.

[14] عقيل , فوزي.(2023). الملامح المكانية لمدينة ترهونة، المؤتمر السادس للعلوم الهندسية والتقنية، (CEST–2024)، ترهونة، ليبيا .

[15] عقيل , فوزي.(2019). التحميل المحوري المكاني لمبيئة المبنية كمنتج لمتفاعل الاجتماعي الثقافي, المجلة الدولية للعلوم والتقنية.

[16] عقيل، فوزي. (2019). التحليل المحوري المكاني للبيئة المبنية كمنتج للتفاعل الاجتماعي الثقافي. المجلة الدولية للعلوم والتقنية. المؤتمر والمعرض التقني الأول للهندسة المعمارية والمدنية.

[17] المرشدي، ريام.(2022). نظرية بيل هيلر: بناء مجلة الفراغ (بنية الفراغ) – موجز للأساس النظري والأنظمة التقنية. الملتقى الدولي الأول حول التركيب المجالي: نظريات وتطبيقات، جامعة سطيف ،1 الجزائر.

[18] العقوري، فرج.(2010). التحليل الهيكلي لبعض المدن الصحراوية باستخدام تقنية الجملة الفراغية (Space Syntax) الحالات الدراسية: طرابلس، بنغازي، سبها، غدامس، غات. المؤتمر المعماري الدولي الثامن لقسم العمارة بجامعة أسيوط، IACA–8، مظـهر المدينـة.

[19] عقيل، فوزي؛ الخازمي، حمزة؛ وآخرون.(2021) .قياس التشكل المكاني (spatial morphology) للتعقيد الهيكلي لأنماط الشبكات المكانية الحضرية. المجلة الدولية للهندسة وتقنية المعلومات، المؤتمر الهندسي الأول IECMU، المجلد (9)، العدد 1.

التوعية البيئية ودورها في تحسين أداء فريق التصميم نحو مخرجات تصميم مستدام

1حنان رجب الكبير ، 2محمد الصغير الفرجاني
1،2 قسم الهندسة المدنية والمعمارية، اكاديمية الدراسات العليا، جنزور، طرابلس، ليبيا
eng2020hrk@gmail.com
m.elforgani@academy.edu.ly

الملخص:

أصبح مفهوم الاستدامة في عالمنا مرتبطاً ارتباطاً وثيقا بتنمية المجتمعات الإنسانية، حيث يعمل هذا المفهوم على خلق مدن قادرة على تطوير الأساليب والأفكار لتحسين استغلال مواردها الطبيعية والمحافظة عليها. وتعد ليبيا من الدول العربية التي تزخر بالموارد الطبيعية والتنوع البيئي والاقتصادي والاجتماعي، الامر الذي يجعل تجسيد مفهوم الاستدامة في ليبيا مطلبا ملحاً، ولا يتأتى ذلك الا من خلال المشاركة المجتمعية الفعالة وذلك بتضافر الجهود والتركيز على رفع مستوى الوعي البيئي ومواكبة الحداثة والتطور التكنولوجي لتطبيق مبادئ الاستدامة وتحقيق ابعادها. وباعتبار أنه لا يوجد بيئة مستدامة بدون عمران مستدام تبحث هذه الدراسة في إشكالية تحسين كفاءة أداء فريق التصميم ومتغيراته من خلال تقييم مدى فاعلية الوعي المجتمعي والمعرفي كوسيط فعال لتحقيق بيئة عمرانية مستدامة في ليبيا.

تهدف الدراسة الى التعرف على الاليات المناسبة للبيئة الليبية لتحقيق الاستدامة في بمختلف أقاليمها (الصحراوية والساحلية والجبلية) والسبل الكفيلة لتفعيل دور لتوعية المجتمعية في تعزيز كفاءة فريق التصميم لضمان مخرجات تصميمية تحافظ على استدامة المقدرات والموارد في بلادنا. حيث انتهجت الدراسة مراجعة الادبيات والدراسات السابقة واستخدام نظام تقييم الاستدامة (الهرم الأخضر) كأداة لتحليل البيانات بالإضافة لتوزيع استبيانات على عينة مكونة من 100 مهندس ومهندسة من مختلف مدن ليبيا، وخلصت الدراسة الى ضرورة تفعيل أساليب التوعية التي تشمل التربية والثقافة البيئية ووسائل الاعلام والقوانين والتشريعات وكذلك التدريب والمنظمات الغير حكومية لتساهم بشكل إيجابي في رفع كفاءة خصائص فريق التصميم ومتغيراته والذي يحقق بدوره بيئة عمرانية مستدامة من خلال التصميم المستدام، كما تدعو إلى تعزيز المشاركة المجتمعية في عمليات التصميم لضمان أن تعكس المشاريع المستقبلية احتياجات السكان الفعلية وتطلعاتهم.

الكلمات الدالة: التصميم المستدام، فريق التصميم، التوعية البيئية، التصميم البيئي، المباني الخضراء

Abstract

The concept of sustainability has become intrinsically linked to the development of human communities. It fosters cities capable of improving resource efficiency and protecting their natural assets. Libya, as a country rich in environmental, economic, and social diversity, presents an urgent need for implementing sustainability principles. Achieving this requires active community participation, collective efforts, and raising environmental awareness in alignment with modern technological advancements. Recognizing that sustainable urbanism is essential for a sustainable environment, this study explores how to enhance the performance and efficiency of architectural and engineering design teams. It assesses the effectiveness of environmental and societal awareness as an intermediary factor in promoting

sustainable urban environments in Libya. The research aims to identify mechanisms appropriate for Libyan contexts—across desert, coastal, and mountainous regions—and determine how community awareness can strengthen design team capabilities to ensure outcomes that preserve local resources and assets. The methodology includes a literature review, the application of the Green Pyramid sustainability assessment framework, and a questionnaire distributed to a sample of 100 engineers from various Libyan cities. Findings emphasize the need to activate environmental awareness strategies—including education, media outreach legal regulations, professional training, and engagement with NGOs— to improve the performance characteristics and contextual responsiveness of design teams. Ultimately, the study advocates for integrating public participation in design processes to ensure that future projects genuinely reflect the needs and aspirations of local communities.

Keywords: Sustainable Design, Design Team, Environmental Awareness, Environmental Design, Green Buildings

1. المقدمة:

تعد الاستدامة من المفاهيم الحاسمة في بناء المجتمعات الحديثة، حيث يشكل الحفاظ على البيئة والموارد ركيزة أساسية للتنمية في ليبيا، بما تملكه من تنوع بيئي واقتصادي وجغرافي، كما تقف أمام تحديات حقيقية في تطبيق هذا المفهوم ضمن تصميم المدن والمباني. ويبرز هنا دور فريق التصميم في ترجمة هذه التحديات إلى حلول عمرانية. ومع تنامي أهمية التصميم المستدام تبرز الحاجة إلى رفع الوعي البيئي لدى الفرق التصميمية كمدخل لتعزيز كفاءة الأداء والوصول إلى مشاريع تنموية تراعي الأبعاد البيئية والاقتصادية والاجتماعية .وفي ظل التحديات البيئية والاجتماعية والاقتصادية التي تواجه قطاع البناء في ليبيا، أصبحت الاستدامة العمرانية مطلبًا ملحًا لضمان الاستخدام الرشيد للموارد وتحسين جودة الحياة. ويعد تحقيق هذا الهدف مرهونا بكفاءة فرق التصميم المستدام، ودورها في إنتاج حلول إنشائية تراعي الأبعاد البيئية والاقتصادية والثقافية. حيث تمثل التوعية البيئية أحد المحفزات الأساسية لرفع كفاءة خصائص تلك الفرق، من خلال تطوير المهارات وتعزيز المعرفة واتجاهات التصميم المستدام. وفي هذا السياق تبحث الدراسة في مدى تأثير أدوات التوعية المجتمعية على أداء فرق التصميم، عبر تقييم مستوى المعرفة، والخصائص، والمتغيرات المؤثرة، مستندةً إلى منهجية علمية للوصول لدراسة منطقية تحاكي واقعنا الليبي.

2. منهج الدراسة:

2.1 إشكالية الدراسة:

في ظل التحديات البيئية والاجتماعية التي تواجه قطاع البناء في ليبيا، تتزايد الحاجة إلى تعزيز الاستدامة العمرانية من خلال تبني ممارسات تصميمية تراعي السياق المحلي. وعلى الرغم من تصاعد الاهتمام بالمباني الخضراء، إلا أن تطبيق مفاهيم التصميم المستدام لا يزال محدودًا في الواقع الليبي، مما يطرح تساؤلات حول الأسباب الكامنة وراء ذلك .فمن جهة،

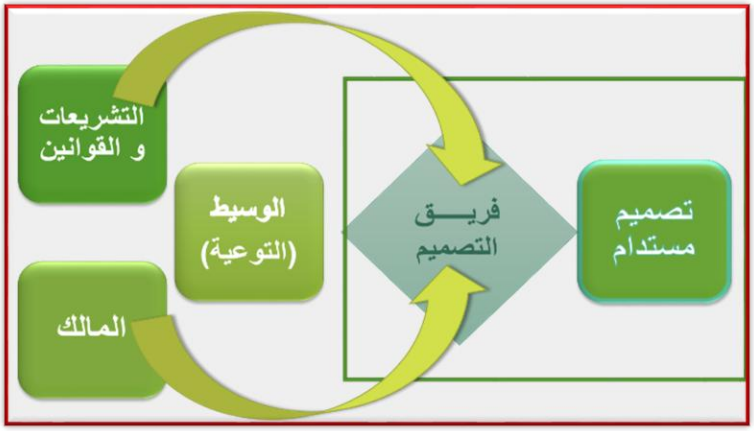
يُعد فريق التصـــميم هو المحرك الرئيســـي للمخرجات التصـــميمية، لما يمتلكه من خبرات متعددة وقرارات تؤثر في جودة المشروع. ومن جهة أخرى، تُمثل التوعية البيئية وسيلة جوهرية لتحفيز السلوك التصميمي المسؤول، وتمكين الفرق من دمج المبادئ البيئية في مشـــاريعهم. إلا أن التفاعل بين التوعية البيئية وأداء فرق التصـــميم لا يزال غير واضـــح بما يكفي، خصـوصًـا في البيئات التي تفتقر إلى نظم تقييم فعالة وتوجهات مؤسـسـية ناضـجة نحو الاستدامة. من هنا، تنبثق إشكالية الدراسـة حول مدى تأثير التوعية البيئية في تحسـين أداء فرق التصـميم المسـتدام، ودورها في تحقيق مخرجات تصـميمية تراعي مؤشرات الاستدامة في ليبيا.

2.2 الهدف من الدراسة:

تهدف هذه الورقة إلى تحليل أثر التوعية البيئية في تحسـين أداء فرق التصـميم المسـتدام في ليبيا، من خلال دراسـة العلاقة بين مستوى الوعي البيئي لدى أفراد الفريق، وفاعلية المخرجات التصميمية في تحقيق مؤشرات الاستدامة العمرانية. وتسـعى الورقة إلى تقديم نموذج معرفي وميداني يوضـح كيف يمكن أن تأثر التوعية وأسـاليبها في رفع كفاءة فرق التصـميم نحو تحقيق مبانٍ أكثر استدامة تراعي الاختلافات البيئية والجغرافية والاجتماعية، خاصة في ظل المتغيرات المحلية والبيئية والاقتصادية التي تواجه قطاع التشييد في ليبيا لذلك ترتكز الدراسة على المفاهيم التالية:

- **الوعي البيئي: هو** مجموعة من القيم والسلوكيات التي تمكن الفرد والمجتمع من اتخاذ قرارات تدعم البيئة.
- **التوعية المجتمعية:** تشمل التربية البيئية، الإعلام، التشريعات، والتعليم غير النظامي.
- **فريق التصميم** :مجموعة من المهندسين والمختصين الذين يعملون على صياغة المشاريع العمرانية، وتعد خلفيتهم المعرفية ومهاراتهم وسلوكهم من العوامل المؤثرة على التصميم المستدام.
- **التصميم المستدام** :هو التصـميم الذي يراعي استدامة الموقع، كفاءة الطاقة، كفاءة المياه، كفاءة المواد والموارد، البيئة الداخلية، والإدارة الذكية.

وقد أكدت الأدبيات أن التوعية المجتمعية تعتبر وسيطًا حاسمًا في تحسين أداء الفرق التصميمية وتوجيه قراراتهم نحو الاستدامة. ونستطيع ان نستوضح ذلك من خلال الشكل(1) والمصطلحات التالية:



الشكل(1) يبين هيكلية التوعية المجتمعية كوسيط في تحسين أداء الفرق التصميمية ومؤثراته لحقيق مخرجات التصميم المستدام

2.3 التوعية البيئية:

التوعية البيئية هي عملية تعليمية تهدف إلى تنمية إدراك الفرد والمجتمع بالقضايا البيئية، والسلوكيات المطلوبة للحفاظ على الموارد وتقليل الأثر السلبي على البيئة حيث تشمل: التربية البيئية، الإعلام البيئي، التشريعات القانونية، والمبادرات المجتمعية التي تسعى لتغيير السلوك نحو الاستدامة [2]. وتلعب هذه التوعية دورًا حيويًا في تحسين قرارات التصميم العمراني والهندسي، من خلال بناء فهم أعمق للقيم البيئية لدى المصممين والمخططين.

ومن أهم وأبرز أدوات التوعية البيئية الآتي:

1) الإعلام البيئي :يسهم في نشر مفاهيم الاستدامة عبر القنوات الرقمية والتقليدية. [3]
2) التربية البيئية: تدمج في المناهج التعليمية لخلق سلوك بيئي مستدام في مراحل مبكرة. [4]
3) الثقافة البيئية: تساهم في تعزيز المعرفة البيئية وتكوين القيم والاتجاهات.
4) القوانين والتشريعات: تلزم الممارسين باتباع ضوابط ومعايير بيئية وتمنح امتيازات على هذا الالتزام. [5]
5) التدريب المهني: يطور مهارات التصميم الأخضر لدى المهندسين.
6) المنظمات الغير حكومية: حيث تسهم بدورها الفاعل في التأطير والتحول نحو الاستدامة.

2.4 التوعية البيئية كمدخل لتحسين المخرجات التصميمية:

تعتبر التوعية البيئية حجر الأساس في بناء سلوك مهني مسؤول داخل القطاعات الإنشائية والمعمارية. فهي لا تقتصر على نشر المعرفة النظرية بالقضايا البيئية وحسب بل تمتد لتشكيل توجهات المصممين تجاه ممارسات أكثر التزامًا واستدامة. ويكتسب هذا الدور أهمية خاصة في السياق الليبي، حيث إن غياب التوعية البيئية المنهجية يؤدي إلى قرارات تصميمية تقليدية لا تراعي البيئة المحلية. [1] وتعرف التوعية البيئية بأنها عملية مستمرة تهدف إلى تطوير إدراك الأفراد بالمشكلات البيئية، وتنمية الحس بالمسؤولية تجاه البيئة، وتحفيز المشاركة في الحفاظ على الموارد الطبيعية [2]. كما أنها تُعد عاملًا محفزا للسلوك البيئي داخل الفرق التصميمية، وتُسهم في بناء ثقافة مهنية داعمة للإبداع والابتكار. [3]

وقد أظهرت نتائج الدراسة الميدانية أن أساليب التوعية مثل الإعلام البديل، والتدريب المهني، والتشريعات البيئية، كانت الأكثر فاعلية في تحفيز الأداء الجماعي نحو التصميم المستدام، وهو ما يُبرز العلاقة المباشرة بين التوعية وجودة المخرجات التصميمية في البيئة الليبية. [4].

عليه فإن تفعيل منظومة التوعية البيئية سواء على مستوى المؤسسات التعليمية أو المهنية، يعد مدخلا ضروريا لتطوير قطاع البناء بما يتماشى مع متطلبات الاستدامة المحلية والدولية.

2.5 فريق التصميم:

فريق التصميم هو مجموعة متعددة من التخصصات تشمل: معماريين، مدنيين، بيئيين، ومخططين وغيرهم من التخصصات يعملون بشكل جماعي لتحويل أفكار المشروع إلى مخرجات تصميمية [6]. وتكمن فعالية الفريق في توازن مهاراته التقنية، واتصاله الفعال، وتبنيه لثقافة التعاون والتعلم المتبادل. ويمكن تصنيف خصائص الفريق الفعال على النحو التالي:

1) توزيع الأدوار والمسؤوليات بوضوح.
2) التواصل والتكامل المهني بين الأعضاء الفريق.

3) القدرة على التفكير التصميمي وحل المشكلات.
4) الالتزام بالجودة والابتكار[7]

وتزداد أهمية هذه الخصائص في سياق المباني الخضراء، حيث تتطلب المشاريع ممارسات تتعلق بكفاءة الطاقة، وإدارة الموارد، وتحسين البيئة الداخلية وغيرها من المؤشرات.

2.6 فريق التصميم ودوره في تحقيق الاستدامة:

يعد فريق التصميم المستدام عنصرًا محوريًا في ترجمة أهداف الاستدامة إلى واقع ملموس داخل البيئة العمرانية. ويتكون هذا الفريق من مختصين في مجالات متعددة تشمل العمارة، الهندسة المدنية، البيئة، الطاقة، والتخطيط العمراني وغيرها، حيث يتعاونون ضمن منظومة جماعية لتنفيذ مشاريع تستجيب للتحديات البيئية والاجتماعية والاقتصادية. [10]. كما تتمثل وظيفة فريق التصميم في صياغة حلول مبتكرة تراعي كفاءة الطاقة، استخدام المواد المستدامة، تحسين البيئة الداخلية، وتفعيل الأداء البيئي للمباني، وذلك من خلال اتخاذ قرارات منهجية مدروسة [11]، تعمل ضمن بيئة جماعية متكاملة تُحقق نتائج تصميمية مستدامة بأعلى جودة، خاصة عندما تتوافر مهارات مثل التفكير التصميمي، التواصل، وتوزيع الأدوار الفعال. [12]. وقد أظهرت نتائج الدراسة أن فريق التصميم كان صاحب التأثير الأكبر في تطبيق مؤشرات الاستدامة ضمن نظام تقييم "الهرم الأخضر"، متفوقًا على الجهة المالكة والتشريعات، بنسبة تأثير وصلت إلى 100%، مما يؤكد أن تطوير أداء هذا الفريق يُعد مدخلًا فعّالًا لتحقيق مشاريع مستدامة في ليبيا. [13]

2.7 المتغيرات المؤثرة في أداء فريق التصميم:

رغم امتلاك فرق التصميم للكفاءات الفنية، إلا أن أداءها الفعلي يتأثر بعدة متغيرات خارجية توجه قراراتها وتحدد نطاق عملها، ومن أبرز هذه المتغيرات نجد الآتي:

أولًا: الجهة المالكة: تلعب هذه الجهة دورًا أساسيًا في تحديد أهداف المشروع وتمويله، مما يجعلها مؤثرة على شكل التصميم النهائي. وتمثل درجة وعي المالك بالتصميم المستدام عاملاً حاسمًا في السماح بتطبيق المعايير البيئية أو رفضها [14]. وقد تؤدي العلاقة التعاقدية بين المالك والفريق إلى تحديد صلاحيات الفريق ومستوى استقلاليته في اتخاذ قرارات مبتكرة.

ثانيًا: القوانين والتشريعات: تشكل التشريعات الإطار التنظيمي لعمل فريق التصميم حيث تحدد ما هو مسموح أو محظور، وتفرض التزامات تتعلق بمعايير السلامة، والكفاءة البيئية، واشتراطات البناء وغيرها من الاشتراطات. كما نلاحظ أنه في حالة وجود قوانين داعمة لمثل هذا التوجه مثل: أنظمة المباني الخضراء قد يكون دافعا يُحفز الفرق على الابتكار، وفي المقابل يؤثر غيابها أو غموضها سلبًا على أدائها. [15]

ثالثًا: البيئة المؤسسية والمهنية: تتضمن نمط الإدارة، وضوح المهام، والتنسيق مع الجهات الأخرى مثل الاستشاريين والمقاولين. وتُظهر الدراسات أن الفرق التي تعمل ضمن بيئة مؤسسية داعمة تحقق نتائج أعلى في تطبيق معايير الاستدامة، خاصة عند وجود قيادة تشجع التعلم والتجريب. [16] من هنا يتضح أن دعم أداء فرق التصميم لا يعتمد فقط على تطوير خصائص والمهارات الفنية، بل أيضًا على خلق بيئة تشريعية ومؤسسية محفزة، وتفعيل أدوات التوعية المجتمعية كوسيط لإحداث التحوّل نحو التصميم المستدام.

2.8 العلاقة بين التوعية البيئية وأداء فريق التصميم:

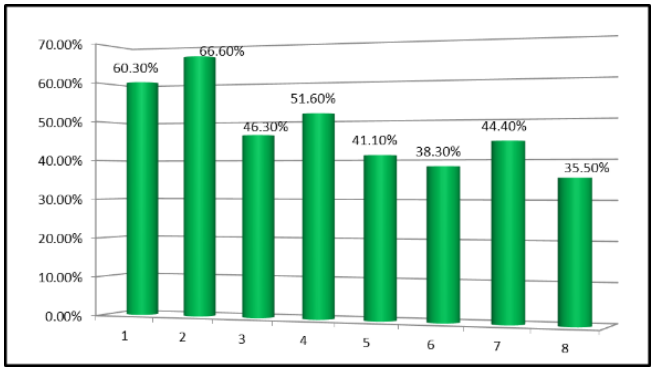
تلعب التوعية البيئية دورًا محفزًا في رفع كفاءة الفرق التصميمية، من خلال تعزيز فهمهم لأبعاد الاستدامة، وتحفيزهم على اتخاذ قرارات تصميمية مسؤولة [8]. وقد أكدت عدة دراسات أن فرق التصميم التي تدمج التوعية البيئية ضمن استراتيجياتها تُحقق جودة تصميم أعلى، وتُراعي احتياجات المجتمع والمتطلبات الثقافية والبيئية المحلية.[9] كما أن مدى استيعاب الفريق للمفاهيم البيئية و معرفتها يعد متغيرا مؤثرا في تطبيق الأنظمة التقييمية مثل "الهرم الأخضر"، وهو ما تؤكده نتائج الدراسة التي أظهرت أن فريق التصميم كان العامل الأكثر تأثيرا في تحقيق مؤشرات الاستدامة.

جدول (1) يوضح العلاقة بين مفردات التوعية البيئية وخصائص فريق التصميم وأثرها في تحقيق الاستدامة

المصطلح	تعريفه ودوره	مفرداته	الأثر في التصميم المستدام
التوعية البيئية	عملية تنمية إدراك المجتمع بالقضايا البيئية وتأثير قراراته وسلوكه عليه.	– التربية البيئية – الثقافة البيئية – الإعلام البيئي – القوانين والتشريعات البيئية – التدريب البيئي – المنظمات الغير حكومية	رفع مستوى السلوك البيئي لدى المصممين ودعم اتخاذ قرارات مسؤولة بيئيًا.
العمل الجماعي	تفاعل منظم بين أعضاء الفريق لتحقيق أهداف مشتركة	– التعاون والتكامل – توزيع الأدوار – التواصل الفعال – احترام متبادل – حل المشكلات بشكل الجماعي	تعزيز الجودة والابتكار في المخرجات التصميمية وتقوية الأداء داخل الفريق.
فريق التصميم	مجموعة متعددة التخصصات تضع التصورات التصميمية وتنفذها وفق أهداف المشروع	– كسب الخبرة والمعرفة – تنوع المهارات – القدرة على التفكير التصميمي – فهم احتياجات المستخدم – القدرة على اتخاذ قرارات جماعية	تحويل التوعية البيئية إلى مخرجات تصميمية واقعية تنسجم مع مبادئ الاستدامة.
المتغيرات المؤثرة	العوامل الخارجية التي تؤثر على أداء الفريق	– الجهة المالكة – القوانين والتشريعات	ضبط حرية الإبداع التصميمي وتوجيهه نحو الامتثال البيئي والمعايير الوطنية والدولية.

3. النتائـــج:

3.1 معرفة فريق التصميم بمفاهيم التوعية البيئية:

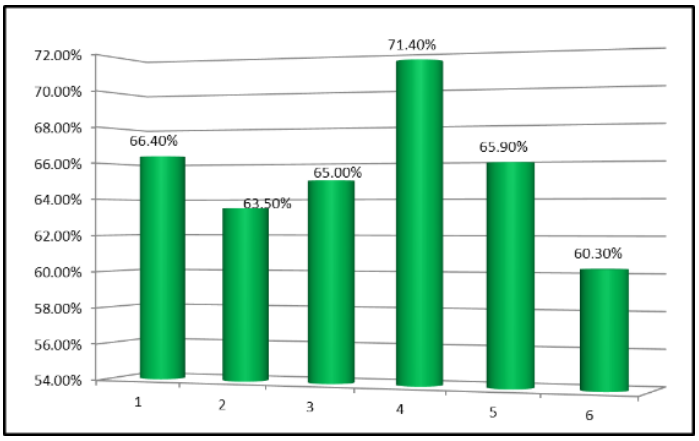


شكل (2) من اعداد الباحثة يبين الوزن النسبي لمدى معرفة فريق التصميم بمفردات ومصطلحات التوعية بالاستدامة

1) التقييم العام: (متوسط) معدل 2.93 / 48.1%.
2) أبرز نقاط الضعف: المعرفة بالتدريب البيئي والمنظمات غير الحكومية

3.2 الخلفية المعرفية بالمبادئ الأساسية للتصميم المستدام:

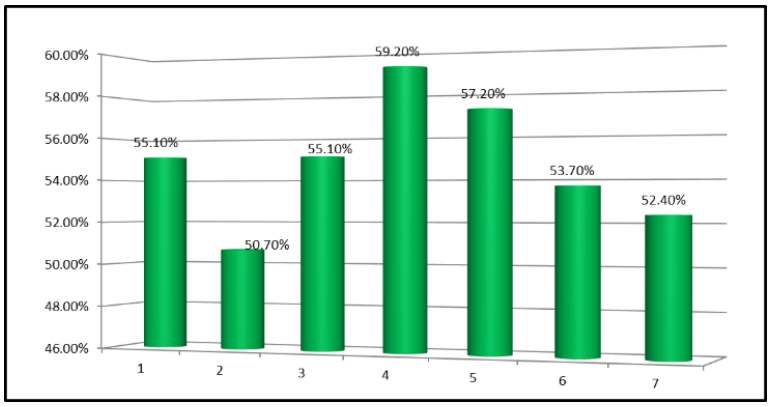
1) التقييم: (عالي) معدل 3.61 / 65.4%.
2) هناك فهم جيد للمفاهيم، لكن فجوة في التطبيق الفعلي بالمشاريع .



شكل (3) من اعداد الباحثة يبين الوزن النسبي للخلفية المعرفية بالمبادئ الأساسية للتصميم المستدام

3.3 الوعي بأهمية الخصائص المطلوبة في الفريق:

- التقييم: (متوسط) معدل 3.19 / 54.8(%.
- أكثر الخصائص تأثيرا: الالتزام بالقيم، تقديم المقترحات، المهارات التقنية.

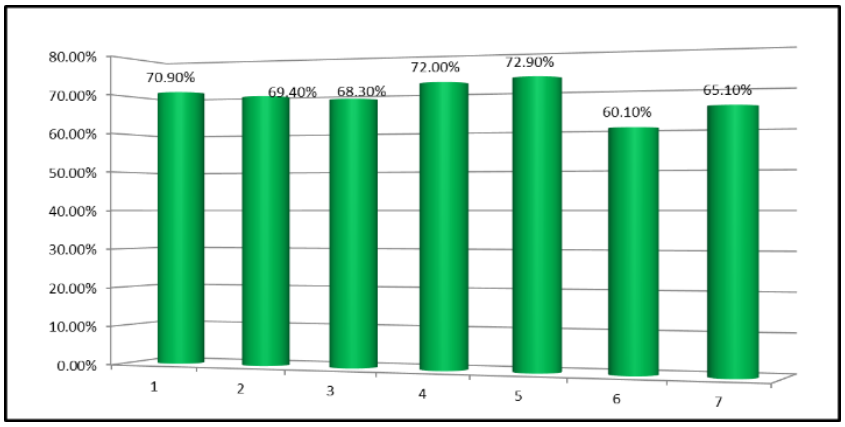


شكل (4) : الوزن النسبي لمستوى وعي فريق التصميم بأهمية الخصائص المطلوبة في أعضائه لتحقيق عمليات التصميم المستدام

3.4 فعالية أساليب التوعية:

- التقييم: (فاعلة) معدل 3.73 / 68.4%.

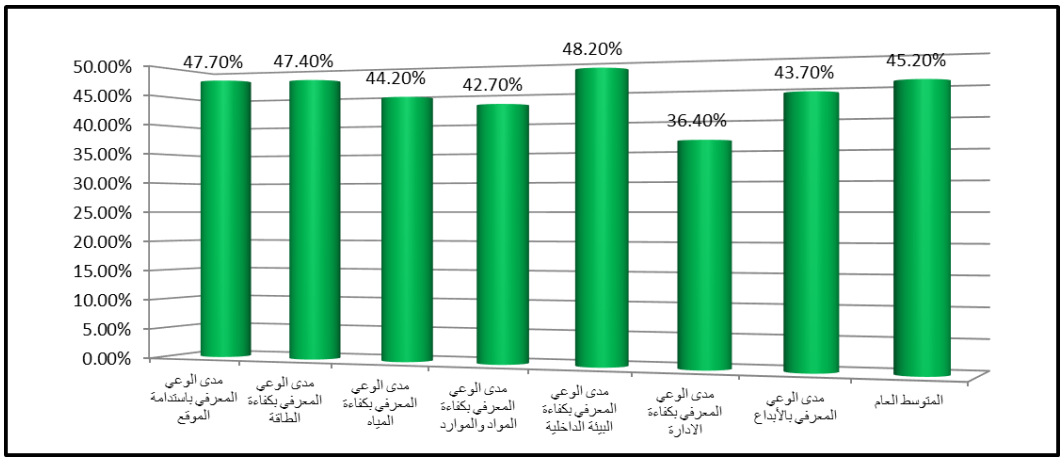
- أكثرها تأثيرًا: الإعلام البديل، القوانين والتشريعات البيئية.



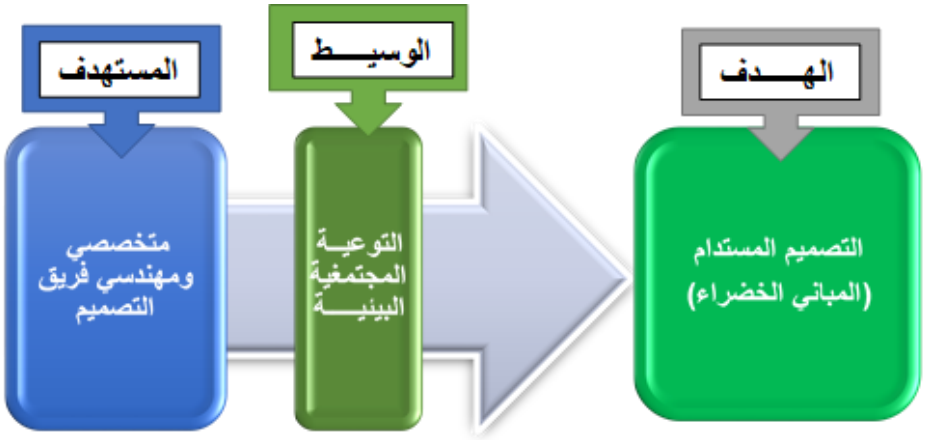
شكل(5) الوزن النسبي مدى فاعلية أساليب التوعية بمفهوم الاستدامة لرفع مستوى وعي وكفاءة فريق التصميم المستدام في ليبيا

3.5 الوعي بالمؤشرات البيئية الهندسية:

- التقييم: (متوسط)معدل 2.81 / 45.2%.
- أعلى مؤشر وعي: (البيئة الداخلية) 48.2%.
- أدنى مؤشر وعي: (الإدارة) 36.4%.



الشكل(6): الوزن النسبي لمدى الوعي المعرفي لمتخصصي ومهندسي فريق التصميم بالمؤشرات التي تحقق التصميم المستدام



الشكل (7) من اعداد الباحثة يبين هيكلية عناصر البحث (المستهدف، الوسيط، الهدف)

4. المناقشة:

أظهرت نتائج الدراسة الميدانية وجود علاقة واضحة بين مستوى التوعية البيئية وكفاءة فرق التصميم في إنتاج مشاريع مستدامة. فبالرغم من أن الخلفية المعرفية بالمفاهيم الأساسية للتصميم المستدام كانت جيدة، إلا أن التطبيق الفعلي لهذه المفاهيم في الواقع العمراني ظل محدودا. ويعكس ذلك وجود فجوة بين الإدراك النظري والسلوك التصميمي الميداني. كما أظهرت الدراسة أن فريق التصميم يمثل العنصر الأكثر تأثيرا في تطبيق مؤشرات نظام تقييم الاستدامة (الهرم الأخضر)، مقارنة بالجهة المالكة والتشريعات، حيث تحصل على نسبة تأثير بلغت 100%.

في المقابل نجد أن المؤشرات المعرفية المتعلقة بكفاءة البيئة الداخلية والوعي بالإبداع البيئي ومواد البناء مستوى تقييم متوسط، مما يؤكد الحاجة إلى تطوير المهارات التخصصية وتفعيل مفردات التوعية في تشكيل فرق التصميم. وتشير العلاقة الطردية بين مستوى المعرفة ومدى تطبيق مبادئ التصميم المستدام إلى أهمية التوعية كوسيط فعّال لتحسين المخرجات التصميمية الشكل رقم (8) أعلاه يوضح هذه العلاقة.

5. الخاتمة:

تؤكد الورقة أن التوعية البيئية ليست مجرد نشاط ثقافي، بل هي مدخل حيوي لتحسين أداء فرق التصميم وتعزيز جودة المشاريع الهندسية في ليبيا. فكلما تم دعم وسائل وأساليب التوعية كلما تطورت المعرفة والمهارات والقيم، مما ينعكس مباشرة على جودة المخرجات التصميمية ويتحقق على ضوئها مفهوم المباني الخضراء كنهج فعلي لا كشعار رمزي، ضمن بيئة عمرانية مستدامة تستجيب لتطلعات المجتمع الليبي.

6. التوصيات:

استنادا إلى نتائج الدراسة، توصي الدراسة بالآتي:

1) إدماج مفاهيم الوعي البيئي والاستدامة في مناهج التعليم بمراحله المختلفة.
2) تفعيل دور الإعلام التقليدي والرقمي لنشر الثقافة البيئية.
3) تطوير القوانين والتشريعات البيئية لتكون محفزا للمشاريع المستدامة ومنظما لأداء الفرق التصميمية.

4) إنشاء برامج تدريبية تستهدف التخصصات الهندسية الأقل تواجدا في فرق التصميم.
5) دعم منظمات المجتمع المدني لتكون فاعلة في حملات التوعية ونقل الخبرات المحلية والدولية.
6) توسيع نطاق التأهيل المهني باستخدام أدوات معرفية مثل العصف الذهني، النقاش الجماعي، وورش العمل.

7. المراجع:

[1] أبو النصر، مدحت. (قواعد ومراحل البحث العلمي). مجموعة النيل، (2004).
[2] العدوي، سهام. (مفاهيم الوعي البيئي والسلوك المسؤول). مجلةJHAS ، (2022).
[3] السرّحان، أحمد .(دور العمل الجماعي في تحسين الأداء المؤسسي). رسالة ماجستير، جامعة العلوم الإدارية، (2021).
[4] القانون المصري للبناء الأخضر. (اللائحة التنظيمية للتقييم البيئي للمباني). وزارة البيئة المصرية، (1994).
[5] قحطان، نادر. (الفرق التخصصية وأثر التعاون المهني في بيئة التصميم). المجلة العربية للتصميم، (2020).
[6] كلوف، سيرز، وسيجن. (إدارة مشاريع البناء والتشييد). دار Wiley & Sons ، (2015).
[7] MAG Law . (دليل التشريعات البيئية والتصميم المستدام). www.maglaw.org ، (2025).
[8] Pahl, G, & Beitz, W. (Engineering Design: A Systematic Approach). Springer, (2013).
[9] RoleCatcher. (خصائص فرق التصميم الفعّالة في مشاريع الاستدامة). www.rolecatcher.com ، (2024).
[10] SympaWeb. (Effective Design Teams: Dynamics and Responsibility).
[11] www.sympaweb.com, (2024)
[12] وزارة البيئة الليبية. (التقرير الوطني لحالة البيئة في ليبيا). طرابلس، (2003).
[13] وزارة العدل الليبية. (دليل الملكية الفكرية للمصممين). طرابلس، (2015).
[14] نافعلي، عمر. (الفكر التصميمي داخل فرق العمارة).www.nafezly.com ، (2024).
[15] Wikipedia contributors. (Teamwork: Collaboration and Learning). www.wikipedia.org,
[16] أسرار البيئة. (مفاهيم البيئة الداخلية وجودة الحياة في التصميم). مفاهيم، (2022).
[17] FasterCapital. (Building Green: Integrating Sustainability in Urban Design).
[18] www.fastercapital.com, (2023).
[19] Katteb، رانيا. (الفرق المهنية في التصميم والتوافق المؤسسي). Edraak، (2023).
[20] SlideShare. (مفاهيم العمل الجماعي والفرق التعاونية). www.slideshare.net.

دراسة مقارنة عن النمذجة غير الخطية للجدران الإنشائية الخرسانية المسلحة

م. إلهام إبراهيم العارف*[1] أ.د. حسن محمد عبد الله [2]
1*. طالبة دراسات عليا بقسم الهندسة المدنية – كلية الهندسة صبراتة – جامعة صبراتة
2. أستاذ بقسم الهندسة المدنية – كلية الهندسة صبراتة – جامعة صبراتة
Elhamhassan293@gmail.com

الملخص

تستخدم الجدران الإنشائية الخرسانية المسلحة بشكلٍ شائع في المباني المتوسطة والعالية الارتفاع لمقاومة الأحمال الجانبية الناتجة عن الرياح والزلازل، ولاستيعاب القيود المعمارية وتسهيل البناء وزيادة الكفاءة الإنشائية إلى أقصى حد؛ فإنه من الضروري معرفة التكوينات المتعددة للجدران، وذلك لأجل إجراء عملية النمذجة والمحاكاة لفهم سلوك هذه الجدران. تمثّلت ألية عمل هذه الدراسة في استخدام بيانات جدران القص لبُرج أسطواني مُصمّم سابقًا من قبل المكتب الاستشاري الهندسي التركي نوديوس وهذا البُرج هو احدى مكونات مشروع بُرج البحر بمدينة طرابلس الذي يُسمّى ببُرج الفندق والمكون من 32 طابق وتمّ استخدام هذه البيانات لإنشاء نماذج غير خطية لهذه الجدران (نموذج العناصر المحددة ونموذج عناصر الألياف) باستخدام البرنامج التحليلي إيتابس وإجراء التحليل غير الخطي الاستاتيكي للنموذجين، ثمّ المقارنة بين النموذجين بناءً على المعلّمات التالية: الإزاحة وانجراف السقف والقص القاعدي للجدران. ومن خلال النتائج اتضح أن كِلَا النموذجين جيّدان في إلتقاط السلوك غير الخطي للجدران، وأظهرا تشوه مع عدم حصول انهيار بسبب التصميم الجيد للجدران، وكانت الإزاحة بنموذج العناصر المحددة أكبر مقارنةً بنموذج عناصر الألياف وهذا يدل على أن الصلابة لنموذج عناصر الألياف أكبر من الصلابة لنموذج العناصر المحددة وهذا يتوافق مع بعض الدراسات السابقة ، و بالرغم من أن نتائج قوى القص لنموذج العناصر المحددة أكبر بكثير منها لنموذج عناصر الألياف إلّا أنه لم يحصل أي إنهيار للجدران بسبب السلوك المسيطر عليها وهو سلوك الإنحناء فقط مما يدل على أن قوى القص لم تؤثر على سلوك الجدران في كِلا النموذجين.

الكلمات الدالة: نموذج العناصر المحددة، نموذج عناصر الألياف، النمذجة غير الخطية، جدران القص.

Abstract

Reinforced concrete structural walls are commonly used in medium and high-rise buildings to resist lateral loads from wind and earthquakes. To accommodate architectural constraints, facilitate construction and maximize structural efficiency, it is necessary to know the various wall configurations, in order to perform modeling and simulation to understand the behavior of these walls. The mechanism of this study was to use the shear wall data of a cylindrical tower previously designed by (NODUS Engineers Consulting CO.LTD.) the Turkish engineering consulting office NODUS. This tower is one of the components of the Sea Tower project in Tripoli, homelly hotel tower and consists of 32 floors. This data was used to create non-linear models for these walls (finite element model and fiber element model using the

ETABS V21.1.0 version) and to conduct nonlinear static analysis for the two models, then compare the two models based on following parameters: displacement, story drift, base shear of walls. The results showed that both models were good at capturing the nonlinear behavior of the walls, and showed deformation without collapse due to the good design of the walls. The displacement of the finite element model was greater compared to the fiber element model, which indicates that the stiffness of the fiber element model is higher than the stiffness of the finite element model, which is consistent with some previous studies. Although the results of the shear forces of the finite element model are much greater than the fiber element model, no collapse of the walls occurred due to the controlled behavior, which indicates that the shear forces did not affect the behavior of the walls.

Keywords: *Finite element model, fiber element model, nonlinear modeling, shear walls.*

1. المقدمة

إنّ الحاجة للمباني العالية تزداد يومًا بعد يوم لأسباب عديدة مثل زيادة عدد السكان، ارتفاع تكلفة الأراضي، إضافة مناظر جميلة للمدن ومنح تهوية طبيعية. وإنّ فهمنا لسلوك هذه المباني تحت تأثير أحمال الرياح والزلازل تكون من المشاكل المعقدة التي تواجهنا في هندسة الإنشاءات حيث تعتبر الجدران الإنشائية الخرسانية المسلّحة في المباني العالية من أهم الأعضاء الإنشائية لأنها فعّالة في مقاومة الأحمال الجانبية التي تسبّبها أحمال الرياح والزلازل على المباني، بالإضافة إلى القدرة على مقاومة التشوه لتلبية متطلّبات الهزّات الأرضية القوية؛ نظرًا لأنّ الجدران الإنشائية هي العناصر الأساسية وفي بعض الحالات العناصر الوحيدة لمقاومة الأحمال الجانبية؛ لذلك فمن الضروري أن تتوفر أدوات تحليلية قادرة على التقاط سلوك الجدران مما توفر للباحثين والمهندسين معلومات لدراسة تصميم المباني الحديثة وتقييم المباني القائمة؛ لذلك فعند النظر إلى التصميم القائم على الأداء الذي يتم استخدامه بشكلٍ متزايد في تصميم وتقييم المباني فإن استخدام النماذج غير الخطية يعد هذا أمرًا شائعًا جدًا لمعرفة سلوك الجدران وتوجد عدة طرق للتحليل العددي التي تستخدم في النمذجة غير الخطية؛ وأكثر هذه الطرق شيوعًا لمحاكاة سلوك الجدران الإنشائية الخرسانية المسلحة هي طريقة العناصر المحددة، و طريقة عناصر الألياف. طريقة العناصر المحددة نادرًا ما يتم استخدامها من قبل المهندسين الممارسين حيث يقتصر استخدامها للأعضاء الإنشائية فقط وليس للمبنى ككل لأنها تتطلب الكثير من الحسابات، أمّا طريقة عناصر الألياف فتتمتع نماذجها بالقدرة على التقاط سلوك الإنحناء مع السلوك المحوري للمنشاءات الخرسانية المسلّحة وهي شائعة الاستخدام ولكنها ليست موثوقة تمامًا لأنها لا تستطيع التقاط سلوك القص مع سلوك الإنحناء والسلوك المحوري. في هذه الدراسة تمّ استخدام بيانات جدران القص لبُرج أسطواني مصمم ومنفذ في مدينة طرابلس وذلك لأجل انشاء نماذج غير خطية لهذه الجدران ومن ثمّ إجراء التحليل الإستاتيكي غير الخطي (تحليل الدفع) للنموذجين، ثمّ المقارنة بين النموذجين بناءً على المعلّمات التالية: الإزاحة وانجراف السقف والقص القاعدي للجدران.

1.1. مشكلة الدراسة وأهدافها

يمكن تلخيص المشكلة في أنّ التحليل القائم على الأداء للمباني العالية تكون فيه نمذجة الجدران الإنشائية دائمًا عملية معقدة لسلوك الجدران غير الخطي تحت تأثير الأحمال الجانبية وكذلك لطبيعة المواد الإنشائية وتغير خصائصها وغالبًا ما يكون مكلفًا من حيث الوقت والجهد مقارنةً بالطرق التقليدية وبسبب التكوينات العديدة للجدران فهناك الحاجة إلى مزيد من البحث لتحسين فهم سلوك هذه الجدران. هدفت هذه الدراسة إلى:

1. تطبيق ومقارنة بين أساليب النمذجة لمحاكاة سلوك الجدران الإنشائية لبُرج أسطواني معرّض لتحميل جانبي ومحوري.
2. توفير توصيات للتطبيقات العملية للنمذجة غير الخطية للجدران من أجل التصميم والتقييم.

1.2 النموذج الخطي والنموذج غير الخطي

النموذج الخطي: هو نموذج حاسوبي لا يُدرك الفشل وليس لديه القدرة على التقاط السلوك غير المرن (سلوكه هش) ومدخلات البرنامج تكون عبارة عن ثوابت أو أرقام عددية وهي معامل المرونة E ومعامل القص G وهكذا.أمّا النموذج غير الخطي: هو نموذج حاسوبي يُدرك الفشل ولديه القدرة على التقاط أي سلوك غير مرن (سلوكه مطيل) يتطلب البرنامج مدخلات (Inputs) عديدة بناءً نوع النموذج المراد استخدامه [1].

1.3 الدراسات السابقة

في هذا البند نعرض بعض الدراسات السابقة ذات العلاقة بموضوع الدراسة باختصار وذلك على النحو التالي:
دراسة قام بها (Suleyman Dursun;2018) عن المقارنة بين نموذج طريقة العناصر المحددة ونموذج عناصر الألياف مع نتائج دراسات تجريبية سابقة للجدران وأيضًا باستخدام النموذجين قورن السلوك غير الخطي للجدران القصيرة والنحيلة. حيث أظهرت النتائج أنّ أسلوب النمذجة بالألياف يُبالغ في تقدير الصلابة للجدار ومع هذا فإنّ كِلا أسلوبي النمذجة لديها القدرة على التقاط السلوك غير الخطي للجدران وأنّ نتائج نموذج طريقة عناصر الألياف لا يمكنه التقاط سلوك القص مع سلوك الإنحناء للجدران القصيرة ومن ناحية أخرى فإنّ نموذج طريقة العناصر المحددة يمكنه أن يجمع بين سلوك الإنحناء وسلوك القص أمّا الجدران الطويلة فإنّ السلوك المسيطر عليها هو سلوك الانحناء و كلا الأسلوبين يُحاكيان هذا السلوك بشكلٍ جيد [2].

دراسة قام بها كلٌّ من (Yihai Bao, Sashi Kunnath; 2010) عن المقارنة بين نماذج جدار القص من حيث استجابة الحمل مقابل الازاحة ؛ حيث اعتمد نوعين من جدران القص (جدار قص سليم وجدار قص متضرر جزئيًا بافتراض أن الضرر في الطابق الأول تحت تأثير أحمال الجاذبية) لإجراء النمذجة باستخدام طريقة العناصر المحددة و طريقة عناصر الألياف للمقارنة بينهما والتحقق من دقة نموذج (MVLEM) للجدار المتضرر جزئيًا، أيضًا المقارنة بين نماذج الجدار المتضرر مع جدار السليم بطريقة عناصر الألياف لمعرفة تأثيرات الاستجابة المحلية التي يمكن أن تؤثر على الاستجابة الكلية للمبنى ؛ حيث أظهرت النتائج أن نماذج عناصر الألياف لديها القدرة على تمثيل ألية الفشل بالإضافة إلى التأثيرات المحلية في الاستجابة الشاملة تحت نمط الضرر المحدد [3].

دراسة قام بها كلٌّ من (Rahul et al; 2004) عن تحليل الدفع لجدار خرساني والتحقق من الكود الخاص بأداء سلامة الحياة تحت تأثير أحمال الزلازل، وقد اعتمدت المنهجية على نمذجة جدران القص باستخدام مفصلات بلاستيكية تجمع سلوك الإنحناء مع سلوك الحمل المحوري، إذ تمّ اختيار هذا النوع من المفصلات نظرًا لطول الجدران ونحافتها، مما يجعل سلوك

الإنحناء هو المسيطر. بعد ذلك أُجري تحليل الدفع، كونه أداة فعّالة في تقييم الأداء الزلزالي للمباني وفق منهجية التصميم القائم على الأداء؛ اتضح من نتائج الدراسة أن منحنيات السعة التي تمّ الحصول عليها من تحليل الدفع للمبنى تُلبي منحنى الطلب الموجود في إرشادات حساب خصائص المفصلات وبالتالي تُحقق الهدف المطلوب [4].

دراسة قام بها (Samson Semere ; 2016) عن التحقق من دقة نموذج الألياف لجدار خرساني مسلح من خلال المقارنة بين برنامجين تحليل انشائي باستخدام تحليل الدفع وتحليل تاريخ الزمني غير الخطي؛ حيث معلمات المقارنة التي اعتمدت هي الإزاحة وقوة القص القاعدي. أظهرت نتائج الدراسة أن الإزاحة وقوة القص القاعدي التي تمّ الحصول عليها من تحليل الدفع أعطت اتفاقًا جيدًا بين كلا البرنامجين، أمّا بالنسبة لتحليل الزمني غير الخطي يتراوح الاختلاف بين البرنامجين 5% لمتوسط الإزاحات و 13% لمتوسط قوة القص القاعدي والسبب هو أن قوة القص يتم تحديدها من خلال مشتقات الإزاحة وبالتالي يحدث تضخيم تراكم الأخطاء، بالإضافة لذلك استنتج الباحث أن نموذج الألياف يلتقط بدقة السلوك الإنشائي لجدران القص التي يسيطر عليها سلوك الإنحناء وهذا يدل على أنه تم تنفيذ نموذج دقيق لإظهار استجابة المنشأ [5].

1.4 التعريف بالبرنامج المستخدم

البرنامج المستخدم في هذه الدراسة هو برنامج (ETABS V21.1.0 version) ؛ وهو برنامجًا قويًا يمكنه تحسين قدرات التحليل والتصميم لدى المهندس ويكمُن جزء من هذه القوة في مجموعة من الخيارات والميزات أمّا الجزء الأخر يكمُن في مدى سهولة استخدامه، حيث الأسلوب الأساسي لاستخدام البرنامج واضح جدًا وهو يتمثل في أن يقوم المستخدم بإنشاء خطوط الشبكة ووضع العناصر الإنشائية على هذه الخطوط ثمّ تعيين الأحمال والخصائص الإنشائية لهذه العناصر ويتم بعد ذلك إجراء التحليل والتصميم للعناصر الإنشائية ، ثمّ تُعرض النتائج على شكل رسومات أو جداول، يُمكن طباعتها أو حفظها في ملف لاستخدامها في برامج أخرى [6]. وتمّ استخدامه في هذه الدراسة لأنه يوفر عملية النمذجة بطريقتين مختلفتين (طريقة العناصر المحددة وطريقة عناصر الألياف) .

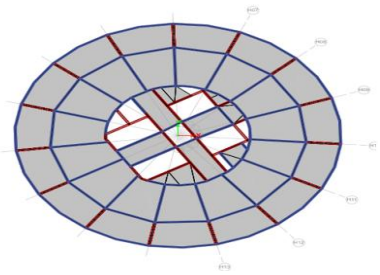
2. وصف حالة الدراسة

حالة الدراسة هي جدران القص لبُرج أسطواني مُصمّم سابقًا من قبل المكتب الاستشاري الهندسي التركي نوديوس وهذا البرج هو احدى مكونات مشروع بُرج البحر بمدينة طرابلس وهو منتجع سياحي استثماري لصالح شركة هاشو بالمشاركة مع صندوق الإنماء الاقتصادي والمكون من ثلاثة أبراج مختلفة الارتفاع بُرج الفندق والمكون من 32 طابق (عينة الدراسة) وبُرج الشقق الفندقية والمكون من 30 طابق وبُرج المكاتب التجارية والمكون من 18 طابق إضافة إلى مرافق أخرى سياحية وتجارية متعددة وبمساحة إجمالية 9.5 هكتار بمنطقة تاجوراء ومقابل لمطار إمعيتيقة كما موضح في الشكل (1) [7].

الشكل (1): مكونات مشروع بُرج البحر بمدينة طرابلس [7]

2.1 وصف نموذج الدراسة

المبنى هو بُرج أسطواني خرساني مسلّح بجدران القص، حيث به 32 طابق ويبلغ قطره 36 متر وارتفاعه 116 متر، نظام بلاطات الأسقف هي نظام بلاطة مسطّحة بسمك يتراوح من 200 مم إلى 300 مم؛ أمّا الجدران تمّ تصميمها بسمك يتراوح من250 مم إلى 600 مم ونظام الأساس للمبنى هو أساس حصيري بسمك 200 سم. الشكل (2) يوضح المسقط الأفقي لنموذج الدراسة، تمّت النمذجة للجدران باستخدام عناصر الألياف؛ وكذلك باستخدام العناصر المحددة وإجراء تحليل الدفع لِكِلا النموذجين من أجل التقييم ومعرفة أداء وسلوك الضرر لهذه الجدران ولتحقيق أهداف الدراسة.



الشكل (2): المسقط الأفقي لنموذج الدراسة [7]

2.2. وصف جدران البُرج

الجدران هي الأنظمة المقاومة للأحمال الجانبية المؤثرة على هذا البُرج؛ حيث يوجد بالبُرج جدار داخلي دائري الذي يستمر للطابق التاسع والعشرين وداخله جدران غير مستوية مستمرة على كامل ارتفاع البُرج ويُحيط بهذه الجدران الداخلية 15 جدار خارجي مستطيل الشكل مستمر على كامل ارتفاع البُرج كما موضح، تمّ تحديد وفصل كل الجدران إلى ثلاث نماذج (جدار داخلي دائري "أ"، جدران غير مستوية داخلية "ب"، جدران مستطيلة خارجية "ج") لتسهيل التقييم والمقارنة بعد عملية النمذجة والتحليل.

3. ألية عمل الدراسة

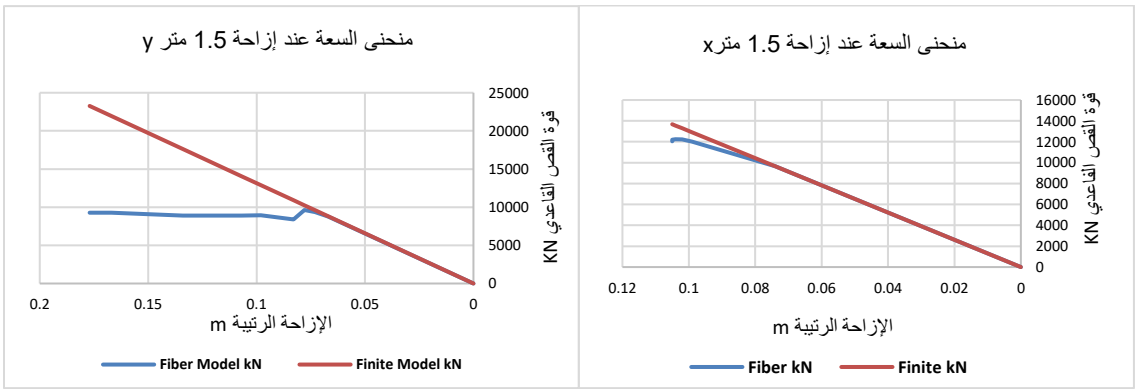
أولى خطوات نمذجة الجدران الخرسانية المسلّحة بطريقة غير خطية هي تعريف المواد (الخرسانة وحديد التسليح) على أنها غير خطية، وذلك من خلال إدخال منحنيات الإجهاد والانفعال التي تبيّن السلوك غير الخطي للمواد حيث استخدم نموذج ماندر للخرسانة ونموذج القطع المكافئ البسيط لحديد التسليح. بعد ذلك، يتم تعيين النموذج غير الخطي ثمّ أُجريَ تحليل الدفع بإزاحات مختلفة (1.5 م ، 3 م، 4.5 م) لملاحظة سلوك الجدران وعند كل إزاحة يقدم لنا البرنامج المخرجات لأجل المقارنة بين النموذجين.

4. النتائج والمناقشة

4.1 النتائج المتحصل عليها

4.1.1 نتائج منحنى السعة

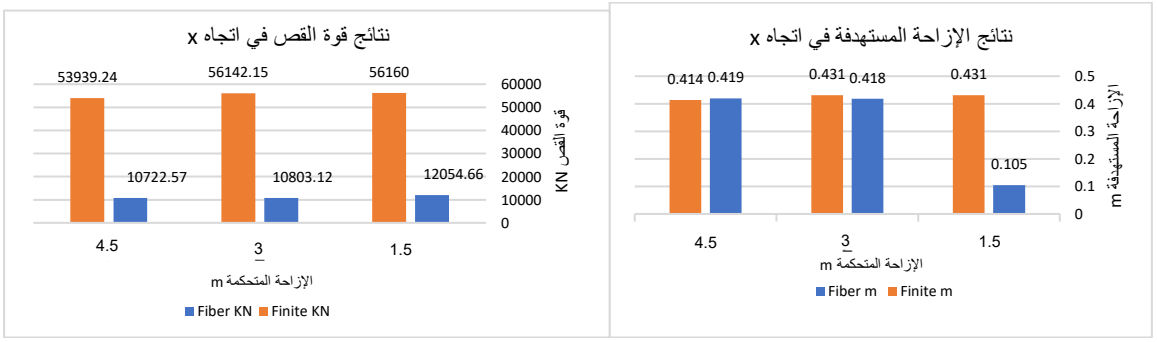
منحنى السعة هو المنحنى الذي يربط بين الإزاحة الرتيبة وقوة القص القاعدي لأجل تقييم ومعرفة سلوك الجدران وأدائها وفقًا لمعايير القبول (AC)، والشكل(3) يوضح منحنى السعة عند إزاحة 1.5متر.



الشكل (3): منحنى السعة عند إزاحة 1.5متر

4.1.2 نتائج نقطة الأداء

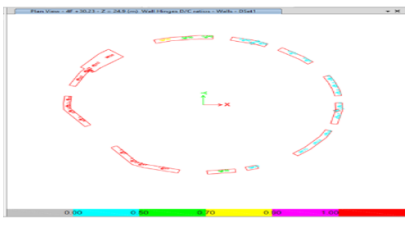
نقطة الأداء هي النقطة التي يتم تحديدها على منحنى السعة ؛ والشكل (4) يوضح نتائج نقطة الأداء في اتجاه x.



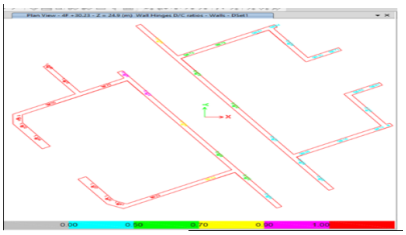
الشكل (4): نتائج نقطة الأداء في اتجاه x

4.1.3 نتائج التحقق من نقطة الأداء

استخدمنا نقطة الأداء التي تحصلنا عليها للتحقق من أداء كلا النموذجين، يوضح الشكل (5) والشكل (6) المساقط الأفقية لنماذج الجدران "أ" و "ب" في الطوابق التي حدثت بها تغير في لون المفصلات الألياف.

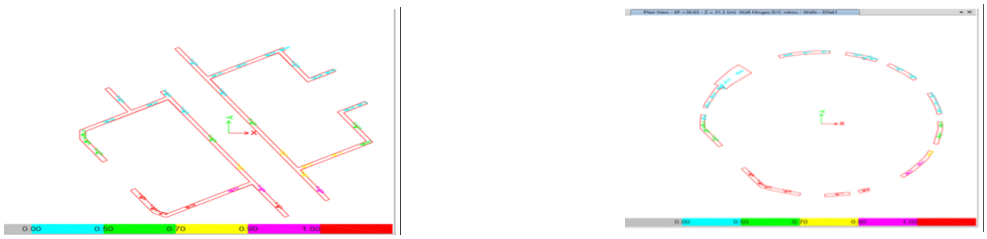


نموذج "أ" اتجاه x للطابق الرابع



نموذج "ب" اتجاه x للطابق الرابع

الشكل (5): المسقط الأفقي لمفصلات اتجاه x للطابق الرابع

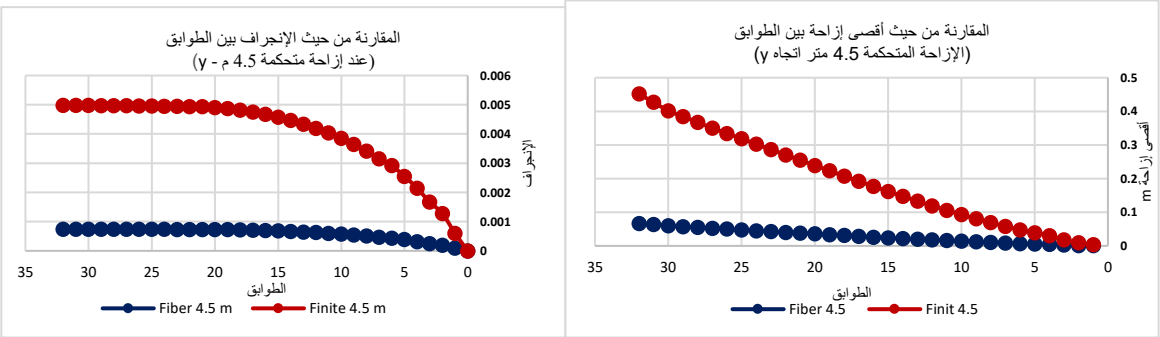


نموذج "أ" اتجاه y للطابق السادس نموذج "ب" اتجاه y للطابق السادس

الشكل (6): المسقط الأفقي لمفصلات اتجاه y للطابق السادس

4.1.4. نتائج الاستجابة الشاملة للجدران (الانجراف وأقصى إزاحة)

تمّ دراسة نتائج التحليل من حيث الانجراف وأقصى إزاحة بين الطوابق لكِلَا النموذجين عند كل حالات الإزاحة المتحكمة كما موضحة في الشكل (7).



الشكل (7): أقصى إزاحة وإنجراف بين الطوابق عند إزاحة 4.5 متر اتجاه y

4.2 مناقشة النتائج

4.2.1 مناقشة نتائج منحنى السعة

اتضح من خلال المقارنة بين النتائج أنّ المنحنى في حالة نموذج العناصر المحددة خط مستقيم مستمر وهذا يعني أنه لازال في المرحلة المرنة أي لم يظهر أي ضرر أو فشل عند كِلا الاتجاهي (x، y). أمّا المنحنى في حالة نموذج عناصر الألياف يكون في البداية خط مستقيم ثم يحدث له هبوط بسيط ومع الزيادة في الإزاحة يرتفع المنحنى ويصبح خط مستقيم تقريبًا ويستمر وهذا يدل على أنه أصبح القليل من مفصلات الألياف في المرحلة غير المرنة وباقي المفصلات الألياف لازالت في المرحلة المرنة عند كِلا الاتجاهين (x، y).

4.2.2 مناقشة نتائج نقطة الأداء

عند المقارنة بين نتائج نقطة الأداء في اتجاه x واتجاه y على التوالي اتضح أن كلما زادت قيمة الإزاحة المتحكمة يقترب تساوي قيمة الإزاحة المستهدفة لكلا النموذجين ولكن قوة القص لنموذج العناصر المحددة أكبر بكثير من قوة القص لنموذج عناصر الألياف.

4.2.3 مناقشة نتائج التحقق من الأداء

من خلال نتائج التحقق اتّضح أنّ بعض مفصلات الألياف في نموذج عناصر الألياف (مفصلات الألياف في الطابق الرابع

(4F) و مفصلات الألياف في الطابق السادس (6F) في اتجاه x و اتجاه y على التوالي للنموذج "أ" و النموذج "ب") خرجت من حالة مستوى الحياة (LS) ودخلت في حالة مستوى منع الإنهيار(CP) إلاّ أنه لم يظهر أي فشل بالنموذج ، وأيضًا نموذج العناصر المحددة لم يظهر فيه أي تشقق أو فشل أي أنه كِلَا النموذجين حافظا على مقاومتهما وصلابتهما (السلوك المرن).

4.2.4 مناقشة نتائج الاستجابة الشاملة للجدران

من النتائج اتّضح أنّ كلما زادت قيمة الإزاحة المتحكمة كلما زادت قيم أقصى إزاحة بين الطوابق لكلا النموذجين، وأن نموذج العناصر المحددة يحدث أكبر إزاحة مقارنةً بنموذج عناصر الألياف في كِلا الاتجاهين x وy تحت نفس الحمل الزلزالي؛ وهذا يدل على أن الصلابة لنموذج عناصر الألياف أكبر من الصلابة لنموذج العناصر المحددة أي نموذج العناصر المحددة أكثر هشاشة.

5. الاستنتاجات والتوصيات

5.1 الاستنتاجات

من خلال مناقشة ومقارنة النتائج تمّ التوصل إلى الاستنتاجات الآتية:

- تقترب قيم الإزاحة المستهدفة في نقطة الأداء لِكلَا النموذجين بزيادة قيم الإزاحة المتحكمة .
- سبب قيم قوى القص لنموذج العناصر المحددة عالية هو تباين في خصائص المواد والتوزيع غير المتجانس لشبكة العناصر وقد تؤدي إلى تقريبات غير دقيقة للإجهادات وكذلك نسبة الإرتفاع إلى الطول $\frac{h_w}{l_w}$ لمقاطع الجدران كبيرة.
- سبب الاختلاف الكبير لقيم قوى القص بين النموذجين هو استخدام منحنيات نظرية وليست منحنيات تجريبية عند تعريف غير الخطية للمواد بسبب عدم توافر منحنيات تجريبية وكذلك للاختلاف في طريقة تمثيل قوى القص في كل نموذج حيث أن في نموذج العناصر المحددة يتم تمثيل قوى القص لعنصر واحد وتوزع على العناصر الأخرى بينما في نموذج عناصر الألياف يتم تمثيلها بناءً على علاقة مبسطة تعتمد على إجهادات الألياف.
- كل جدران البرج نحيلة أي السلوك المسيطر عليها هو سلوك الإنحناء فقط لذا نتائج قوة القص لم تؤثر على تصرف أو سلوك الجدران لأنها ليست المسيطرة على المُنشأ و لأن $\frac{h_w}{l_w}$ أكبر من 3 لكل جدران البرج.
- نموذج العناصر المحددة يُحدث أكبر إزاحة مقارنةً بنموذج عناصر الألياف في كِلاَ الإتجاهين x و y تحت نفس الحمل الزلزالي وهذا يدل على أن الصلابة لنموذج عناصر الألياف أكبر من الصلابة لنموذج العناصر المحددة وبالتالي فإنه نموذج عناصر الألياف يُبالغ في تقدير الصلابة.

5.2 التوصيات

- نُوصي باستخدام برامج تحليل أخرى لأجل مقارنة نتائجها مع برنامج (ETABS) .
- نُوصي ببناء جدران لها نفس مواصفات مبنى قائم ثُمّ اختبارها استاتيكيًا وديناميكيًا ومن ثم انشاء نماذج تحليلية لها لأجل المقارنة بين النتائج التجريبية والتحليلية.
- نُوصي باستخدام نماذج جدران لمباني ذات ارتفاعات متفاوتة (طويلة وقصيرة) لأجل المقارنة بين سلوكهما.
- نُوصي باستخدام طرق التحليل غير الخطي والمقارنة بينهم.
- نُوصي بدراسة نماذج خطية ومقارنتها بالنماذج غير الخطية لمعرفة سلوكها.

6. المراجع

[1] Hamza Mazhar, Fawad Ahmed Najam, Luqman Ahmed and Hafiz Zain Akram. (2021) "Nonlinear Modeling and Analysis of RC Building using ETABS "

[2] Suleyman Eren Dursun. (2018) " A Comparative study on nonlinear modeling of structural walls ". A Thesis Master of science in structura engineering of middle east technical university

[3] Yihai and Kunnath. (2010) " Simplified progressive collapse simulation of RC Frame-Wall structures. Elsevier Engineering structures 32, 3153-3162

[4] Rahul RANA, Limin JIN and Atila ZEKIOGLU. (2004) "PUSHOVER ANALYSIS OF A 19 STORY CONCRETE SHEAR WALL BUILDING ". 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 1-6, 2004 Paper No. 133

[5] Samson Amanuel Semere. (2016) "Investigation of RC Structural Behaviour of Wall-Equivalent Dual System through Non-Linear Analyses". Master of Science in Civil and Environmental Engineering -Norwegian University of Science and Technology Department of Structural Engineering

[6] User's Guide ETABS Integrated Building Design Software. (2021) ISO ETA1130210M2 Rev. 0 Proudly developed in the United States of America

[7] Nodus engineers consulting co.ltd. ,Burj Al baher Project Tower Hotel, Tripoli Libya 2005

7. قائمة الرموز المستخدمة

AC = Acceptance Criteria	*معيار القبول*	E = Model of elasticity	*معامل المرونة*
CP = Collapse Prevention	*منع الانهيار*	ETABS = Extended Three-dimensional Analysis of Building Systems	*التحليل ثلاثي الأبعاد الموسع لأنظمة البناء*
DCM = Displacement Coefficient Method	*طريقة معامل الإزاحة*	G = Shear Modulus	*معامل القص*
LS = Life Safety	*سلامة الحياة*		

توظيف استراتيجيات المعالجات البيئية في المباني السكنية متعددة الأدوار بالمناطق الحارة

أحمد المبروك محمد عون [1]، منصور علي عليوة الزوي 2
[1] قسم العمارة، الأكاديمية الليبية للدراسات العليا، طرابلس، ليبيا
[2] قسم العمارة، الأكاديمية الليبية للدراسات العليا، طرابلس، ليبيا
ahmd.aune@Gmail.com[1]
Mansour.ealiwa@Gmail.com[2]

الملخص:

تتناول هذه الورقة توظيف المعالجات البيئية المستدامة في مراحل التصميم المعماري للمباني السكنية الحديثة متعددة الأدوار في ليبيا، ضمن المناخ الحار الجاف وما يرتبط به من تحديات حرارية وبيئية. تنطلق الدراسة من إشكالية ضعف دمج المعالجات البيئية في المراحل المبكرة نتيجة قصور الوعي المهني وغياب الأدلة الإرشادية والتشريعات الملائمة، مما أدى إلى الاعتماد على حلول ميكانيكية عالية الاستهلاك للطاقة. اعتمد البحث على تحليل نظري لمحاور التصميم البيئي والمناخي، واستعراض تجارب إقليمية ودولية، إضافة إلى محاكاة حالة دراسية لمشروع 5000 وحدة سكنية في مدينة الزاوية باستخدام برنامج DesignBuilder. وأظهرت النتائج أن تطبيق معالجات متكاملة تشمل العزل الحراري، الزجاج منخفض الانبعاثية، المواد عالية الكفاءة الحرارية، وأنظمة التظليل والإضاءة الذكية، أدى إلى خفض أحمال التبريد بنسبة 44% خلال أشهر الصيف وتخلص الدراسة إلى ضرورة إعداد أدلة تصميمية محلية وتطوير التشريعات العمرانية لتبني معايير الاستدامة كمتطلب إلزامي، مع تعزيز التدريب المهني والتكامل المجتمعي، بما يحقق كفاءة طاقية واستدامة حضرية أكثر ارتباطًا بالواقع الليبي.

الكلمات المفتاحية: المعالجات البيئية، العملية التصميمية، كفاءة المبنى الحرارية، الإقليم المناخي الحار الجاف، برامج المحاكاة البيئية.

Abstract:

This paper addresses the integration of sustainable environmental strategies within the architectural design stages of contemporary multi-story residential buildings in Libya, situated in a hot-arid climate characterized by thermal and environmental challenges. The study arises from the problem of limited incorporation of such strategies during early design phases, due to insufficient professional awareness, the absence of guiding manuals, and inadequate regulations. This has led to a reliance on energy-intensive mechanical solutions. The research adopts a theoretical analysis of environmental and climatic design principles, reviews relevant regional and international experiences, and includes a simulation of a case study for a 5,000-unit residential project in the city of Al-Zawiya using DesignBuilder software. The results demonstrate that applying integrated strategies—such as thermal insulation, low-

emissivity glazing, high thermal-performance materials, and intelligent shading and lighting systems—reduced cooling loads by 44% during summer months. The study concludes by emphasizing the necessity of developing local design guidelines and updating urban planning regulations to adopt sustainability standards as mandatory requirements, in addition to enhancing professional training and community integration, thereby achieving greater energy efficiency and urban sustainability aligned with the Libyan.

***Keywords**: Environmental treatments، architectural design process, building thermal efficiency، hot dry climate region، environmental simulation programs.*

1. المقدمة:

يُعد المسكن أحد الركائز الأساسية لحياة الإنسان ومؤشرًا على المستوى الحضاري للمجتمع. وقد أسهم المناخ تاريخيًا في صياغة العمارة التقليدية، كما تجلّى في العمارة الإسلامية التي اعتمدت حلولًا بيئية مبتكرة مثل الأفنية والملاقف والمشربيات لتحقيق الراحة الحرارية والانسجام مع البيئة. غير أنّ التحول نحو أنماط وافدة والاعتماد على التكييف الميكانيكي أدى إلى تراجع مفاهيم الاستدامة وارتفاع استهلاك الطاقة. وفي ليبيا، ورغم التوسع العمراني السريع، لا تزال التشريعات العمرانية قاصرة عن دمج البعد البيئي، إذ تقتصر على ضوابط تقليدية دون معايير واضحة لكفاءة الطاقة أو الاستدامة. وقد أشار الكبتي (2011) إلى أن غياب قواعد بيانات مناخية ودراسات تطبيقية يمثل عائقًا رئيسًا أمام دمج المعالجات البيئية في مشاريع الإسكان، مما يبرز الحاجة إلى تطوير منظومة تنظيمية متكاملة تدعم كفاءة الطاقة والتكيّف المناخي لتحقيق استدامة عمرانية شاملة.

1.1 . مشكلة الدراسة:

تواجه مشاريع الإسكان في المناطق ذات المناخ الحار الجاف تحديات متفاقمة تتعلق بانخفاض كفاءة الأداء الحراري وإرتفاع إستهلاك الطاقة، ويُعزى ذلك بدرجة كبيرة إلى ضعف توظيف مفاهيم التصميم البيئي المستدام خلال مراحل التصميم المختلفة. ويبرز هذا الإشكال نتيجة عدة عوامل، أبرزها: قصور الوعي المهني، غياب الأدلة الإرشادية، ضعف التشريعات، والاعتماد المتكرر على أنماط تصميمية ومواد إنشائية نمطية قد تفتقر للمواءمة لاختلاف ظروف الموقع وبيئته.

1.2 تساؤل الدراسة:

كيف يمكن دمج المعالجات البيئية المستدامة بفعالية في مراحل التصميم المعماري لمشاريع الإسكان في المناخ الحار الجاف، لتحقيق كفاءة الطاقة وجودة الأداء البيئي، دون الإخلال بالمتطلبات الوظيفية والعمرانية؟

1.3 الهدف الرئيسي:

تهدف هذه الورقة إلى تحليل آليات توظيف إستراتيجيات المعالجات البيئية المستدامة في مراحل التصميم المعماري، من أجل تحسين الأداء الحراري وكفاءة استهلاك الطاقة في المباني السكنية. كما تسعى إلى وضع إطار إرشادي عملي يُسهم في رفع كفاءة الأداء البيئي والطاقة، بما يتلاءم مع الخصائص المناخية والاقتصادية والتشريعية في ليبيا، ويعزز جودة البيئة العمرانية في مشاريع الإسكان المستقبلية.

1.4 منهجية الدراسة:

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي مدعومًا بالمنهج التطبيقي التجريبي، وذلك بهدف تحليل واقع توظيف المعالجات البيئية المستدامة في مراحل التصميم المعماري للمباني السكنية في المناخ الحار الجاف، والكشف عن الفجوة القائمة بين المعرفة النظرية والتطبيق العملي لدى المعماريين والمهندسين.

2. الإطار النظري:

2.1 المفاهيم الأساسية للتصميم البيئي والمناخي في المناطق الحارة الجافة:

2.1.1 السيطرة الحرارية

تشير السيطرة الحرارية (Thermal Control) إلى مجموعة من الإجراءات والتقنيات التصميمية والميكانيكية التي تنظم الظروف الحرارية داخل المباني لضمان بيئة مستقرة ومريحة لشاغليها. وتُعد من المكونات الأساسية في تصميم المباني المستجيبة للمناخ، إذ تسهم في تقليل الاعتماد على الطاقة وتحسين كفاءة الأداء البيئي. وتنقسم استراتيجياتها إلى نوعين: استراتيجيات فعّالة تعتمد على الأنظمة الميكانيكية وتكنولوجيا الطاقة المتجددة، وأخرى سلبية تقوم على التكوين المعماري وخصائص الموقع مثل التوجيه، تشكيل الكتلة، اختيار المواد، والتهوية الطبيعية. ويرتكز كلا النهجين على التحكم في انتقال الحرارة بين الداخل والخارج تبعًا للتغيرات اليومية والموسمية، بما يحقق الراحة الحرارية ويقلل الأحمال الطاقية الزائدة.

2.1.2 . الجسور الحرارية في المباني:

تُعرَّف الجسور الحرارية بأنها نقاط ضعف في الغلاف الخارجي للمبنى تسمح بانتقال الحرارة بسرعة عبر تقاطعات العناصر الإنشائية مثل التقاء الجدران بالأسقف، إطارات النوافذ، ووصلات الشرفات. وتنشأ هذه الظاهرة نتيجة انقطاع طبقات العزل الحراري، مما يوفّر مسارات مباشرة لنفاذ الحرارة (Feist & Schnieders, 2009)

2.1.3 المناخ والإقليم المناخي التصميمي:

يشير المناخ إلى الخصائص الجوية السائدة في منطقة معينة على مدار العام، من حيث درجات الحرارة، الرطوبة، الإشعاع الشمسي، والرياح. أما الإقليم المناخي التصميمي فهو تصنيف بيئي يُستخدم في السياق المعماري لتوجيه القرارات التصميمية كما يُوضح الجدول رقم (1)، ويعتمد على تحليل المناخ بهدف إختيار إستراتيجيات بيئية مناسبة تضمن الراحة الحرارية ورفع كفاءة الطاقة في المباني وتعزيز مبادئ الاستدامة في مشاريع الإسكان المعاصرة.

جدول (1) : تصنيف الأقاليم المناخية التصميمية والاستراتيجيات المناسبة (المصدر: إعداد الباحثان استنادا إلي(Givoni, 1998

الإقليم	الخصائص المناخية العامة	إستراتيجيات التصميم البيئي المناسبة
حار جاف	حرارة مرتفعة نهارًا، برد ليلاً، رطوبة منخفضة، سماء صافية	جدران سميكة (عزل حراري مرتفع) ، أفنية داخلية، مظلات عميقة، تهوية ليلية
حار رطب	حرارة مرتفعة، رطوبة عالية، تهوية ضرورية	تهوية طبيعية فعالة، نوافذ واسعة، مظلات وأسقف بارزة، مواد سريعة التبريد
معتدل	فروقات موسمية متوسطة، مناخ متوازن	إستغلال الإضاءة الطبيعية، تظليل متغير حسب الموسم، عزل معتدل، إستخدام الزجاج منخفض الانبعاث
بارد	درجات حرارة منخفضة معظم العام، إشعاع شمسي مفيد	عزل حراري عالي جدًا، نوافذ صغيرة على الجهات الباردة، زجاج مزدوج، مسطحات تجميع شمسي

بارد رطب	درجات حرارة منخفضة + رطوبة مرتفعة	تهوية ميكانيكية، وعزل متقدم، أنظمة تحكم في الرطوبة، عزل كامل للأسقف والجدران
مرتفعات جبلية	تغيرات حرارية يومية كبيرة، رياح قوية	تشكيل كتلي يحمي من الرياح، إستغلال الطاقة الشمسية، مرونة في تصميم الفتحات

2.1.4 التصميم البيئي والمناخي في العمارة المستدامة:

أ- **التصميم المناخي (Climatic Design):** يعرف بأنه "جانب من عملية تصميم البيئة المبنية، ويهتم بتوفير الظروف المناخية الآمنة والمريحة للإنسان وبأقل قدر من التكاليف (الزعفراني,2010).

- **الاهداف الرئيسية من التصميم المعماري والمناخي:**

1) توفير بيئة مناخية آمنة. 2) تحقيق الراحة الحرارية. *3)* خفض استهلاك الطاقة وتقليل التكاليف.

ب- **التصميم البيئي (Environmental Design):** يُعرف التصميم البيئي بأنه تخصص متعدد الأبعاد يجمع بين العمارة والهندسة والعلوم البيئية، ويهدف إلى إيجاد حلول متكاملة لحماية البيئة وتوظيف مواردها بشكل مستدام لخدمة الإنسان. يعتمد هذا النوع من التصميم على مراعاة العوامل الاقتصادية والاجتماعية والسياسية والتكنولوجية، إلى جانب احترام مكونات البيئة الطبيعية الحية وغير الحية، بما يضمن تلبية احتياجات الإنسان دون الإضرار بالنظام البيئي المحيط (وزيري، 2007).

2.2 المشاكل والتحديات التي تحول دون تطبيق الاستراتيجيات والمعالجات البيئية والمناخية في التصميم المعماري:

- **قصور الوعي البيئي والمناخي:** ضعف معرفة المصممين بمبادئ التصميم المستجيب للبيئة.
- انعكاس ذلك على جودة الحلول التصميمية المتبناة.
- **ضعف السياسات والأنظمة الداعمة:** غياب تشريعات إلزامية أو أدلة تصميم وطنية.
- قصور في اعتماد معايير بيئية محلية واضحة.
- **الاعتماد على الحلول الميكانيكية على حساب الحلول السلبية:** تفضيل الأنظمة الميكانيكية لتكييف الهواء والتدفئة.
- إهمال الاستراتيجيات المناخية السلبية (Passive Design) التي تقلل من استهلاك الطاقة.
- **نقص التكامل بين التخصصات:** ندرة التعاون بين فرق التصميم (معماريين، خبراء طاقة، مناخيين، بيئيين).
- اعتماد الممارسات التقليدية الفردية بدل النهج التكاملي.
- **غياب أدوات التقييم والمعايير المحلية:** عدم وجود نظام وطني لتقييم الأداء البيئي للمباني.
- صعوبة قياس مدى كفاءة المعالجات المناخية.
- **محدودية الموارد والبيانات المناخية الدقيقة:** نقص البيانات المناخية المحلية الحديثة.
- صعوبة الحصول على البيانات بالصيغة الرقمية المناسبة لبرامج المحاكاة (مثل DesignBuilder).
- ارتفاع تكاليف البيانات أو طول الإجراءات الإدارية للحصول عليها من محطات الأرصاد.
- **تأثير العوامل الاقتصادية والاجتماعية:** ميل المستخدمين وأصحاب المشاريع إلى تقليل التكلفة الابتدائية.
- تفضيل الأنظمة الميكانيكية لرخصها النسبي عند التنفيذ، رغم ارتفاع استهلاكها الطاقي لاحقًا.
- ضعف الحافز على الترشيد بسبب انخفاض أسعار الطاقة ودعمها الحكومي (كما هو الحال في ليبيا).

- **التحديات المرتبطة بالبرامج والتقنيات العالمية:** عدم إدراج ليبيا في تغطية العديد من قواعد بيانات برامج التصميم البيئي العالمية. حيث تكون الحاجة إلى معالجة البيانات يدويًا أو عبر أدوات تحويل خاصة.

2.3. حلول المشكلات التي تحول دون تطبيق المعالجات البيئية والمناخية في التصميم المعماري:

أبرز الحلول لمواجهة تحديات دمج الاعتبارات البيئية والمناخية في التصميم المعماري في أربعة محاور: معرفي، تشريعي، اقتصادي، وتقني.

- **رفع مستوى الوعي والتدريب المهني:** إدماج موضوعات التصميم البيئي والمناخي ضمن المناهج الجامعية.
- توفير ورش عمل ودورات تدريبية متخصصة للمعماريين حول استراتيجيات التصميم المستدام وأدوات المحاكاة.
- **تبنّي تشريعات ملزمة ومعايير وطنية:** إعداد كودات ولوائح بناء محلية تُلزم بمراعاة الخصوصية المناخية لكل منطقة.
- تفعيل أنظمة التقييم البيئي (LEED، TARSHEED، ESTIDAMA) وتطوير بدائل وطنية ملائمة
- **تحفيز استخدام الاستراتيجيات السلبية(Passive Design)** : تشجيع الحلول المناخية البسيطة مثل التوجيه المناسب، التهوية الطبيعية، التظليل، العزل الحراري، والكتلة الحرارية.
- التركيز على دمج هذه الحلول منذ المراحل الأولى للتصميم لتحقيق كفاءة أعلى بأقل تكلفة تشغيلية.
- **دعم حكومي وتمويل مستدام:** تقديم حوافز مالية وإعفاءات ضريبية للمشاريع المستدامة.
- تشجيع الشراكات بين القطاعين العام والخاص لدعم الابتكار في مجالات الطاقة والمعالجات البيئية.
- **توفير قواعد بيانات مناخية دقيقة ومحلية:** إنشاء منصات وطنية للبيانات المناخية المحدثة والمتاحة للباحثين والمصممين.
- تهيئة هذه البيانات بصيغ تقنية متوافقة مع برامج التصميم والمحاكاة.
- **دمج أدوات النمذجة والمحاكاة في مراحل التصميم:** اعتماد برامج متخصصة مثلEcotect ، DesignBuilder، EnergyPlus، Revit BIM، الخ لتقييم الأداء البيئي.
- استخدام هذه الأدوات في المراحل المبكرة للتصميم بهدف تحسين القرارات وتقليل التعديلات اللاحقة.
- **إعداد دراسات جدوى اقتصادية مقنعة:** توضيح العلاقة بين التكلفة الابتدائية للمعالجات المناخية والعوائد طويلة الأجل (توفير الطاقة، زيادة العمر الافتراضي للمبنى، تحسين جودة البيئة الداخلية).
- استخدام هذه الدراسات كأداة لإقناع المستثمرين والمالكين بتبني التصميمات المستجيبة للمناخ.

2.4 المشاركة المجتمعية كأحد مبادئ التنمية المستدامة:

تُعد المشاركة المجتمعية ركيزة محورية في تحقيق التنمية العمرانية المستدامة، حيث تساهم في تعزيز الشفافية وبناء الثقة بين المجتمع وصانعي القرار، وضمان توافق المشاريع مع الاحتياجات الاجتماعية والاقتصادية والبيئية. كما أن إشراك السكان في مراحل التخطيط والتنفيذ والتقييم يعزز فاعلية السياسات العمرانية ويقلل من مقاومة التغيير، فضلًا عن دوره في نشر الوعي البيئي وترسيخ ثقافة المسؤولية المشتركة تجاه الموارد والبيئة المبنية.

5.2 تطبيق المعالجات وإستراتيجيات السيطرة الحرارية وفقاً لمراحل العملية التصميمية:

يمكن تحقيق التكامل بين التصميم المعماري وإعتبارات المناخ المحلي من خلال ربط المعالجات البيئية بكل مرحلة من مراحل التصميم. وفيما يلي عرض لأبرز هذه المراحل ودور كل منها في تحسين الأداء الحراري والبيئي للمبنى:

1. **مرحلة تخطيط الموقع (Site Planning):** تُشكّل الأساس الأول لدمج المبنى مع البيئة المناخية المحيطة، إذ تؤثر مباشرة على مستوى الراحة الحرارية من خلال دراسة التوجيه، الظلال الطبيعية، والعلاقة بين الكتلة والعناصر المحيطة.
2. **مرحلة تشكيل الكتلة المعماري (Building Massing)** تساهم قرارات التصميم المتعلقة بشكل الكتلة وتوجيهها في تقليل الكسب الحراري صيفًا وفقدان الحرارة شتاءً، كما أن تقليل المساحة السطحية لغلاف المبنى يسهم في رفع كفاءته الحرارية.
3. **مرحلة تصميم مخطط المبنى (Building Plan):** يتم خلالها توزيع الفضاءات الداخلية بشكل يُراعي التهوية والإضاءة الطبيعية وتقليل الأحمال الحرارية، عبر إختيار مواضع الفتحات والفراغات الانتقالية بذكاء. وتشير الدراسات إلى أن التخطيط الذكي المتكامل مع أنظمة إدارة الطاقة قد يقلل إستهلاك الطاقة بنسبة تصل إلى 35.% .
4. **مرحلة تصميم غلاف المبنى (Building Envelope Design):** يمثل الغلاف الخارجي خط الدفاع الأول ضد الظروف المناخية، ويعتمد أداؤه على المواد، العزل، الزجاج، والتظليل. وقد أثبتت الدراسات أن تحسين مكوناته قد يخفض إستهلاك الطاقة بنسبة 20–40%. وتُعد معالجة الجسور الحرارية والتسرب الهوائي وإستخدام الطبقات العاكسة عناصر حاسمة في هذه المرحلة.
5. **مرحلة دمج أنظمة إدارة الموارد البيئية (Integration of Resource Management Systems):** تشمل هذه المرحلة إدماج تقنيات مستدامة لإدارة الطاقة والمياه والنفايات ضمن التصميم، مثل: أنظمة حصاد مياه الأمطار، إستخدام الطاقة الشمسية، وأنظمة التحكم الذكية للتهوية والإضاءة، بما يُحقق أعلى كفاءة تشغيلية ويُعزز مفهوم الاستدامة.

2.6 برامج المحاكاة ومعايير التقييم البيئي العالمية:

أولاً) أدوات وتقنيات المحاكاة لتحليل أداء المبنى البيئي: المحاكاة البيئية هي أداة لدراسة نتائج تأثيرات معينة على العناصر دون إجراء التجربة الفعلية، باستخدام نماذج بيئية رقمية. تشمل أشهر الأدوات مثل **DesignBuilder** و **Ecotect**و **Revit** و**Daysim**، التي توفر تحليلًا دقيقًا لأداء المبنى في جوانب مثل استهلاك الطاقة والإضاءة الطبيعية والتهوية.

1- Design Builder: أداة متقدمة تعتمد على **EnergyPlus** لمحاكاة الأداء البيئي للمباني، مثل استهلاك الطاقة والراحة الحرارية. تُستخدم في مراحل التصميم المختلفة وتسمح بإدخال بيانات دقيقة للموقع والمناخ، مما يساعد في تحسين كفاءة الطاقة وتحقيق استدامة التصميم.

تم اختيار برنامج **DesignBuilder** في هذه الدراسة نظرًا لاعتماده من قبل مؤسسات دولية مثل **LEED** منذ عام 2006، ولتميزه بالقدرة على محاكاة مشروعات سكنية كبيرة مثل مشروع 5000 وحدة سكنية. يمتاز البرنامج بسهولة الاستخدام، وإمكانية إدخال بيانات دقيقة تتعلق بالموقع والمناخ وخصائص الفتحات والتشطيبات، فضلًا عن توافقه مع مؤشرات الأداء البيئي المستهدفة في البحث، وفي مقدمتها الراحة الحرارية وكفاءة استهلاك الطاقة.

تم تطوير DesignBuilder ليكون أداة فعالة في جميع مراحل التصميم المعماري، من الفكرة الأولية، مرورًا بالتصميم التفصيلي، وصولًا إلى مرحلة التنفيذ الفعلي. (DesignBuilder Software Ltd, 2025). الخطوات المنهجية لعمل المحاكاة باستخدام برنامجDesign Builder: (كما هو مبين في شكل 1).

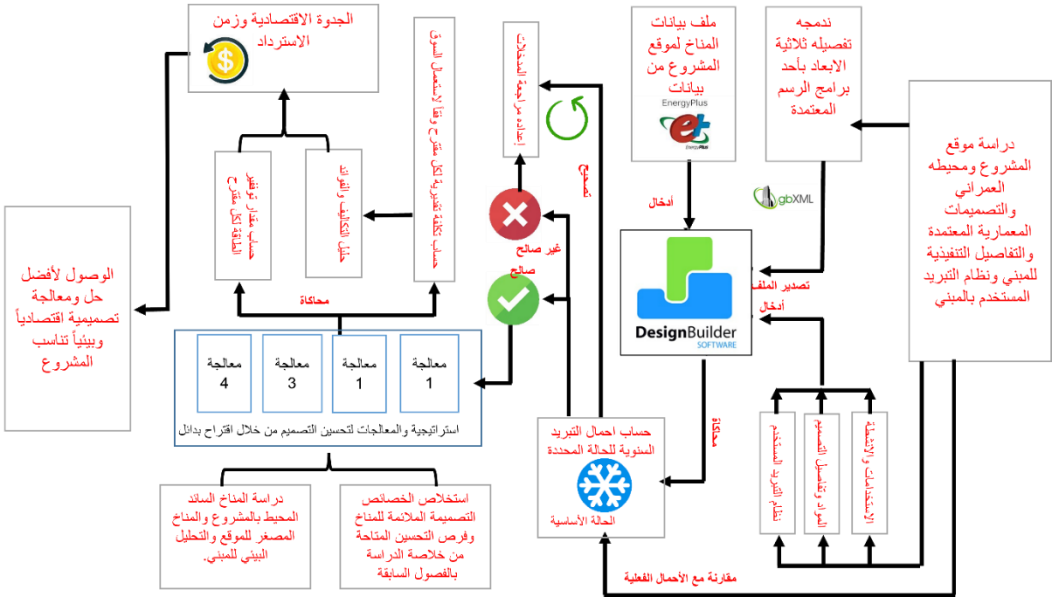
ثانياً) أنظمة تقييم المباني المستدامة:

تهدف إلى رفع كفاءة المباني بيئيًا عبر معايير تشمل الطاقة والمياه والمواد وجودة البيئة الداخلية. من أبرزها BREEAM (1990) و LEED (1998)، إلى جانب أنظمة وطنية مثل CASBEE (اليابان، 2001) و Green Star (أستراليا،

(Fowler & Rauch, 2006) (2003). يُعد LEED من الأنظمة الرائدة عالميًا، ويُستخدم لتقييم المباني المستدامة، ويشمل أنواعًا مثل :

LEED–NC .LEED–EBOM. LEED–CS . LEED–Homes . LEED–ND. LEED–Schools . LEED–Retail. LEED–Healthcare.

درجات التصنيف في:LEED : معتمد (40–49 نقطة) فضي (50–59 نقطة) ذهبي (60–79 نقطة) بلاتيني (80–110 نقطة). **تم اختيار نظام LEED–NC v4.1** لأنه مخصص للمباني الجديدة ويركز على كفاءة الطاقة والمياه واستدامة المواد، بما يتماشى مع أهداف الدراسة (مناخ حار جاف). يُستخدم **LEED–NC** لتقييم المباني الحديثة أو التي تخضع لتطويرات كبيرة من حيث الاستدامة البيئية.



شكل (1): الخطوات المنهجية لمحاكاة الحالة الدراسية في تحليل الأداء البيئي للمبنى باستخدام DesignBuilder

3. التطبيقات العملية في التصميم المستدام للمباني بالمناخات الحارة الجافة:

3.1 التجارب الدولية الناجحة في البيئة المناخية الحارة الجافة:

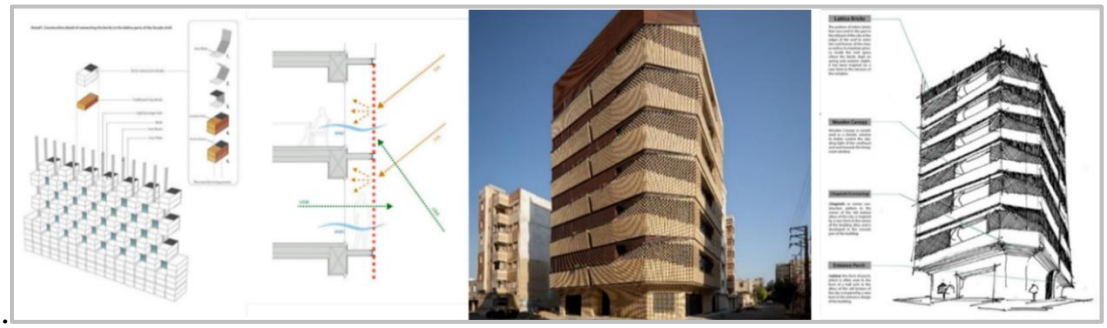
3.1.1 (مدينة مشيرب – الدوحة، قطر كنموذج للبناء المستدام في البيئات الجافة) :

يمثل مشروع مشيرب – قلب الدوحة مثالًا متقدمًا للتصميم المستدام في المناخات الحارة الجافة، حيث جمع بين الهوية المعمارية التقليدية والتقنيات الحديثة لتحقيق كفاءة الطاقة والراحة الحرارية. وقد نال تصنيفات LEED الذهبية والبلاتينية بفضل توظيف استراتيجيات متكاملة مثل توزيع الكتل العمرانية لتوليد ممرات مظللة، استخدام المشربيات وكاسرات الشمس، الأسقف الخضراء، أنظمة إدارة المياه، الواجهات الذكية، الطاقة المتجددة، وحلول النقل المستدامة، مما جعله نموذجًا مرجعيًا للتخطيط العمراني الصديق للبيئة (انظر شكل 2)

شكل :(2) تُبرز التوظيف الذكي للمعالجات البيئية المصدر: الباحثين بالاعتماد على صور توثيقية للمشروع 2025

3.1.2 مشروع Chapireh Residential – إيران:

يُعد المشروع نموذجًا بارزًا في توظيف المعالجات البيئية السلبية لتحقيق الراحة الحرارية في المناخ الجاف، وقد حاز جائزة الآغا خان للعمارة لبساطته وفعاليته. ارتكز التصميم على توجيه الكتل وتراجعها لتوليد الظلال وتعزيز التهوية، واستخدام مواد محلية عازلة، وواجهات متوازنة بين الإضاءة والتهوية. كما دمج عناصر تقليدية مثل المشربيات والأفاريز والنوافذ الموسمية، محققًا توازناً بين البعد الجمالي والكفاءة البيئية دون الاعتماد المكثف على الحلول الميكانيكية (انظر شكل 3).



الشكل :(3) التكوين المعماري في مشروع Chapireh Residential، موضحًا عناصر التحكم المناخي.
المصدر: ArchDaily – Chapireh Residential Building.

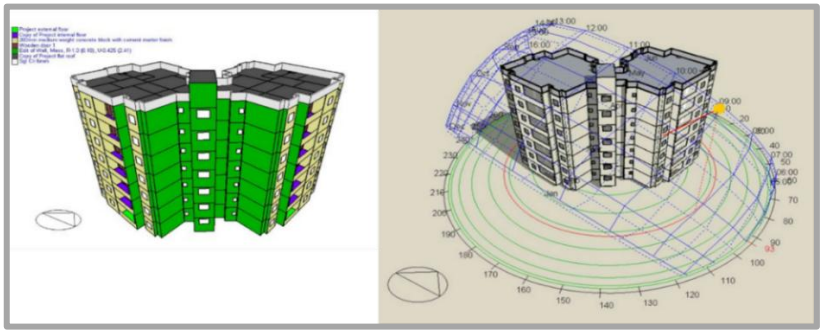
3.1.3 . دراسة حالة محلية: مشروع 5000 وحدة سكنية بالزاوية قي ليبيا:

تم اختيار مشروع الإسكان المكوّن من 5000 وحدة سكنية بمدينة الزاوية كحالة دراسية. يتألف المشروع من 466 عمارة سكنية موزّعة على خمس مناطق رئيسية (1–5). أُطلق العمل بالمشروع قبل عام 2008 ضمن برنامج *ليبيا الغد* التنموي، ووصلت نسبة إنجازه إلى نحو 34% بحلول 17 فبراير 2011، إلا أن الأعمال توقفت منذ أحداث فبراير ولم تُستأنف حتى الوقت الحالي، حيث يعتبر المشروع غير مستخدم بعد. ولغايات الدراسة، تم اختيار النموذج (أ) من العمارات الواقعة في المنطقة (1) كعينة للتحليل، حيث يتكوّن من عمارة سكنية بارتفاع سبعة طوابق يحتوي كل طابق منها على شقتين. تهدف الدراسة إلى تقييم مدى ملاءمة التصميم للظروف المناخية المحلية وإقتراح المعالجات البيئية المناسبة. ولا يُعد هذا المشروع حالة منفردة، بل يمثّل نموذجًا معياريًا اعتمدته الجهات الحكومية في تصميم وتنفيذ معظم مشاريع الإسكان العام في ليبيا. إذ تعتمد هذه المشاريع على نماذج تصميمية مكرّرة نمطية جرى تطويرها دون مراعاة مرونة التكيّف مع خصوصيات كل

موقع من حيث المناخ أو الطبوغرافيا أو الثقافة المحلية. ونتيجة لذلك، فإن أوجه القصور التي برزت في مشروع الزاوية – منها غياب المعالجات البيئية وضعف التوجيه وعدم وجود أنظمة لإدارة الموارد، وتتكرر بصورة شبه منهجية في مشاريع إسكانية أخرى بمختلف المدن. وهو ما يعمّق الآثار البيئية السلبية ويرفع من الأعباء التشغيلية المستقبلية. وعليه، فإن تحليل يمثل المشروع مؤشرًا مهمًا لفهم اختلالات تخطيط وتنفيذ الإسكان الحكومي في ليبيا، حيث جرى تعميم نموذج موحد على أقاليم مختلفة المناخ ضمن النطاق الحار الجاف وشبه الجاف. وقد بيّن التحليل قصورًا في دمج الاستراتيجيات البيئية، خاصة في التوجيه، التظليل، العزل، وإدارة الموارد. ورغم بعض الإيجابيات العمرانية كتنظيم الحركة ووحدة الجوار، ظل الأداء البيئي ضعيفًا نتيجة غياب التظليل الفعّال، استخدام مواد غير معزولة، والاعتماد على التكييف الاصطناعي. كما لم يُوظَّف أي نظام للطاقة الشمسية أو حصاد مياه الأمطار أو تدوير النفايات، ما يعكس غياب التكامل البيئي والتقني.

3.2 تطبيق أسلوب النمذجة والمحاكاة باستخدام برنامج Design Builder :

تمت محاكاة الأداء الحراري لنموذج سكني من مشروع 5000 وحدة بالزاوية باستخدام برنامج (*DesignBuilder* المعتمد على محرك *EnergyPlus* بدعم وزارة الطاقة الأمريكية)، بهدف تقييم الغلاف الحراري، فعالية التوجيه والتظليل، واستهلاك الطاقة تحت الظروف المناخية المحلية. استندت المحاكاة إلى بيانات معمارية دقيقة وبيانات مناخية واقعية (الأشكال 4 و5)، وشملت مقارنة السيناريو الحالي بعدة بدائل تحسين مثل: العزل الحراري للأسطح والجدران، الزجاج المزدوج منخفض الانبعاثية، تحسين التوجيه الشمسي، عناصر التظليل، وتركيب الألواح الكهروضوئية.

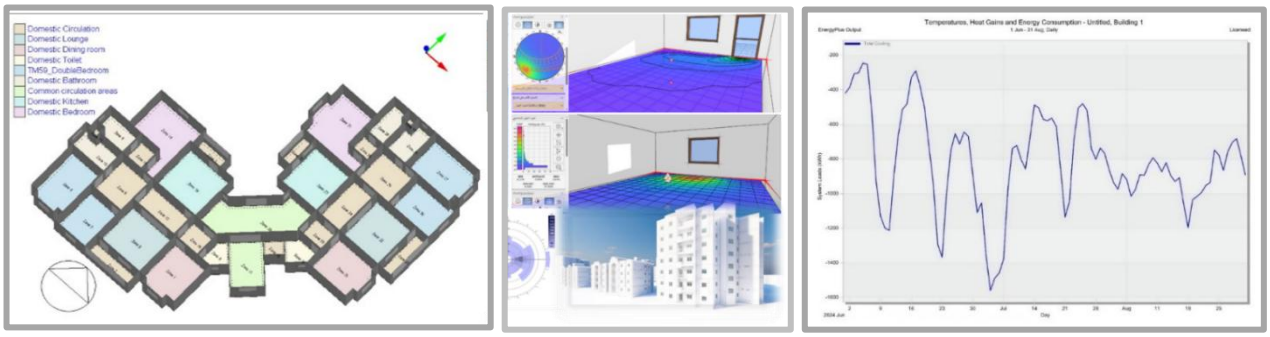


الشكل (4) : نموذج ثلاثي الأبعاد لمبنى سكني متعدد الطوابق يُظهر الخصائص الإنشائية والحرارية للغلاف الخارجي يوضح ادخال بيانات النموذج نموذج (أ) ضمن برنامج DesignBuilder

تم إدخال خصائص النموذج بالوضع الأصلي من حيث استخدامات الفراغ، مواد البناء، ونظامي التكييف والإضاءة، حيث اعتمدت وحدات تكييف منفصلة (*Split*) لكل غرفة للتبريد والتسخين. وبحسب معيار *ASHRAE 55* بلغت درجة الراحة الحرارية المثلى في مدينة الزاوية 26.7°م صيفًا و20.3°م شتاءً، بينما بلغت أقصى رطوبة نسبية مسموحة 84.6% وفق مؤشر *PMV* لفانجر.

3.2.1 رصد نتائج التحليل المناخي للنموذج السكنى أ باستخدام برنامج Design builder للحالة المرجعية بدون معالجات :

1-الرسم البياني التالي يوضح Total Cooling (شكل 6) وهي إجمالي كمية الحرارة الواجب التخلص منها من المبنى للحفاظ على درجات حرارة الراحة المطلوبة (thermal comfort) على مدار فصول الصيف الثلاثة:



الشكل :(5) نمذجة النموذج أ.ب من حالة الدراسة، والرسم البياني لحمّل التبريد الكلي (Total Cooling) على مدار شهور الصيف الثلاثة لنموذج المصدر: إعداد الباحثين باستخدام برنامج.

3.2.2 تطبيق المعالجات البيئية على الحالة الدراسية:

حيث تم تصنيفها إلى:

- **معالجات مفردة :**
  - عزل السقف بمادة XPS (سماكة 7 سم): أدى إلى خفض أحمال التبريد بنسبة 1.5%.
  - دهان السقف بمادة عاكسة (Super White): ساهم في تقليل استهلاك التبريد بنسبة 2.8%.
  - استبدال الخرسانة العادية بخرسانة خلوية معالجة (Cast Cellular Concrete): حقق انخفاضًا بنسبة 9.7.
  - استبدال الطوب الأسمنتي بطوب معزول (XPS بمنتصف الجدار): أدى إلى تقليل أحمال التبريد بنسبة 10.25%.
  - استخدام لياسة عازلة (Perlite Plastering): خفضت الأحمال بنسبة 19% مقارنةً بالمحارة العادية.
  - استخدام زجاج ثلاثي منخفض الانبعاثية (Low-E + Argon) مع إطارات عازلة: قللت الأحمال بنسبة 5%.
  - زراعة الأسطح (Green Roof): ساهمت في تقليل الأحمال بنسبة 1.4%.
  - استخدام نظام إضاءة LED: خفض الأحمال بنسبة 3% ووفّر 29% من استهلاك الكهرباء.
- **المعالجات المجمعة:**
  - دمج عزل الحوائط الخرسانية والحوائط الطوبية: أدى إلى خفض أحمال التبريد بنسبة 22.5%.
  - دمج ثلاثي (عزل الحوائط الخرسانية + الطوب الإسمنتي + المحارة العازلة): ساهم في تقليل الأحمال بنسبة تقارب 28%، مما يُظهر أن التكامل بين المواد المختارة يلعب دوراً رئيسياً في تحسين الكفاءة الحرارية.

ملاحظة مهمة: الدمج بين عدد من المعالجات يمكن أن يعطي نتائج أكثر فاعلية مادامت هذه المعالجات لا تلاشي بعضها ويمكن تطبيقها معاً.

3.2.3 خلاصة نتائج المعالجات على النموذج السكني (أ): كما هو موضح بالجدول (2).

أولاً) معالجات فردية: تم تطبيق مجموعة من المعالجات التصميمية على النموذج السكني بهدف خفض إستهلاك الطاقة لأغراض التبريد خلال أشهر الصيف. وقد أظهرت النتائج تحسنًا ملحوظًا في الأداء الحراري للمبنى والجدول التالي يلخص كفاءة المعالجات البيئية الحرارية للمبنى السكني المصمم وتحديد مدى تأثير كل معالجة على تحسين الأداء الحراري للمسك.

ثانياً) الدمج بين المعالجات: تم اختبار أثر دمج معالجات بيئية متوافقة لتحقيق نتائج تراكمية في تحسين الأداء الحراري للمبنى. شمل الدمج عزل الحوائط الخرسانية والطوب الأسمنتي، استخدام طبقة لياسة عازلة(Perlite) ، استبدال الزجاج العادي بزجاج ثلاثي منخفض الانبعاثية مع غاز الأرجون وإطارات عازلة، إضافة إلى تركيب كاسرات شمسية للنوافذ وتبنّي نظام إضاءة *LEED* بديلًا عن المصابيح التقليدية .وقد أظهرت نتائج المحاكاة أن هذا الدمج الشامل أدى إلى خفض إجمالي في أحمال التبريد بنسبة تصل إلى 44% خلال أشهر الصيف، مما يعكس فعالية التكامل بين المواد والأنظمة في رفع كفاءة الطاقة وتحقيق الراحة الحرارية.

جدول (2): نتائج المعالجات البيئية على النموذج (أ)

رقم	نوع المعالجة	نسبة التخفيض في أحمال التبريد
1	تحسين التوجيه	2.63%
2	عزل السقف بطبقة XPS سمك 7 سم	1.5%
3	طلاء السقف بمادة عاكسة (Super White)	2.8%
4	استبدال الحوائط الخرسانية بخرسانة معالجة	9.7%
5	استخدام طوب أسمنتي مع طبقة عزل XPS داخلية	10.25%
6	دمج معالجة الحوائط الخرسانية + الطوب الأسمنتي	22.5%
7	استخدام محارة عازلة (Perlite Plaster)	19%
8	دمج ثلاث معالجات (الخرسانة + الطوب + المحارة)	28%
9	استبدال الزجاج بزجاج ثلاثي + Low-E إطارات معزولة	5%
10	إضافة كاسرات أفقية ورأسية للنوافذ	5.9%
11	زراعة السقف (Green Roof)	1.4%
12	استبدال المصابيح بإضاءةLED	تقليل احمال التبريد بنسبة 3% ، و29% توفير كهرباء

3.2.4 التحليل العام للنتائج:

أظهرت الدراسة أن النمذجة ببرنامج *DesignBuilder*أداة فعالة لتقييم الأداء الحراري واختيار المعالجات المثلى، وأن الحوائط الخرسانية والطوبية تمثل العنصر الأكثر تأثيرًا مقارنةً بالسقف أو النوافذ. كما بيّنت أن دمج المعالجات البيئية المتوافقة يحقق أثرًا تراكميًا كبيرًا في خفض استهلاك الطاقة.

3.3 تصنيف المعالجات البيئية الحرارية باستخدام أداة استرشادية:

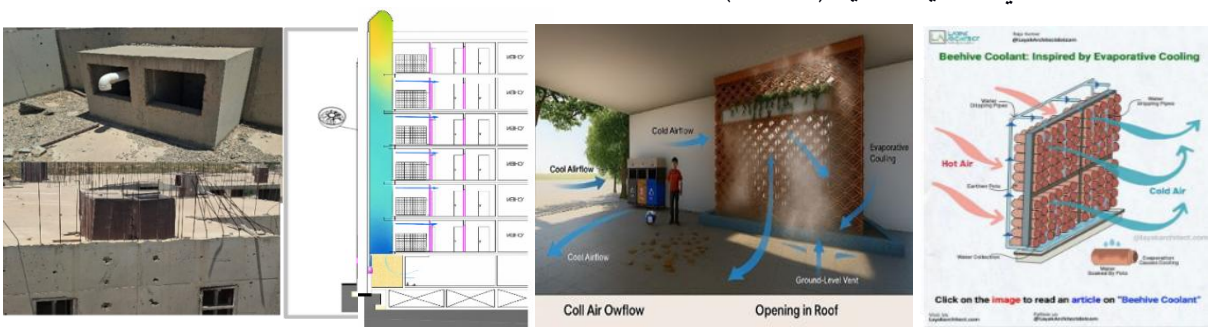
ولتحقيق هدف البحث تم إعداد جدول تصنيفي يُستخدم كأداة إرشادية لربط المعالجات البيئية بمراحل التصميم المعماري، مع تحديد نوعها (سلبية أو نشطة) ومستوى كفاءتها الحرارية. يهدف الجدول إلى مساعدة المعماريين، خصوصًا المبتدئين، في اختيار ودمج المعالجات الملائمة لتعزيز الأداء الحراري والاستدامة. شمل التصنيف عناصر رئيسة مؤثرة مثل: الموقع والتوجيه، الكتلة، مواد البناء، الغلاف الخارجي، الأسقف، الحوائط، والفتحات، مع تصنيف فعاليتها إلى أربعة مستويات لخفض الأحمال الحرارية (انظر الجدول 3). كما أُشير إلى معالجات إضافية مرتبطة بالأنظمة الداخلية (مثل الإضاءة عالية الكفاءة)، ويُقترح توسيع الجدول ليشمل معايير أخرى كأداة المحاكاة، مؤشرات الكفاءة، الملاءمة المناخية، التكلفة، والأولوية.

جدول (3): تصنيف المعالجات البيئية الحرارية وفق مراحل العملية التصميمية ومدى كفاءتها الحرارية

مراحل العملية التصميمية	المعالجات الخاصة بالمرحلة
مرحلة تخطيط الموقع (Site Planning)	• 1معالجة التوجيه :تحسين توجيه المبنى بحيث يكون المدخل في الجنوب. • الفراغ البيئي النشط في الطابق الأرضي + جدار تبريدي + زراعة مظللة (مقترح الباحث): لتقوية تدفق الهواء وتحسين الراحة الحرارية. • استخدام أنظمة كهروضوئية لتوليد الكهرباء(Photovoltaic Panels) الخ.....
مرحلة تشكيل كتلة المبنى (Building Massing)	• زراعة السقف :(Green Roof) كجزء من الشكل النهائي وكتلة المبنى. • عمل كاسرات شمسية أفقية ورأسية على النوافذ :تؤثر على التكوين الكتلي والظل. الخ.....
مرحلة تصميم مخطط المبنى (Building Plan)	1–تحقيق التهوية المتقاطعة (Cross Ventilation) مثلا إدخال ملقف هوائي في فراغ السلم الخ.....
مرحلة تصميم غلاف المبنى (Building Envelope Design)	• عزل السقف بمادة XPS + طلاء السقف بمادة عاكسة(Super White) + استبدال الحوائط الخرسانية بخرسانة معالجة(Cellular Concrete) + زراعة الواجهة (Green Facade) + استخدام طوب أسمنتي مع طبقة عزل XPS داخلية + استبدال المحارة العادية بمحارة عازلة (Perlite Plastering)+ الدمج بين (الخرسانة + الطوب + المحارة)+ استبدال الزجاج بزجاج ثلاثي الطبقات Low–Eمع طبقة غاز الأرجون + إطارات معزولة + تظليل السقف (Shading the Roof) الخ.....

3.4 مقترح معماري مبتكر: نظام تهوية بيئي قائم على التبريد التبخّري لتحسين الراحة الحرارية:

في إطار تعزيز الراحة الحرارية بالمباني السكنية في المناخ الحار الجاف، يُقترح نظام تهوية بيئي مبتكر يعتمد على التبريد التبخّري عبر تحويل دَكتات التهوية إلى ممرات تعمل بأسلوب المدخنة الشمسية، حيث يُسحب الهواء المبرّد بعد مروره بعناصر خزفية مبللة بمياه رمادية معاد تدويرها، مدعّمًا بمراوح شمسية ذكية ووحدات تبريد موضعية منخفضة الاستهلاك. كما يُوظّف الطابق الأرضي كمجال بيئي واجتماعي مدمج بالزراعة الهوائية لتحسين جودة الهواء. ويُقترح أيضًا دمج مصفوفات فوتوفولتية على الواجهات الأكثر تعرضًا للشمس مع أنظمة تظليل، بما يحقق وظائف متعددة تشمل التظليل، خفض الحمل الحراري، تحسين الأداء الطاقي، وتعزيز التهوية (الشكل 7).



الشكل (7) : مقترح نظام التهوية البيئية العمودية في مبنى سكني متعدد الطوابق، يوضّح توظيف دَكتات الهواء المرتبطة بوحدات تبريد تبخّري، مع استخدام الفضاء الأرضي كمجتمع بيئي ومكتبة داخلية.

3.5 تقييم المشروع وفق – LEED v4.1 سكني: متعدد العائلات:

تقييم المشرع: بعد دراستنا لنظام التقييم LEED v4.1 ومعرفة مبادئه والمحاور التي يشملها حاولنا من خلال مشروعنا تجسيد ما يمكن تجسيده وتقييم المشروع للوصول إلى الأهداف المرجوة وهذا ما سنلخصه في جدول التالي:

جدول (4) يوضح نتيجة التقييم بنظام LEED v4.1 للمشروع (مصدر رسمي لنظام LEED v4.1 USGBC – U.S. Green Building Council)

	المعايير	الشعار	النقاط	النقاط المتحصل عليها
1	الموقع والنقل		16	11
2	المواقع المستدامة		10	7
3	كفاءة المياه		11	7
4	الطاقة والغلاف الجوي		33	13
5	المواد والموارد		13	2
6	جودة البيئة الداخلية		16	10
7	العملية التكاملية		1	0
8	الابتكار وعملية التصميم		6	2
9	اعتماد الأولية المحلية والإقليمية		4	2
	المجموع		110	54

أظهر تقييم المشروع وفق نظام LEED v4.1 حصوله على 110/54 نقطة، مؤهلًا للتصنيف الفضي (Silver). إلا أن التحليل كشف أن المعالجات البيئية طُبّقت في مراحل متأخرة واقتصرت على حلول خارجية كالتشجير والطلاء، دون دمج مبكر لاستراتيجيات التصميم المستدام. وتبرز النتائج الحاجة إلى نهج تصميمي متكامل منذ البداية يشمل الكتلة، الفتحات، التهوية الطبيعية، والمواد لتحقيق كفاءة طاقية واستدامة شاملة.

4. النتائج والتوصيات والخاتمة:

4.1 النتائج:

أظهرت الدراسة أن تحقيق الأداء الحراري الفعّال في المباني السكنية بالمناخ الحار الجاف يتطلب دمجًا تكامليًا للمعالجات البيئية عبر مختلف مراحل التصميم، مع الموازنة بين الاستراتيجيات السلبية والنشطة. وأكدت نتائج المحاكاة ببرنامج *DesignBuilder* أن العزل الحراري، الزجاج منخفض الانبعاثية، والمواد ذات الخصائص الحرارية الملائمة أسهمت في خفض أحمال التبريد بنسبة 44% صيفًا، مما يبرز جدوى المنهج التكاملي. كما بيّنت النتائج أن التنوع الكبير في المعالجات البيئية يستلزم رؤية تصميمية شمولية تراعي خصوصية المشروع، وتُطبق عبر خمس مراحل رئيسة تبدأ بالقرارات العامة وتنتهي بالتفاصيل المعمارية الدقيقة، بما يعزز الكفاءة الحرارية والراحة البيئية.

4.2 التوصيات:

1. **على صانعي القرار** :مراجعة وتحديث التشريعات العمرانية لتضمين مبادئ التصميم البيئي المستدام، واعتبار تطبيق المعالجات المناخية والطاقة المتجددة شرطًا أساسيًا في تراخيص المشاريع السكنية الكبرى، مع توفير حوافز مالية وقروض ميسّرة لدعم اعتمادها على نطاق واسع.

2. **على المعماريين والجهات الأكاديمية** :إدماج مفاهيم الاستدامة والمعالجات البيئية في البرامج التعليمية والتدريبية، وتوظيف أدوات المحاكاة البيئية لدعم القرارات التصميمية. كما يُوصى بتكييف التصميمات مع الخصائص المناخية المحلية، واستخدام مواد بناء طبيعية، واعتماد تقنيات ذكية لمراقبة الأداء البيئي.
3. **على مستوى الممارسة التصميمية** :ضرورة دمج الاعتبارات البيئية منذ المراحل الأولى للتصميم، بدءًا من اختيار الموقع وتوجيه المبنى حتى تفاصيل الغلاف الخارجي، بما يرفع كفاءة الطاقة ويحسن جودة الحياة.
4. **على مستوى المشاركة المجتمعية** :إشراك المستخدمين النهائيين في مراحل التخطيط والتصميم لضمان توافق الحلول المعمارية مع الاحتياجات الفعلية للسكان، بما يعزز من جدوى واستدامة المشاريع.
5. **على مستوى البحث والتطوير** :تبني استراتيجيات لبناء القدرات المهنية وإعداد أدلة تصميمية مرجعية، مع تشجيع الدراسات المستقبلية لتعميق المعرفة وتطوير ممارسات العمارة البيئية في الواقع الليبي.

4.3 الخاتمة:

خلصت الورقة إلى أن إدماج المعالجات البيئية المستدامة في تصميم مشاريع الإسكان بليبيا يمثل مدخلًا أساسيًا لتحسين الأداء الحراري وتعزيز البعد البيئي والاجتماعي والاقتصادي للتنمية العمرانية. ورغم توفر وعي نظري لدى المهنيين، ما زالت فجوة التطبيق قائمة بفعل تحديات تشريعية ومؤسسية. تؤكد الدراسة أن تحقيق الاستدامة يتطلب تكامل الأدوار بين الجهات الأكاديمية والمهنية والمؤسسية ضمن إطار تشريعي مرن، مع تبني استراتيجيات تصميمية واضحة قابلة للتطبيق محليًا.

5. المراجع:

[1] الكبتي، م .(2011) .تقييم السياسات الحضرية والإسكانية في ليبيا .طرابلس: مركز الدراسات العمرانية.

[2] الزعفراني، م .(2010) .التصميم المناخي للمنشآت المعمارية: مدخل كمي لتقييم الأداء المناخي للغلاف الخارجي وتفاعله مع محيطه العمراني .رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية الهندسة، جامعة القاهرة.

[3] وزيري، ع .(2007) .التصميم البيئي والعمراني للمناطق الحارة الجافة .القاهرة: جامعة عين شمس.

[4] الزعفراني، م .(2012) .التصميم المناخي للمباني .القاهرة: دار الكتب العلمية.

[5] Feist, W., & Schnieders, J. (2009). *Passive Houses: Fundamentals and Planning Tools*. Germany: Passive House Institute.

[6] Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*. New York: Van Nostrand Reinhold.

[7] Kim, H., Park, J., & Choi, Y. (2022). *Energy Efficiency Strategies in Building Planning: A Simulation-Based Approach*. *Energy and Buildings*, 258, 111785.

[8] Shafa, R. (2024). *Smart Architectural Layouts and Energy Optimization in Arid Climates*. *Journal of Sustainable Architecture*, 46(1), 85–97.

[9] ArchDaily. (n.d.). *Chapireh Residential Building / Ravagh Atelier*. Retrieved from: https://www.archdaily.com

[10] USGBC (2020). *LEED v4.1 Building Design and Construction Guide – Multifamily Residential*. Washington, DC: U.S. Green Building Council.

[11] DesignBuilder Software Ltd. (2023). *DesignBuilder Version 7.2 – User Manual*. Retrieved from: https://designbuilder.co.uk

المحور الثاني

مواد التشييد الملائمة للبيئة الصحراوية

- مواد البنـــــاء
- مواد الرصـــف
- مواد العـــــزل

تأثير إضافة مسحوق مطاط الإطارات المستهلكة على خواص الخلطة الإسفلتية

حسن عويدات[1]، منصور بن مسكين[2]، يوسف عويدات[3]

[1] دكتور استاذ مساعد ، قسم الهندسة المدنية ، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ ، ليبيا

[2] دكتور استاذ مشارك، قسم الهندسة المعمارية و تخطيط المدن ، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ ، ليبيا

[3] مهندس ، قسم الهندسة المدنية ، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ ، ليبيا

الملخص

في ليبيا، وخاصة في المناطق الصحراوية الحارة، يُعزى السبب الرئيسي لفشل رصف الخرسانة الإسفلتية إلى التشوه الدائم. يمكن أن تؤثر أنواع مختلفة من التشوهات على الرصف بما فيها التخدد الذي يسبب مشاكل في جودة الخدمة والسلامة على الطريق. تعد ظاهرة التخدد المبكر للرصف المرن أحد أكبر مشاكل الرصف التي تواجهها شبكات الطرق في ليبيا. نظرا للمشاكل التي تتعرض لها شبكة الطرق الليبية كالشقوق والتخدد الناتجة عن زيادة الاحمال على الطرق تم في هذا البحث دراسة خواص الخرسانة البيتومينة المعدلة بالمطاط، حيث تهدف هذه الدارسة إلى معالجة ظاهرة التخدد في الطرقات و استغلال المواد المستعملة بإعادة تدويرها حماية للبيئة، حيث يتم اختبار المواد الأساسية المكونة للخرسانة الإسفلتية و المواد المعاد تدويرها ثم اختبار العينات للخلطة الإسفلتية بتجربة التخدد، حيث تحتوي كل عينة على نسب مختلفة من المواد المعاد تدويرها. اعتمد في هذه الدراسة على المنهج التجريبي باستعمال مجموعة من الإختبارات و التجارب المخبرية. و قد توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج أهمها إمكانية تعديل الخلطات الإسفلتية باضافة المطاط المعاد تدويره من اطارات السيارات التالفة بنسب معينة في تصميم طبقات الطريق و المساهمة في القضاء على ظواهر تلف الطرقات مثل التخدد. أظهرت نتائج الاختبار باستخدام الأسفلت المُختلط المُعدل بالمطاط المُختبري مزايا مُعينة مُقارنةً بالإسفلت القياسي: ثبات أعلى بنسبة 14%، تآكل أقل بنسبة 46%، قوة شد (غير مباشرة) أعلى بنسبة 10% على العينة الجافة، قوة شد (غير مباشرة) أعلى بنسبة 20% على العينة المُخزنة الرطبة، مقاومة أفضل للماء بنسبة 10%، من حيث فقدان قوة الشد غير المباشرة، قوة شد أعلى بنسبة 26% في اختبار الانحناء ثلاثي النقاط عند درجة حرارة 0 درجة مئوية. أظهرت نتائج الاختبارات زيادة في ثبات الأسفلت المُعدل بالمطاط في درجات الحرارة العالية، وتحسنًا في سلوكه في درجات الحرارة المنخفضة، وزيادة في قدرته على الالتصاق. تُعرض نتائج الاختبارات باستخدام الأسفلت المخلوط المُعدّل بالمطاط . وفر هذا البحث رؤى قيمة حول تحسين تصميم خلطات الأسفلت لإنشاء طرق تدوم لفترة أطول وأكثر مقاومة.

الكلمات المفتاحية : *فتات المطاط المُعدَّل للإسفلت، التخدد، الخلط الجاف، الطرق في ليبيا، إعادة تدوير.*

Abstract

In Libya, especially in hot desert regions, permanent deformation is the main cause of asphalt concrete pavement failure. Various types of deformations can affect pavement, including rutting, which causes problems with service quality and road safety. Premature rutting of flexible pavement is one of the major pavement problems facing road networks in Libya.

Given the problems faced by the Libyan road network, such as cracks and rutting resulting from increased road loads, this research studies the properties of rubber-modified bituminous concrete. This study aims to address the phenomenon of rutting in roads and utilize used materials by recycling them to protect the environment. The basic materials that make up asphalt concrete and recycled materials are tested, and asphalt mixture samples are then tested using a rutting experiment, with each sample containing different percentages of recycled materials. This study relied on the experimental approach using a set of laboratory tests and experiments. The study reached a set of results, the most important of which is the possibility of modifying asphalt mixtures by adding recycled rubber from damaged car tires in specific proportions to the road layer design, contributing to the elimination of road deterioration phenomena such as rutting. Test results using laboratory-grade rubber-modified asphalt showed certain advantages compared to standard asphalt: 14% higher stability, 46% lower wear, 10% higher (indirect) tensile strength on the dry sample, 20% higher (indirect) tensile strength on the wet-stored sample, 10% better water resistance in terms of loss of indirect tensile strength, and 26% higher tensile strength in the three-point bending test at 0°C. Test results showed increased stability of rubber-modified asphalt at high temperatures, improved behavior at low temperatures, and increased adhesion. This research provides valuable insights into improving the design of asphalt mixtures to create longer lasting and more resistant roads.

Keywords: *Modified rubber crumb for asphalt, rutting, dry mix, roads in Libya, recycling.*

1. المقدمة:

يلعب نظام النقل دوراً حيوياً في تطور الدول والمجتمعات، حيث يساهم في ازدهار الإقتصاد الوطني ونمو الصناعة وارتفاع مستويات المعيشة. أنظمة النقل في الدول النامية تواجه العديد من المشاكل والتحديات وخاصة في البنية التحتية لشبكات الطرق. يعتبر قطاع النقل من أهم القطاعات التي تدعم العملية الإقتصادية ويعتبر الركيزة الأساسية للإقتصاد القومي، فتحقيق النمو في قطاعات الإقتصاد الوطني لا يمكن أن يتم دون مواكبة قطاع النقل لهذا النمو المنشود، وذلك من خلال التخطيط الجيد وتنفيذ طرق ذات مواصفات فنية ممتازة تكون فيها الحركة المرورية مريحة وآمنة [2,1]. تعتبر الطرق السريعة السمة المميزة لأي شبكة طرق والعنصر الرئيسي فيه. هذه الطرق السريعة تستهلك كميات هائلة من المواد في انتاجها وجعلها مرصوفة بشكل يتطابق مع متطلبات الحضارة والمدنية [3]. ولهذا يعتبر الرصف من أهم المتطلبات التي تساعد على تطور نظام النقل في البلدان، فهو يعمل على تحمل الإجهادات الناتجة من حركة المرور وينقل أوزان المركبات إلى طبقات التربة. بناءً على ما ذكر فإنه يجب أن يكون تصميم هذه الطبقات مطابقاً للمواصفات من حيث سمك الطبقات وجودة المواد الداخلة في تنفيذه، كذلك يجب الإهتمام بطريقة التنفيذ وتوفير الصيانة المستمرة. هذه العوامل تحافظ على سطح الطريق وتطيل من

عمره الإفتراضي وتقلل من ظهور العيوب الإنشائية. وعليه فإن من الواجب تصميم الطرق بأساليب حديثة ومنضبطة للوصول إلى نتيجة جيدة من ناحية الأداء الوظيفي والسلامة وبتكاليف اقتصادية مناسبة.

اليوم ومع ازدياد حركة المرور، وتنوع الحركة على الطرق من حمولات خفيفة وثقيلة استدعي البحث وتطوير مرافق النقل بشكل أوسع، وخاصة طبقات رصف الطرق التي تختلف أنواعها بحسب نوع الحركة وحجمها وطبيعة المناخ .هناك أنواع مختلفة من الأرصفة المستخدمة في هندسة الطرق (مرنة، صلبة، ومركبة)، يتكون الرصف المرن من طبقة رقيقة من الإسفلت عالي الجودة (طبقة التغطية)، حيث توضع أعلى طبقة الأساس الحصوي التي تتكون من حصويات فقط، يعد تدرج وحجم وشكل الحصويات من العوامل الرئيسية التي تحدد قدرة الطريق على تحمل الإجهادات الناتجة عن الأحمال المرورية، تتوضع طبقة الأساس أعلى طبقة ما تحت الأساس التي تتكون من خليط من الركام والحجر المكسر وتكون ذات جودة أقل من الطبقة العليا[4] .

تشوه الرصف هو مؤشر لتدهور طبقات الرصف كلياً أو جزئياً، حيث تعد الظروف البيئية، و الأحمال المرورية، ومواد الرصف العوامل الرئيسية التي تؤثر على أداء الرصف المرن، حيث أن معدل التشوه يعتمد على مقدار وتغير شدة الأحمال المرورية ومقدار تحمل الرصف بكافة مكوناته [5]. تعتبر التخددات من أهم عيوب الرصف والتي لها تأثير مباشر على السائقين من حيث الراحة والآمان أثناء القيادة، وذلك بسبب الهبوط الحاصل في سطح الطريق (بشكل قنوات) في منطقة مسار إطارات السيارات، والذي يصاحبه أحيانا انتفاخ في سطح الإسفلت على جوانب الطريق. يحدث التخدد بسبب تحرك المواد تحت تأثير الأحمال المتكررة سواءً للطبقات الإسفلتية أو طبقة الأساس. فعندما يكون الدمك ضعيفا تكون نسبة الفراغات عالية مما يؤدي إلى حدوث هبوط تحت مسار العجلات. كذلك فإن زيادة نسبة الإسفلت في الخلطة الإسفلتية تعمل على حدوث تشوهات دائمة بسبب الحركة الجانبية لطبقات الرصف نتيجة لنقص الإحتكاك الداخلي بين حبيبات الركام.

جاءت الحاجة إلى تقييم الأسباب المرتبطة بظهور التخددات في الطرق في الجنوب الليبي نظرًا للنقص الواضح للأبحاث والدراسات الخاصة بعيوب الرصف ً والتي في مجملها تتناول تقييم الأضرار أو العيوب الموجودة في الرصف دون التطرق للمسببات. لذلك، تم في هذا البحث دراسة خواص الخرسانة البيتومينة المعدلة بالمطاط، حيث تهدف هذه الدارسة إلى معالجة ظاهرة التخدد في الطرقات و استغلال المواد المستعملة بإعادة تدويرها حماية للبيئة.

1.1 التخدد (Rutting):

وهو عبارة عن تشوه دائم يحدث في طبقة الأسفلت المستخدمة في الطرق، ويتميز بتشكل حفر وتجاويف على سطح الطريق في اتجاه حركة المركبات. يحدث التخدد نتيجة لتراكم الضغط والتحميل المتكرر على الأسفلت، وعادة ما يكون أكثر وضوحًا في المسارات التي تتعرض لحركة المرور الثقيلة.

تسبب عوامل عديدة في حدوث التخدد، بما في ذلك:

1. تصميم الطريق: قد يكون تصميم الطريق غير مناسب لتحمل حركة المرور الثقيلة، مما يؤدي إلى توزيع غير متساوٍ للضغط على الأسفلت.
2. التكوين الأسفلتي: قد يكون التركيب الأسفلتي غير مناسب من حيث استخدام المواد أو العمليات البنائية، مما يؤثر على مقاومته للتشوه.
3. الزيادة في نسبة البيتومين: قد تتسبب الزيادة في نسبة البيتومين التخدد على سطح الطريق.

4. المناخ: يمكن أن تؤثر درجات الحرارة العالية والتغيرات الموسمية في المناخ على خاصية التخدد للأسفلت.

تأثير التخدد على الطرق يمكن أن يكون سلبيًا، حيث يؤدي إلى تدهور سطح الطريق وتشكل حفر تعيق القيادة السلسة وتزيد من احتمالية وقوع حوادث المرور. لذلك، يتم اتخاذ إجراءات لمكافحة التخدد وتقليل تأثيره، مثل استخدام خلطات أسفلتيه مقاومة للتشوه وتصميم طبقات الأسفلت بشكل مناسب وصيانة الطرق بانتظام لإصلاح التشوهات الموجودة. الشكل (1) يوضح جهاز اختبار التخدد.

شكل (1) يوضح جهاز اختبار التخدد.

2. الدراسات السابقة:

درس الأسطى وآخرون (2021) العوامل المؤثرة في تخدد الرصف المرن بمدينة مصراتة. حيث تم في هذا البحث دراسة مشكلة التخدد بشكل موسع لتحديد أهم العوامل المساهمة في ظهورها. تم استخراج عينات من خمسة مواقع داخل مدينة مصراتة تعاني من التخددات، حيث تم قياس شدة التخدد في جميع المواقع. حيث كانت النتائج من هذه الدراسة إلى أن شدة التخدد عالية جداً في جميع القطاعات التي تمت الدراسة عليها، وأن التخدد يحدث بصورة أكبر في الطبقة السطحية، وهذا يرجع إلى زيادة نسبة البيتومين ونسبة المواد الناعمة ونقص الفرغات الهوائية فيها. بالإضافة إلى الحمولات غير القانونية من الشاحنات ووجود مهدئات السرعة بكثرة على الطريق. أهم ما أوصت به هذه الدراسة هو المراقبة المستمرة لأوزان الشاحنات وإصدار القوانين لمعاقبة المخالفين مع الإهتمام بالتصميم الجيد للخلطة الإسفلتية واختيار مواد ذات جودة عالية ومطابقة للمواصفات والتأكد من عدم احتوائها على نسبة عالية من المواد الناعمة [1] .

كما قام الباحثون(Ali Sahid et al) عام 2021 بإجراء تحليل العناصر المحددة ثلاثية الأبعاد على رصف مرن بخصائص مواد ودرجة حرارة وظروف تحميل مختلفة، تم تطوير نموذج عناصر محددة باستخدام برنامج Abaqus لتوقع سلوك الرصف. قام بدراسة تأثير درجة الحرارة على التخدد الحاصل في طبقات الرصف، و تم التوصل إلى أنَ زيادة درجة الحرارة من 10 إلى 50 درجة مئوية زاد عمق التخدد بمقدار3ملمتر أي 9% أي أن لدرجة الحرارة تأثيراً كبيراً على عمق التخدد الحاصل .[6]

درس الباحث Zhang وآخرون عام 2009 العوامل المؤثرة على التخدد ومنها الحمولة المحورية وضغط نفخ الإطارات حيث قام بوضع نموذج لطبقات الرصف بطريقة العناصر المحددة وتبين أن زيادة الحمل من 8 إلى 12 طن (زيادة بنسبة50%) تؤدي إلى زيادة بنسبة22% في عمق التخدد. يؤدي زيادة ضغط النفخ الإطار إلى تقليل سطح التلامس للإطار، مما يؤدي

إلى تركيز الإجهاد وتشوه الرصف، حيث أن تغيير ضغط النفخ من 600 إلى 800 كيلو باسكال (34%) ينتج زيادة في عمق التخدد حوالي (5%) [7].

دراسة سالم (2025)، كان الهدف من هذه الدراسة هو تقييم فعالية استخدام البوليمر بالخلطات الإسفلتية عالية الأداء بالطريقة الحجمية والطرق الأوروبية لتصميم الخلطة .بالإضافة إلى توصيف المادة الرابطة بما في ذل ك تحديد معدل الاداء الاسفلتي، شملت الدراسة أيضًا بعض الاختبارات الميكانيكية :حساسية الماء، اختبارات تتبع العجلات ومعامل الصلابة .أظهر الخليط المعدل بمادة ستايرين بوتادين ستايرين المحضر بالطريقة الجافة نتائج أفضل مقارنة بالخرسانة الإسفلتية التقليدية غير المعدلة .لقد تبين أنه كلما زادت كمية المادة المحسنة المضافة ، كلما زادت قيمة معدل الأداء الأسفلتي لدرجات الحرارة المرتفعة وقلت ظاهرة التخدد . ونتيجةً للاختبارات، وُجد أنه، مقارنةً بمرجع غير مُعدّل، فإن الخرسانة الإسفلتية المُعدّلة بنسبة 0.3 إلى 0.5% من البوليمر تُحقق الفوائد التالية: نتوءًا واحدًا أو حتى مزدوج الدرجة (بمعنى آخر، يمكن تحقيق PG70–16 وPG76–16)، انخفاض حساسية الماء بنسبة 10 إلى 20%، انخفاض في خطر التشوه (RDR) بمقدار ضعفين، و ثبات معامل الصلابة (عند درجة حرارة تتراوح بين 10 و40 درجة مئوية) [8]

3. منهجية البحث:

يرتكز العمل في هذه الدراسة في مجمله على الاختبارات المعملية وفق منهجية واضحة تعتمد على اختيار العينات عند أماكن تواجد مهدئات السرعة. تضمنت المرحلة الثانية إجراء مجموعة من الاختبارات على العينات كاختبار الوزن النوعي [9]واختبار مقاومة الشد غير المباشر [10] (IDT Indirect Tensile Test) على العينات المدموكة، واختبار الاستخلاص لتحديد نسبة الأسفلت واختبار تدرج الركام واختبار الوزن النوعي الأقصى [11] (Gmm) على العينات التي تم تفكيكها في المرحلة السابقة وذلك للحصول على مجموعة من النتائج ومعرفة مدى مطابقتها للمواصفات.

4. النتائج:

النتائج المرفقة في هذا البحث تم الحصول عليها بعد إجراء الاختبارات المعملية وقياس قيم التخدد في الموقع .فيما يلي ملخص لأهم النتائج المتحصل عليها:

- **إختبارات الركام:**

التحليل المنخلي للركام :الإختبارات التي تم اجرائها على الركام هي اختبار التحليل المنخلي، التهشيم، اختبار الصدم، اختبار البري (لوس انجلوس). والجدول (1،2) تبين نتائج الإختبارات التي اجريت على الركام حيث كانت قيم كل الإختبارات ضمن المواصفات المسموح بها للطبقة السطحية المستخدمة في الرصف[12] . كما موضح في الشكل (2) عينات الركام المستخدمة في الخلطة الإسفلتية. اتبع البحث الإرشادات الخاصة بالتدرج الكلي لمخاليط الأسفلت AC–13 وAC–20 وAC–25.

الشكل (2) يوضح عينات الركام المستخدمة في الخلطة الإسفلتية

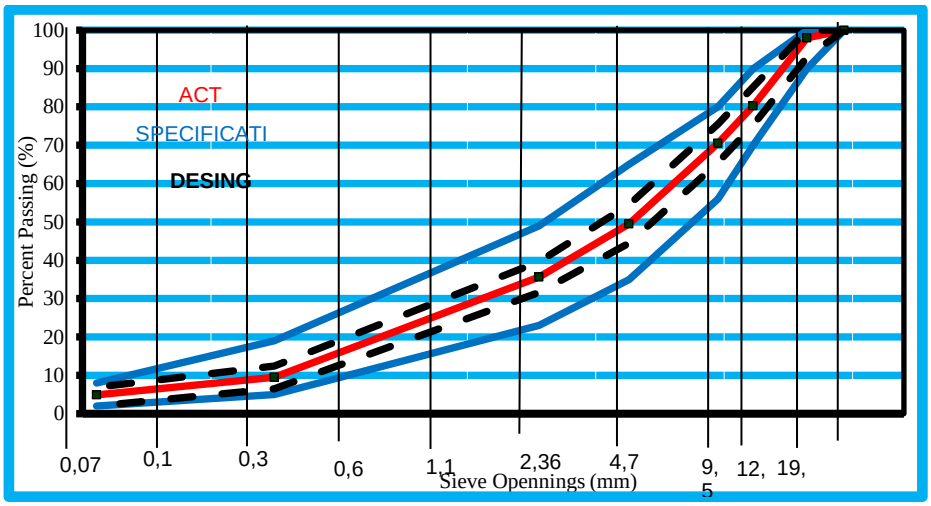
الجدول 1: كثافة نتائج الاختبار الكلي لـ AC13

Aggregate group g/cm3	13.2 6.0	9.5 3.2	4.75 9.5	2.36 4.75	1.18 2.36	0.61.18	0.30.6	1.150.3	0.075 0.15	00.075
Apparent density	2.904	2.871	2.828	2.793	2.773	2.765	2.758	2.749	2.736	2.765
Bulk density	2.889	2.829	2.787	2.701	2.689	-	-	-	-	-

الجدول 2: نتائج اختبار كثافة الكتل الكلية لـ AC20 و AC25

Aggregate group g/cm3	26.5–31.5	19.0–26.5	9.5–19.0	4.75–9.5	2.36–4.75	0–2.36
Apparent density	2.798	2.778	2.784	2.793	2.771	2.703
Bulk density	2.791	2.792	2.751	2.742	2.743	2.662

تتطلب طريقة Superpave عادةً اختيار ثلاثة تدرجات مختلفة للتحسين، ولكن من أجل الاتساق في المقارنة، اختارت هذه الدراسة نفس التدرج المستخدم في طرق Marshall وGTM. الشكل (3) يوضح التدرج الحبيبي للركام المستخدم في الخلطة الإسفلتية.



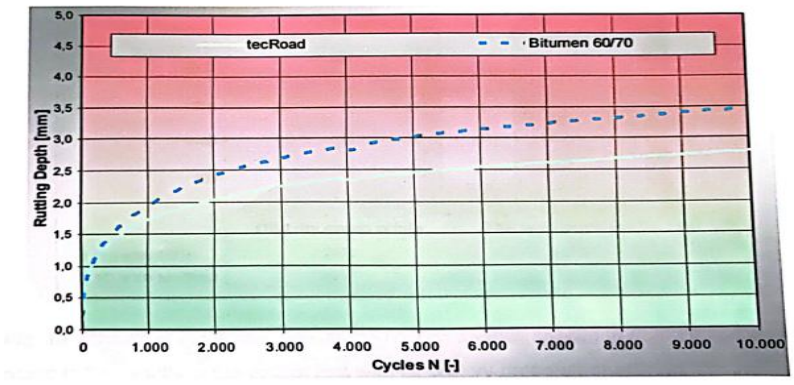
الشكل (3) مخطط التدرج الحبيبي للركام المستخدم في الخلطة الإسفلتية.

- **اختبار تتبع العجلات:**

يوضح الجدول (3) عمق التآكل بعد 20,000/10,000 باستخدام عجلة مطاطية في الهواء عند درجة حرارة 60 درجة مئوية لعينة مُجهزة من الأسفلت غير المُعدّل والمُعدّل بالمطاط من مصنع الأسفلت في ليبيا. في المعايير، تُعرّف الدورة الواحدة بمرتين. يوضح الشكل (4) منحنى التشوه (دورة واحدة تعني مرورتين) [9–12] . الشكل (5) يوضح نتائج اختبار تتبع العجلات، عمق التآكل في الأسفلت المجهز مختبريًا.

الجدول 3: نتائج اختبار تتبع العجلات وعمق التآكل للعينة من الأسفلت الليبي

Mix	Rutting depth after 10.000 passes	Rutting depth after 20.000 passes
	mm	mm
AC Lab with 60/70	3.0	3.5
AC Lab with Rubber Modified	2.4	2.8



الشكل 4: نتائج اختبار تتبع العجلات، عمق التآكل في عينة من الأسفلت الليبي

الشكل 5: نتائج اختبار تتبع العجلات، عمق التآكل في الأسفلت المجهز مختبريًا

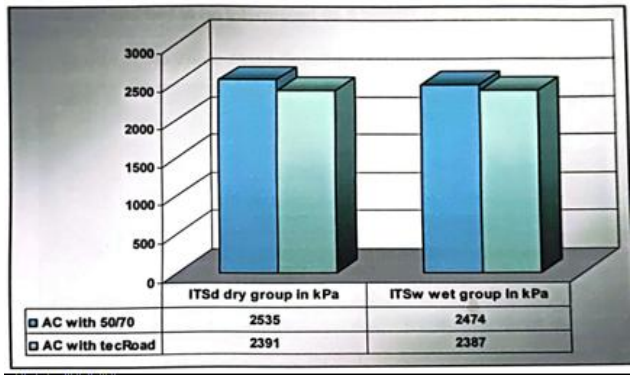
يقلل استخدام المطاط المُعدّل من قابلية التشوه تحت تأثير الأحمال. يصل عمق التشققات في الأسفلت المُعدّل بالمطاط إلى حوالي 80% فقط من الأسفلت غير المُعدّل.

- **اختبار حساسية الماء:**

في الجدول (4) والشكل (6) تجدون نتائج نسبة قوة الشد غير المباشرة (ITSR) مع اختبار الشد غير المباشر (ITS) قبل (d = المجموعة الجافة) وبعد المعالجة بالماء (w = المجموعة الرطبة). أُجري الاختبار على عينة مارشال مصنوعة من الأسفلت من مصنع الأسفلت في ليبيا) [12–9] .

الجدول 4 نتائج اختبار حساسية الماء على عينة أسفلت من الأسفلت الليبي.

Mix	Specimen	ITSd dry group	ITSw wet group	ITSR
	Nr.	kPa	kPa	%
AC Lab with 60/70	1	2570	2494	98
	2	2500	2453	
AC Lab with Rubber Modified	1	2445	2385	100.0
	2	221	2217	
	3	3443	2560	



الشكل 6: نتائج اختبار حساسية الماء على عينة الأسفلت من الأسفلت الليبي

بالمقارنة مع نتائج اختبار مماثل باستخدام عينة مُجهزة مختبريًا، فإن قوة الشد غير المباشرة لكلا الخلطتين من ليبيا منخفضة بشكل ملحوظ. يمكن تفسير انخفاض قيم الخلطة غير المعدلة بمحتوى الفراغات الذي يتراوح بين 3- 6% وضعف الالتصاق بين البيتومين والركام. كان من المفترض أن تكون قوة الشد للعينة التي تحتوي على محتوى فراغات يتراوح بين 9% أقل بكثير، نظرًا لحساسية هذا الاختبار لمحتوى الفراغات. وبناءً على ذلك، توقعنا قيمًا منخفضة جدًا لقوة الشد في المجموعة المعدلة بالمطاط. في الواقع، تقع القيم في نفس نطاق القيم في المجموعة غير المعدلة. يمكن تفسير ذلك بزيادة قدرة الترابط للبيتومين المعدل بالمطاط.

على الرغم من أن محتوى الفراغات في الخرسانة الإسفلتية المعدلة بالمطاط يقع في نطاق 9%، إلا أنه لا يوجد انخفاض في قوة الشد غير المباشرة بعد التخزين في الماء. وهذا يدل على زيادة قدرة الترابط للبيتومين المعدل بالمطاط. يؤدي استخدام المطاط المعدل إلى تحسين الحساسية ضد الماء وتعزيز مقاومة التشقق، على الرغم من أن الأسفلت يحتوي على نسبة فراغات عالية بشكل غير عادي.

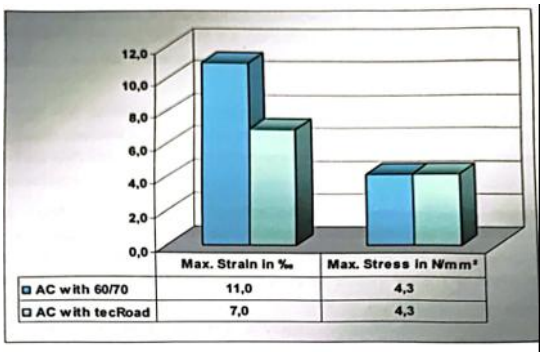
- **اختبار الانحناء ثلاثي النقاط في مختبر التيار المتردد:**

يوضح الجدول (5) والشكل (7) نتائج اختبار الانحناء ثلاثي النقاط على عينة من الأسفلت الليبي. تم قياس القوة والإزاحة على نصف قلب قطره 150 مم عند درجة حرارة 0 درجة مئوية. وفقًا للمعيار prEN 12697-44، تم حساب الإجهاد الأفقي 6hor والانفعال الأقصى εmax.

الجدول 5: نتائج اختبار الانحناء ثلاثي النقاط على عينة من الأسفلت الليبي

Mix	Specimen	εmax	6hor	Average Strain εmax	Average Stress 6hor
	Nr.	%	N/mm²	%	N/mm²
AC Lab with 60/70	1	1.6	4.3	1.1	4.3
	2	1.1	4.2		
	3	0.8	4.5		
AC Lab with Rubber Modified	1	0.7	4.1	0.7	4.3
	2	0.7	4.3		
	3	0.7	4.4		

كما هو موضح سابقًا، فإن المحتوى العالي جدًا للفراغات في الخرسانة الإسفلتية المعدلة بالمطاط له تأثير مخفض على قوة الشد. يجب تفسير الوصول إلى مستوى إجهاد أقصى مماثل على الرغم من المحتوى العالي للفراغات على أنه ميزة من مزايا التعديل المطاطي[9-12] .



الشكل 7: نتائج اختبار الانحناء ثلاثي النقاط على عينة من الأسفلت الليبي

5. الخلاصة:

لإظهار تحسينات خصائص الأسفلت باستخدام المطاط لتعديل الأسفلت، أُجريت اختبارات مختلفة وفقًا للمعايير الألمانية والأوروبية. أُجري الاختبار باستخدام أسفلت مُجهز مختبريًا بمنحنى تدرج مماثل للعينة المستخدمة في ليبيا، وبعينة مُجهزة من أسفلت مُنتج في ليبيا.

أظهرت نتائج الاختبار باستخدام الأسفلت المُختلط المُعدل بالمطاط المُختبري مزايا مُعينة مُقارنةً بالإسفلت القياسي:

- ثبات أعلى بنسبة 14%
- تآكل أقل بنسبة 46%
- قوة شد (غير مباشرة) أعلى بنسبة 10% على العينة الجافة
- قوة شد (غير مباشرة) أعلى بنسبة 20% على العينة المُخزنة الرطبة
- مقاومة أفضل للماء بنسبة 10%، من حيث فقدان قوة الشد غير المباشرة
- قوة شد أعلى بنسبة 26% في اختبار الانحناء ثلاثي النقاط عند درجة حرارة 0 درجة مئوية.

أظهرت نتائج الاختبارات زيادة في ثبات الأسفلت المُعدل بالمطاط في درجات الحرارة العالية، وتحسنًا في سلوكه في درجات الحرارة المنخفضة، وزيادة في قدرته على الالتصاق.

يُؤثّر نقص المواد الناعمة في الأسفلت المُنتَج في ليبيا بشكل كبير على النتائج. أظهرت العينة المُدموكة مختبريًا مُقاومة عالية للفراغات، على الرغم من أن درجة الضغط بلغت حوالي 100%. وقد عوّض ارتفاع مُحتوى الفراغات تقريبًا فوائد التعديل المطاطي. من المعروف في تكنولوجيا الأسفلت أن مُحتوى الفراغات له تأثير كبير على خصائص الطبقة المُدموكة، وتحديدًا انخفاض ثباتها، ومقاومتها للتشقق، وقابليتها للماء (وبالطبع أيضًا مقاومتها للشيخوخة). على الرغم من ارتفاع مُقاومة الفراغات، فقد ارتفع ثبات الأسفلت المُعدّل بالمطاط بنسبة 25%، وانخفض عمق التشققات بنسبة 20%. وصلت قوة الشد غير المباشرة وقوة الشد في اختبار الانحناء ثلاثي النقاط للعينة المُعدّلة بالمطاط إلى قيم مُقاربة لتلك الخاصة بالعينة غير المُعدّلة. في الختام، يمكن القول إن التعديل بالمطاط يُحسّن خصائص الأسفلت في درجات الحرارة العالية والمنخفضة، ويُحسّن ثباته وقابليته للتشقق، ويُحسّن قابليته للماء. حتى في الأسفلت غير المدكوك بشكل كافٍ، يُحقق التعديل بالمطاط فوائد عظيمة يُمكن إثباتها في الاختبارات المعملية. تُحافظ قدرة الترابط المُحسّنة واللزوجة العالية على خصائص الأسفلت الذي يحتوي على ما يقارب 9% من الفراغات بنفس مستوى الأسفلت الذي يحتوي على حوالي 6% من الفراغات. بشرط أن يكون تصميم الخلطة مناسبًا وأن تكون عمليتا الرص والرص كافيتين، يُنتج التعديل بالمطاط أسفلتًا عالي الجودة وطويل الأمد يُلبي المتطلبات الخاصة للطرق في المناخ الصحراوي. وأخيرًا، يُعوّض التعديل بالمطاط الانحرافات الحتمية في المواد والتحضير والرص ورص الأسفلت، مما يُعزز السلامة لقسم الطرق والجسور وللمقاولين على حد سواء.

6. التوصيات والبحوث المستقبلية:

نوصي باستخدام الإسفلت المعدل بالمطاط لتحسين جودة الأسفلت للطرق الصحراوية.حيث أثبتت الدراسات إضافة المطاط للخلطات الإسفلتية نجاحها في مختلف أنحاء العالم، ويمكن تطبيقها بسهولة في ليبيا باستخدام "العملية الجافة"، وهي عملية تصنيع لا تتطلب مصانع PMB. ومع ذلك، يلزم إجراء اختبارات معملية إضافية لتأكيد القيمة المضافة لتعديل باستخدام أنواع الركام والبيتومين المتوفرة في ليبيا. كما يُعد شكل منحنى تدرج الغربال وخصائص الخرسانة الإسفلتية الأخرى (محتوى

المادة الرابطة، والحجم المملوء بالبيتومين، وشكل الركام، إلخ) جوانب مهمة يجب مراعاتها عند تحسين تركيبة الخرسانة الإسفلتية. وسيشمل العمل الإضافي هذا التحقق النهائي.

عادةً ما تُجرى اختبارات تتبع العجلات (HWRT وFLRT) عند درجة حرارة 60 درجة مئوية. ومع ذلك، تشير الدراسات السابقة [8] إلى أن درجات حرارة الرصف يمكن أن تتراوح بين 64 و76 درجة مئوية. وسيتم النظر في إمكانية إجراء اختبار تتبع العجلات عند درجة حرارة 70 درجة مئوية في الدراسات المستقبلية.

المراجع:

[1]عبدالعزيز الأسطى، اسلام التريكي، عمر المنصوري، محمد عامر، محمد الحداد (2021) دراسة العوامل المؤثرة في تخدد الرصف المرن حالة دراسية (قطاعات طرق داخل مدينة مصراتة). مجلة البحوث الأكاديمية (العلوم التطبيقية)، العدد 19، يوليو 2021.

[2] Elmansouri, Omar, Abdulmojeb Almhroog, and Ibrahim Badi. "Urban transportation in Libya: An overview." Transportation Research Interdisciplinary Perspectives 8 (2020): 100161.

[3] Eltariki Isslam and Abdulmojeb Almhroog. “Evaluating the use of SS and CW in asphalt concrete. The international Journal of Engineering and Technology, Vol.6, No2,2020.

[4]. رامي حنا و محاسن وفيق الميبي (2023). دراسة العالقة بين قيم التخدد وخواص المواد المشكلة للرصف المرن باستخدام النمذجة الحاسوبية. مجلة جامعة تشرين. العلوم الهندسية. المجلد (45) العدد (3)

[5]. Hasim, M. S., Hameed, A. M. A., Hye, K. T., Malek, A. F. A., and Mustafa, M. S.. "Interim Guide to Evaluation and Rehabilitation of Flexible Road Pavement."Kuala Lumpur, Malaysia, 1994.

[6] – Asim, M., Ahmad, M., Alam, M., Ullah, S., Iqbal, M. J., & Ali, S. (2021). Prediction of rutting in flexible pavements using finite element method. *Civ. Eng. J*, *7*(8), 1310-1326.

[7] – Zhang, Q. S., Chen, Y. L., & Li, X. L. (2009, September). Rutting in asphalt pavement under heavy load and high temperature. In *Asphalt material characterization, accelerated testing, and highway management: Selected papers from the 2009 GeoHunan International Conference* (pp. 39-48).

[8] Hassan Awadat Salem. (2025). Effect of Polymer Modification Bitumen on Performance of Flexible Pavement in Hot Arid Area in Libya. *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, *1*(1), 57-63. https://doi.org/10.63318/

[9] AASHTO T166-00 (2000) Bulk specific gravity of bituminous mixtures using saturated surface dry specimens, Standard specifications for transportation materials and methods of sampling and testing, part II—tests, 20th edn, Washington, DC, USA

[10] ASTM designation D6931-07. Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Bituminous Mixture.

[11] ASTM D2041 / D2041M-19, Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Asphalt Mixtures.

[12] AASHTO Designation: T51-74, Standard Specification for Highway Materials and Methods of Sampling and testing, part 2. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC (1993).

[13]Salem, H. A. (2024). Rubber-Modified Asphalt for Enhanced Performance in Extreme Heat. Wadi AlShatti University Journal of Pure and Applied Science, 2(2), 2024.

[14] Salem, H. A. (2024). Advancing Asphalt Mixture Design for Sustainable Pavements. Wadi AlShatti University Journal of Pure and Applied Science, 2(2), 2024.

[15]Salem, H. A. (2024). Enhancing Asphalt Mixtures: The Role of Lime, Pozzolan, and Cement in Road Construction. Wadi AlShatti University Journal of Pure and Applied Science, 2(2), July-December 2024

[16]Salem, H. A. (2023). A Comprehensive Evaluation of Polymer Additives in Modified Bitumen for Enhanced Pavement Performance. *Sebha University Journal of Pure & Applied Sciences*. Available at: www.sebhau.edu.ly/journal/jopas.

تحديد نسبة ثاني أكسيد السيليكون (Sio_2) في تربة الكثبان الرملية بمنطقة رمال زلاف

أ. نجوى موهوب محمد
محاضر مساعد في قسم الهندسة المدنية
كلية الهندسة – جامعة وادي الشاطي
naj.mohammed@wau.edu.ly

الملخص

تعتبر رمال زلاف الواقعة جنوب غرب ليبيا من المناطق التي تغطيها الكثبان الرملية المتعددة بأطوالها وأشكالها وإرتفاعاتها وإمتداداتها حيث ويبلغ بعض إرتفاعاتها عدة أمتار ، وتصل بعض إمتداداتها إلى كيلومترات وتقع منطقة رمال زلاف شمال مدينة سبها حيث وتحدها شرقا منطقة سمنو وشمالا منطقة وادي الشاطئ وغربا رمال أدهان أوباري . ونظرا لتواجد هذه التربة بكميات كبيرة في الجنوب الليبي، عليه فإن هذه الدراسة تختص بتحديد نسبة ثاني أكسيد السيليكون (Sio_2) في تربة الكثبان الرملية بمنطقة رمال زلاف وإمكانية إستخدامها في الأعمال الهندسية والصناعات المختلفة. فقد تم تحديد منطقة الدراسة (رمال زلاف) ، و تقسيمها إلى إحدى عشر موقعا و أخذ (150) عينة من جانبي الطريق الرابط بين مدينتي سبها وبراك الشاطي والذي يمر عبر منطقة الدراسة. حيث تم تقسيم المنطقة على (يمين الطريق) إلى 6 مواقع بينما قسمت المنطقة على (يسار الطريق) إلى 5 مواقع (0.00) سم من سطح الأرض الطبيعية ، ومن الكثبان بأعماق (0.00، 25،50) سم محسوبة من القمة وتم إجراء مجموعة من الإختبارات المعملية على العينات المختارة شملت إجراء إختبارات التركيب الحبيبي والتي من ضمنها إختبار تحديد نسبة ثاني أكسيد السيليكون (Sio_2) بواسطة (جهاز السبكتروفوتوميتر على الطول الموجي nm410) و تحليل نتائج الإختبارات المعملية المتحصل عليها .و حيث بينت نتائج الإختبارات الكيميائية إرتفاع نسبة (Sio_2) لأغلب عينات منطقة الدراسة حيث وصلت أقصى نسبة إلى (99.98 %) وأدنى نسبة إلى (67.40 %) و تم كذلك تصنيف عينات التربة بأنظمة التصنيف العالمية حسب نتائج إختبارات التركيب الحبيبي ومقارنة نتائج إختبارات المواد العضوية والكيميائية بدراسات سابقة وإتضح من خلال هذه الدراسة أن نسبة (Sio_2) عالية ومتقاربة لأغلب العينات المأخوذة من المنطقة وتم إستخلاص وتحديد نتائج وتوصيات لهذه الدراسة.

الكلمات الدالة *: تربة رمال زلاف ، الكثبان الرملية ، الجنوب الليبي، السيليكا .*

Abstract

The Zallaf Sands, located in southwestern Libya, are considered one of the areas covered by multiple sand dunes in their lengths, shapes, heights and extensions, with some of their heights reaching several meters, and some of their extensions reaching kilometers. The Zallaf Sands area is located north of the city of Sebha, where it is bordered to the east by the Samno area, to the north by the Wadi Al-Shati area, and to the west by the Adhan Ubari Sands. Given the presence of this soil in large quantities in southern Libya, this study specializes in determining the percentage of silicon dioxide (Sio_2) in the soil of sand dunes

in the Zallaf Sands region and the possibility of using it in engineering works and various industries. The study area (Zallaf Sands) was identified, divided into eleven sites, and (150) samples were taken from both sides of the road linking the cities of Sabha and Brak Al-Shati, which passes through the study area. The area on (right of the road) was divided into 6 sites, while the area on (left of the road) was divided into 5 sites (0.00) cm from the surface of the natural land, and from dunes with depths of (0.00, 25.50) cm calculated from the top, and a set of laboratory tests were conducted on the selected samples, including conducting granular composition tests, including a test to determine the percentage of silicon dioxide (Sio_2) using (a spectrophotometer at wavelength nm410) and analyzing the results of the laboratory tests obtained.The results of the chemical tests showed an increase in the percentage of (Sio_2) for most of the samples in the study area, reaching the maximum percentage of (99.98%) and the lowest percentage of (67.40%) Soil samples were also classified according to international classification systems according to the results of granular composition tests and the results of organic and chemical materials tests were compared with previous studies. It became clear through this study that the percentage of (Sio_2) is high and close for most samples taken from the region. Results and recommendations for this study were extracted and determined.

Keywords: *Zallaf sand soil, sand dunes, southern Libya, silica.*

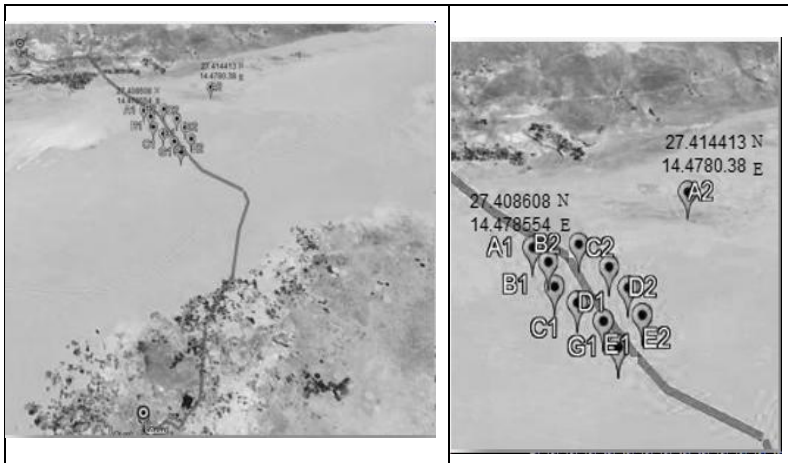
1. المقدمة:

تنقسم التربة الهندسية إلى ثلاثة أنواع وهي تربة غير متماسكة الحبيبات والتي تكونت بفعل العوامل الميكانيكية مثل الرياح والحرارة وغيرها ومن أمثلتها الأحجام الكبيرة والشظايا والأحجام المتوسطة إلى الصغيرة كالحصى والرمل وتربة متماسكة الحبيبات والتي تكونت نتيجة العوامل الكيميائية ومن أمثلتها الطمي والطين والتربة العضوية وهي خليط مختلف من أنواع التربة ومن بقايا حيوانية ونباتية . وكذلك تنقسم التربة من حيث المنشأ إلى تربة منقولة وتربة متبقية في مكانها[7]. وتعرف رمال السيليكا (رمال الكوارتز) بأنها عبارة عن صخور رملية بيضاء نقية تحتوي على نسبة عالية من السيليكا والتي تتكون بشكل رئيسي من حبيبات معدن الكوارتز وتحتوي على كمية قليلة من الشوائب والمعادن الثقيلة في حين يطلق مصطلح الرمل الزجاجي على رمال السيليكا (الكوارتز) التي لها مواصفات فيزيائية وكيميائية تتناسب مع صناعة الزجاج .وللعوامل المناخية مثل الرطوبة والحرارة تأثير على كيفية تواجد السيليكا في المناطق الصحراوية حيث قد تصبح الرواسب أكثر تركيزًا بسبب ظروف الجفاف[4]. ونظرا لوفرة التربة الرملية غير متماسكة الحبيبات ومن أمثلتها تربة الكثبان الرملية في منطقة زلاف والتي تغطي مساحات كبيرة وخاصة في الجنوب الليبي، فقد تم في هذا البحث دراسة نسبة ثاني أكسيد السيليكون (Sio_2) في تربة الكثبان الرملية بمنطقة رمال زلاف نظرا لأهميتها وإمكانية الإستفادة منها في العديد من الصناعات والأعمال المختلفة.

2. منطقة الدراسة

أجريت هذه الدراسة على منطقة رمال زلاف الموضحة في الشكل (1) والتي تقع على جانبي الطريق الرابط بين مدينتي سبها وبراك الشاطئ وتحدها جنوبا مدينة سبها و شمالا مدينة براك الشاطي و تقع بين دائرتي 04;27^0,27^0 33 ;شمالا وبين خطي طول 1514^0;14^0 30, شرقا. يسود هذه المنطقة مناخ قاري صحراوي مع تذبذب كبير في درجات الحرارة بين الليل والنهار والشتاء والصيف، حيث ترتفع درجة الحرارة في الصيف من 30 إلى 50 درجة مئوية وتنخفض في الشتاء لمتوسط يصل إلى 5 درجات مئوية، ويسود المنطقة بشكل عام الرياح الشمالية الشرقية والجنوبية الشرقية تبعا لفصول السنة وتختلف سرعة الرياح بإختلاف أشهر السنة [1] . تم أخذ حوالي (150) عينة من جانبي الطريق الرابط بين مدينتي سبها وبراك الشاطئ. قسمت المنطقة بإتجاه مدينة سبها (يمين الطريق) إلى 6 مواقع (A1، B1 ، C1، D1، E1 ، G1) ، بينما قسمت المنطقة (يسار الطريق) إلى 5 مواقع (E2،D2، C2، B2،A2) شكل (2). وبأعماق (0.00) سم من سطح الأرض الطبيعية ، ومن الكثبان بأعماق (0.00 ، 25 ، 50) سم محسوبا من القمة.

شكل (1) يبين منطقة الدراسة



شكل (2) يبين مواقع أخذ العينات من منطقة الدراسة

3. المواد ومنهجية الدراسة

تم تحضير مستخلص التربة 1 ماء إلى 3 رمل [3] وإجراء الإختبارات الآتية :

- إختبار نسبة (sio_2) لمستخلص التربة بإستخدام جهاز السبكتروفوتوميتر على الطول الموجي 410nm.
- قياس PH لمستخلص التربة (1:3) [3] حسب طريقة (Mckague,1978;Mclean 1982) بإستخدام جهاز (JENWAY) (3310). PH meter model وتم أخذ القراءة مباشرة من الجهاز.
- قياس الموصلية الكهربائية (Electrical conductivity;EC) لمستخلص التربة (1:3) [3] حسب طريقة (Richards,1954) بإستخدام جهاز (Conductivity meter) موديل (4310) (JENEWAY).
- حساب تركيز أيون الكلورايد لمستخلص التربة (1:3) [3] حسب طريقة (بشور والصايغ،2007) [3].
- حساب تركيز أيونات الكربونات والبيكربونات تبعا لطريقة (Rechards,1954).

- حساب تركيز أيون الصوديوم لمستخلص التربة (1:3) [3] بإستخدام جهاز مطياف اللهب (Flame Photometer 410) حسب طريقة (Franson et al ,1954).
- حساب تركيز أيونات البوتاسيوم لمستخلص التربة (1:3) [3] بإستخدام جهاز مطياف اللهب (Flame Photometer 410) حسب طريقة (Rechards,1954).
- حساب تركيز أيونات الكالسيوم (Ca^{++}) لمستخلص التربة (1:3) [3] بإستخدام جهاز الإمتصاص الذري (Atomic Absorption Spectroscopy).
- حساب تركيز أيونات الماغنيسيوم (Mg^{++}) لمستخلص التربة (1:3) بإستخدام جهاز الإمتصاص الذري (Atomic Absorption Spectroscopy).
- حساب تركيز أيونات الحديد (Fe^{++}) لمستخلص التربة (1:3) [3] بإستخدام جهاز الإمتصاص الذري (Atomic Absorption Spectroscopy).
- حساب تركيز كربونات الكالسيوم في التربة بواسطة حامض الهيدروكلوريك (HCl) المخفف بتركيز (20%).

4. النتائج

يبين الجدول (1) نتائج إختبارات التحليل المنخلي لعينات الإختبار. حيث بينت النتائج أن رمال زلاف يغلب علي تكوينها الحبيبات ذات الأقطار الناعمة و التي تراوحت نسبتها من 23.44 إلي 99.97 %. بينما كان محتوي الحبيبات ذات الأقطار المتوسطة الخشونة إلي الخشنة تراوح ما بين 0.03% الي 76.28 %. لم تحتوي عينات الإختبار علي أي نسبة من المواد الطينية و أظهرت محتوي من الطمي تراوح ما بين 0.01 % إلي 9.5 %.

جدول (1) يبين نسب التركيب الحبيبي لعينات تربة الزلاف المختبرة

الدراسة	الحصى (%)	الرمل (%)		الطين (%)	الطمي (%)
		متوسط الخشونة إلى خشن	ناعم		
الدراسة الحالية	0.00	من 0.03 إلى 76.28	من 23.44 إلى 99.97	0.00	من 0.01 إلى 9.50

يبين الجدول(2) نتائج إختبار تحديد نسبة ثاني أكسيد السيليكون (Sio_2) لعينات الإختبار حيث بينت النتائج أن رمال زلاف تحتوي على نسب مرتفعة ومتقاربة من ثاني أكسيد السيليكون(Sio_2) لجميع المواقع تراوحت من (67.40%– 99.98%) وكانت العينات مأخوذة من سطح الأرض الطبيعية (0.00) سم ، ومن الكثبان بأعماق (0.00، 25،50) سم محسوبة من القمة.

جدول (2) حدود نسبة ثاني أكسيد السيليكون لمواقع الدراسة

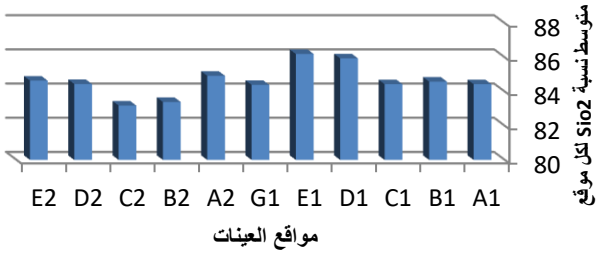
الموقع والعمق		$(\%)Sio_2$	الموقع والعمق		$(\%)Sio_2$
A1	سطحية	97.89–68.87	A2	سطحية	98.88–69.89
	0.00	99.95		0.00	99.95-67.40
	25	95.24		25	99.66-72.43
	50	99.98		50	99.99-86.51
B1	سطحية	98.90–69.33	B2	سطحية	97.89-93.30
	0.00	99.95-95.22		0.00	68.89
	50	99.89-69.26		50	76.89
C1	سطحية	69.40–98.96	C2	سطحية	98.95-67.40
	0.00	88.36			
	50	79.80		25	98.96
D1	سطحية	98.96–73.22	D2	0.00	99.98-68.89
				25	99.98-96.25
				50	95.24-68.89
E1	سطحية	99.92–72.48	E2	سطحية	99.89–92.72
				0.00	99.93-69.35
				25	99.92-98.89
				50	99.97-94.25
G1	سطحية	99.91–68.86			

بين الجدول (3) حدود بعض المواصفات الكيميائية والمحتوى الأيوني لعينات رمال زلاف وبينت النتائج أن تربة رمال زلاف غنية بأملاح الكلوريدات والأملاح الذائبة الكلية كما أنها تميل إلى القلوية .

جدول (3) يبين حدود بعض المواصفات الكيميائية والمحتوى الأيوني لعينات التربة المختبرة

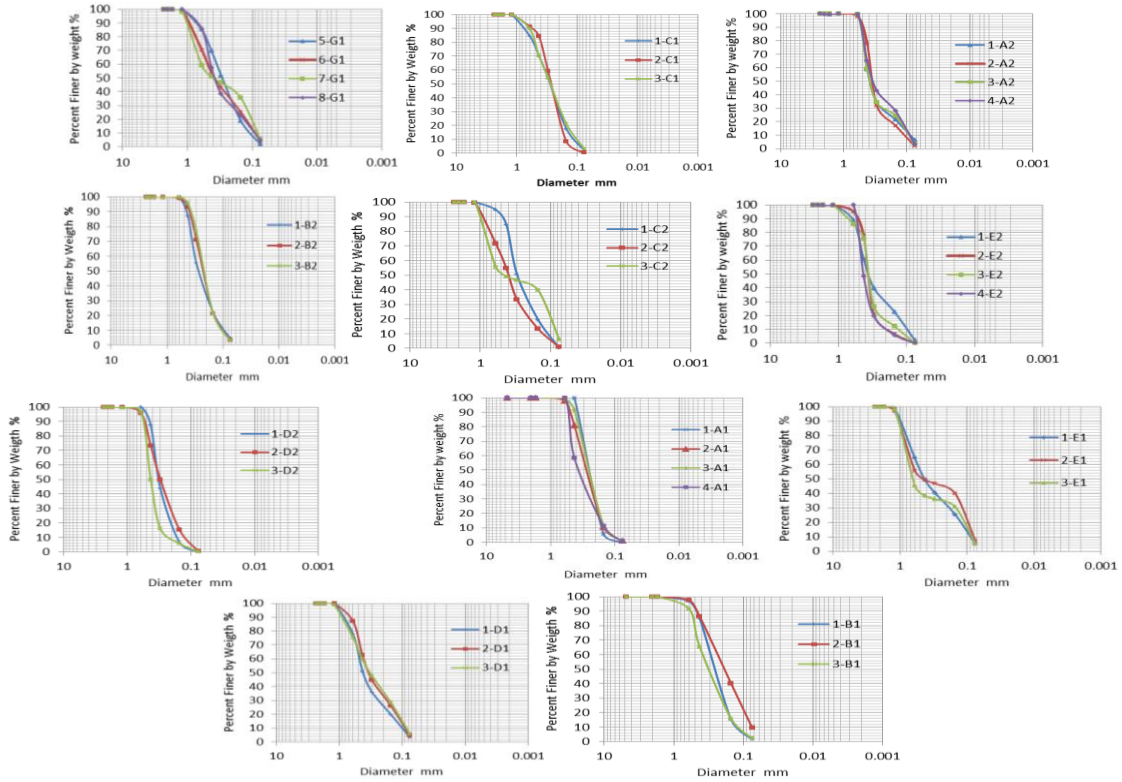
O.M (%)	Fe_2O_3(mg/l)	Mg O(mg/l)	Ca O(mg/l)	K^+(mg/l)	Na^+(mg/l)	SO_4^-(mg/l)	HCO_3^-(mg/l)	Cl^-(mg/l)	TDS (mg/l)	EC (ms/s	PH N.O	الموقع والعمق	
0.467-0.304	10.32-9.18	33.34-9.82	4.83-3.22	41.38-27.59	92-76	1150-824	488-240	2911-1562	7290-2150.4	5.67-3.36	7.35- 6.96	سطحية	A1
0.438	10.31	9.72	4.83	41.38	76	824	365	2698	7296	5.67	7.13	0.00	
0.283	9.96	14.85	3.05	39.66	93	1480	427	1207	3628.8	3.39	7.44	25	
0.451	16.81	8.34	2.58	36.21	81	494	488	1775	2886.4	4.51	7.20	50	
0.458-0.188	27.02-7.12	30.57-6.95	42.14-24.30	6.12-2.25	92-56	1480-987	487-242	2911-1065	3276.8-1017.6	5.12-1.59	7.44-6.68	سطحية	B1
0.493-0.255	22.16-8.41	22.16-5.15	44-15.52	27.63-2.90	84-44	1150-824	365-244	2698-2059	3622.4-1440	5.66-2.25	7.15-6.92	0.00	
0.450-0.408	11.47-7.63	62.50-11.11	41.39-24.11	29.31-4.68	91-64	1480-823	366-244	2130-1207	3008-2208	4.70-3.45	7.25-6.96	50	
0.457-0.169	16.04-8.78	16.04-4.83	88-29.38	39.66-1.93	92-72	1150-987	671-243	3124-852	7296-3078.4	11.40-4.81	8.4-7.9	سطحية	C1
0.439	5.72	20.83	2.09	34.52	84	1150	671	1562	4249.6	6.64	8.20	0.00	
0.450	6.89	32.63	5.80	34.48	84	1150	244	1846	4451.4	6.96	8.00	50	
0.485-0.224	12.24-5.72	23.66-1.93	5.80-24.14	34.38-1.63	92-56	1480-6558	488-122	1065-284	4032-1048.3	6.30-1.68	8.01-6.73	سطحية	D1
0.485-0.290	24.48-12.61	33.34-3.54	80-24.14	41.38-1.77	92-64	1480-823	427-183	1065-355	2924.8-455	4.57-0.711	7.75-6.96	سطحية	E1
0.455-0.290	21.42-8.78	28.47-1.56	92-24.14	39.66-1.77	92-60	1320-658	671-244	1420-355	3622.4-638.7	5.66-0.998	7.82-7.03	سطحية	G1
0.467- 0.24	14.90-8.04	62.50-2.06	84-25.59	37.93-1.61	88-72	1150-823	1037-305	2556-1917	3206.4-1721.6	5.01-2.69	7.59-7.02	سطحية	A2
0.495-0.204	11.09-7.63	31.95-2.41	80-24.14	41.38-1.75	92-64	987-494	671-305	2059-1349	2880-162.8	4.50-2.52	7.65-6.28	0.00	

0.452-0.321	16.81-9.18	7.06-1.76	92-29.31	41.39-1.61	92-64	1320-658	671-305	2343-149	3628.8-1728	5.67-2.70	7.82-6.81	**25**	
0.435-0.275	21.42-8.04	31.95-1.60	96-44	41.38-1.60	96-72	1150-658	671-305	2343-1562	2892.8-1049.6	4.52-1.64	7.63-6.79	**50**	
0.465-0.224	23.70-6.49	6.12-2.25	80-24.14	39.66-2.25	92-64	987-494	549-305	2627-852	6355.2-2316.8	9.93-3.62	8.31-7.60	**سطحية**	**B2**
0.459-	9.55	18.75	6.12	32.76	92	823	732	2059	2252.8	3.52	8.17	**0.00**	
0.255	10.63	11.82	5.15	36.66	84	658	671	2556	5152	8.05	8.03	**50**	
0.450-0.156	23.30-6.12	27.78-1.76	41.36-24.14	80 -1.61	1150 -56	1480-6.95	611-122	987-284	3200-595.04	5.00-1.086	7.88-6.57	**سطحية**	**C2**
0.284	8.78	9.03	5.95	34.50	92	1480	458	825	2892.8	4.52	7.22	**25**	
0.357-0.275	24.48-14.15	10.42-4.83	76-86-25	41.38-4.68	88-60	987-60	366-244	366-244	2419.2-1593.6	3.78-2.49	7.87-7.29	**0.00**	**D2**
0.372-0.280	9.95-21.02	10.62-15.28	8.64-6.92	34.48-4.51	92-34.48	1150-3.22	732-90	732-183	2412.8-1977.6	3.72-3.09	8.00-7.66	**25**	
0.429-0.325	21.02 -12.24	24.48-6.27	36.21-31.03	92-3.37	14-80	80-80	611-305	611-305	3033.6-689.92	4.74-1.078	7.65-6.91	**50**	
0.472-0.384	12.22-8.41	19.45-8.41	88-29.32	37.93-2.41	80-80	1320-12.22	488-427	923-711.1	1318.4-997.12	2.06-1.558	7.65-6.85	**سطحية**	**E2**
0.426-0.247	16.04-6.89	16.04-15.30	31.95-13.20	4.98-1.76	1144-72	987-56	915-244	1420-355.2	2118.4-688.64	3.31-1.076	7.98-6.56	**0.00**	
0.455-0.303	13.38-9.18	21.53-7.08	72-39.66	39.66-4.83	76-72	1150-11.47	488-427	993.9-658.2	1102.1-999.04	1.72-1.561	7.11-6.61	**25**	
0.413-0.254	0.413-0.280	6.12-0.254	41.38-24.14	5.63-1.61	831-92	43.75-9.55	1150-494	1205-366	2892.8- 634 .9	4.52 – 0.99	7.60 -6.69	**50**	



شكل (3) يبين المخطط البياني لنسبة (Sio_2) لكل موقع

تبين مخططات التدرج الحبيبي في الشكل (4) نتائج إختبارات التحليل المنخلي علي عينات الإختبار. تراوح متوسط معامل الإنتظام Cu ما بين (1.2– 2.5) بينما معامل التدرج Cc تراوح ما بين (0.82–1.1). عليه يمكن تصنيف تربة رمال زلاف بناءا علي نظام التصنيف الموحد طبقا لمواصفات ASTM D 2487 علي انها (تربة رملية سيئة التدرج) (SP). أما بنظام تصنيف الجمعية الامريكية للطرق والمواصلات(AASHTO) فيكون تصنيف رمال زلاف ضمن المجموعة(A-3) والقليل منها تقع ضمن المجموعة (A-2-4).



شكل(4) يبين عينات من بعض منحنيات التركيب الحبيبي لمواقع الدراسة

و بمقارنة نتائج نسبة ثاني أكسيد السيلكون لرمال زلاف بمواد رملية أخري عالمية, نجد أن الحد الأعلي لمحتوي ثاني اكسيد السيلكون لرمال زلاف يقع ضمن أعلي المستويات و علي نفس القدر لرمال السعودية و ناميبيا و أفضل من رمال الجزائر و

تركيا و شرق مصر. و لكن ما يعيب رمال زلاف هو التباين الكبير بين الحدين الأعلي و الادني و الذي يصل إلي نسبة 32.58% مقارنة بالدول الأخري و التي أعلي تباين فيها لا يتجاوز 25.42% كما في رمال السعودية.

جدول (2) مقارنة نتائج نسبة ثاني أكسيد السيليكون المتحصل عليها لتربة الزلاف المختبرة بدراسات سابقة

المركبات	ليبيا	صحراء الجزائر	صحراء السعودية	صحراء كندا	صحراء ناميبيا	صحراء تركيا	صجراء شمال شرق مصر
$(\%)Sio_2$	67.40-99.98	97.11-98.20	73.9-99.1	73.26-93.23	85.2-99.6	56.60-80.09	50.68-77.29

5. النتائج والمناقشة

إتضح من خلال إختبارات التركيب الحبيبي أن رمال زلاف يمكن تصنيفها من خلال التصنيف الهندسي بنظام (USCS) إلى تربة رملية ذات تدرج غير جيد Porly graded sand (SP) وبنظام (AASHTO) تبين أن معظم عينات التربة المختبرة تقع ضمن المجموعة (A-3) والقليل منها تقع ضمن المجموعة (A-2-4) كما لوحظ من خلال تصنيف عينات التربة أن التربة ناعمة الحبيبات إلى متوسطة الخشونة . وعند دراسة نسبة ثاني أكسيد السيليكون (SiO_2) للعينات المختبرة تم فحص عدة عناصر كيميائية أخرى بشكل شامل هذه العناصر تساعد في تحديد ملائمة التربة للإستخدامات الإنشائية وتساهم في تحسين تصميم الأساسات والهياكل. ومن هذه العناصر الكيميائية الرئيسية التي تم دراستها هي أكسيد الحديد (Fe_2O_3) والذي يؤثر على لون التربة وخصائصها الكيميائية، كما يلعب دورًا في تفاعلات التربة مع الماء بالإضافة إلى أكسيد الكالسيوم (CaO) الذي تكمن أهميته في تحسين خصائص التربة مثل الحموضة والقدرة على الإحتفاظ بالماء.وأكسيد المغنيسيوم (MgO) والذي على يؤثر على كثافة التربة والحموضة (pH) التي تؤثر على الخصائص العامة للتربة ونسبة الأملاح التي تحدد مستوى الأملاح في التربة، والذي يمكن أن يؤثر على إستقرار التربة وقدرتها على سلامة الإنشاءات وكذلك أملاح الكربونات (CO_3^{-2}) التي يمكن أن تؤثر على توازن الحموضة في التربة وخصائصها الكيميائية والمادة العضوية (O.M) كما تم دراسة كربونات الكالسيوم لجميع العينات ووجد أن نسبتها أقل من 1%. وأظهرت نتائج التحليل الكيميائي للعينات المختبرة أن تربة الكثبان الرملية بمنطقة رمال زلاف ملحية بفعل أملاح الكلوريدات والأملاح الذائبة الكلية ونسبة المواد العضوية فيها تكاد تكون معدومة لقلة المصادر العضوية في المنطقة. وبينت النتائج إرتفاع نسبة (Sio_2) لأغلب عينات منطقة الدراسة حيث وصلت أقصى نسبة إلى 99.98% و هذا يشير إلى أن هذه المناطق قد تحتوي على مواد خام عالية الجودة وأدنى نسبة وصلت إلى 67.40 % والتي قد يرجع إنخفاضها إلى عوامل مثل التآكل أو التغيرات البيئية مما يستدعي المزيد من البحث لفهم الأسباب.

6. الإستنتاجات

1. بينت الدراسة إرتفاع نسبة ثاني أكسيد السيليكون (Sio_2) في رمال زلاف مما يشير إلى توفر مواد خام عالية الجودة في المنطقة.

2. تم تصنيف رمال زلاف كتربة رملية ذات تدرج غير جيد (SP) مما يؤثر على ملائمتها للإستخدامات الهندسية.
3. تحتوي عينات تربة رمال زلاف على مستويات مرتفعة من أملاح الكلوريدات والأملاح الذائبة الكلية مما يشير إلى طبيعتها الملحية والقلوية.
4. تشير النتائج إلى إمكانية استخدام رمال زلاف في عدة صناعات، مثل صناعة الزجاج والسيراميك ومواد البناء، مما يعزز القيمة الاقتصادية لهذه الموارد.

7. التوصيات

1. من خلال النتائج المتحصل عليها من هذه الدراسة تبين أن تربة الكثبان الرملية بالزلاف غنية بمادة السيليكا لذا ينصح بإستخدامها في الصناعات المختلفة مثل صناعة الزجاج والسيراميك ، قوالب السباكة ، وتستخدم كعامل مخفض لدرجة الإذابة للأكاسيد القاعدية في عمليات الإذابة ، وتستخدم كمواد صقل وفي صناعة الخزف وصناعات مواد البناء والخرسانة ، فلاتر لتنقية المياه، إستخلاص السيليكون، صناعة المحولات، الإستخدام في عملية القطع والكشط ، صناعة الإطارات للسيارات ، الإستعمال كمادة عازلة ومالئة ، صناعة الألياف البصرية ، الإستعمال في المواد الحيوية ، الإستخدام في محولات الطاقة الشمسية ،الإستعمال في الصناعات الإلكترونية وغيرها من الصناعات الأخرى.
2. إستغلال هذه الموارد بشكل فعال ومستدام من خلال تعزيز التعاون بين المؤسسات الأكاديمية والصناعية.

8. قائمة المراجع:

[1] علي عكاشة ، مختار الأطرش ، محمد عبد الجليل ، " دراسة عن حقول الكثبان الرملية وتقييم تراكم الرمال على الطريق ما بين سبها وبراك "، ليبيا ، المؤتمر الأول للتشييد في المناطق الصحراوية ، سبها 22 – 2008/12/24.

[2] مخلوف عيسى والشامي ، كامل: " دراسة مخاطر زحف الكثبان الرملية على جانبي طريق سبها – براك الشاطئ– جنوب ليبيا" ، مجلة جامعة سبها الجزء ب – العدد 1. (1994).

[3] بشور ، عصام أنطوان ، الصائغ ، " طرق تحليل ترب المناطق الجافة وشبه الجافة "، منظمة الفاو الزراعية (FAO) ، الجامعة الأمريكية ، بيروت ، لبنان (2007).

[4] نور الدين بشينة ،" الخواص التطبيقية لثاني أكسيد السيليكون من الرمل إلى التقنيات المتقدمة "، قسم الفيزياء ، كلية العلوم ،مجلة جامعة الزاوية–العدد(17) ، الزاوية (2015).

[5] تقدير عنصر السليكا في المياه بطريقة المنحنى المعياري https://fac.ksu.edu.sa.

[6] Abdelhak, Maazouzi, et al. "Algerian Sahara sand dunes characterization." *Silicon* 6.3 (2014): 149-154.

[7] Braja M .Das , "Principles of Geotechnical Engineering "(1985).

[8] . Akça, Erhan, et al. "Afforestation effect on soil quality of sand dunes." *Polish Journal of Environmental Studies* 19.6 (2010): 1109-1116.

[9] Al-Taie, Abbas J., Yousif J. Al-Shakarchi, and Ali A. Mohammed. "Investigation of geotechnical specifications of sand dune soil: a case study around Baiji in Iraq." *IIUM Engineering Journal* 14.2 (2013).

[10] Benaafi, Mohammed, and Osman Abdullatif. "Sedimentological, mineralogical, and geochemical characterization of sand dunes in Saudi Arabia." *Arabian Journal of Geosciences* 8.12 (2015): 11073-11092.

[11] Kaul, R.N " Sand dune stabilization in the thar desert of india: Asynthesis " Annals of Arid Zone 35 (1996) : 225-240.

[12] Holter M.E ," Silica (Dune) Sand ", From the red deer area, alberta" ,(1972).

[13] Madhanraj, P., et al. "An investigation of the mycoflora in the sand dune soils of Tamilnadu coast, India." *Advances in Applied Science Research* 1.3 (2010): 160-167.

[14] Naik , Rabindra, " Geomorphological study of sand dunes with special reference to their hydrogeology in southern coast of odisha", India ,Issn 2321-2527.

[15] Neumamn, Frank , and Manfreed Cubach, " Thermal treatment desert sand to produe construction material ", MATEC web of conferences.Vol .149 EDP Sciences.(2018).

[16] Nuumbembe, Wilhelm P. " Analysis of the Namib and Kalahari dune sand deposits in Namibia and their application in potassium silicates synthesis " .Diss. University of Namibia (2017).

[17] Özcan, Hasan, et al. "Physico-chemical characteristics of coastal dunes on the Saros Gulf, Turkey." *Journal of Coastal Research* (2010): 132-142.

[18] American Association Of State Highway and Transportation officals (1982). AASHTO Materials .Part I, Specificatio s, Washigton,D.c.

[19] American Society for Testing and Materials (1999).Annual Book of ASTM Standards, Sec.4.Vol.04.08,West Conshohoken,Pa.

[20] Wahed, Adel AA Abdel, et al. "Dokhan volcanics of Gabal Monqul area, North Eastern Desert, Egypt: geochemistry and petrogenesis." Arabian Journal of Geosciences 5.1 (2012): 29-44 .

[21] Özcan, Hasan, et al. "Physico-chemical characteristics of coastal dunes on the Saros Gulf, Turkey." *Journal of Coastal Research* (2010): 132-142.

[22] Akça, Erhan, et al. "Afforestation effect on soil quality of sand dunes." *Polish Journal of Environmental Studies* 19.6 (2010): 1109-1116.

[23]ASTM D 2974 –Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Organic Soils.

[24]ASTM D 422– Standard Test Method for Particle – Size Analysis of Soils.

[25]Ben Mahmoud ,K.0R, and abdulgwad G.M.(1995): " Nature and properties of selected desert soils of Fezzan area of Libya, J.Basic and pplied sciences , No 1, 3^{rd} year, pp 243–258.

[26]Silica: " Physical Behavior, Geochemistry, and Materials Applications " – This book covers the properties and applications of silica, including its role in sandy soils.

دراسة مواصفات رمال الجنوب الليبي

إبراهيم إدريس محمد [1] ، نجوى موهوب محمد [2]
1 محاضر مساعد في قسم الهندسة المدنية
2 بكالوريوس هندسة مدنية
كلية الهندسة – جامعة وادي الشاطي
naj.mohammed@wau.edu.ly

الملخص

تعد رمال الصحراء ورمال المحاجر في الجنوب الليبي من الموارد الطبيعية الهامة والتي تلعب دورا كبيرا في العديد من الصناعات المختلفة والأعمال الإنشائية ونظرا لأهميتها، تم في هذا البحث دراسة مواصفات رمال الجنوب الليبي وذلك عن طريق أخذ عينات من عدة مواقع في الجنوب الليبي والتي تتمثل في مناطق (**زلاف** والتي تقع على جانبي الطريق الرابط بين مدينتي سبها وبراك الشاطئ وتحدها شمالا منطقة وادي الشاطي وجنوبا مدينة سبها) – (**الرقيبة** و تحدها شمالا منطقة وادي الشاطي و شرقا مدينة سبها وغربا مدينة أوباري وجنوبا سلسلة من الجبال إلى منطقة مرزق) – (**براك الشاطي** و تحدها زلاف في الجنوب الشرقي والغربي والحمادة الحمراء في الشمال) – (**مرزق** والتي تقع في الجنوب الليبي في منطقة سهلية متصلة بمنخفض الجفرة من ناحية الشرق وتحيط بها الصحراء من كل جانب) و عينات الكسارات التي تم أخذها من محاجر مناطق (**براك الشاطي**) – (**الرقيبة أوباري**) – (**محروقة الشاطي** والتي تحدها شرقا بمسافة 30 كم منطقة براك الشاطي وتحدهاغربا بمسافة 90 كم منطقة إدري الشاطي وجنوبا سلسلة من رمال زلاف وشمالا تحدها سلسلة من جبال الحمادة)، وتم إجراء إختبار التحليل المنخلي الجاف وإختبارات تحديد الوزن النوعي والوزن الحجمي و بعض الإختبارات الكيميائية والتي تتمثل في الرقم الهيدروجيني والأملاح الذائبة الكلية، وتم الحصول على نتائج وتوصيات لهذه الدراسة.وتبين من خلال نتائج هذه الدراسة أن الرمال الصحراوية لمنطقتي مرزق والرقيبة هي الأفضل للإستخدام في الأعمال الهندسية وخاصة في الخلطات الخرسانية و تليها رمال كسارات الرقيبة وذلك بسبب إحتواءها على قيم معامل نعومة منخفض ومساحة سطحية جيدة وسطح نوعي مرتفع.

الكلمات الدالة *: الجنوب الليبي، رمال الصحراء، رمال المحاجر.*

Abstract

Desert sands and quarry sands in the south of Libya are important natural resources that play a big role in many different industries and construction works and due to their importance, in this research, the specifications of the South Libyan sands were studied by taking samples from several sites in the south of Libya, which are represented in areas (zallaf, which is located on both sides of the road connecting the cities of Sabha and Brak and bordered to the South by the city of Sabha and to the North by the Wadi Shati area) – (Al-ruqayba is bordered to the north by the Shati Valley area, to the East by the city of Sabha, to the West by the city of Ubari, and to the South by a series of mountains to the area of Murzuq, Brak

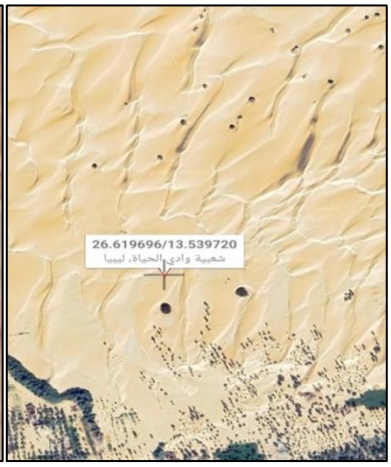
Al-Shati, zallaf in the southeast and West, and Hamada Al-Hamra in the North) - (Murzuq, which is located in the south of Libya in a plain area connected to the Jufra depression on the East and surrounded by desert on all sides) and samples of crushers taken from the quarries of the areas of (Brak Al-Shati) - (Al-ruqayba Ubari) - (Muharraq Al-Shati, which is bordered to the East by 30 km Brak Al-Shati area, bordered to the West by 90 km Idri Al-Shati area, to the South by a series of zallaf sands and to the north by a series of Hamada mountains), a dry sieve analysis test, tests to determine the specific weight and volumetric weight and some chemical tests, represented by PH and total dissolved salts, results and recommendations were obtained for this study.Through the results of this study, it was found that the desert sands of the Murzuq and raqibah areas are the best for use in engineering works, especially in concrete mixtures, followed by the sands of raqibah crushers, due to their low fineness coefficient values And good surface area and high quality surface.

Keywords: Libyan South, desert sands, quarry Sands.

1. المقدمة:

تتشكل التربة نتيجة تفتت الصخور بسبب العوامل الفيزيائية أو الكيميائية حيث تعتبر التربة من أقدم المواد الإنشائية التي عرفها الإنسان. و تنقسم التربة من حيث المنشأ إلى تربة منقولة وتربة متبقية في مكانها .وكذلك تنقسم التربة الهندسية إلى ثلاثة أنواع وهي تربة غير متماسكة الحبيبات والتي تكونت بواسطة العوامل الميكانيكية مثل الرياح والحرارة وغيرها ، ومن أمثلتها الأحجام الكبيرة والشظايا والأحجام المتوسطة إلى الصغيرة كالحصى والرمل وتربة متماسكة الحبيبات والتي تكونت نتيجة العوامل الكيميائية ومن أمثلتها الطين والطمي ، والتربة العضوية وهي خليط مختلف من أنواع التربة ومن بقايا حيوانية ونباتية [1]. ونظرا لكثرة التربة الغير متماسكة الحبيبات ومن أمثلتها تربة الكثبان الرملية التي تغطي مساحات كبيرة وخاصة في الجنوب الليبي ورمال الكسارات المستخرجة من المحاجر، عليه فقد تم في هذا البحث دراسة مواصفات الرمال في الجنوب الليبي نظرا لأهميتها وذلك من خلال دراسة التركيب الحبيبي والتصنيف الهندسي للعينات ودراسة بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة. وتم من خلال نتائج هذه الدراسة الحصول على دليل تصنيف لعينات الإختبار بالإضافة إلى ملخص لخصائصها الفيزيائية والكيميائية والتي قد توفر دليل هندسي مفيد للإستخدامات في بعض الأعمال الهندسية والصناعية وخاصة أعمال صناعة الخرسانة ومواد البناء.

تم أخذ حوالي 6 عينات من كل منطقة من مناطق الدراسة والتي شملت رمال الكثبان الرملية (زلاف- الرقيبة – مرزق) وكسارات محاجر براك (الشاطئ) – الرقيبة (أوباري) – محروقة (الشاطئ).تبين الأشكال من1إلى6 مواقع مناطق الدراسة من واقع الخريطة الجوية المأخوذة من تطبيق Google Map.

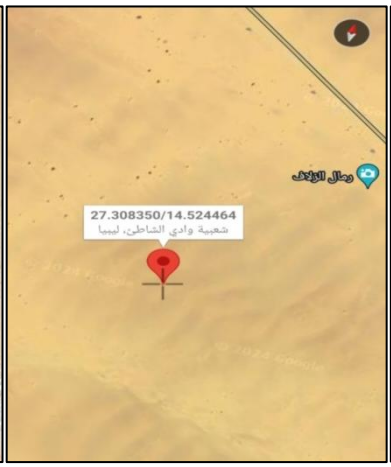


شكل (1) يبين موقع رمال مرزق

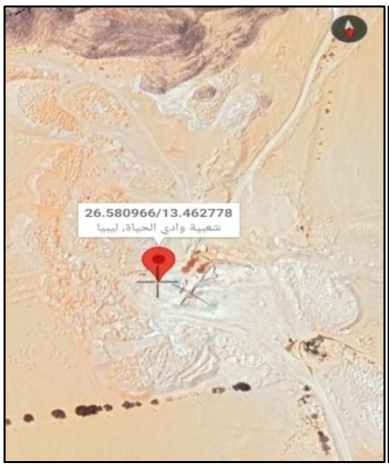
شكل (2) يبين موقع رمال كسارات براك الشاطئ

شكل (3) يبين موقع رمال الرقيبة

شكل (4) يبين موقع رمال كسارات محروقة



شكل (5) يبين موقع رمال زلاف



شكل (6) يبين موقع رمال كسارات الرقيبة

2. الهدف من الدراسة

تهدف الدراسة إلى التعرف على مواصفات الرمال في الجنوب الليبي من خلال التعرف على خصائص التركيب الحبيبي والتصنيف الهندسي للرمال لتحديد مدى ملاءمتها للإستخدامات المختلفة وكذلك تقييم جودة الرمال ومدى توافقها مع المعايير الهندسية المطلوبة للبناء والتشييد.

3. مواد الدراسة ومنهجية البحث

جمع العينات : تم بدء جمع العينات من مناطق رمال الكثبان الرملية (زلاف– الرقيبة – مرزق) وكسارات محاجر براك (الشاطئ) – الرقيبة(أوباري) – محروقة (الشاطئ) حيث تم أخذ عينة بوزن (5Kg) من كل منطقة وتم إجراء الإختبارات المعملية لهذه العينات في معمل ميكانيكا التربة بقسم الهندسة المدنية ومعمل كلية علوم البيئة والموارد الطبيعية لإجراء بعض الإختبارات الكيميائية.

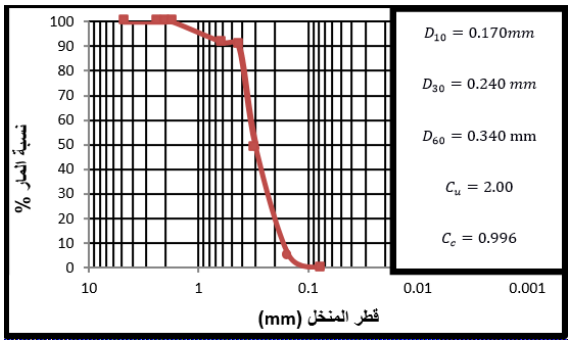
الاختبارات: تم إجراءات الإختبارات المعملية على العينات المأخوذة من المواقع والتي تتمثل في:

- إختبارات التركيب الحبيبي عن طريق إجراء إختبار التحليل المنخلي الجاف طبقا لمواصفات (ASTM D 422) [9].
- إختبار الوزن النوعي طبقا لمواصفات (BS-EN-1097-6.-ASTM – C –128 .) [10]، [11] الذي تم من خلاله إيجاد نسبة الإمتصاص.
- إختبار الوزن الحجمي طبقا لمواصفات (BS-EN-1097-.3 -ASTM – C –29) [12]، [13].
- الإختبارات الكيميائية حيث تم تحضير مستخلص التربة (100مل ماء إلى 300 جم تربة) [4] وتم:

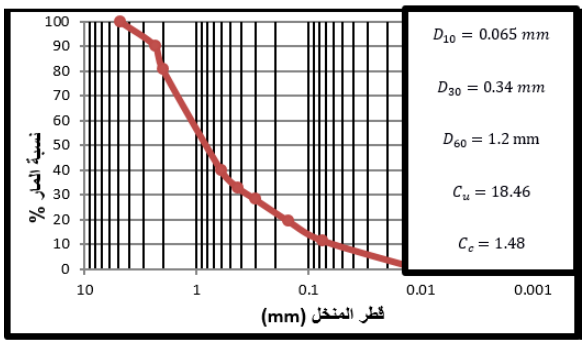
1. قياس PH لمستخلص التربة [4] حسب طريقة (Mckague,1978;Mclean 1982) [5] بإستخدام جهاز (JENWAY) (3310). PH meter model وتم أخذ القراءة مباشرة من الجهاز.
2. قياس الموصلية الكهربائية (Electrical conductivity;EC) لمستخلص التربة [4] حسب طريقة (Richards,1954) [5] بإستخدام جهاز (Conductivity meter) موديل (4310) (JENEWAY).

4. النتائج

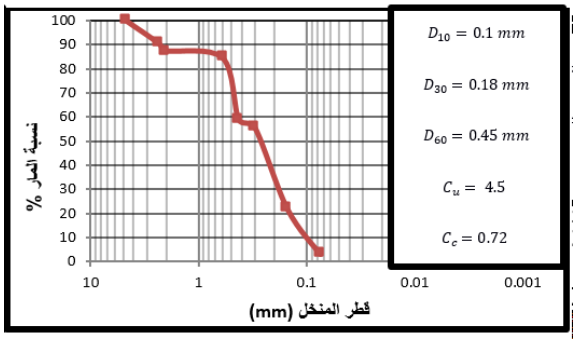
تبين الأشكال من 7 الي 12 مخططات التدرج الحبيبي لعينات الإختبار و توضيح قيم كل من معامل الإنتظام (Cu) و معامل التدرج (Cc) لكل عينة. بناءا علي هذه القيم و إستنادا إلي نظام التصنيف الموحد للتربة وجد أن عينات رمال كثبان زلاف, رمال كثبان مرزق, و رمال كثبان الرقيبة (أوباري) ذات تدرج غير جيد (SP) بينما كانت رمال كسارات براك (الشاطئ) رمال كسارات محروقة ذات تدرج جيد (SW). كما تبين أن رمال الكثبان الطبيعية يغلب علي جزيئاتها التركيب الناعم بينما إحتوت رمال الكسارات علي خليط من الحبيبات ذات الأحجام الخشنة و متوسطة الخشونة و الناعمة. كما غلب علي رمال الكسارات محتوي مواد ناعمة (نسبة المار من المنخل رقم 200) أعلي من رمال الكثبان الطبيعية حيث سجلت قيم أعلي من 10% ما عدا رمال كسارات محروقة. بالمقارنة إحتوت رمال الكثبان الطبيعية علي قيم نسب تكاد تكون معدومة من المواد الناعمة. يمكن الإطلاع علي تفصيل التركيب الحبيبي و التصنيف الهندسي للعينات في الجداول 1 و 2.



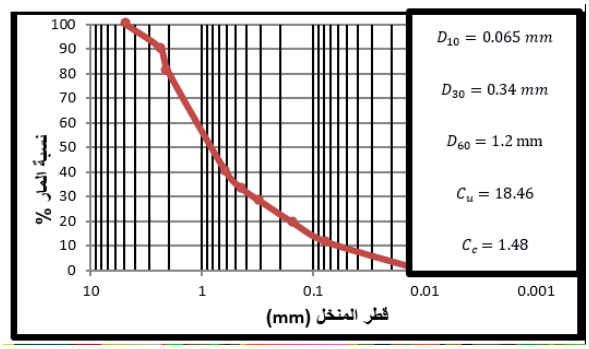
شكل (7) يبين منحنى التركيب الحبيبي لعينة رمال كثبان (زلاف)



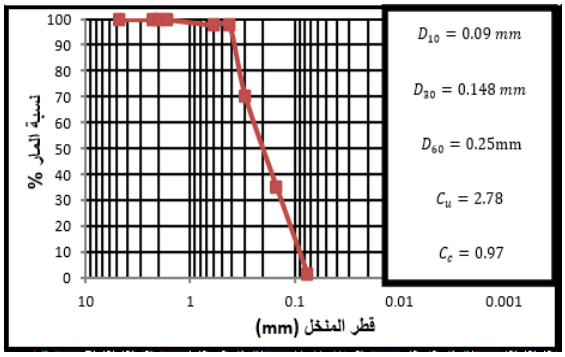
شكل (8) يبين منحنى التركيب الحبيبي لعينة رمال كسارات (براك)



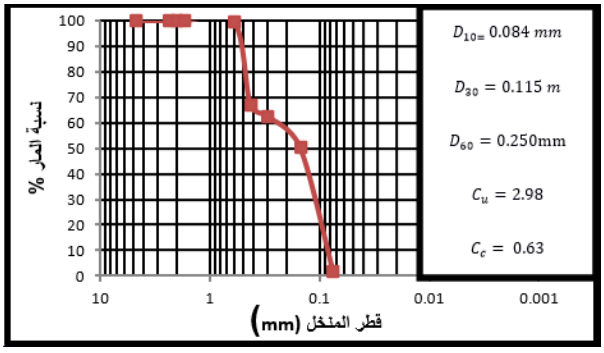
شكل (9) يبين منحنى التركيب الحبيبي لعينة رمال كسارات (الرقيبة- أوباري)



شكل (10) يبين منحنى التركيب الحبيبي لعينة رمال كسارات (محروقة)



شكل (11) يبين منحنى التركيب الحبيبي لعينة رمال الكثبان بمنطقة مرزق



شكل (12) يبين منحنى التركيب الحبيبي لعينة رمال كثبان (الرقيبة -أوباري)

جدول (1) نسب التركيب الحبيبي للعينات المختبرة

الموقع	الحصى (%)	الرمل(%)			المواد الناعمة (%)
		خشن	متوسط الخشونة	ناعم	
رمال مرزق	.000	.000	3.75	96.22	1.35
رمال الرقيبة	.000	.000	34.96	64.96	.002
رمال زلاف	.000	.000	10.22	90.13	0.141
كسارات الرقيبة	0.22	19.23	47.9	21.31	11.56
كسارات براك	0.12	12.3	54.71	76.02	11.56
كسارات محروقة	0.09	12.66	28.93	57.88	0.534

جدول(2) التصنيف الهندسي لعينات التربة

الموقع	رمال مرزق	رمال رقيبة	رمال الزلاف	كسارات رقيبة	كسارات براك	كسارات محروقة
التصنيف حسب USCS	SP	SP	SP	SP	SW	SW
التصنيف حسب AASHTO	A-3(0)	A-3(0)	A-3(0)	A-1-b(0)	A-1-b(0)	A-3(0)

يبين الجدول 3 قيم معامل النعومة, المساحة السطحية, و السطح النوعي التي تم تقديرها من نتائج إختبارات (التحليل المنخلي الجاف). حيث إتضح أن قيم معامل النعومة هي الأقل لرمال كثبان الرقيبة و رمال كثبان مرزق و التي تزامنت مع سطح نوعي أعلي و مساحة سطحية أكبر و ذلك نتيجة لأن محتوي الجزيئات الناعمة أعلي في هذه العينات. من جانب آخر, سجلت عينات الرمال من جميع المصادر وزن نوعي متقارب و الذي تراوح ما بين 2.62 و 2.69 جم/سم3 و كذلك وزن حجمي تراوح ما بين 1.2 و 1.6 جم/سم3. نسبة الإمتصاص لجميع العينات ما عدا رمال كسارات محروقة تراوحت ما بين 13 و 18 % حيث كانت نسبة الإمتصاص لرمال كسارة محروقة هي الأدني عند مستوي 3.94% (جدول 4, 5) . هذا الأمر قد يدل علي تباين التركيب الجيولوجي بين رمال الكسارات و رمال الكثبان الطبيعية.

جدول(3) قيم معامل النعومة والمساحة السطحية والمساحة السطحية النوعية للعينات المختبرة

العينة	معامل(درجة) النعومة (%)	المساحة السطحية(cm^2)	السطح النوعي(gm/ cm^2)
رمال الرقيبة	0.7	152.88	1.56
رمال زلاف	0.7	82.23	0.82
كسارات الرقيبة	3.1	51.89	0.59
رمال مرزق	0.3	149.33	2.55
كسارات محروقة	2.0	75.91	0.76
كسارات براك	2.5	69.36	0.79

جدول(4) الوزن النوعي ونسبة الإمتصاص لعينات التربة المختبرة

العينة	الوزن النوعي (gm/cm^3)	نسبة الامتصاص (%)
رمال مرزق	2.68	18.54
رمال الرقيبة	2.62	13.56
رمال زلاف	2.67	13.33
كسارات الرقيبة	2.63	15.33
كسارات براك	2.63	14.19
كسارات محروقة	2.67	3.94

جدول(5) الوزن الحجمي لعينات التربة المختبرة

العينة	الوزالحجمي (gm/cm^3)
كسارات محروقة	1.6
كسارات براك	1.2
رمال الرقيبة	1.61
كسارات الرقيبة	1.42
رمال زلاف	1.6
رمال مرزق	1.6

يبين الجدول 6 قيم الرقم الهيدروجيني, الموصلية الكهربائية, و محتوى الأملاح الذائبة لعينات الدراسة. حيث إتضح أن جميع عينات الرمال تميل إلي الجانب القلوي ما عدا رمال كسارات براك التي إنحدرت إلي الجانب الحامضي. كما أن رمال كثبان زلاف و رمال كسارات براك أظهرت محتوي عالي من الأملاح الذائبة و قيم موصلية كهربائية أعلي مقارنة بباقي العينات. حيث يعزي إرتفاع قيم الموصلية الكهربائية إلي إرتفاع قيم التركيز الأيوني للأملاح الذائبة.

جدول(6) يبين قيم الرقم الهيدروجيني والموصلية الكهربائية والأملاح الذائبة الكلية لعينات منطقة الدراسة

العينة	الرقم الهيدروجين PHي	الموصلية الكهربائية EC (µs/cm)	الأملاح الذائبة الكليةTDS ppm (mg/l)
كسارات الرقيبة	7.5	2187	1399.68
رمال الرقيبة	7.2	2431	1555.84
كسارات براك	6.8	5163	3304.32
كسارات محروقة	7.3	1528	977.92
رمال الزلاف	7.4	6050	3872
رمال مرزق	7.11	2426	1552.64

5. مناقشة النتائج

من خلال الجدول (1) نلاحظ أن رمال مرزق تحتوي على أكبر نسبة من الرمل الناعم وهي 96.22 (%) تليها رمال زلاف 90.13 (%) ويشير الجدول إلى إحتواء كسارات الرقيبة وكسارات براك على نسب من المواد الناعمة تصل إلى 11.56 (%) كما يشير الجدول إلى إحتواء كسارات (الرقيبة– براك – محروقة) على نسب قليلة من الحصى والرمل الخشن ومقارنة برمال مرزق والرقيبة وزلاف. ومن خلال جدول (2) نلاحظ أن تصنيف عينات كسارات محروقة وبراك (رمل جيد التدرج SW) حسب نظام التصنيف الموحد (USCS) بينما رمال مرزق والرقيبة وزلاف وكسارات الرقيبة تصنف على أنها (رمل ضعيف التدرج SP) ومن خلال تصنيف العينات بنظام الجمعية الأمريكية للطرق والمواصلات صنفت كسارات الرقيبة وكسارات براك ضمن المجموعة A–1–b(0) حيث تشير إلى إحتواء العينات على نسب قليلة من المواد الناعمة وتعتبر مناسبة لإنشاء الطرق بينما تقع رمال مرزق ورمال الرقيبة ورمال زلاف وكسارات محروقة ضمن المجموعة A–3(0) وهي مناسبة أيضا للإستخدام في الطرق وتتمتع بخصائص تصريف جيدة. ومن الجدول (3) نلاحظ أن معامل النعومة 3.1 (%) وهذا يدل على أن الرمل خشن بينما نلاحظ أن قيمة معامل النعومة لكسارات محروقة وكسارات براك تساوي 2(%) وهذا يدل على أن الرمل متوسط الخشونة بينما قيمة معامل النعومة لرمال الرقيبة ورمال مرزق 0.7 (%) ورمال زلاف 0.4 (%) وهذا يدل على أن الرمل الناعم له قيمة معامل النعومة أقل من 1.5 (%). من خلال جدول (3) نلاحظ أن السطح النوعي لرمال مرزق (2.55 gm/ cm^2) تليها رمال الرقيبة (1.56 gm/ cm^2) مما يدل على هذه الرمال جيدة للإستخدام في الخلطات الخرسانية. ومن خلال جدول (4) يتضح أن رمال مرزق لديها أعلى وزن نوعي وهو 2.80 (gm/cm2) وأعلى نسبة إمتصاص (18.54%) مما يجعلها مناسبة للإستخدامات التي تتطلب قدرة عالية على الإحتفاظ بالماء. كما نلاحظ أن رمال زلاف تظهر وزناً نوعيا معتدلا مع نسب إمتصاص جيدة بينما تحتوي كسارات براك وكسارات الرقيبة وكسارات محروقة على أوزان نوعية أقل. من خلال جدول (5) نلاحظ أن كسارات براك لديها أقل وزن حجمي مما يعني أنها أكثر مسامية وكسارات محروقة ورمال مرزق ورمال الرقيبة ورمال زلاف لديها وزن حجمي مشابه. كسارات الرقيبة لديها وزن حجمي أقل قليلا. من خلال الجدول (6) نلاحظ أن قيم PH تتراوح بين (6.8– 7.11) مما يشير إلى أن التربة قريبة من

القلوية وهو أمر مناسب لمعظم التطبيقات الهندسية لأن حموضة التربة تتسبب في تآكل المكونات الأساسية للخرسانة وبالتالي تؤثر على إستقرار الأساسات لذلك ينصح بمراقبة PH في مشاريع البناء للتأكد من عدم وجود مواد كيميائية ضارة مع المواد المستخدمة مثل الإسمنت. تتراوح قيم الموصلية الكهربائية من (1528s/cm μ – 6050s/cm μ) وتشير القيم العالية للموصلية الكهربائية على تركيز أعلى من الأملاح مما يجعلها غير مناسبة للإستخدام في الأعمال الإنشائية حيث بلغت أعلى قيمة للموصلية الكهربائية في رمال زلاف (6050s/cm μ) والتي تدل على وجود تركيز عالي بها من الأملاح مما يؤثر على خصائص التربة الهندسية بينما كانت (EC) لكسارات محروقة (1528s/cmμ) مما يدل أنها أقل ملوحة. كما لوحظ أيضا احتواء كسارات براك على قيمة عالية للأملاح الذائبة الكلية (TDS) وهي (3304.32 mg/L) مما يشير إلي إمكانية تأثيرها السلبي على إستقرار التربة بينما تحتوي كسارات محروقة على أقل قيمة (TDS) وهي (1977.92mg/L) والتي يمكن أن تكون أفضل للخصائص الهندسية.

6. الإستنتاجات

1. تركيبة الرمل: رمال مرزق غلب على تكوينها الجزيئات الناعمة مما يجعلها مناسبة لمجموعة من الإستخدامات الهندسية، بينما رمال زلاف تليها في هذا الخصوص.
2. تصنيف الجودة: صنفت كسارات الرقيبة وبراك كمواد جيدة التدرج، مما يدل على ملاءمتها لإنشاء الطرق، في حين أن رمال مرزق والرقيبة وزلاف تُظهر تصنيفًا أقل في الجودة.
3. خصائص النعومة: معامل النعومة يشير إلى أن رمال مرزق ورمال زلاف ورمال الرقيبة تحتوي على نسب عالية من الرمل الناعم، مما قد يؤثر على قدرتها في بعض التطبيقات الهندسية.
4. الوزن النوعي وإمتصاص الماء: رمال مرزق لديها وزن نوعي مرتفع ونسبة إمتصاص عالية، مما يجعلها مناسبة للإستخدامات التي تتطلب إحتفاظا بالماء، في حين أن كسارات براك والرقيبة أظهرت قيم أقل في هذا الجانب.
5. الملوحة وPH: تواجد مستويات عالية من الأملاح في رمال زلاف وكسارات براك ، حيث تشير قيم PH إلى قلوية مناسبة، مما يقلل من خطر تآكل الخرسانة.

التوصيات

1. ينبغي الحفاظ على توازن جيد بين نسب الحصى والرمل في الخلطات الخرسانية لتحسين قوة مقاومة التربة وإستقرارها يُفضل إستخدام المواد التي تم تصنيفها ضمن مجموعات A-3(0) و A-1-b (0) للإستخدام في إنشاء الطرق.
2. يُنصح باستخدام رمال مرزق ورمال الرقيبة ورمال الزلاف في التطبيقات التي تتطلب تصريفًا جيدًا، بينما يمكن إستخدام كسارات رقيبة وكسارات براك في التطبيقات الهندسية مثل أساسات المباني وتحسين التربة ومشاريع الطرق والبنية التحتية والخرسانة المسلحة .
3. يجب مراقبة قيم (pH) للتربة في مشاريع البناء لضمان عدم وجود تفاعلات كيميائية ضارة تؤثر على المواد الأساسية مثل الأسمنت.
4. ينبغي أخذ قيم الموصلية الكهربية (EC) و(TDS) بعين الاعتبار عند تصميم الأساسات، وتجنب إستخدام المواد ذات التركيز العالي من الأملاح في المناطق التي قد تؤدي إلى تآكل الحديد في الهياكل.
5. يُوصى بإجراء إختبارات أخرى إضافية على هذه الأنواع من الرمال الطبيعية ورمال الكسارات.

7. قائمة المراجع:

[27]أبوكليش، م. و خليل، ش. (2004). "تربة الكثبان الرملية بمنطقة جنوب ليبيا وخصائصها الهندسية". المؤتمر الوطني الأول لمواد البناء والهندسة الإنشائية، جامعة المرقب، قسم الهندسة المدنية.

[28]مخلوف، ع. و الشامي، ك. (1994). "دراسة مخاطر زحف الكثبان الرملية على جانبي طريق سبها – براك الشاطئ– جنوب ليبيا". مجلة جامعة سبها، الجزء ب، العدد 1.

[29]عكاشة، ع. و الأطرش، م. و عبد الجليل، م. (2008). "دراسة عن حقول الكثبان الرملية وتقييم تراكم الرمال على الطريق ما بين سبها وبراك". المؤتمر الأول للتشييد في المناطق الصحراوية، سبها، 22 – 24 ديسمبر.

[30]بشور، ع. أ. و الصائغ (2007). "طرق تحليل ترب المناطق الجافة وشبه الجافة". منظمة الفاو الزراعية(FAO) ، الجامعة الأمريكية، بيروت، لبنان.

[31]راين، أ. و عبد الرشيد. "تحليل التربة والنبات". دليل مختبري، المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة (ICARDA)، حلب، سوريا.

[32]عزوز، س. و فايزي، هـ. (2020). مذكرة ماستر تخصص مواد الهندسة المدنية: المساهمة في تحسين الخصائص الميكانيكية للخرسانة العادية لرمل الكثبان بواسطة التصحيح الحبيبي. جامعة الشهيد حمه لخضر، الوادي.

[33] *American Association of State Highway and Transportation Officials (1982). AASHTO Materials. Part I, Specifications. Washington, D.C.*

[34] *American Society for Testing and Materials (1999). Annual Book of ASTM Standards, Sec. 4, Vol. 04.08. West Conshohocken, PA.*

[35] *ASTM D 422. Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.*

[36] *ASTM C128: Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate. West Conshohocken, PA*

[37] *ASTM C29: Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. West Conshohocken, PA.*

[38] *BS EN 1097-6: Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Part 6: Determination of particle density and water absorption. London, UK.*

[39] *BS EN 1097-3: Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Part 3: Determination of loose bulk density and voids. London, UK*

[40] *Mohannad:M.2020 "Specific Surface Area" Dec 23, 2020 from : http//:www.scibd.com .*

صناعة الطوب الإسمنت الخفاف باستخدام المواد المحلية

ساره جابر السبتي *[1], فؤاد فرج فروج [2]
1 بكالوريس هندسة مدنية ، كلية الهندسة ، جامعة وادي الشاطيء، ليبيا
2أستاذ، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة ،جامعة وادي الشاطيء
*للمراسلة Sa.alsabty@wau.edu.ly

الملخص

تتميز جميع مواد البناء المستخدمة في المناطق الصحراوية، بأنها يجب أن تقاوم المناخ الذي تعمل فيه. وبالتالي فأن بحاجة إلى صناعة مواد أكثر عازليه، مع احترام الخواص المتبقية على ألا تكون اساسية في صناعة هذه المواد. فنحن نسعى إلى الوصول إلى عزل أفضل بمقاومه مقبولة، البحث المقدم يعد تجربة معملية لصناعه الطوب الإسمنتي الرملي المغذى بالغازات الذي يعمل على زيادة الفراغات، وبالتالي زيادة العزل لهذا النوع من الطوب مما يخفض من الجهد الحراري المطبق على المبنى. وبالتالي يخفض الكلف الناتج عن التبريد والكلف الناتجة عن التسخين في الشتاء نسعى في هذا البحث الى استغلال المواد المحلية وهي الرمل السيليكاتي المتواجد بكثره في مناطق جنوب ليبيا مع استخدام بعض انواع الاسمنت المتوفرة. من خلال صناعة هذا النوع من الطوب بشكل سهل ومقبول وعملي، نأمل أن نكون قد وصلنا الى ما يتطلع إليه الباحثون في هذا المجال للحصول على المطلوب.

الكلمات الدالة: *العزل الحراري- الطوب الإسمنتي الخفيف- مواد البناء- الغازات*

Abstract

All building substances used in barren region areas should face up to the prerequisites in which they operate. Therefore, there is a want to manufacture extra insulating materials, whilst respecting the ultimate properties, supplied that they are no longer fundamental in the manufacture of these materials. We are seeking to attain a higher insulator with proper resistance. The introduced lookup is a laboratory test for the manufacture of sand–cement bricks fed with gases, which labored to amplify the voids and, consequently, extend the electricity of this kind of brick, which reduces the thermal stress utilized to the building. This, in turn, reduces the fees ensuing from cooling and the prices ensuing from heating in winter. In this research, we are trying to find to take advantage of neighborhood materials, particularly silicate sand, which is plentiful in the areas of southern Libya, alongside with the use of some accessible sorts of cement. By making this kind of brick with a solid, flat surface, we hope that we have reached what researchers in this area are searching for Alai.

Keywords: Thermal insulation – lightweight cement bricks – building materials – gases.

1 المقدمة:

تاريخ صناعة الطوب يرجع إلى حوالي عام 7000 قبل الميلاد، حيث كان يتم تصنيعه في البداية على شكل كتل طينية تُجفف تحت أشعة الشمس. ومنذ ذلك الحين، شهدت تركيبة الطوب وطرق تصنيعه العديد من التطورات. نتيجة لهذه

التحسينات، أصبح الطوب اليوم واحدًا من أكثر المواد استخدامًا في بناء مختلف أنواع الهياكل الهندسية. حاليًا، يشهد قطاع البناء نموًا مستمرًا يومًا بعد يوم بفضل ابتكار مواد بناء جديدة تضيف قيمة إلى هذا المجال{1}{2}.

تواجه وحدات البناء حالياً العديد من المشكلات المتعلقة بالإنتاج والخصائص والجودة، إضافة إلى تأثيراتها البيئية. ومن أجل تحسين هذه الصناعة ، يمكن الاستعانة بالطوب الإسمنتي خفيف الوزن كخيار بديل عن الطوب التقليدي{3}{4}. وشهد مجال مواد البناء تطورًا كبيرًا مع اكتشاف العديد من المواد المركّبة التي تهدف إلى تعزيز القوة والفعالية. مؤخرًا، تمحور اهتمام تطوير علم مواد البناء حول الخرسانة الرغوية خفيفة الوزن، التي تُعتبر بديلاً واعدًا في هذا القطاع. أثبتت هذه المادة فعاليتها كخيار إنشائي، خاصة في تصنيع الكتل خفيفة الوزن. تتميز هذه الكتل بخصائص فريدة، مثل وزنها المنخفض، وأحجامها الأكبر، وقدرتها الفائقة على العزل الصوتي والحراري. هذه المزايا لا تسهم فقط في تحسين أداء المباني، بل تعزز أيضًا من كفاءة وإنتاجية العمال خلال عمليات البناء{5}{6}.الخرسانة الرغوية تُعتبر من بين المواد الأكثر طلبًا في قطاع البناء على مستوى العالم. يتميز استخدامها بإمكانية تخفيض معامل التوصيل الحراري، وتقليل الكتلة الكلية للهيكل، بالإضافة إلى تقليص تكاليف البناء بشكل ملحوظ. حاليًا، يوجد أكثر من 260 شركة تعمل في هذا المجال عبر 55 دولة، مما يؤدي إلى إنتاج ما يزيد عن 60 مليون متر مكعب سنويًا من منتجات البناء المصنوعة من الخرسانة الرغوية{7}.تتميز الخرسانة الرغوية بخفة وزنها وسهولة التعامل معها مقارنة بالخرسانة التقليدية، مما يجعلها خياراً مثالياً في بناء الهياكل. تتميز بسرعة إنشائها، ومتانتها، واستقرارها، فضلاً عن مقاومتها للتدهور بمرور الزمن. كما تُعتبر صديقة للبيئة بسبب خفة وزنها وسهولة استخدامها. وقد أدت جهود الباحثين المستمرة على مدار سنوات عدة إلى توسيع نطاق استخدام الخرسانة الرغوية داخل صناعة البناء. ونتيجة لذلك، ازداد اعتمادها تجاريًا في تشييد المباني، مما يعكس الإمكانات الكبيرة التي توفرها هذه المادة في تحسين جودة واستدامة المشاريع الهندسية والبنائية{8}{9}.

1.1أهمية البحث:

تهدف هذه الدراسة إلى إنتاج الطوب الإسمنتي الخفيف باستخدام المواد المحلية المتوفرة في المناطق الصحراوية. تُعتبر هذه المواد أساسية في تطوير مواد بناء جديدة تتميز بخصائص عازلة وتكلفة منخفضة. من بين هذه المواد، نجد الرمل السيليكاتي، بالإضافة إلى الجير والجبس. توافر هذه المواد في المنطقة يمكن أن يسهم في تجديد صناعة الطوب في الجنوب الليبي، الذي يعاني من ضعف كفاءة العزل الحراري .كما نسعى في هذه الدراسة إلى تحديد النسب وتصميم الخلطات المناسبة للحصول على منتج سهل التنفيذ، بتكلفة اقتصادية واضحة، وأشكال متنوعة، ومقاومة مقبولة، بالإضافة إلى تحسين العزل الحراري والصوتي مقارنة بالطوب التقليدي. يُعتبر هذا المشروع استثمارًا مربحًا ومتميزًا، حيث يلبي احتياجات السوق المحلي ويساهم في تنمية الاقتصاد وتوفير فرص عمل للعمالة الماهرة وغير الماهرة.

1.2 منهجية البحث:

ينقسم هذا البحث إلى ثلاث مراحل رئيسية

المرحلة الأولى:

في هذه المرحلة، سنستعرض الجانب النظري لموضوع الدراسة من خلال تحليل الأبحاث السابقة والمراجع المتاحة، مثل الأوراق العلمية والكتب، بهدف جمع المعلومات الضرورية.

المرحلة الثانية:

تتعلق هذه المرحلة بالعمل المعملي، حيث يتم تحديد وتجميع المواد الأولية المستخدمة، واعتمادها وتجهيزها وفق الكميات المطلوبة. سنقوم بدراسة مواصفات هذه المواد، ثم تصميم مزيج خلطة الطوب، وتحضير المكعبات الخاصة بالصب. سيتم مقارنة قوة الضغط للطوب مع عوامل أخرى مثل الفعالية من حيث التكلفة والملاءمة. في هذا البحث، سيتم استخدام مكونات المواد بعد الحصول على الخصائص الفيزيائية (مثل الكثافة) والخصائص الإنشائية المحددة (مثل مقاومة الضغط) لخلطات الطوب الخفاف، قبل تحديد العلاقة بين هذه الخصائص. سيتم تحضير مكعبات الطوب الخفاف وإجراء الاختبارات في مختبر الكلية.

المرحلة الثالثة:

تتعلق هذه المرحلة بإعتماد نسب الخلطات، حيث ستكون نسبة رمل الأسمنت المستخدمة هي 2:1 و3:1. سنعمل على إيجاد الكمية المثلى من كبريتات لوريل الصوديوم في الماء كفئة أولى، بالإضافة إلى تحديد النسبة المثلى للرغوة بناءً على وزن الأسمنت المراد إضافته إلى الملاط الذي يصنف ضمن الفئة الثانية.

2 المواد وطرق العمل:

2.1 المواد

الأسمنت: تم استخدام الاسمنت البورتلاندي العادي نوع (N42.5) من إنتاج مصنع البرج زليتن ليبيا هو النوع الأكثر شيوعاً في الاستخدام المطابق للمواصفات ASTM C150 والمواصفات القياسية الليبية رقم 340 لسنة 2009ف.

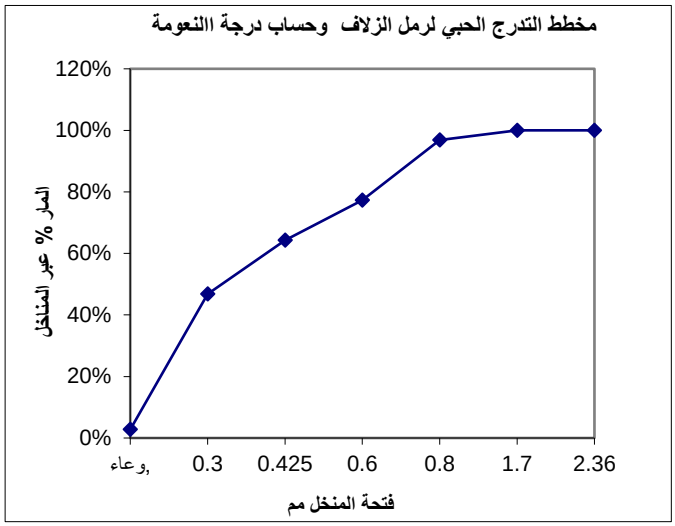
الركام الناعم: الركام الناعم المستخدم في هذه الدراسة رمل السيليكا الطبيعي من صحراء زلاف علي بعد 30كم من مدينة براك لصنع العينات أجُري تحليل غربال لتحديد مدى ملاءمة الرمل للاستخدام. وفقاً للمعيار البريطاني BS882:1992

جدول (1): التدرج الحبي لرمل منطقة الزلاف

الوزن الكلي =1kg				
مقاس المنخل مم	الوزن الجزئي	الوزن المتجمع	النسبة المئوية المتجمعة	النسبة المئوية المارة
2.36	0	0	0.00%	100%
1.7	0	0	0.00%	100%
0.8	32	32	3.14%	97%
0.6	200	232	22.77%	77%
0.425	132	364	35.72%	64%
0.3	178	542	53.19%	47%
وعاء,	449	991	97.25%	3%
المجموع	991			

جدول(2) مواصفات الرمل

الوزن النوعي الظاهري	2750 kg/m3
الوزن الحجمي	1860 kg/m3
كمية الطين	1.97%
المجموع الكلي للمحجوز	2161
الوزن الكلي للعينة	1000
درجة النعومة الرمل	2.161



شكل(1) التدرج الحبي للرمل.

بناء على النتائج، وجُد أن رمال زلاف يمُكن اعتباره رملاً ناعماً جداً. ويعود ذلك إلى أن معامل نعومة الرمل يساوي 2.16 ، بدلا من أن يتراوح بين 2.2 و 2.6 ، وهو المعيار المطلوب للرمل الناعم. فقد قبُلِ استخدام الرمل في هذا البحث لأن أكثر من 20 % من إجمالي كمية الرمل يقل حجمها عن 0.5مم،وفقاً للمتطلبات.

الماء: يعتبر الماء أحد أهم المركبات الأساسية في الخلطة بشكل أساسي، نسبة الماء إلى الأسمنت المستخدمة في هذا البحث هي 0.45 ، لأن معظم الدراسات السابقة استخدمت هذه النسبة لتحقيق قابلية تشغيل معقولة للخرسانة الرغوية.

عامل الرغوة: تم استخدام كبريتات لوريل الصوديوم(SLS) منظف صناعي (عامل تنظيف) ومادة خافضة للتوتر السطحي (أي أنها تنُتج فقاعات). تتميز بدرجة حموضة عالية لأنها مادة قلوية وتبد كمسحوق أبيض. يشُار إلى كبريتات لوريل الصوديوم أحياناً باسم المادة الخافضة للتوتر السطحي لجوز الهند، إذ يمُكن تصنيعها من زيت جوز الهند. تشُتق كبريتات كوكو والصوديوم من زيت جوز الهند وزيت النخيل منخفضي التكلفة، وهي في الأساس نفس المركب، ولكنها مصنوعة من زيت جوز الهند أقل نقاءً. كبريتات لوريل الصوديوم)) ((SLSمادة منظفة ورغوية رخيصة الثمن وفعالة للغاية (تنُتج رغوة بسرعة). يعدّ كبريتات لوريل الصوديوم عامل رغوة ممتاز، وهذا أحد أسباب استخدامه في العديد من منتجات العناية الشخصية، مثل معجون الأسنان. يعُطي لوريل كبريتات الصوديوم رغوة كثيفة وغنية.

جدول (3): خصائص كبريتات لوريل الصوديوم

Formula	$NaC_{12}H_{25}SO_4$
Molar mass	g/mol 288.372
IUP AC ID	Sodium lauryl sulphate
Melting point	C 206°

2.2 توزيع المزيج:

اعتمد في هذا البحث تصميم خليط بنسبة2:1 و3:1 كتلة من الأسمنت البورتلاندي العادي والرمل والجبس والماء وعامل الرغوة علي التوالي طورت جامعة دندي نسب الخلطة وحسُبت باستخدام المعادلة التالية

$$C + W + F = D$$

Where C = cement (PC and FAf) content, kg/m3

W = water content, kg/m3

F = fine aggregate (sand and/or RSA) content, kg/m³

D = target plastic density, kg/m³

2.3 عملية انتاج الطوب:

تختلف عملية الصب والمعدات اللازمة لإنتاج الطوب الخفاف عن عملية إنتاج الطوب العادي، لذا تتطلب عناية أكبر عند إنتاجها. يصف(جونز 2003، راب2007) عملية الخلط لإنتاج الطوب الخفاف، لا توجد مواصفات قياسية معتمدة لتصنيع الطوب الخفاف. يتم خلط الأسمنت والرمل (المواد الجافة) في خلاطة بالشكل الجاف لغرض يتم الحصول علي قوام متجانس لمدة نصف دقيقة، ثم تمت إضافة كمية الماء إلى المواد الجافة وخلطها لمدة 4دقائق أو الانتظار حتي يصبح الملاط متجانسا دون أي كتل من الأسمنت غير المشتت، بعد خلط الماء مع المواد الجافة، يتم إنتاج الرغوة المشكلة مسبقا باستخدام مولد الرغوة، يتم خلط مادة الرغوة بنسبة 1لتر من الرغوة إلى 30لتر من الماء. للحصول علي الكثافة المستهدفة، سيتم قياس الكثافة الطازجة للخليط باستخدام حاوية سعة 1لتر (ضمن القيمة ضمن ±100كجم/م^3) عندما تكون الكثافة الطازجة أعلي من الكثافة المستهدفة أو كثافة التصميم، تضاف رغوة إضافية حتي الوصول الي الكثافة التصميمية. أما عندما تكون الكثافة الطازجة أقل من الكثافة المستهدفة، يعاد الخلط. بعد الصب في القالب. توزن العينات مباشرة بعد إخراجها من القالب للحصول علي كثافة صلبة. تحفظ في المعمل بدرجة حرارة الغرفة. في هذا البحث، تم تحضير أربع نسب مختلفة من خلط الأسمنت مع الرمل.

صب العينة:

استخُدم قالبٌ بأبعاد 100 × 100 × 100 مم لتحضير العينة. بعد ٢٤ ساعة من الصب، أزُيلت القوالب، وجففّت العينات، لمدة ٢٨ يوماً في درجة حرارة الغرفة.

شكل(3): قوالب الصب.

شكل4: صب العينة.

شكل5: الطوب الخفاف

3. إجراءات الاختبار:

3.1 اختبار قوة الضغط :

تتعرض المادة لقوى متعاكسة تدفع العينة إلى الداخل من جوانب متقابلة أو يتم ضغطها أو سحقها أو تسطيحها بطريقة أخرى. وفقا لمعيار والمواصفات ،و تتم المُعالجة طبقاً لشروط لإنضاج الاعتيادية لصناعة الطوب التقليدي، تُروى العينة لمدّة7 أيام، ثم تُترك لتجفف بالظروف الطبيعية. تخُتبر طوبات الخرسانة الرغوية خفيفة الوزن بعد 28 يوماً. يجب حفظ الطوب المرُاد اختباره منفصلا في الهواء عند درجة حرارة (24 درجة مئوية) ورطوبة نسبية أقل من 80 % لمدة لا تقل عن 48 ساعة، ثم يوُضع في جهاز مقاومة الضغط، وتسُتخدم صفيحة فولاذية واحدة لتغطية منطقتي الحمل العلوية والسفلية للعينات. سجُلِّ أقصى حمل وقوة ضغط تتحملها العينة.

جدول(4): قوة الضغط للطوب المنتج.

نسب الخلط	الوزن	متوسط الكثافة	قوة الضغط	متوسط قوة الضغط
g	kg	kg/m3	mpa	mpa
رمل ناعم 2:1	0.952	939.75	11	12.53
	0.949		14	
	0.929		13	
	0.929		12	
رمل ناعم 3:1	0.804	778.5	9	9
	0.783		8	
	0.766		7	
	0.761		13	
رمل خشن 2:1	1.07	1235.5	12	23
	1.183		20	
	1.261		29	
	1.428		32	
رمل خشن 3:1	0.741	732.5	9	10
	0.741		10	
	0.737		11	
	0.728		11	

3.2 اختبار الموصلية الحرارية ومقاومة الحرارية:

يمكن تعريف الموصلية الحرارية على أنها قدرة الحرارة على الانتقال عبر سمك الطوب في اتجاه عمودي على سطحه. تم إجراء هذا الاختبار في مختبر قسم الهندسة المدنية براك، وشكل6 يوضح الجهاز المستخدم محلي الصنع، حيث تم وضع أحد جانبي الطوب داخل الحاضنة رقم 1، المعرضة لدرجة حرارة 70 درجة مئوية، بينما وُضع الجانب الآخر في الحاضنة رقم تم الحفاظ على درجة الحرارة داخل الحاضنة لمدة 4 ساعات، وتم قياس الحرارة في الحاضنة الثانية كل نصف ساعة

باستخدام مقياس حرارة ليزري. يُشار إلى أن درجات الحرارة في الجنوب خلال فصل الصيف قد تصل إلى 50 درجة مئوية كحد أقصى بين الساعة 10 صباحًا و2 ظهرًا. لذلك، تم اختبار الطوب المنتج وبعض أنواع الطوب المتاحة في السوق. يتم حساب الموصلية الحرارية (k) بوحدات (W/m•K) باستخدام المعادلة التالية:

$$K=QL/A\Delta T$$

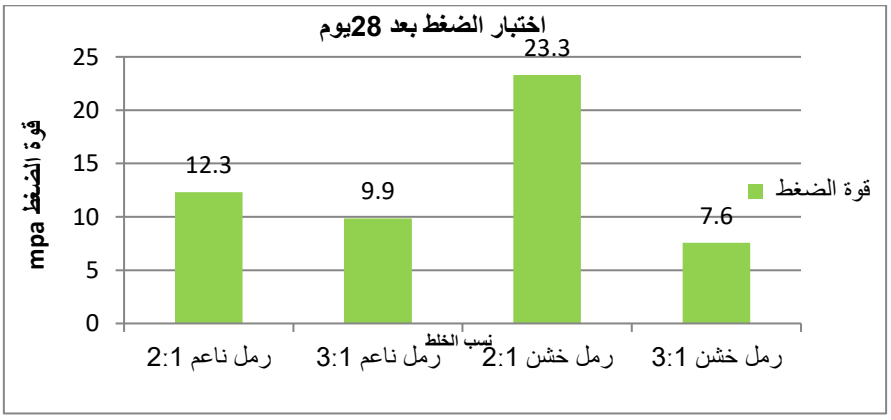
حيث يمثل Q تدفق الحرارة، و Lهو سمك الكتلة(m) ، و Aهي المساحة(m²) ، و ΔTهو فرق درجة الحرارة بين الحاضنة الساخنة والحاضنة الباردة. تتعلق الموصلية الحرارية عكسيًا بالمقاومة الحرارية .(R) وبناءً على ذلك، فإن الموصلية الحرارية المعتمدة للهواء تبلغ 0.0024 واط/متر•ك. وتم حساب قيمة R باستخدام المعادلة:

$$R= L/KA$$

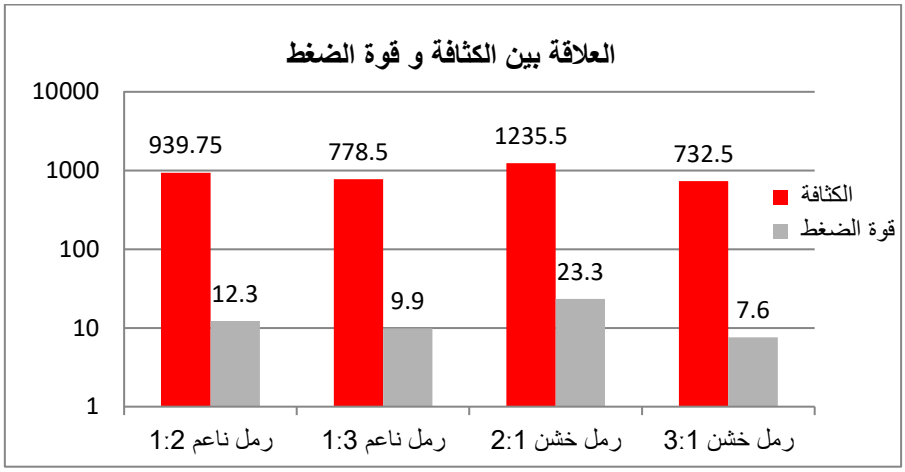
شكل6:جهاز اختبار توصيل الحراري محلي الصنع.

4. النتائج والمناقشة:

اختبار قوة الضغط: تعُد قوة الضغط أهم خاصية فيزيائية تحُدد إمكانية استخدام الطوب الخفاف في التطبيقات الإنشائية (الطوب الحامل وغير الحامل). هناك العديد من العوامل التي تؤثر على قوة ضغط الطوب الخفاف منخفض الوزن، مثل الكثافة، ونسبة الماء إلى الأسمنت، ونسبة الرمل إلى الأسمنت، ونوع الرمل، وطريقة المعالجة، وكمية الفراغات الهوائية. تتراوح قوة ضغط العينات المحضرة بالمواد المحلية لمدة 28يوما، بين 9ميجابسكال و32ميجابسكال، حيث أن جميع تصاميم الخلطات المنتجة في هذا البحث حققت المواصفات المحدد في ASTM.

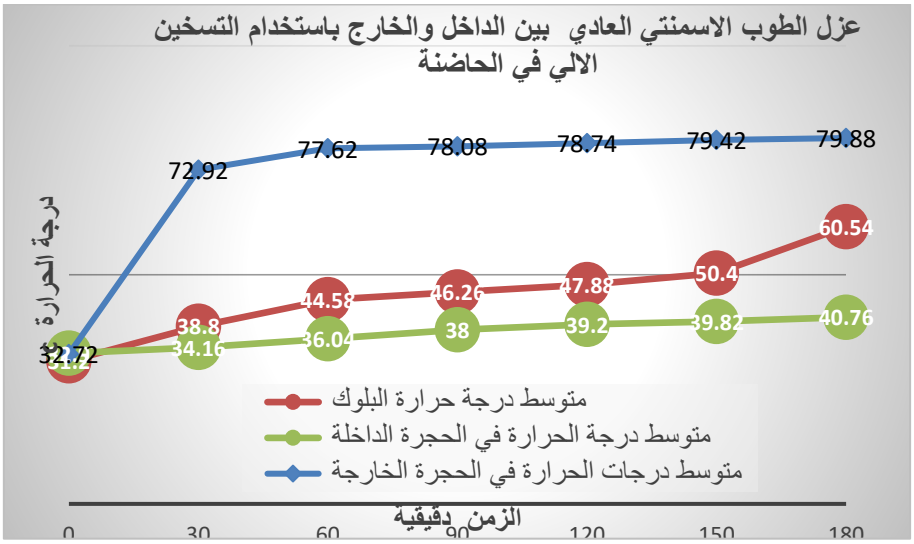


شكل7: اختبار مقاومة الضغط.

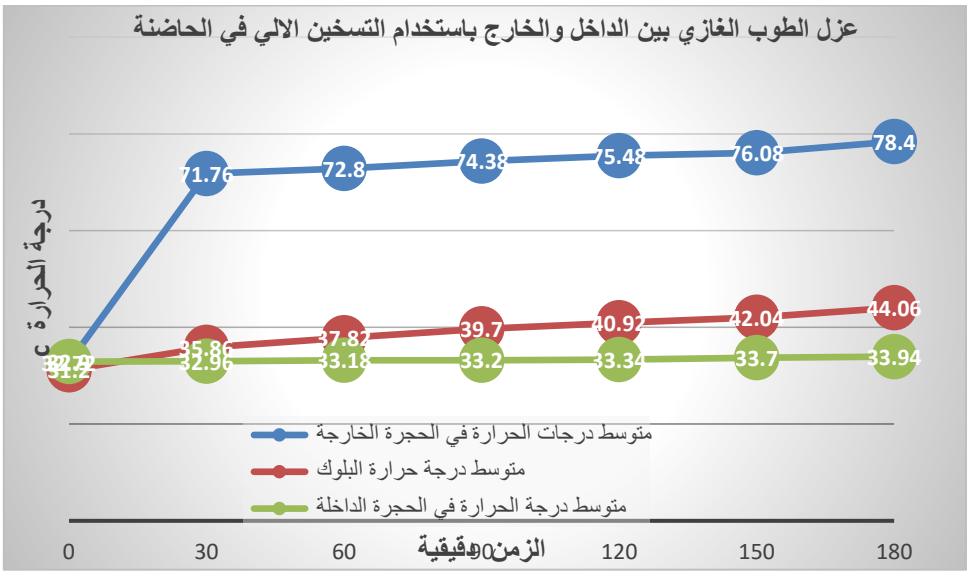


شكل8: العلاقة بين الكثافة ومقاومة الضغط.

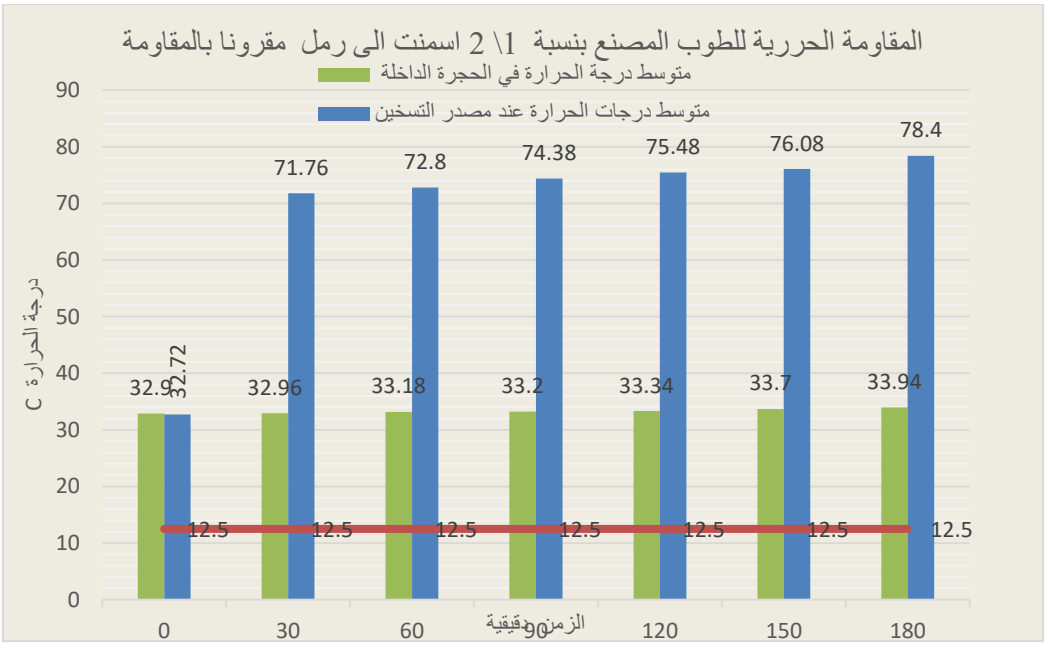
الموصلية الحرارية: تتفاوت الموصلية الحرارية بناءً على الكثافة، حيث تُعزى خاصية العزل الممتازة إلى وجود عدد كبير من التجاويف المغلقة التي تشكل بنية متعددة الخلايا. في هذا البحث، تم صب مادة بكثافة 1200 كغ/م^3 في قالب بأبعاد 20*20*40 سم. وتعتمد الموصلية الحرارية على كثافة وخصائص المادة المستخدمة. وتظهر النتائج أن الطوب المنتج يتمتع بمستوى منخفض جداً من الموصلية الحرارية مقارنة بالطوب العادي.



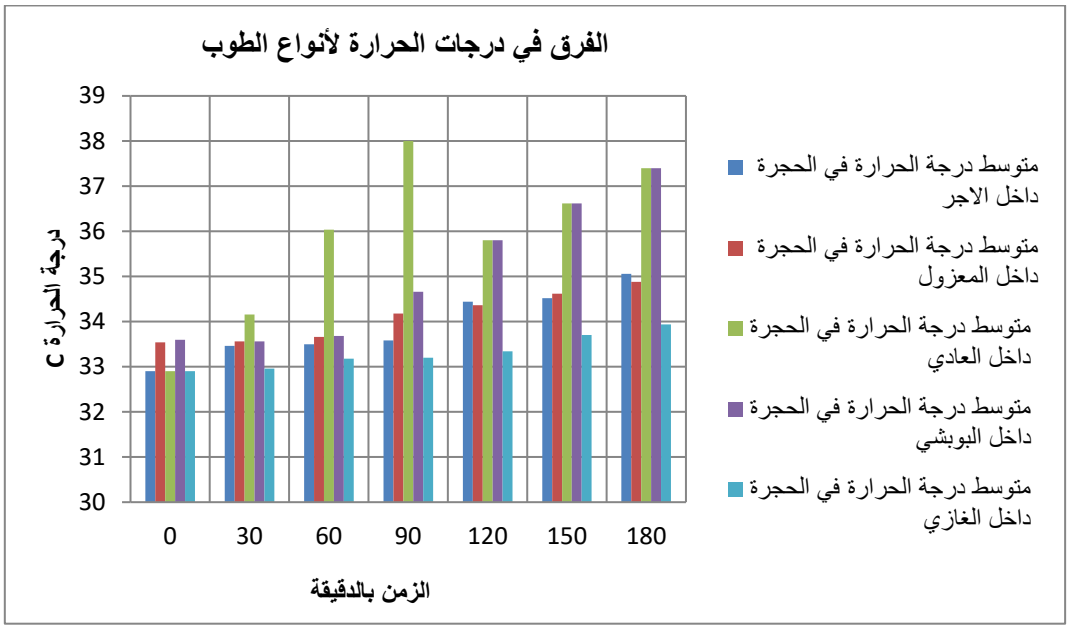
شكل9: :تسخين الطوب العادي في الحاضنة.



شكل10:تسخين الطوب الغازي(المنتج) في الحاضنة.



شكل11:المقاومة الحرارية مقرونا بالمقاومة.



شكل12:انواع الطوب المستخدم.

5.الاستنتاجات:

1- امكانية إنتاج الطوب الاسمنتي الخفاف باستخدام المواد المحلية ناجحا جدا وفقا للأهداف المحددة في البحث. يعتبر مادة جديدة في صناعة البناء، تتميز بخصائص فيزيائية ممتازة، مما سمح بتوسع نطاق استخدامه في الاغراض الانشائية.

2- إن قوة الضغط للطوب الخفاف هي دالة عكسية لكثافة. وكثافة الطوب هي دالة لحجم الرغوة المضافة إلي العجينة الإسمنتية. وقيم قوة الضغط المتحصل عليها في هذا البحث، كانت مطابقة للمواصفات ASTM C90-01 .

3-الطوب المنتج يحقق عزل حراري منخفض مقارنة بي أنواع الطوب التي تم اختبارها. والعزل الحراري له دور كبير في انتاج الطوب الاسمنتي الخفاف، اي كلما زادت الفراغات كلما كان العزل افضل في امتصاص الحرارة.

6.التوصيات:

بشكل عام يبرز النطاق الواسع لتطبيقات الطوب الخفاف بي انواعه، وامكانية استخدامه في مختلف تطبيقات البناء. ويمكن تطوير تقنيات انتاج جديدة.

المزيد من البحوث والدراسات حول استخدام الطوب الاسمنتي الخفاف في مشاريع البناء والتشيد.

7.المراجع

1. Murmu, A. L., & Patel, A. (2018). Towards sustainable bricks production: An overview. Construction and building materials, 165, 112-125.

2. Ghoshal, P. K. (2008). Prospects and problems of brick industry.

3. Abd, A. M., & Jarullah, D. S. (2016). Producing lightweight foam concrete building units using local resources. Civil and Environmental Research, 8(10), 54-63.

4. Maizir, H., Suryanita, R., & Arditama, R. (2019, October). Study on performance of lightweight concrete bricks with a ratio of sand and cement composition. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 615, No. 1, p. 012105). IOP Publishing.

5. Nada, R., Sokairge, H., Galal, M., & Elshafie, H. Mechanical and physical properties of Foamed Concrete Blocks.

6. Nandi, S., Chatterjee, A., Samanta, P., & Hansda, T. (2016). Cellular concrete and its facets of application in civil engineering. Int. J. Eng. Res, 5(1), 37-43.

7. Ouedraogo, A. L., Messan, A., Malbila, E., Ouedraogo, E., Bathiebo, D. J., Kiéno, P. F., & Blanchard, P. (2021). Thermo-physical, mechanical and hygro-thermal properties of newly produced aerated concrete. Journal of Materials Science and Surface Engineering, 8, 1021-1028.

8. Gunawan, P. (2014). Foamed lightweight concrete tech using galvalum Az 150 fiber. Procedia Engineering, 95, 433-441.

10. Zulkarnain, F., & Ramli, M. (2011). Rational proportion for mixture of foamed concrete design. Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering), 1â-12.

11. In Journal Proceedings (Vol. 50, No. 5, pp. 773-796).

12. Valore, R. C. (1954, June). Cellular concretes part 2 physical properties. In Journal Proceedings (Vol. 50, No. 6, pp. 817-836).

13. Rudnai, G. (1963). Lightweight concretes. (No Title).

14. Jones, M. R., & McCarthy, A. (2005). Preliminary views on the potential of foamed concrete as a structural material. Magazine of concrete research, 57(1), 21-31.

15. Sulaiman, A. M., Hilal, A. A., & Al-Azzawi, Z. (2024). Strength and Thermal Properties of Hollow Foamed Concrete Blocks considering Various Parameters. Engineering, Technology & Applied Science Research, 14(6), 18004-18013.

16.Richard TG. Low temperature behaviour of cellular concrete. ACI Mater J 977;74(4):173-8.

18.BSI (1992). BS 882, Specification for Aggregates from natural sources for concrete, British Standard Institute, UK.

17. American Society for Testing Materials (2004), "Standard Specification for Loadbearing Concrete Masonry Units", (ASTM C90-01), International, USA.

18.ASTM C150-99a. "Standard specification for Portland cement"

دراسة تأثير إضافة ألياف البولي بروبلين على الخرسانة ذاتية الدمك

*[1]عزالدين السنوسي العطشان ،[2] فرحات غريبي فرحات ، [3]ابوبكر غريبي فرحات احميده
1 الدرجة العلمية: أستاذ مساعد ، كلية التقنية الهندسية بهون ،
2 الدرجة العلمية: أستاذ ، كلية التقنية الهندسية بهون ،
3 الدرجة العلمية: محاضر ، المعهد العالي للعلوم والتقنية – سوكنة.
*للمراسلة azzaldeen_2005@yahoo.com

الملخص

يعكس التطور العمراني مستوى التقدم الاقتصادي والاجتماعي للدول، ويعد تطور تقنيات الخرسانة ومواد البناء جزءًا أساسيًا من هذا التحول. في العقود الأخيرة، أحدثت الابتكارات في صناعة الخرسانة نقلة نوعية، مما أدى إلى ظهور أنواع جديدة تلبي متطلبات المشاريع الحديثة. من أمثلة هذه الخرسانات الخرسانة عالية المقاومة والخرسانة ذات الألياف والخرسانة ذاتية الدمك، والتي تمتاز بقابليتها العالية للتشغيل وسهولة انسيابها وتدفقها الحر تحت تأثير وزنها الذاتي فقط.

أثبتت الدراسات أنه بسبب زيادة محتويات المواد الناعمة في الخرسانة ذاتية الدمك فإن ذلك ينتج خرسانة أكثر هشاشة من الخرسانة التقليدية العادية، ويمكن التغلب على هذا العيب الخاص بهذه الخرسانة عن طريق استخدام الألياف. كما أثبتت الدراسات أن استخدام المحتوى الأمثل من الألياف في الخرسانة ذاتية الدمك يقلل من التشققات ويزيد من قابلية التشغيل مقارنة بالخرسانة العادية، بالإضافة إلى تحسين الليونة وقوة الانحناء والصلابة للخرسانة.

تم في هذا البحث دراسة الخصائص الميكانيكية (قوة الضغط والشد والانحناء) وكذلك خواص الخرسانة الطازجة لعينات من الخرسانة ذاتية الدمك Self-Compacted Concrete (SCC) وذلك بإضافة كميات مختلفة من ألياف البولي بروبلين 0.9 و 1.8 و 2.7 كجم/م3، حيث تمت دراسة الخواص اللدنة والصلبة للخرسانة في هذا البحث. كما تم استخدام مادة سيكامنت 163 M والتي تعتبر كعامل عالي الكفاءة لخفض المحتوى المائي و ملدن قوى يزيد قابلية التشغيل بدرجة فائقة لإنتاج نوعية خرسانة ذات جودة عالية في المناخ الحار، ويؤدي التأثير المزدوج لمادة سيكامنت 163 إلى تحسين سرعة التصلد وزيادة الإجهادات المبكرة والنهائية للخرسانة.

وقد تم التوصل في هذا البحث الى ان إضافة الالياف الى الخلطة بكمية 0.9 كجم/م3 أدت الى زيادة طفيفة في مقامة الضغط، بينما انخفضت المقاومة عند زيادة كمية الالياف مقارنة بالخلطة المرجعية. كما أن إضافة الألياف بكميات مختلفة أدت إلى زيادة في مقاومة الشد الغير مباشر بنسب مختلفة مقارنة بالخلطة المرجعية، حيث سجلت أفضل مقاومة شد عند إضافة الألياف بكمية 0.9 كجم/م3. كما أوضحت نتائج اختبارات الخرسانة الطازجة أنه كلما زادت كمية الألياف في الخلطة قلت قدرتها على الانسياب والاستواء في المناطق المزدحمة بحديد التسليح.

الكلمات الدالة *: خرسانة ذاتية الدمك، ألياف البولي بروبلين، الخواص اللدنة والصلبة للخرسانة، الانسيابية*

1. المقدمة:

تُعدُّ الخرسانة من أهم المواد المستخدمة في الصناعات الإنشائية، حيث تحظى بمكانة متميزة لكونها الأكثر شيوعًا في هذا المجال [1]. ومع ازدياد تعقيد المنشآت الخرسانية الضخمة، أصبح تسليحها وتصميم قوالبها أكثر تعقيدًا، مما أدى إلى ظهور مشكلات ناجمة عن عدم كفاءة عمليات الدمك، مثل ظاهرة التعشيش، التي تؤثر سلبًا على متانة وديمومة الخرسانة [2].

ونتيجة لذلك، برزت الحاجة إلى تطوير نوع جديد من الخرسانة يتمتع بقدرة عالية على الانسياب دون الحاجة إلى استخدام أدوات الدمك التقليدية كالهزازات، ليتم ابتكار الخرسانة ذاتية الدمك [2 & 3].

بدأ استخدام الخرسانة ذاتية الدمك لأول مرة في اليابان عام 1986، حيث صُمِّمت لتنساب تلقائيًا داخل القوالب والأماكن ذات التسليح الكثيف دون الحاجة إلى أدوات دمك إضافية [4]. وإلى جانب ذلك، تتميز هذه الخرسانة بفعاليتها في الموقع، إذ تُسهم في تقليل تكاليف العمالة وزمن الصب، فضلًا عن الحد من الضوضاء والمشكلات البيئية والصحية المرتبطة باستخدام الهزازات [4].

تعتمد الخرسانة ذاتية الدمك على ثلاثة متطلبات رئيسية هي القدرة على ملء الفراغات، والقدرة على التدفق عبر العوائق، ومقاومة الانفصال الحبيبي. ولتحقيق هذه الخصائص، يجب تصميم الخلطة الخرسانية بعناية، مع تحديد نسب الخلط المناسبة لمكوناتها. ومع ذلك، فإن تصميم خلطة خرسانية تتمتع بخصائص انسيابية واستقرار عالٍ يُعدُّ أكثر تعقيدًا مقارنةً بالخلطات التقليدية التي تعتمد على الهزازات. لهذا السبب، أُجريت العديد من الدراسات والأبحاث عالمياً لاختبار وتحديد نسب الخلط المثلى للخرسانة ذاتية الدمك، إلا أنه حتى الآن لم يتم التوصل إلى نسب خلط موحدة معتمدة تحقق جميع المواصفات المطلوبة لهذه الخرسانة [5, 6 & 7].

اتجه الباحثون حول العالم مؤخرًا نحو إعادة تدوير المخلفات الصناعية واستخدامها كمواد جزئية في الخلطات الخرسانية، حيث تم توظيف الإضافات المعدنية مثل الرماد المتطاير، وغبار السليكا، والألياف الزجاجية، والمخلفات البلاستيكية بهدف تقليل التكلفة وتحسين أداء الخرسانة ذاتية الدمك.

في إحدى الدراسات التي أُجريت بقسم الهندسة المدنية في الجامعة الأسمرية الإسلامية، تم تحليل تأثير الألياف الزجاجية على الخواص الهندسية للخرسانة ذاتية الدمك. استخدمت الدراسة أليافًا زجاجية بطولين مختلفين (20 و40 ملم)، وتمت إضافتها إلى الخلطة بنسب (0.1%، 0.15%، 0.20%) من حجم الخرسانة، مع الحفاظ على نسبة الركام الخشن إلى الناعم عند 1.5:1، ومحتوى إسمنتي ثابت لجميع الخلطات قدره 400 كجم/م^3، ونسبة ماء ثابتة تعادل 0.45 من وزن الإسمنت. أظهرت النتائج أن الخرسانة الليفية ذاتية الدمك تحتفظ بقدرتها على الانسياب والانتشار، لكن هذه القدرة تتناقص مع زيادة نسبة الألياف. كما تبين أن الألياف بطول 40 ملم تعيق مرور الخرسانة بين أسياخ الحديد أكثر من الألياف بطول 20 ملم. وأوضحت النتائج تحسنًا ملحوظًا في مقاومة الانضغاط للخرسانة المحتوية على ألياف بطول 20 ملم، حيث سجلت زيادة تصل إلى 30% مقارنةً بتلك المحتوية على ألياف بطول 40 ملم [8].

وفي دراسة أخرى أجريت بكلية الهندسة في رقدالين (جامعة صبراتة)، تم بحث تأثير استخدام خبث الأفران كبديل جزئي للرمل على الخواص الهندسية للخرسانة ذاتية الدمك. تضمنت الدراسة إحلال الخبث بنسب (20%، 30%، 40%، 50%) من وزن الرمل، ثم اختبار الخرسانة في حالتيها اللدنة والمتصلدة، حيث شملت الاختبارات قابلية الانسياب، والانتشار، والمرور، ومقاومة الانعزال، بالإضافة إلى مقاومة الضغط. أظهرت النتائج أن إضافة الخبث أسهمت في تحسين مقاومة الانضغاط والشد مقارنةً بالخلطة المرجعية، كما بينت أن إضافة الخبث تعزز من قابلية التشغيل للخرسانة ذاتية الدمك [9].

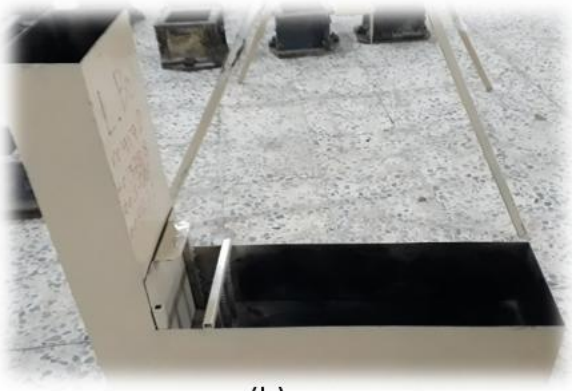
وفي دراسة أجريت بكلية التقنية الهندسية بهون تمت الاستفادة من غبرة الرخام (كربونات الكالسيوم) ليتم إحلالها جزئياً بديلاً عن الإسمنت بنسب 10% و25% و35%. وقد تم التوصل في هذا البحث الى ان إضافة بودرة الرخام بنسبة 10% و 25% تعطي نتائج ضمن الحدود المطلوبة لاختبارات الخرسانة وبشكل أفضل عند نسبة 25% ، و عند اضافتها بنسبة 35% لم تعطي النتائج المرجوة [10].

أما في دراسة مشتركة بين كلية الهندسة في رقدالين وكلية التقنية الهندسية في زوارة، فقد تم تحليل تأثير إضافة الألياف والمخلفات البلاستيكية على الخواص الهندسية للخرسانة ذاتية الدمك. شملت الدراسة ثلاث خلطات احتوت على نسب مختلفة من الألياف البلاستيكية (0.5%، 1%، 1.5% من وزن الإسمنت). وأظهرت النتائج أن إضافة الألياف البلاستيكية كان لها تأثير إيجابي في تعزيز مقاومة الضغط والشد، لكنها أدت إلى انخفاض في قابلية التشغيل للخرسانة ذاتية الدمك [11]. وعلى الرغم من الفوائد العديدة لهذه الإضافات، فإنها تحتاج الى المزيد من الأبحاث لدراسة تأثير نسب خلطها وأحجامها وأطوالها على خصائص الخرسانة الطازجة والمتصلدة.

2. منهج البحث

في هذا البحث تم دراسة الخصائص الميكانيكية (قوة الضغط والشد والإنحناء) وكذلك الخواص الطازجة للخرسانة ذاتية الدمك (SCC) وإمكانية تنفيذها وذلك بإضافة كميات مختلفة من ألياف البولي بروبلين 0.9 و 1.8 و 2.7 كجم/م3 [6]. حيث تمت دراسة الخواص اللدنة لهذه الخلطات وذلك بإجراء عدة اختبارات منها اختبار الهطول (Slump Flow Ring) و (a) اختبار حلقة جيرينق (J-ring test) و (b) اختبار (L-Box) و (c) اختبار (U-Box) و (d) اختبار (V-Funnel)، حيث تم تصنيع هذه الأجهزة الأربعة محلياً داخل مدينة هون كما هو موضح في الشكل (1).

(a)



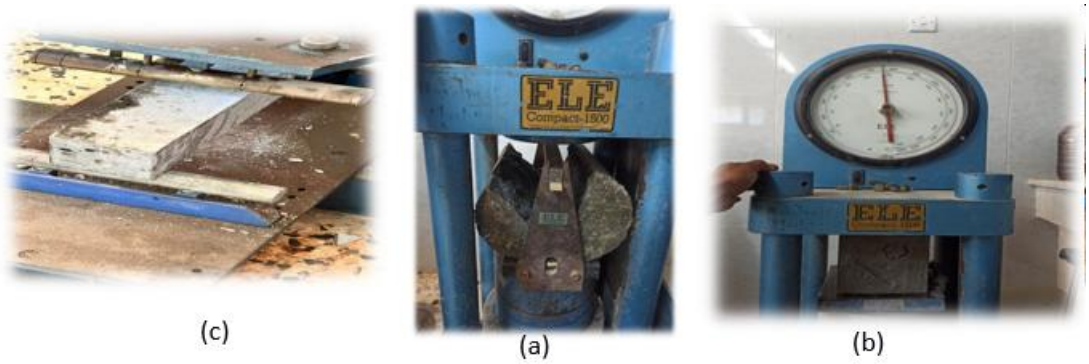
(b)

(c)

(d)

شكل (1): الأجهزة المستخدمة في اختبارات الخرسانة اللدنة

كما تم اجراء مجموعة من الاختبارات على عينات الخرسانة المتصلدة وذلك لمعرفة خصائصها الميكانيكية. شملت هذه الاختبارات مقاومة الضغط والشد ومقاومة الإنحناء كما هو موضح بالشكل (2).

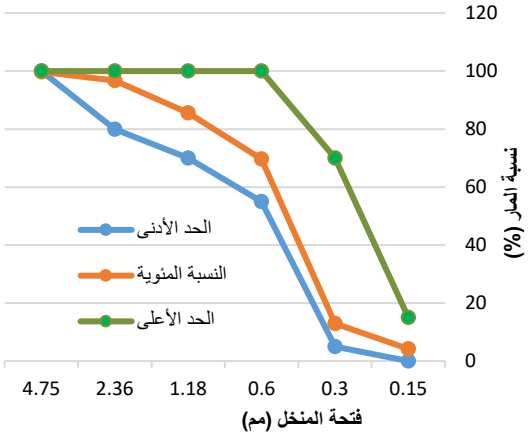


شكل (2): الأجهزة المستخدمة في اختبارات الخرسانة المتصلدة

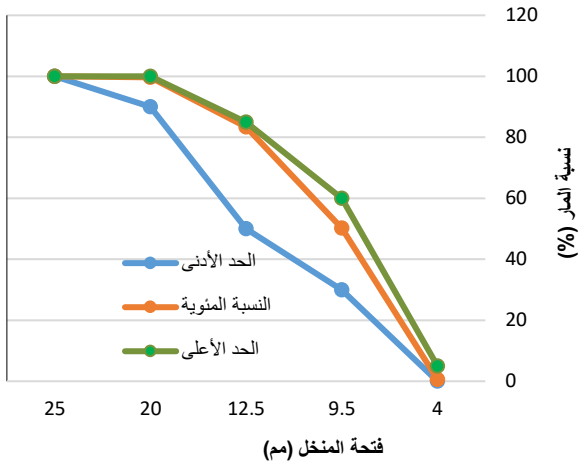
تم اختيار مكونات الخلطة الخرسانية من مواد متوفرة محليًا، وتشمل: الإسمنت، والركام بنوعيه (الصغير والكبير)، والماء، وألياف البولي بروبلين، بالإضافة إلى الملدن الفائق. ولضمان تحقيق المواصفات المطلوبة للخلطات الخرسانية، أُجريت العديد من الاختبارات على هذه المواد للتحقق من مدى مطابقتها للمعايير. تم استخدام الإسمنت البورتلاندي العادي المُنتج في مصنع الإسمنت بمدينة زليتن وهو الأكثر شيوعًا محليًا، أما الركام الخشن فقد تم توفيره من محاجر مدينة سوكنة. وقد خضع كلاً من الركام الخشن والناعم لسلسلة من الاختبارات المعملية للتأكد من توافقهما مع المواصفات القياسية، وقد جاءت نتائج هذه الاختبارات كما هو موضح في الجدول (1). كما يبين الشكل (3) التدرج الحبيبي للركام الكبير والحدود المسموح بها بينما يبين الشكل (4) التدرج الحبيبي للركام الصغير والحدود المسموح بها.

جدول (1): نتائج اختبارات الركام الخشن والناعم

الوزن النوعي الظاهري (جم)	نسبة الطين والمواد الناعمة (%)	الوزن الحجمي (كجم/م^3)	نسبة الفرغات (%)	نسبة امتصاص الماء (%)
الركام الخشن				
2.5	0.08	1401.3	38	2.7
الركام الناعم				
2.55	1.2	1570	32.7	/



شكل (4): التدرج الحبيبي للركام الصغير



شكل (3): التدرج الحبيبي للركام الكبير

أما بالنسبة للملدن الفائق، فقد تم استخدام سيكامِنت M 163، وهو ملدن عالي الكفاءة يعمل على تقليل محتوى الماء بشكل كبير، كما يعزز من قابلية التشغيل بدرجة فائقة، مما يساهم في إنتاج خرسانة عالية الجودة، خاصة في الظروف المناخية الحارة. ويتميز سيكامِنت M 163 بتأثيره المزدوج، حيث يُحسِّن سرعة التصلد، ويؤدي إلى زيادة كل من الإجهادات المبكرة والنهائية، مما يعزز من أداء الخرسانة ومتانتها.

أما بالنسبة لمادة البولي بروبلين (Sika Fibers) التي تم استخدامها فهي عبارة عن خيوط أحادية من مادة البولي بروبلين بطولين هما 6 مم و 12 مم و بقطر 12 ميكرون، وهي خالية من المخاطر وسهلة الاستخدام، وتمتاز بمتانة عالية وبمقاومة جيدة للتآكل وخفيفة الوزن. الشكل (5) يوضح شكل ألياف البولي بروبلين التي تم استخدامها.

شكل (5): يوضح شكل ألياف البولي بروبلين المستخدمة

3. تصميم الخلطات الخرسانية

تم الوصول إلى الخلطة الخرسانية ذاتية الدمك باستخدام (الياف البولي بروبلين) عن طريق إجراء عدة دراسات تشمل اختبارات الخرسانة ذاتية الدمك.

في الدراسة الأولى كانت نسبة المحتوى المائي 40% من وزن الإسمنت وكمية الملدن 1لتر وكان ناتج الخلط لدن بدرجة كبيرة وأدى ذلك الى حدوث انفصال حبيبي وبناءً عليه لم يتم التحصل على النتيجة المطلوبة. وفي خلطة أخرى قمنا بزيادة المحتوى المائي إلى 50% من وزن الإسمنت وقمنا بتقليل كمية الملدن الى 600 ملليتر وكانت الخلطة الناتجة ذات قوام مناسب وذلك حسب الحدود والمواصفات. المعتمدة، وهي الخلطة المرجعية التي تم اعتمادها في هذه الدراسة.

4. النتائج والمناقشة

4.1 نتائج اختبارات الخرسانة اللدنة

سيتم هنا عرض ومناقشة النتائج المتحصل عليها من الاختبارات التي تم اجراؤها للخرسانة في حالتها اللدنة باستخدام الأجهزة الموضحة في الشكل (1) ، وتم تلخيص هذه النتائج في الجدول (2). كانت العينة القياسية ضمن المواصفات وكذلك عند إضافة الألياف بكمية (0.9) كجم\م3 كانت أيضاً ضمن المواصفات ، ولكن عند إضافة الألياف بكميات أعلى (1.8 و 2.7 كجم\م3) لم تكن النتائج ضمن الحدود ولكنها قريبة منها.

جدول (2): نتائج اختبارات الخرسانة في حالتها اللدنة

رقم الخلطة (كمية الألياف)	اختبار الهبوط (mm)	حلقة-J ring (mm)	زمن الانسياب (sec)	L box (cm)	V funnel (sec)	U box (cm)
الخلطة 1 (0) كجم\م^3	690	6	3.33	0.9	10	37.5
الخلطة 2 (0.9) كجم\م3	660	7.5	3.40	0.82	8	54
الخلطة 3 (1.8) كجم\م3	637	8.4	2.31	0.64	10	46
الخلطة 4 (2.7) كجم\م3	602	13.2	7	0.57	12.7	40
حدود المواصفات البريطانية	800-650	10-0	5-2	1-0.8	12-6	>30

4.1.1 نتائج اختبار الهبوط (الانسياب)

بشكل عام لوحظ من نتائج الاختبار أن الألياف أدت إلى التقليل في معدل التدفق (الهبوط)، كما لوحظ أن نتائج بعض الخلطات ضمن الحدود والمواصفات البريطانية كما هو للخلطة المرجعية (690 mm) وكذلك عند إضافة الألياف بكمية 0.9 كجم/م3 كان الهبوط (660 mm)، بينما عند إضافة 1.8 كجم/م3 و2.7 كجم/م3 من الألياف للخلطة كانت خارج المواصفات ولكنها قريبة من الحدود المسموح بها. والشكل (6) يوضح نتائج اختبار الهبوط.

4.1.2 نتائج اختبار حلقة J-ring

لوحظ حدوث زيادة في معدل احتجاز الخرسانة داخل حلقة (J-ring) كلما زادت كمية الألياف وهذا يدل على ان الخرسانة لها قدرة عالية على الصب والتدفق في وجود مناطق مزدحمة بحديد التسليح، وعند إضافة الألياف بنسبة 0.9 كجم/م3 و 1.8 كجم/م3 كانت ضمن حدود المواصفات البريطانية بينما عند إضافة الألياف بنسبة 2.7 كجم/م3 كانت النتائج خارج حدود المواصفات، والشكل (7) يوضح نتائج اختبار J-ring.

4.1.3 نتائج اختبار L-box

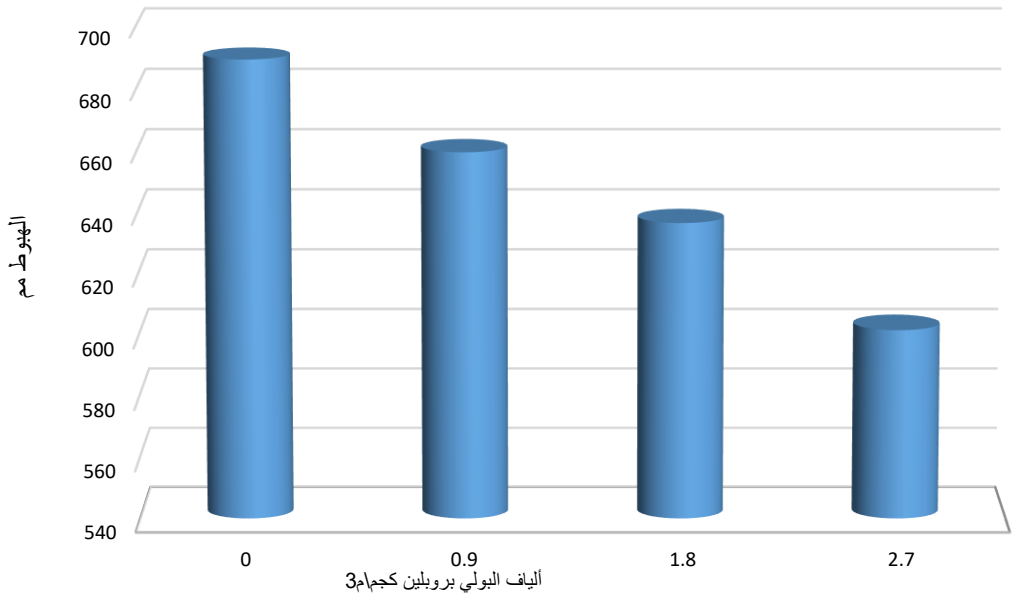
كانت نتائج الخلطة المرجعية ضمن حدود المواصفات البريطانية وهذا يعني أن هذه الخلطة لها القدرة على الانسياب والاستواء في المناطق المزدحمة بحديد التسليح، وعند إضافة الألياف بكمية 0.9 كجم/م3 كانت النتائج أيضاً ضمن حدود المواصفات، بينما عند إضافة الألياف بكمية 1.8 كجم/م3 و 2.7 كجم/م3 كانت النتائج خارج حدود المواصفات ولكنها تعتبر مقبولة نظراً لقربها من حدود المواصفات، والشكل (8) يوضح نتائج الاختبار.

4.1.4 نتائج اختبار V-funnel

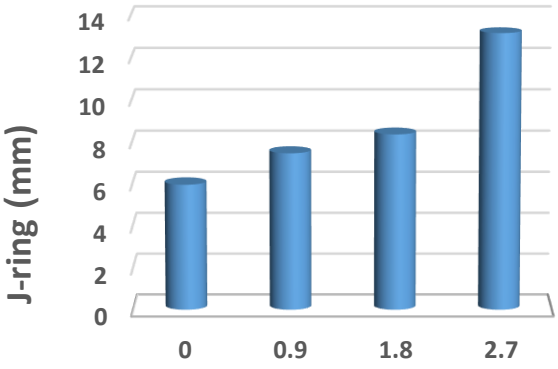
كانت معظم النتائج جيدة وضمن حدود المواصفات البريطانية حيث تبين أن كلما زادت كمية إضافة الألياف للخرسانة زاد زمن التفريغ للخلطة من الجهاز، بالإضافة إلى تجانس معظم الخلطات بعد سقوطها واستقرارها في الوعاء، وكانت أفضل نتيجة عند إضافة الألياف بنسبة 0.9 كجم/م3 مقارنة بالخلطة المرجعية، وعند إضافة الألياف بنسبة 2.7 كجم/م3 كانت قريبة جداً من حدود المواصفات، والشكل (9) يوضح نتائج الاختبار.

4.1.5 نتائج اختبار U-box

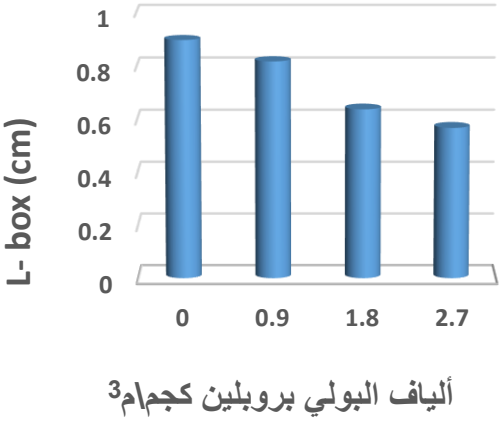
كانت نتائج هذا الاختبار لكل الخلطات جيدة وضمن حدود المواصفات البريطانية وهذا يدل على أن الخرسانة لها قابلية عالية للملأ في حالة وجود حديد تسليح، والشكل (10) يوضح نتائج الاختبار.



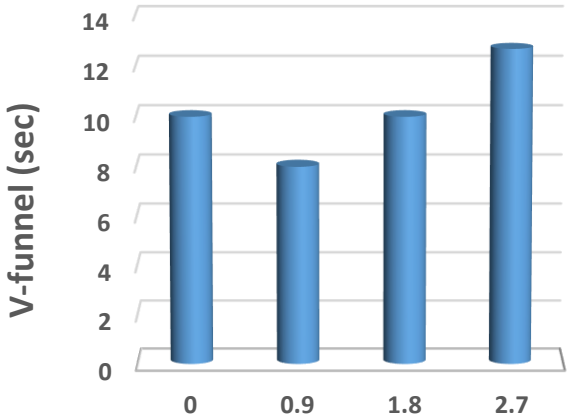
شكل (6): نتائج اختبار الهبوط



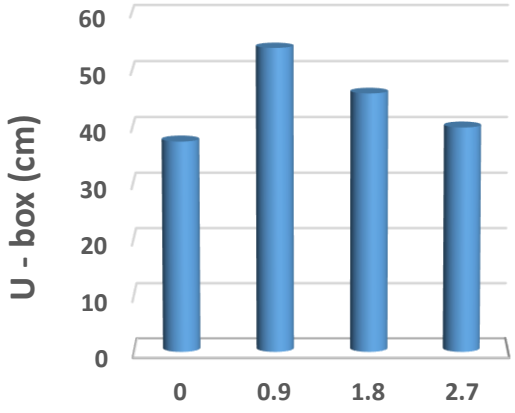
شكل (7): نتائج اختبار حلقة J–ring



شكل (8): نتائج اختبار L–box



شكل (9): نتائج اختبار V–funnel



شكل (10): نتائج اختبار U–box

4.2 نتائج اختبارات الخرسانة المتصلدة

4.2.1 اختبار الضغط للمكعبات

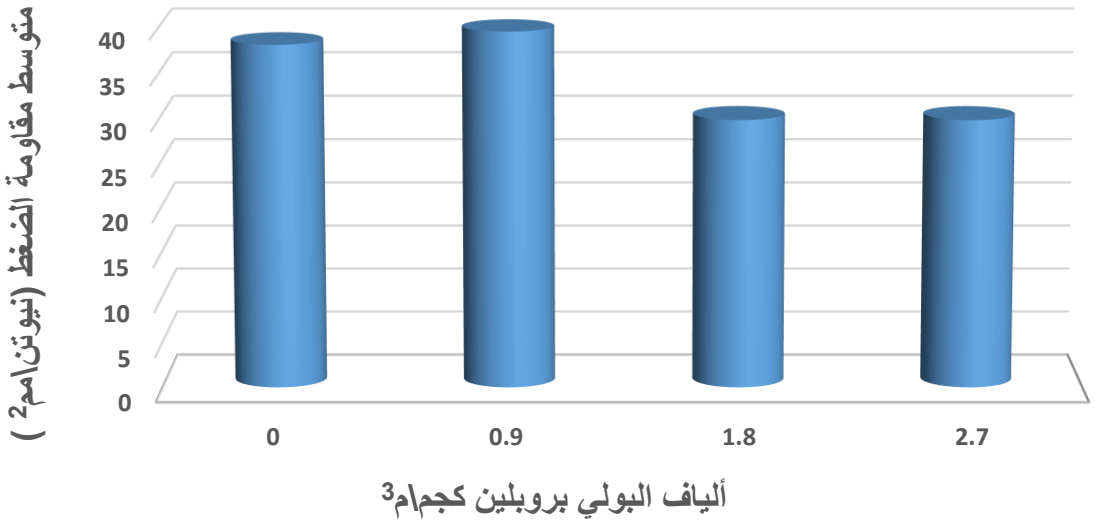
أوضحت النتائج أن إضافة ألياف البولي بروبلين ليس لها تأثير كبير في مقاومة الضغط خلال 28 يوم ولوحظ انه كلما زادت نسبة الألياف في الخلطة قلت مقاومة الضغط، حيث سجلت أفضل مقاومة ضغط عند نسبة ألياف 0.9 كجم/م3 وهي (39.8 نيوتن/مم2) حيث زادت مقاومة الضغط بنسبة 3.81% مقارنة بالخلطة المرجعية، بينما قلت مقاومة الضغط عند إضافة 1.8 و 2.7 كجم/م3 من الألياف وذلك لزيادة نسبة الاستبدال بالإسمنت والذي يعتبر المادة الرابطة للخلطات الإسمنتية كما هو موضح في الشكل (11).

4.2.2 اختبار الشد الغير مباشر

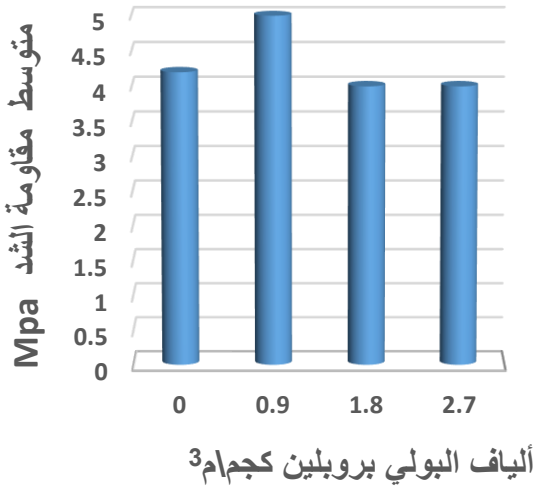
نلاحظ من النتائج ان الخلطة المرجعية أعطت مقاومة شد مقدارها 4.2 MPA أي في حدود 11% من مقاومة الضغط، وسجلت أقصى مقاومة شد عند إضافة 0.9 كجم/م3 من الألياف وكانت (5 Mpa) وبنسبة زيادة 19% عن الخلطة المرجعية، بينما قلت مقاومة الشد بمقدار بسيط عند إضافة 1.8 و 2.7 كجم/م3 من الألياف، كما هو موضح في الشكل (12).

4.2.3 اختبار مقاومة الانحناء للكمرات لعمر 28 يوم

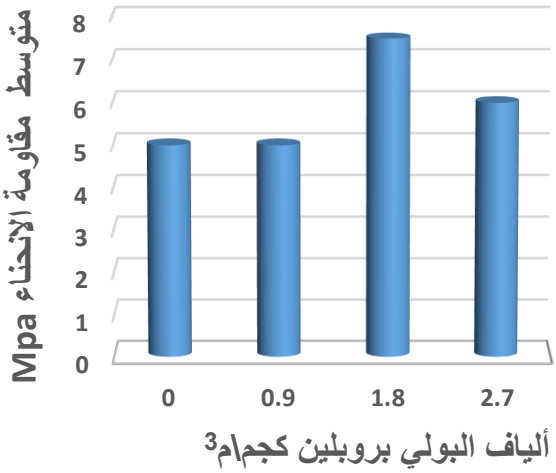
بعد القيام باختبار الانحناء لنسبة 0.9 من الألياف لم يطرأ أي تغيير على النتائج مقارنة بالخلطة المرجعية وعندما ازدادت كمية الألياف بنسبة 1.8 زادت مقاومة الانحناء مقارنة بالخلطة المرجعية وهذا بسبب تأثير الألياف في المونة الإسمنتية, وعندما زادت كمية الألياف بنسبة 2.7 قلت مقاومة الخرسانة للانحناء ولكن تبقى أعلى من الخلطة المرجعية بنسبة 20%، كما هو موضح في الشكل (13).



شكل (11): نتائج اختبار الضغط عند عمر 28 يوم



شكل (12): نتائج اختبار الشد عند عمر 28 أيام



شكل (13): نتائج اختبار مقاومة الانحناء للكمرات

5. الخلاصة والتوصيات

يمكن تلخيص النتائج التي تم التوصل إليها الى النقاط التالي:

- بالنسبة لنتائج الحالة اللدنة فإنه كلما زادت نسبة الألياف قل قطر الانتشار وزاد زمن الانسياب، حيث انسابت الخرسانة بشكل أفضل وفي زمن أقل عند كمية الألياف (0.9) كجم/م^3، بينما قل انسياب الخرسانة عند إضافة الكميات الأخرى (1.8-2.7) كجم/م^3.

- لوحظ أنه عند إضافة كمية (0.9-1.8) كجم/م^3 من الألياف كانت نتائج اختبار حلقة **(J-ring)** ضمن المواصفات البريطانية (BS EN 12350-12,2010)، أما عند إضافة (2.7) كجم/م^3 من الألياف كانت نتيجة الاختبار خارج حدود المواصفات.
- أوضحت نتائج اختبار **(L -box)** أنه كلما زادت كمية الألياف في الخلطة قلت قدرتها على الانسياب والاستواء في المناطق المزدحمة بحديد التسليح.
- لوحظ في نتائج اختبار **V-funnel** أن كلما زادت كمية الألياف زاد زمن التفريغ، أما بالنسبة لاختبار **U-box** كانت جميع النتائج ضمن حدود المواصفة البريطانية (BS EN 12350-9,2010).
- عند إضافة الالياف الى الخلطة بكمية 0.9 كجم/م^3 أدت الى زيادة طفيفة في مقاومة الضغط، بينما عند تم إضافتها بكميات أكبر انخفضت مقاومة الضغط بنسبة 21.8% مقارنة بالخلطة المرجعية.
- عند إضافة الألياف بكميات مختلفة حدثت زيادة في مقاومة الشد الغير مباشر بنسب مختلفة مقارنة بالخلطة المرجعية، حيث سجلت أفضل مقاومة شد عند إضافة كمية 0.9 كجم/م^3 من الالياف بنسبة زيادة (19%) عن الخلطة المرجعية.
- كلما زادت كمية الألياف تغيرت مقاومة الانحناء بقيم مختلفة وبدون أي علاقة واضحة، حيث تم تسجيل أفضل قراءة للكمية 1.8 كجم/م^3 وبنسبة زيادة (50%) عن الخلطة المرجعية.

كما أن هذه الدراسة تأكد على التوصيات التالية:

- دراسة خواص الخرسانة التي لم يتم دراستها في هذا البحث وعلى سبيل المثال تأثير الالياف على نفاذية الخرسانة ونسبة الامتصاص والانكماش ودرجات الحرارة المرتفعة.
- نرى أنه من الضرورة إجراء بعض التجارب على ألياف البولي بروبلين، حيث لم يكن ممكناً اجراء هذه التجارب في معامل الكلية.
- ننصح بدراسة أنواع أخرى من الألياف مثل الألياف الزجاجية والحديدية والكربات البوليميرية الاخرى.

6. المراجع

[1] Aïtcin, Pierre-Claude, (Cements of yesterday and today: concrete of tomorrow), Cement and Concrete research, 30.9: 1349-1359, (2000)

[2] Khayat, K. H., & De Schutter, G., (Mechanical properties of self-compacting concrete), Springer, Vol. 14: p. 161, (2014)

[3] Faraj, Rabar H., et al., (Use of recycled plastic in self-compacting concrete: A comprehensive review on fresh and mechanical properties.), Journal of Building Engineering, 30: 101283, (2020)

[4] Meko, Bikila, Joshua O. Ighalo, and Olatokunbo M. Ofuyatan., (Enhancement of self-compactability of fresh self-compacting concrete: A review.), Cleaner Materials, 1: 100019, (2021)

[5] Shi, Caijun, et al., (A review on mixture design methods for self-compacting concrete.), Construction and Building Materials, 84: 387-398, (2015)

[6] Abo Dhaheer, Mohammed S., et al., (Proportioning of self-compacting concrete mixes based on target plastic viscosity and compressive strength: Part I-mix design procedure.), Journal of Sustainable Cement-Based Materials, 5.4: 199-216, (2016)

[7] Abo Dhaheer, Mohammed S., et al., (Proportioning of self-compacting concrete mixes based on target plastic viscosity and compressive strength: Part II-experimental validation.), Journal of Sustainable Cement-Based Materials, 5.4: 217-232, (2016)

[8] د. عبدالله علي اغويلة، د. حمادة عبدالرحمن يوسف، (تأثير الألياف الزجاجية على الخواص الهندسية للخرسانة ذاتية الدمك)، قسم الهندسة المدنية-الجامعة الأسمرية، (2018)

[9] أ. سعاد أبو القاسم سالم تليش، م. الطاهر لطفي الطاهر يوسف، (تأثير خبث الأفران كبديل جزئي للرمل على الخواص الهندسية للخرسانة ذاتية الدمك)، المؤتمر العالمي الثالث للعلوم الهندسية-طرابلس، (2020)

[10] د. عزالدين السنوسي العطشان، د. فرحات غريبي فرحات، (إنتاج خرسانة ذاتية الدمك باستخدام بودرة الرخام)، المؤتمر الثالث للتشييد في المناطق الصحراوية – هون، (2023)

[11] أ. سعاد أبو القاسم سالم تليش، م. ميار موسى الإدريسي، (دراسة تأثير إضافة الألياف والمخلفات البلاستيكية على الخواص الهندسية للخرسانة ذاتية الدمك)، كلية الهندسة رقدالين وكلية التقنية الهندسية زوارة، (2019)

دراسة مرجعية حول بيوت الخشب في ليبيا

علي عبد السلام المبروك عكاشة
باحث بقسم الهندسة المعمارية وتخطيط مدن
جامعة وادي الشاطئ
للمراسلة a.okasha@wau.edu.ly

الملخص

تهدف هذه الورقة إلى تقديم دراسة مرجعية وتحليلية حول واقع البناء الخشبي في ليبيا، من خلال تسليط الضوء على أهم خصائصه، تحدياته، وفرص تطويره، مع التركيز على السياق المحلي من حيث المناخ، البنية التحتية، والقبول المجتمعي. وقد تم دعم هذه الدراسة بزيارة ميدانية إلى شركة "البيت الخشبي" بمدينة طرابلس، والتي تُعد من أوائل الشركات التي تبنّت مفهوم البيوت الخشبية المتنقلة والمسبقة الصنع في السوق الليبي. أظهرت الدراسة أن البناء الخشبي في ليبيا لا يزال محدود الانتشار، ويواجه عدة معوقات تقنية ومناخية، أبرزها: ارتفاع التكلفة، غياب المواد المعالجة محليًا، ضعف الكودات التنظيمية، وقلة الكوادر الفنية المتخصصة. كما كشفت المقارنة بين البناء الخشبي والبناء الخرساني عن فروقات واضحة في التكلفة، السرعة، المرونة، والأداء البيئي، مما يبرز مزايا تنافسية محتملة للبناء الخشبي في حالات خاصة، مثل المشاريع السياحية والمباني المؤقتة.

قدّمت الورقة تحليلًا شاملًا للملاحظات الميدانية، وتناولت نظرة السوق المحلي، وصولًا إلى اقتراح حلول وتوصيات استراتيجية تشمل: تطوير كود وطني للبناء الخشبي، دعم التعليم الفني والبحث العلمي، إنشاء مصانع محلية لمعالجة الخشب، وتفعيل نماذج بناء تجريبية. وتخلص الدراسة إلى أن اعتماد البناء الخشبي كخيار استراتيجي في ليبيا ممكن وقابل للتوسع، شريطة وجود رؤية وطنية داعمة، وإجراءات مؤسسية تُراعي البعد البيئي والاقتصادي والتقني لهذا النمط من البناء.

الكلمات الدالة: *البيوت الخشبية، هندسة معمارية، بناء مستدام*

Abstract

This paper presents a reference and analytical study on the current state of timber construction in Libya, highlighting its key characteristics, challenges, and development opportunities, with a particular focus on the local context in terms of climate, infrastructure, and societal acceptance. The study is supported by a field visit to “Al-Bayt Al-Khashabi” company in Tripoli, one of the pioneering enterprises introducing mobile and prefabricated wooden houses to the Libyan market. The findings reveal that timber construction in Libya remains limited in adoption and faces several technical and climatic barriers, most notably: high costs, the absence of locally treated materials, weak regulatory codes, and a shortage of skilled professionals. Furthermore, the comparison between timber and concrete construction demonstrates clear differences in cost, speed, flexibility, and environmental performance,

highlighting potential competitive advantages for timber construction in specific cases, such as tourism projects and temporary buildings. The paper provides a comprehensive analysis of field observations and market insights, leading to strategic recommendations including: developing a national timber construction code, enhancing technical education and scientific research, establishing local wood treatment facilities, and implementing experimental pilot projects. The study concludes that adopting timber construction as a strategic option in Libya is feasible and scalable, provided that it is supported by a national vision and institutional measures that consider the environmental, economic, and technical dimensions of this construction approach.

Keywords: *Wooden houses, Architecture, Sustainable construction*

1. المقدمة:

تواجه ليبيا في السنوات الأخيرة مجموعة من التحديات العمرانية والبيئية المتعلقة بإيجاد حلول بناء مستدامة تلائم التحولات المناخية، وتقلبات السوق، وندرة بعض المواد الإنشائية التقليدية مثل الأسمنت والحديد. وقد بات من الضروري البحث عن بدائل جديدة تُحقق التوازن بين الكفاءة البيئية، وسرعة التنفيذ، ومرونة التصميم، دون الإخلال بجودة وأمان المباني. في هذا السياق، يُطرح البناء الخشبي كأحد الحلول الحديثة والممكنة في العالم وفي ليبيا على وجه الخصوص. رغم أن هذا النمط من البناء لا يُعد مألوفاً في البيئة المحلية، إلا أنه يقدم مزايا عديدة مثل الوزن الخفيف، وسهولة التركيب، والكفاءة في العزل الحراري والصوتي. وبينما يُستخدم الخشب على نطاق واسع في بلدان أوروبية وأمريكية لبناء مساكن دائمة ومؤقتة، فإن اعتماده في ليبيا لا يزال محدوداً. ويقتصر غالبًا على الاستراحات أو المباني المؤقتة، دون أن يلقى اهتمامًا واسعًا من الجهات الرسمية أو المجتمعية. غير أن التغيرات المناخية والاقتصادية المستمرة، والبحث عن أساليب بناء بديلة، فتحت المجال لإعادة التفكير في جدوى إدماج الخشب كمادة بناء رئيسية في ليبيا [1]. **سؤال البحث:** ما مدى جدوى اعتماد البناء الخشبي كنظام بديل ومستدام في ليبيا في ظل التحديات البيئية والاقتصادية الحالية؟

وتفترض الورقة أن البناء الخشبي، رغم التحديات، يمكن أن يُمثّل بديلاً استراتيجياً قابلًا للتطبيق محليًا، خاصة في قطاعات البناء المؤقت والسياحي.

2. أهمية الدراسة:

تكتسب هذه الدراسة أهميتها من تناولها لموضوع البناء الخشبي كخيار بديل ومستدام في السياق الليبي، في ظل غياب الاهتمام الأكاديمي والتطبيقي به حتى الآن. فهي تسعى إلى تقييم إمكانيات توطين هذه التقنية من خلال تجربة ميدانية واقعية، مع تحليل الجدوى الفنية والاقتصادية والبيئية. كما تساهم الدراسة في تسليط الضوء على التحديات المحلية مثل توفر المواد، وتقبل المجتمع، والبيئة التشريعية، وتُعد خطوة أولى نحو تطوير استراتيجيات داعمة للبناء المستدام في ليبيا.

- **الإطار النظري** :يرتبط البناء الخشبي ارتباطًا وثيقًا بمفاهيم العمارة البيئية الحديثة، مثل معايير LEED (الريادة في تصميمات الطاقة والبيئة) ومبدأ التصميم السلبي (Passive Design). تهدف هذه النماذج إلى تقليل استهلاك الطاقة، وتعزيز استخدام المواد الطبيعية، وتحسين الراحة الحرارية دون الاعتماد الكبير على أنظمة

ميكانيكية. وبالنظر إلى هذه المبادئ، يُمكن اعتبار البناء الخشبي مدخلًا نحو تحقيق استدامة عمرانية في ليبيا، خصوصًا في المناطق التي تتطلب حلول بناء منخفضة التأثير البيئي.

3. البناء الخشبي في السياق العام:

يُعد البناء الخشبي من أقدم تقنيات البناء، وقد عاد بقوة في سياق العمارة المستدامة نظرًا لخواصه البيئية والوظيفية. تُستخدم في البناء الخشبي أنواع مختلفة من الخشب، ويُعالج بطرق مقاومة للرطوبة والحريق والحشرات. تختلف تقنيات البناء بين الإطارات الخشبية، والألواح المتصالبة، والنظم المدمجة.

4. نبذة عن البناء الخشبي:

يُعد البناء الخشبي من أقدم طرق البناء التي استخدمها الإنسان، لما يتميز به الخشب من خفة الوزن، وسهولة التشكيل، والعزل الحراري والصوتي الجيد. ومع تطور تقنيات المعالجة، أصبح يُستخدم بشكل واسع في مشاريع البناء المستدام، خاصة في المناطق الباردة [2]. تعتمد هذه التقنية على أنواع محددة من الأخشاب مثل الصنوبر، الأرز، البلوط، والخشب المعالج كـــ Glulam و Plywood، وتتنوع أنظمة البناء بين الإطارات الخشبية التقليدية والألواح المتصالبة والهياكل المختلطة. يتميز البناء الخشبي بكفاءته البيئية، وقدرته على تقليل الانبعاثات الكربونية وسهولة تفكيكه وإعادة تدويره، إلا أنه يواجه تحديات كقابلية الاحتراق والحاجة إلى صيانة دورية، ما يتطلب تصميمًا وتنفيذًا دقيقًا يتماشى مع البيئة المحلية والتشريعات المنظمة [2].

5. الزيارة الميدانية – لشركة البيوت الخشبية في طرابلس:

في إطار هذه الدراسة، تم القيام بزيارة ميدانية إلى إحدى الشركات المحلية الرائدة في مجال البناء الخشبي في ليبيا، وهي شركة "البيوت الخشبية"، ومقرها بمدينة طرابلس. هدفت الزيارة إلى الاطلاع عن قرب على طبيعة العمل في هذا المجال، والتعرف على نوعية المواد المستخدمة، وأساليب التنفيذ، والتحديات التي تواجه هذا النمط من البناء في البيئة الليبية. أهم الملاحظات والبيانات المستخلصة من الزيارة هي:

5.1 نوعية الخشب المستخدم:

تعتمد الشركة على خشب البينو (Pine)، الذي يُستورد ويُعالج خصيصاً لمقاومة الرطوبة والظروف المناخية القاسية. وتُستخدم زيوت طبيعية مثل زيت الكتان كل ستة أشهر كنوع من الحماية المستمرة ضد الحشرات والعفن والرطوبة، وهي مواد متوفرة محلياً بتكلفة معقولة [4].

5.2 مدى شيوع البناء الخشبي محلياً:

بحسب إفادة الفنيين في الشركة، فإن البناء الخشبي لا يزال يُعتبر خياراً غير تقليدي في ليبيا، إذ يفضل غالبية الليبيين البناء الخرساني لثقتهم بصلابته وطول عمره. ومع ذلك، فقد بدأ يظهر توجه جديد لاستخدام الخشب في تصميم الاستراحات، والأكواخ السياحية، والمنازل المؤقتة.

5.3 تخصيص مواصفات البناء حسب الزبون:

تتيح الشركة إمكانية تصميم المبنى حسب رغبة العميل، بما يشمل عزل الأسطح باستخدام مواد مثل القطر مينة، وهي فعالة في مقاومة الحرارة والرطوبة. كما يتم دراسة نسبة الرطوبة داخل الخشب لضمان أدائه الطبيعي.

5.4 توفر المواد في السوق المحلي:

أشـــار القائمون على الشـــركة إلى وجود نقص كبير في مواد المعالجة المتقدمة داخل الســـوق الليبي، مثل مثبطات اللهب ومقاومات الفطريات المتطورة. ويتم تعويض ذلك باستيراد كميات محدودة من المواد، مما يرفع تكلفة الإنتاج.

5.5 مخاطر الحريق وطرق الحماية:

لا يوجد حل نهائي لمنع الحرائق في الأبنية الخشبية، لكن تعتمد الشركة على وسائل وقائية أهمها تأريض المبنى كهربائياً، وهي طريقة تُقلل من خطر اندلاع الحرائق نتيجة التماس الكهربائي، وهي من المشكلات الشائعة في ليبيا [4].

5.6 التكلفة المالية:

بحسب الأرقام المقدمة من الشركة، فإن تكلفة بناء المتر المربع من البيت الخشبي تبلغ حوالي 1750 دينار ليبي.

5.7 تصنيف جودة الأخشاب المتوفرة:

تُصنّف معظم أنواع الخشب المتوفرة في ليبيا ضمن الدرجة الثالثة حسب التصنيف العالمي، أي أنها متوسطة أو ضعيفة الجودة. أما الأخشاب من الدرجة الأولى فهي نادرة جداً، وغالبًا لا تتوفر للمستهلك العادي بسبب تكاليفها العالية.

5.8 المبادرة المحلية والابتكار:

تعتبر شـركة البيت الخشـبي أول من أدخل مفهوم البيت الخشـبي المتنقل إلى السـوق الليبي، من خلال دمج الخشـب مع الحديد لتوفير وحدات قابلة للنقل، وتُسـتخدم في مشـاريع سـياحية أو ميدانية. ويُعد هذا الأسـلوب ابتكاراً محلياً يوازن بين الجمالية، والمتانة، وقابلية الفك والتركيب [4]. الصور التالية توضح البناء الخشبي في ليبيا:

الصورة رقم (1) توضح الواجهة الامامية للبيت الخشبي

الصورة رقم (2) توضح منظور داخلي للبيت الخشبي

الصورة رقم (3) توضح الشكل من الداخلي للبيت الخشبي الصورة رقم (4) توضح الشكل من الداخل للبيت الخشبي

الصورة رقم (3) توضح الشكل من الداخلي للبيت الخشبي الصورة رقم (4) توضح الشكل من الداخل للبيت الخشبي

خلاصة الزيارة الميدانية: كشفت الزيارة عن إمكانات واعدة وتحديات واضحة للبناء الخشبي في ليبيا. فنيًا، تعتمد الشركة على خشب البينو المعالج، لكنه يواجه ضعفًا في معايير الجودة والعزل المتقدم. اقتصاديًا، يُعد البناء الخشبي مكلفًا نتيجة استيراد المواد وندرة الخبرات المحلية. بيئيًا، يمتلك هذا النمط من البناء بصمة كربونية منخفضة، إلا أن تطبيق مفاهيم الاستدامة لا يزال محدودًا. اجتماعيًا، يعاني البناء الخشبي من ضعف القبول الثقافي، ويُنظر إليه كمؤقت، ما يتطلب حملات توعية ونماذج تطبيقية ناجحة. أما من حيث الابتكار، فقد برزت أفكار محلية مبتكرة مثل "البيت المتنقل"، مما يشير إلى إمكانية التطوير بدعم مؤسسي وتعاون أكاديمي [4].

6. مقارنة بين البناء الخشبي والبناء الخرساني:

يُعد كل من البناء الخشبي والبناء الخرساني نظامًا إنشائيًا له خصائصه ومزاياه وتحدياته الخاصة، وتعتمد ملاءمته على طبيعة المشروع، والبيئة المناخية، وتوفر المواد، والتكلفة، والهدف من البناء [3]. في الجدول رقم (1) يوضح المقارنة التفصيلية بين النظامين (الخشبي، الخرساني) من خلال مجموعة من المحاور الأساسية.

جدول رقم (1) مقارنة بين النظامين الخشبي والخرساني

وجه المقارنة	البناء الخشبي	البناء الخرساني
الوزن	خفيف يقلل الاحمال على الاساسات	ثقيل يتطلب قواعد واعمدة قوية
المدة الزمنية للتنفيذ	قصيرة (سريع التركيب)	أطول بسبب فترة الصب والمعالجة
التكلفة	اعلى نسبيا يقدر تقريبا (1700د.ل/م2)	اقل نسبيا يقدر تقريبا (1200د.ل/م2)
العزل الحراري والصوتي	ممتاز طبيعيا بدون اضافات	ضعيف ويحتاج مواد عزل إضافية
المتانة وطول العمر	يعتمد على الصيانة اقل من الخرساني	عالي المتانة ويصمد لعقود
مقاومة الحريق	قابل للاشتعال يحتاج معالجة خاصة	مقاوم بطبيعته غير قابل للاحتراق
المرونة التصميمية	مرن وسهل التعديل بعد التركيب	صلب ويصعب التعديل فيه بعد التنفيذ
الاستدامة البيئية	صديق للبيئة قابل لإعادة التدوير	إنتاجه عالي الانبعاثات الكربونية
توفر المواد	محدود محليا ويعتمد على الاستيراد	متوفر بشكل واسع في السوق المحلي
القبول المجتمعي	ضعيف – ينظر الية كمؤقت او كديكور	عالي . يمثل النمط السائد في ليبيا

7. التحديات التقنية والمناخية :

يواجه البناء الخشبي في ليبيا تحديات تقنية مثل غياب المصانع المتخصصة، نقص الكوادر المؤهلة، غياب الكودات الوطنية، وصعوبات في الصيانة. كما يعاني من تحديات مناخية أبرزها الرطوبة في المناطق الساحلية، والحرارة المرتفعة في الداخل، وضعف التهوية، وتأثير الرياح المحمّلة بالغبار.

8. الاستنتاجات:

توصلت هذه الدراسة المرجعية إلى مجموعة من الاستنتاجات التي تُبرز واقع البناء الخشبي في ليبيا من الجوانب الفنية، البيئية، الاقتصادية، والتنظيمية، ورغم محدودية انتشار هذا النوع من البناء حاليًا، إلا أن نتائجه تُظهر إمكانيات واعدة يمكن البناء عليها.

- أظهرت الدراسة أن البناء الخشبي يُستخدم حاليًا بشكل محدود وغالبًا في المشاريع السياحية أو المؤقتة، وذلك نتيجة ضعف القبول المجتمعي، وغياب كودات بناء محلية، بالإضافة إلى ارتفاع تكاليفه بسبب اعتماد مواده على الاستيراد، وضعف الكفاءات الفنية المحلية. ومع ذلك، فإن التحليل أظهر أن هناك فرصًا حقيقية لتوسيع استخدام الخشب في مناطق معينة، خصوصًا في البيئات الجافة أو في البناء المؤقت.
- أظهرت نتائج الزيارة الميدانية لشركة "البيت الخشبي" أن هناك مبادرات محلية رائدة تستحق الدعم والتطوير، حيث نجحت الشركة في تنفيذ وحدات خشبية متنقلة باستخدام تقنيات بسيطة ومواد مستوردة. كما أبرزت التجربة أن غياب التشريعات المنظمة لهذا النوع من البناء يُعد من أبرز العوائق أمام انتشاره، إلى جانب الحاجة لتأهيل كوادر فنية، وتضمين تقنيات البناء الخشبي في البرامج التعليمية والتدريبية.
- من الجانب البيئي، يُعد البناء الخشبي خيارًا مستدامًا يسهم في تقليل البصمة الكربونية، ويعزز من كفاءة استخدام الموارد. إلا أنه لا يزال بحاجة إلى تطبيق مبادئ الاستدامة الشاملة مثل تتبع مصادر الخشب، إعادة التدوير، ورفع كفاءة العزل وتقنيات الحماية.

- بينت المقارنة بين البناء الخشبي والخرساني أن لكل منهما مزاياه وتحدياته، لكن البناء الخشبي يتمتع بمرونة، وسرعة تنفيذ، وكفاءة حرارية وصوتية تجعله مناسبًا في حالات معينة، لا سيما في المشاريع السياحية أو الميدانية. كما أن الاستخدام الجزئي أو التكاملي للخشب في الهياكل قد يمثل بديلاً فعالًا ومتوازنًا.
- تؤكد الدراسة على أهمية تبني استراتيجية متعددة المحاور تشمل تطوير إطار تشريعي واضح، ودعم البحث العلمي، وتشجيع المجتمع على تقبل البناء الخشبي من خلال حملات التوعية وتنفيذ نماذج تطبيقية ناجحة قابلة للتكرار.
- بناءً على التحليل الميداني، والمقارنة التقنية والبيئية والاقتصادية، تُظهر الدراسة أن اعتماد البناء الخشبي كنظام بديل ومستدام في ليبيا هو أمر ممكن وقابل للتنفيذ بشكل تدريجي، خصوصًا في قطاعات مثل السياحة، والمباني المؤقتة، والمناطق الجافة. ومع أن هناك تحديات واضحة تتعلق بالمواد، والكودات، والوعي المجتمعي، إلا أن هذه العوائق يمكن تجاوزها من خلال دعم مؤسسي وتشريعي، وتبني نماذج تجريبية، مما يجعل البناء الخشبي خيارًا واعدًا في المستقبل العمراني للبلاد.
- وبذلك، تؤكد نتائج الدراسة صحة الفرضية المطروحة، والتي تفترض إمكانية اعتماد البناء الخشبي كنظام قابل للتطبيق في السياق الليبي، رغم ما يواجهه من تحديات حالية. وقد بيّنت المعطيات أن هذا الخيار، إذا ما أُحسن تخطيطه وتوفرت له البيئة التشريعية والمؤسسية، قادر على أن يسهم في دعم التحول نحو البناء المستدام في ليبيا.

9. التوصيات:

استنادًا إلى نتائج الدراسة الميدانية والتحليل المقارن بين البناء الخشبي والبناء الخرساني، وفي ضوء التحديات التقنية والمناخية التي تم توثيقها، تُوصي هذه الدراسة بمجموعة من الخطوات العملية التي من شأنها دعم وتعزيز إمكانيات البناء الخشبي في ليبيا، وتوسيع انتشاره بوصفه خيارًا قابلًا للتطبيق ضمن منظومة البناء المستدام:

- تطوير كود وطني للبناء الخشبي: إنشاء معايير فنية وهندسية تنظم استخدام الخشب في البناء، تشمل نوع الخشب، طرق المعالجة، أنظمة العزل، واشتراطات الحماية من الحريق وإشراك الجامعات، والمهندسين الاستشاريين، والجهات الحكومية في صياغة هذا الكود لضمان شموليته وواقعيته.
- إنشاء مراكز تدريب فني ومعاهد متخصصة: تأسيس برامج تدريب مهنية في كليات الهندسة والمعاهد الصناعية تُعنى بتقنيات البناء الخشبي.
- دعم الابتعاث أو التدريب الخارجي في الدول المتقدمة في هذا المجال مثل السويد وكندا والنمسا.
- تشجيع الاستثمار الصناعي المحلي: تقديم حوافز للمستثمرين المحليين لإنشاء مصانع لإنتاج الأخشاب المعالجة، ومكونات البناء الجاهزة مثل الجدران والسقوف الخشبية مسبقة الصنع.
- دعم المشاريع الناشئة في مجال تدوير الأخشاب واستخدامها في أغراض البناء.
- دعم الأبحاث العلمية التطبيقية: تمويل أبحاث جامعية وتجريبية لاختبار مدى توافق الخشب مع المناخ الليبي (الرطوبة، الحرارة، الرياح) دعم مشاريع التخرج التي تتناول نماذج معمارية أو إنشائية باستخدام الخشب.
- تعزيز الوعي المجتمعي: تنظيم حملات إعلامية توعوية تُبرز مزايا البناء الخشبي، خصوصًا من الناحية البيئية والجمالية والمرونة في التصميم وعرض نماذج حقيقية من مبانٍ خشبية ناجحة داخل ليبيا لطمأنينه المجتمع حول أمان هذا النمط.

- تبني نماذج تجريبية حكومية أو بلدية: تنفيذ مشاريع حكومية صغيرة باستخدام البناء الخشبي، مثل مراكز خدمات مؤقتة، مكاتب متنقلة، أكشاك تعليمية أو سياحية، كنماذج عرض وتجريب ومراقبة هذه المشاريع وتقييم أدائها على مدى زمني محدد لتحديد مدى جدوى التوسع فيها.
- دمج البناء الخشبي في مشاريع سياحية ومناطق طبيعية: اعتبار البناء الخشبي خيارًا مفضلًا في المنتجعات والمرافق البيئية والمواقع الطبيعية الحساسة التي تتطلب خفة في التأسيس وأثرًا بيئيًا أقل.

10. المراجع:

[1] World Green Building Council (WGBC). Bringing Embodied Carbon Upfront. (2019).

[2] FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Forests and wood products for a sustainable future. (2021).

[3] Arup & The Built Environment Trust. Timber – Growing our low-carbon future: Time for timber. (2020).

[4] مقابلة ميدانية مع شركة "البيت الخشبي" – طرابلس، ليبيا(15-6-2025)

استخدام البوزولانا المحلية في الخرسانة

علي المدني أبوزيان*[1] عبدالسلام المبروك عكاشة[2]
1 باحث, قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ، البلد براك
2 أستاذ, قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ، البلد براك
*للمراسلة a.aboziyan@wau.edu.ly

الملخص

تعتبر الخرسانة من أكثر مواد البناء استخدامًا في مشاريع الإنشاءات، إلا أن هناك اهتمامًا متزايدًا بتطوير خصائصها من خلال استخدام مواد بديلة تساهم في تحسين أدائها البيئي والميكانيكي. من بين هذه المواد، تبرز البوزولانا الطبيعية، وتحديدًا الميتاكاولين الناتج عن المعالجة الحرارية للطين الكاولين، كأحد الإضافات الفعالة لتحسين خصائص الخرسانة وتقليل الاعتماد على الإسمنت.

في هذا السياق، وانطلاقًا من عدة دراسات تأسيسية أُجريت في **جامعة وادي الشاطئ** حول جدوى استخدام البوزولانا المحلية المتوفرة بكثرة في جنوب ليبيا، تركز هذه الدراسة على تقديم تحليل مقارن وشامل، حيث تم الاقتصار على استخدام نتائج مقاومة الضغط فقط من تلك الأبحاث. يهدف التحليل إلى تقييم الأداء النسبي للميتاكاولين المستخرج من خمسة مواقع رئيسية (سبها، تمنهنت، العافية، أقار، وتاروت) عند نسب استبدال مختلفة للإسمنت (0%، 10%، 15%، و 20%)، مع الأخذ في الاعتبار تأثير الملدنات الكيميائية وطرق المعالجة المختلفة.

وقد أظهر التحليل المقارن أن الأداء الميكانيكي يعتمد بشكل كبير على مصدر المادة البوزولانية، حيث سجلت بوزولانا "سبها "تفوقًا واضحًا ومستمرًا في معظم الظروف التجريبية. كما كشفت النتائج أن نسبة الاستبدال المثلى التي تحقق أفضل أداء تقع في حدود 10% إلى 15%، حيث تمكنت الخلطات البوزولانية في هذه النسب من تجاوز مقاومة الخرسانة المرجعية في الأعمار المتقدمة، خاصة عند استخدامها ضمن خلطات محسنة. علاوة على ذلك، أكدت النتائج على الدور الحاسم للمعالجة الرطبة المستمرة، التي أدت إلى زيادة المقاومة بنسب قد تصل إلى 23% مقارنة بطرق المعالجة الأخرى.

تخلص الدراسة إلى أن الاستخدام المدروس للبوزولانا المحلية، مع تصميم خلطة متكاملة وتطبيق ممارسات معالجة صحيحة، يمثل استراتيجية واعدة لإنتاج خرسانة مستدامة وعالية الأداء في المنطقة.

الكلمات الدالة: *البوزولانا، الميتاكاولين، الطين المحروق، الخرسانة.*

Abstract

Concrete is one of the most widely used construction materials; however, there is a growing interest in enhancing its properties through the use of alternative materials that contribute to improving its environmental and mechanical performance. Among these materials, natural pozzolans, specifically metakaolin derived from the calcination of kaolinitic clay, are regarded as effective admixtures for enhancing concrete properties and reducing cement consumption. In this context, and building upon several foundational studies conducted at **Wadi Al-Shati University** regarding the feasibility of using local pozzolans abundant in southern Libya, this

study focuses on presenting a comprehensive comparative analysis. The research was strictly limited to utilizing compressive strength results from these prior investigations. The analysis aims to evaluate the relative performance of metakaolin extracted from five key locations (Sebha, Tamanhint, Alafia, Aqar, and Tarut) at different cement replacement levels (0%, 10%, 15%, and 20%), while also considering the effect of superplasticizers and different curing methods.

The comparative analysis revealed that the mechanical performance is highly dependent on the source of the pozzolanic material, with 'Sebha' pozzolana consistently exhibiting superior performance under most experimental conditions. Furthermore, the results indicated that the optimal replacement level that achieves the best performance lies within the range of 10% to 15%. At these levels, the pozzolanic concrete mixtures managed to surpass the strength of the reference concrete at later ages, especially when utilized within optimized mixtures. Moreover, the results underscored the critical role of continuous moist curing, which led to a strength increase of up to 23% compared to other curing methods.

The study concludes that the judicious use of local pozzolans, combined with an integrated mix design and proper curing practices, represents a promising strategy for producing sustainable, high-performance concrete in the region.

Keywords: *Pozzolana, metakaolin, fired clay, concrete.*

1. المقدمة:

صناعة الإسمنت من أبرز المصادر المسببة لانبعاثات الكربون عالميًا، حيث يُقدّر أن ما بين 5% إلى 7% من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون تُطلق سنويًا [1]. وتُسهم عملية التكليس للحجر الجيري في إطلاق كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون، بينما يؤدي حرق الوقود الأحفوري لتوفير الطاقة إلى تفاقم الآثار البيئية السلبية. علاوة على ذلك، فإن استخراج المواد الخام اللازمة لإنتاج الإسمنت يتسبب في تدهور التربة واستنزاف الأراضي. ومع تزايد الطلب على الخرسانة نتيجة للتوسع العمراني وتطور البنية التحتية، أصبح الأثر البيئي المرتبط بإنتاج الإسمنت من أهم التحديات التي تواجه تحقيق التنمية المستدامة [2].

تم توظيف البوزولانا الطبيعية على نطاق واسع كبديل جزئي للإسمنت البورتلاندي في العديد من التطبيقات الهندسية، وذلك لما تتمتع به من مزايا تشمل تقليل التكلفة الاقتصادية، وخفض انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، وتقليل نفاذية الخرسانة، فضلاً عن تحسين مقاومتها للتآكل الكيميائي [3]. وتُشتق البوزولانا الطبيعية المستخدمة في إنتاج الإسمنت البوزولاني أساسًا من الصخور البيروكلاستيكية التي تحتوي على نسب مرتفعة من الزجاج البركاني الغني بالسيليكا أو مركب السيليكا والألومينا. ويُعزى النشاط البوزولاني لهذه المواد إلى محتواها العالي من السيليكا التفاعلية، مما يمنحها قدرة فائقة على تحسين خصائص الإسمنت وأدائه [4].

إضافةً إلى الأثر البيئي الإيجابي، يوفر استخدام البوزولانا من المصادر المحلية مزايا اقتصادية ملحوظة، من بينها تقليص تكاليف النقل وتنشيط الاقتصادات المحلية، وتقليل الحاجة إلى استيراد الإسمنت [5]. كما أن توفر البوزولانا في الجنوب الليبي وسهولة استخراجها وانخفاض تكلفتها يجعلها خيارًا مناسبًا لمشاريع البناء، خصوصًا في المناطق النامية. إن دمج البوزولانا المحلية في تصنيع الخرسانة لا يسهم فقط في تقليل الآثار البيئية المرتبطة بإنتاج الإسمنت التقليدي، بل يُعزز أيضًا كفاءة استخدام الموارد ويحسن الجوانب الاقتصادية المتعلقة بتكاليف المواد الخام والنقل [6].

يساهم استخدام البوزولانا كمادة مضافة في تحسين الأداء الميكانيكي ومتانة الخرسانة؛ إذ تؤدي إلى تحسين قابلية التشغيل وتقليل امتصاص الماء، وتحدّ من نفاذية الكلوريدات ومقاومة هجوم الكبريتات، مما يؤدي إلى تكوين بنية مجهرية أكثر كثافة وتماسكًا [7], [8]. وتشير الدراسات الحديثة إلى أن استبدال ما نسبته 15–20% من الإسمنت بالبوزولانا يُسهم في تحسين مقاومة الضغط والشد والانثناء، خاصة بعد فترة معالجة تمتد إلى 28 يومًا [9], [10]. كما تسهم البوزولانا في تقليل حرارة الإماهة خلال التفاعل الكيميائي، مما يجعلها خيارًا مثاليًا في التطبيقات الخرسانية التي تواجه تحديات الشقوق الناتجة عن الحرارة [11].

إدراكًا لهذه الإمكانات، أُجريت في قسم الهندسة المدنية **بجامعة وادي الشاطئ** سلسلة من الدراسات التجريبية الهامة التي تناولت استخدام البوزولانا المحلية [12]–[14]. على الرغم من النتائج القيمة التي قدمتها تلك الدراسات بشكل فردي، إلا أنه لا تزال هناك فجوة بحثية تتمثل في غياب تحليل مقارن وشامل يجمع هذه النتائج في إطار موحد لتقييم الأداء النسبي للبوزولانا من مصادرها المختلفة تحت ظروف تجريبية متنوعة .تهدف هذه الورقة البحثية إلى سد هذه الفجوة من خلال تقديم مراجعة منهجية وتحليل مقارن لبيانات مقاومة الضغط المستخلصة من هذه الدراسات التأسيسية .

2. الهدف من البحث:

1. مقارنة الأداء الميكانيكي للبوزولانا من المصادر الخمسة المذكورة (سبها، تمنهنت، العافية، اقار، وتاروت) بناءً على بيانات مقاومة الضغط المتاحة.
2. تقييم تأثير نسب الاستبدال المختلفة (0%،10%،15%، و 20%) على تطور مقاومة الضغط عبر الدراسات.
3. تحليل دور الملدنات الكيميائية وطرق المعالجة في تعظيم الأداء الميكانيكي للخرسانة البوزولانية.
4. استخلاص استنتاجات موحدة وتقديم توصيات حول نسب الاستبدال المثلى والمصادر الأكثر جدوى للاستخدام في التطبيقات الهندسية في المنطقة.

3. منهجية البحث والمواد المستخدمة:

تعتمد هذه الدراسة على منهجية التحليل المقارن لبيانات مستخلصة من ثلاث رسائل ماجستير سابقة أُجريت في **جامعة وادي الشاطئ** [12]–[14]. تم تجميع وتنظيم بيانات مقاومة الضغط (MPa) ، التي تمثل المتغير التابع، في قاعدة بيانات موحدة لتحليلها. شمل التحليل تقييم تأثير مجموعة من المتغيرات المستقلة الرئيسية : مصدر البوزولانا (من خمس مناطق مختلفة هي سبها، تمنهنت، العافية، أقار، وتاروت) ، نسبة استبدال الإسمنت (0%، 10%، 15%، و 20%)، نوع العينة (مونة أو خرسانة)، استخدام الملدنات الكيميائية، طرق المعالجة، وعمر العينة من (3 إلى 120 يومًا).

المادة البوزولانية الأساسية التي تم تقييمها في الدراسات المصدر هي الميتاكاولين، المنتج محليًا عبر المعالجة الحرارية للطين الكاوليني عند 800 درجة مئوية، مع استخدام الإسمنت البورتلاندي العادي والركام المحلي كمكونات أساسية أخرى. وقد تم إجراء كافة التحليلات الإحصائية الوصفية وإنشاء الرسوم البيانية المقارنة باستخدام برنامج الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية (IBM SPSS Statistics).

4. عرض النتائج ومناقشتها:

يقدم هذا **الفصل** عرضًا تحليليًا للنتائج المستخلصة من البيانات المجمعة، مع التركيز على تقييم تأثير المتغيرات الرئيسية على مقاومة الضغط للخرسانة البوزولانية. تم تنظيم المناقشة بشكل منهجي لتقييم الأداء النسبي للبوزولانا المحلية وتحديد الظروف المثلى لاستخدامها. ولتسهيل عرض تحليل واضح ومفصل للاتجاهات الرئيسية وتأثير المتغيرات المختلفة، تم اختيار بوزولانا "سبها" كدراسة حالة رئيسية للمناقشة المعمقة. وقد جاء هذا الاختيار بناءً على الأداء الميكانيكي المتفوق الذي أظهرته بوزولانا سبها بشكل متسق عبر معظم الظروف التجريبية، مما يجعلها النموذج الأمثل لشرح الظواهر الأساسية. بعد ذلك، سيتم تقديم مقارنات مع المواقع الأخرى في الأقسام التلخيصية.

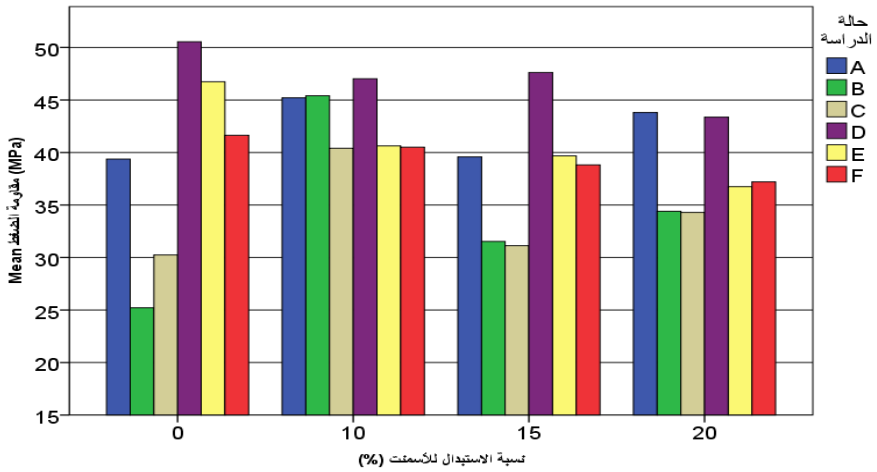
"لتسهيل عرض النتائج، تم ترميز حالات الدراسة المختلفة كما هو مبين في الجدول".(1)

جدول 1 حالة الدراسة:

A	دراسة 1 (مونة)
B	دراسة 2 (خرسانة, بدون ملدن)
C	دراسة 2 (خرسانة, 2.5% ملدن)
D	دراسة 3 (خرسانة, معالجة بالغمر)
E	دراسة 3 (خرسانة, معالجة بالخيش المبلل)
F	دراسة 3 (خرسانة, معالجة بالألواح البلاستيكية)

4.1 الأداء الميكانيكي عند عمر 28 يومًا:

يوضح الشكل (1) مقارنة شاملة لأداء بوزولانا سبها عبر نسب الاستبدال المختلفة مع أداء العينات المرجعية، وذلك لكل حالة من حالات الدراسة عند عمر 28 يومًا.



الشكل (1) مقارنة شاملة لأداء بوزولانا سبها عبر نسب الاستبدال المختلفة مع أداء العينات المرجعية، وذلك لكل حالة من حالات الدراسة عند عمر 28 يومًا.

يكشف التحليل الأولي عند هذا العمر أن جميع خلطات سبها البوزولانية سجلت مقاومة ضغط أقل من عيناتها المرجعية الخاصة بكل دراسة. يمكن تفسير ذلك بوضوح من خلال "تأثير التخفيف (Dilution Effect) "؛ حيث أن استبدال جزء من الإسمنت سريع التصلب بمادة بوزولانية أبطأ في التفاعل يؤدي بالضرورة إلى تقليل المقاومة الأولية. ومع ذلك، فإن التحليل الأعمق لهذا الرسم يكشف عن الدور الحاسم الذي يلعبه تصميم الخلطة وظروف المعالجة.

4.2 تأثير ظروف الخلط والمعالجة:

إن الفروقات الهائلة في الأداء بين حالات الدراسة المختلفة، حتى عند استخدام نفس المواد ونسب الاستبدال، تسلط الضوء على أهمية العوامل المساعدة في تصميم الخلطة.

4.2.1 تأثير الملدنات الكيميائية:

عند مقارنة نتائج الدراسة الثانية في الشكل (1)، نجد نتيجة لافتة. على عكس المتوقع، لم تؤدِ إضافة 2.5% من الملدن الكيميائي إلى تحسن المقاومة في هذه الظروف التجريبية المحددة. هذا لا ينفي الأهمية العامة للملدنات، بل يؤكد أن تأثيرها يعتمد بشكل كبير على تصميم الخلطة بالكامل، وخاصة نسبة الماء إلى الإسمنت. الفائدة الحقيقية للملدنات تظهر عند استغلالها لتقليل محتوى الماء، وهو ما يتضح عند مقارنة هذه النتائج بنتائج الدراسة الثالثة التي استخدمت الملدنات ضمن خلطة محسنة.

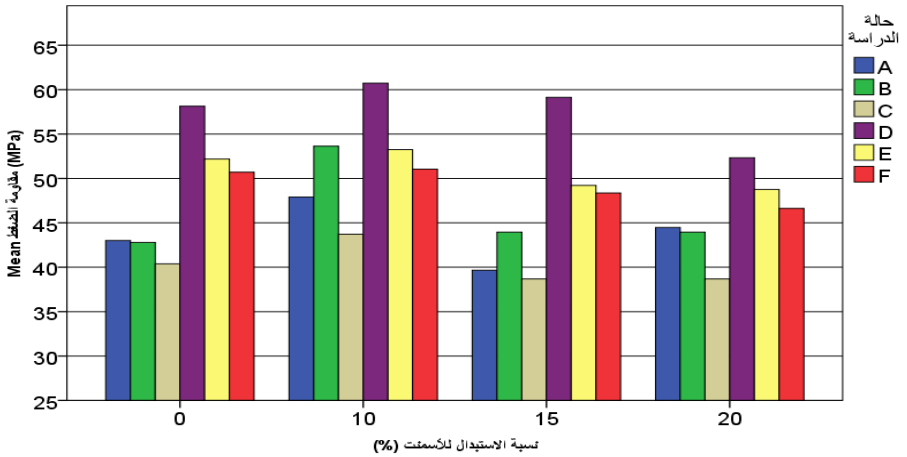
4.2.2 تأثير طرق المعالجة:

تؤكد نتائج الدراسة الثالثة بشكل قاطع أن طريقة المعالجة هي العامل الأكثر تأثيرًا في تحقيق أقصى مقاومة ممكنة. عند نسبة استبدال 15% كمثال، سجلت العينة المعالجة بالغمر المستمر بالماء مقاومة بلغت 47.62 ميجا باسكال، بينما سجلت المعالجة بالألواح البلاستيكية مقاومة أقل بكثير (38.82 ميجا باسكال)، بفارق يصل إلى 23%.

مناقشة :هذا الفارق الهائل يثبت أن التفاعل البوزولاني، وهو تفاعل كيميائي بطيء يستمر لأسابيع وأشهر، حساس جدًا لوجود الرطوبة. المعالجة بالغمر توفر بيئة مثالية مشبعة بالماء بشكل مستمر، مما يسمح للتفاعلات بالاستمرار بكفاءة قصوى، بينما تهدف المعالجة بالألواح البلاستيكية فقط إلى منع تبخر ماء الخلط الأولي، وهي طريقة غير كافية لإطلاق العنان للإمكانات الكاملة للخرسانة البوزولانية.

4.3 تطور المقاومة وتحديد نسبة الاستبدال المثلى:

يُعد تقييم الأداء في الأعمار المتقدمة هو المقياس الحقيقي لفعالية المواد البوزولانية. ويكشف عن تحول جوهري في أداء الخلطات البوزولانية.



شكل 2 مقارنة المقاومة المتأخرة (90\120 يوما) عبر الدراسات (موقع سبها)

تفوّق البوزولانا على العينات المرجعية :النتيجة الأهم والأكثر وضوحًا هي تفوّق الخلطات البوزولانية على العينات المرجعية في الأعمار المتقدمة في معظم الحالات عالية الأداء. في الظروف المثلى (الدراسة الثالثة، المعالجة بالغمر)، سجلت العينة ذات نسبة استبدال 10% مقاومة بلغت 60.73 ميجا باسكال، متجاوزة بذلك العينة المرجعية عالية الأداء (58.13 ميجا باسكال). إعادة تقييم النسبة المثلى: تشير نتائج الأعمار المتقدمة بقوة إلى أن نسبة استبدال 10% هي النسبة الأكثر موثوقية وتفوقًا على المدى الطويل عبر معظم الظروف التجريبية، حيث سجلت أعلى مقاومة إجمالية في كل من الدراسة الثانية والدراسة الثالثة.

مناقشة: تثبت هذه النتائج بشكل قاطع أن استخدام بوزولانا سبها بنسب استبدال مدروسة (تحديدًا 10% إلى 15%) في خرسانة مصممة جيدًا لا يؤدي فقط إلى إنتاج خرسانة مكافئة للخرسانة التقليدية، بل ينتج خرسانة أعلى أداءً ومتانة على المدى الطويل. هذه المساهمة المتأخرة في المقاومة هي الميزة الأهم للمواد البوزولانية، وتجعلها خيارًا مثاليًا للمنشآت التي تتطلب ديمومة وأداءً عاليًا.

5. الاستنتاجات والتوصيات:

بناءً على التحليل المقارن المنهجي لبيانات مقاومة الضغط المستخلصة من ثلاث دراسات سابقة، تم التوصل إلى مجموعة من الاستنتاجات والتوصيات الهامة المتعلقة بتقييم أداء البوزولانا المحلية من جنوب ليبيا كبديل جزئي للإسمنت في الخرسانة.

5.1 الاستنتاجات:

فعالية البوزولانا المحلية وجودتها المتباينة: أثبتت الدراسة بشكل قاطع أن البوزولانا المحلية (الميتاكاولين) المتوفرة في جنوب ليبيا تمتلك نشاطًا بوزولانيًا فعالاً يساهم في تطوير مقاومة الضغط. ومع ذلك، يوجد تدرج واضح في جودة وأداء المواد من المصادر الخمسة المختلفة. وقد أظهرت بوزولانا سبها تفوقًا مستمرًا وأداءً ميكانيكيًا هو الأعلى في معظم الظروف التجريبية، تليها في الأداء بوزولانا تمنهنت، مما يجعلهما المرشحين الأفضل للتطبيقات الهندسية التي تتطلب مقاومة عالية.
تحديد نسبة الاستبدال المثلى: إن نسبة الاستبدال المثلى للبوزولانا ليست قيمة ثابتة، بل تعتمد بشكل حاسم على جودة تصميم الخلطة وظروف المعالجة. في ظل الظروف المثالية للخرسانة عالية الأداء (باستخدام الملدنات والمعالجة بالغمر المستمر)، تم تحديد النسبة المثلى عند 15%، حيث أظهرت الخرسانة أقصى أداء بوزولاني عند عمر 28 يومًا. ومع ذلك، في الأعمار المتقدمة (120/90 يومًا)، أظهرت نسبة استبدال 10% تفوقًا ملحوظًا، حيث تجاوزت مقاومتها مقاومة العينة المرجعية، مما يجعلها النسبة الأكثر موثوقية وأمانًا لتحقيق أداء عالٍ على المدى الطويل.
الأثر الحاسم للملدنات الكيميائية والمعالجة الرطبة: أكد التحليل أن تعظيم الفائدة من استخدام البوزولانا لا يمكن تحقيقه إلا من خلال تصميم خلطة متكاملة. إن استخدام الملدنات الكيميائية ضروري لتحسين بنية الخرسانة. والأهم من ذلك، أثبتت النتائج أن جودة المعالجة هي العامل الأكثر تأثيرًا؛ حيث أدت المعالجة بالغمر بالماء إلى زيادة مقاومة الضغط بنسبة تصل إلى 23% مقارنة بالمعالجة بالألواح البلاستيكية. هذا يثبت أن توفير بيئة رطبة ومستمرة هو شرط أساسي لضمان استمرار التفاعلات البوزولانية طويلة الأمد.
تطور المقاومة على المدى الطويل: الاستنتاج الأكثر أهمية هو أن الخرسانة البوزولانية المحسنة تظهر معدل اكتساب قوة أعلى بكثير من الخرسانة المرجعية في الفترة ما بعد 28 يومًا. وقد تمكنت الخلطات البوزولانية بنسبة استبدال 10% و 15% من تجاوز مقاومة العينات المرجعية عالية الأداء عند الأعمار المتقدمة (90 و 120 يومًا). هذا دليل قاطع على أن التفاعل البوزولاني المستمر يساهم في إنتاج خرسانة أكثر كثافة ومتانة على المدى الطويل.

5.2 التوصيات:

بناءً على الاستنتاجات المذكورة أعلاه، تقترح الدراسة التوصيات التالية:
التوصية باستخدام البوزولانا المحلية، وخاصة من مصدري سبها وتمنهنت، كبديل جزئي للإسمنت في المشاريع الإنشائية في المنطقة بنسبة استبدال تتراوح بين 10% إلى 15%. والتأكيد على ضرورة تضمين الملدنات الكيميائية في تصميم الخلطات الخرسانية البوزولانية كجزء لا يتجزأ من التصميم وليس كخيار إضافي.
التشديد على أهمية تطبيق ممارسات معالجة رطبة صارمة ومستمرة لمدة لا تقل عن 7 إلى 14 يومًا، مع تفضيل طريقة الغمر بالماء أو التغطية المستمرة بالخيش المبلل لضمان تحقيق الأداء المستهدف.

6. قائمة المراجع:

[1] B. Radke, *Mechanical and Transport Properties of Alkali-Activated Natural Pozzolans as Sustainable Binders*, 2014. [Online]. Available: https://digitalscholarship.unlv.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1096&context=award

[2] N. Cobîrzan, R. Muntean, and R. Felseghi, *Valorification of Waste for Sustainable Concrete Production*, pp. 159–172, IGI Global, 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.4018/978-1-6684-8238-4.ch007

[3] G. Habert, N. Choupay, J. Montel, D. Guillaume, and G. Escadeillas, "Effects of the secondary minerals of the natural pozzolans on their pozzolanic activity," *Cement and Concrete Research*, vol. 38, no. 7, pp. 963–975, 2008. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.02.005

[4] F. Massazza, "Pozzolanic cements," *Cement and Concrete Composites*, vol. 15, pp. 185–214, 1993.

[5] O. M. Sierra et al., "Characterization and Reactivity of Natural Pozzolans from Guatemala," *Applied Sciences*, vol. 12, 2022. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/app122111145

[6] M. S. Meddah, N. Benkari, and M. Al-Busaidi, "Potential Use of Locally and Traditionally Produced Bending Construction Material," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 471, no. 4, p. 042008, 2019. [Online]. Available: https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/4/042008

[7] T. A. Fode, Y. A. C. Jande, and T. Kivevele, "Effect of Natural Pozzolana on Physical and Mechanical Properties of Concrete," 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.1155/2024/3356641

[8] M. Rangrazian, R. Madandoust, R. Mahjoub, and M. Raftari, "Experimental Investigations on the Engineering Properties of Pozzolanic Concrete Reinforced with Fibers," *Materials Today Communications*, vol. 34, p. 105129, 2022. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.105129

[9] R. Torres-Ortega, D. L. Torres-Sanchez, and T. López-Lara, "Mechanical properties of hydraulic concretes with partial replacement of Portland cement by pozzolans obtained from agro-industrial residues: a review," *Heliyon*, vol. 11, no. 1, p. e41004, 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41004

[10] P. Astuti, D. Firjatullah, A. V. Argenta, and A. Y. Purnama, "Compressive strength and life cycle analysis of green patch repair mortar made by Portland Pozzolan Cement," *BIO*

Web of Conferences, vol. 144, p. 06001, 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.1051/bioconf/202414406001

[11] V. Sata, "The Use of Local Pozzolan in Fiber Reinforced Concrete," *Engineering and Applied Science Research*, vol. 37, no. 1, pp. 29–37, 2010. [Online]. Available: https://www.tci-thaijo.org/index.php/easr/article/download/1687/1397

[12] H. M. A. Alamin, "Use Of Local Poaaolanic Material For Concrete Production," M.S. thesis, Dept. of Civil Eng., Sebha Univ., Sebha, Libya, 2008.

[13] A. E. Idriss, "Influence of South Libya Pozzolanic Materials on Properties of fresh concrete," M.S. thesis, Dept. of Civil Eng., Sebha Univ., Sebha, Libya, 2017.

[14] م. مادي، "تأثير نوع فترة المعالجة على مقاومة الخرسانة البوزولانية،" رسالة ماجستير، قسم الهندسة المدنية، جامعة سبها، سبها، ليبيا، 2017.

دور الصلب المستدام في استدامة قطاع البناء

سالم مصباح الكيلاني[1] ، سعد احمد الاعوج[2]
1. رئيس قسم المنتجات الثانوية ، الشركة الليبية للحديد والصلب ،
2. أخصائي بحوث تسويق ، الشركة الليبية للحديد والصلب ،
alkilani@libyansteel.com

الملخص

يعد الصلب من أكثر المواد التي يُعاد تدويرها في العالم، مما يسهم في الحد من الحاجة إلى استخراج المعادن الخام وتخفيض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، و يجعل منه المادة الاكثر استدامة. وفي اطار سعي العالم لتحقيق اهداف الامم المتحدة للتنمية المستدامة يتجه قطاع صناعة الصلب الى التوجه نحو الصلب المستدام والذي يعتمد على استخدام تقنيات إنتاج أكثر كفاءة للطاقة، وكذلك استخدام الصلب المُعاد تدويره في التصنيع للمساهمة في تقليل استهلاك الطاقة والحد من انبعاثات الغازات الدفيئة. يساهم الصلب المستدام بشكل كبير في تعزيز استدامة قطاع البناء حيث يلعب الصلب المستدام دورا محوريًا في تقليل التأثير البيئي لصناعة الحديد والصلب وتحقيق كفاءة في استخدام الموارد الطبيعية ، ويعزز الصلب المستدام من كفاءة استخدام الموارد الطبيعية، حيث يتم استخدامه في أنظمة بناء حديثة مثل الهياكل الفولاذية الخفيفة الوزن، مما يساهم في تقليل استهلاك المواد الأخرى مثل الخرسانة و المساهمة في تعزيز الاقتصاد الدائري في صناعة البناء. في هذه الورقة سنتطرق الى التعريف بالصلب المستدام ودوره في استدامة قطاع البناء و فرص وتحديات انتاجه واستخدامه عالميا ومحليا ، واستعرض تجارب بعض الدول في استخدام الصلب في المساهمة في استدامة مشاريع البناء. وعلى الصعيد المحلي ستستعرض الورقة مجهودات الشركة الليبية للحديد والصلب لإمكانية الدخول في مجال صناعة الصلب المستدام وتوفيره محلياً ، بالإضافة الى التحديات الدخول لهذا المجال.

الكلمات المفتاحية: *الصلب المستدام ، اهداف الامم المتحدة للتنمية المستدامة ، استدامة ، استدامة البناء ، الاقتصاد الدائري.*

Abstract

Steel is a carbon-efficient material that is recycled worldwide, reducing the need for raw metal extraction and carbon dioxide emissions, making it the most sustainable material.

As we strive to achieve the United States' Sustainable Development Goal, the steel industry is moving toward sustainable steel, which relies on the use of more energy-efficient production technologies. Recycled steel also contributes to reducing energy consumption and greenhouse gas emissions. This contributes fully to enhancing the sustainability of the construction sector, as industrial sustainability focuses on reducing the strength of iron and steel and the revitalization of natural resources. Sustainability enhances the use of natural resources, as it is used in modern systems such as lighting and stainless steel, reducing the

consumption of other materials such as concrete and contributing to the cycle of economic development in the construction industry. In this specialization, we will explore the definition of sustainable steel, its role in the sustainability of the construction sector, and the opportunities and challenges of its new production, both globally and locally. We will also review the experiences of some countries in using steel in sustainable construction projects. On the local level, the Libyan Iron and Steel Company's efforts to enter the steel industry and improve its performance locally will be reviewed, in addition to the challenges of entering this field.

1. اهداف الدراسة:

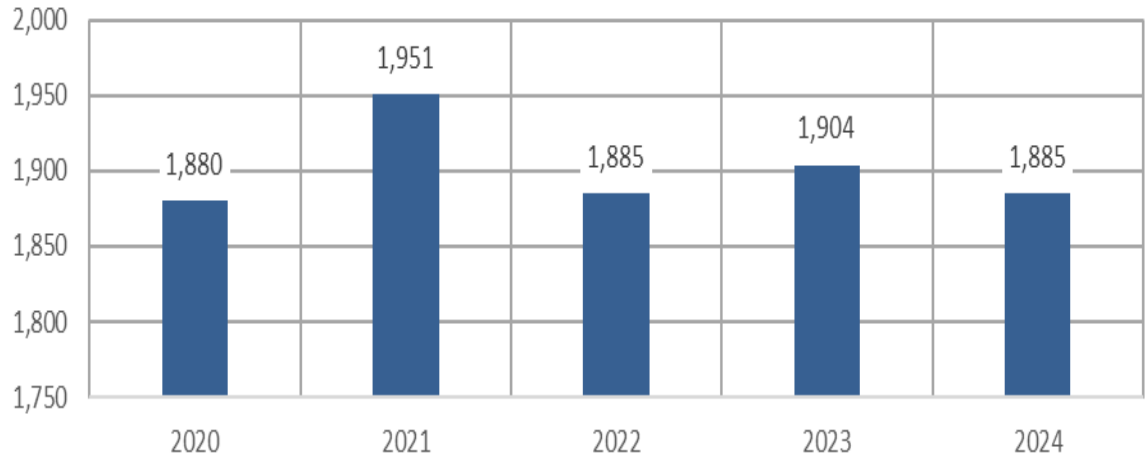
تهدف الورقة للتعريف بالصلب المستدام ودوره في المحافظة على البيئة وخفض الانبعاثات وتقليل الموارد وتكلفة الانتاج كما تهدف الورقة الى ابراز دور الصلب المستدام في استدامة قطاع البناء.

2. صناعة الحديد والصلب

الحديد هو أهم عنصر فلزي عرفته الإنسانية فهو الأكثر استخداما وهو أكبر الفلزات وأكثرها استخداما في صناعاته وتطبيقاته، وتعرف صناعة الحديد والصلب بأنها تحويل الحديد من خاماته الى الصلب بمرورها بعدة مراحل من التعدين الى الاختزال والصهر والدرفة للحصول على المنتجات النهائية للصلب القابلة للاستخدامات في العديد من المجالات.

3. الإنتاج العالمي من الصلب:

تدرج الإنتاج العالمي من الصلب السائل خلال السنوات من 2020 إلى 2024 م بين 1,880 الى ما يقارب 2,000 مليون طن سنوياً ، والشكل (1) يبين الإنتاج العالمي للصلب للسنوات من 2020 الى 2024 م.



الشكل (1) الإنتاج العالمي للصلب للسنوات من 2020 الى 2024 م (مليون طن)

والجدول (1) يبين الاستهلاك الظاهري للصلب العالمي وفي ليبيا للسنوات (2014 الى 2023 م)

الجدول(1) الاستهلاك الظاهري للصلب العالمي وليبيا (كجم/فرد)

السنة	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	المتوسط
ليبيا	296	249	245	166	168	266	247	284	101	94	211.6
العالم	229	219	219	232	238	244	242	248	238	236	234.5

4. الصلب المستدام :

الصلب المستدام هو الصلب التي تراعي فيه عمليات إنتاجه التقليل من الأثر البيئي لهذه الصناعة من خلال تعزز الكفاءة في استخدام الموارد والتقليل من النواتج الضارة بالبيئة ، وتلتزم بالمعايير الاجتماعية والاقتصادية، مع الحفاظ على الجودة العالية للمنتج. يتم تحقيق ذلك من خلال تقليل انبعاثات الكربون، تحسين كفاءة الطافة واستخدام الطاقة المتجدد، إعادة تدوير المواد الخام (مثل الخردة المعدنية ، المياه وغيرها)بالإضافة الى تطبيق مبادئ الاقتصاد الدائري.

5. انتاج الصلب المستدام وتحقيقه شروط الاستدامة.

وضعت منظمة الصلب العالمي (world steel) **ميثاق الاستدامة** والذي يعتمد على عدد 9 مبادي لتحقيق الاستدامة في صناعة الحديد والصلب وتحتوي هذه المبادئ 20 معيار ، وحققت 44 شركة الشروط المشار اليها وقبلت كأعضاء مؤسسيين للميثاق ووضعت المنظمة تمييز للشركات المتميزة لقب (ابطال الاستدامة) والجدول رقم (2) يوضح المبدأ الموضوعة لتقييم الاستدامة لشركات صناعة الحديد والصلب.

الجدول (2) مبدأ ومعايير الاستدامة لشركات صناعة الحديد والصلب

م	الموضوع	المبدأ	المعايير
1	جهود مكافحة تغير المناخ	معالجة تغير المناخ بشكل استباقي واتخاذ إجراءات فعالة لتقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري في الصناعة	1. بيانات انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أو استهلاك الطاقة المقدمة إلى منظمة الصلب العالمي أو الحكومات الوطنية. 2. الخطط والأهداف الموضوعة لخفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وغازات الاحتباس الحراري
2	الاقتصاد الدائري	تعظيم الاستخدام الفعال للموارد طوال دورة حياة منتجات الصلب ودعم المجتمع لتحقيق اقتصاد دائري	3. بيانات مؤشر دورة الحياة المقدمة إلى منظمة الصلب العالمي و/ أو المتاحة من خلال الإقرارات البيئية المعتمدة 4. بيانات عن المنتجات الثانوية والمواد المدفونة في مدافن النفايات والمحروقة المقدمة لمنظمة الصلب العالمي
3	الحماية البيئية	إجراء العمليات بطريقة مسؤولة بينيا	5. الاستثمار في مشاريع تحسين الموقع البيئي و/ أو تنفيذها. 6. المعلومات المنشورة عن ملوثات الهواء واستخدام المياه 7. استخدام نظام إدارة بيئية.
4	السلامة والصحة	توفير مكان عمل آمن وصحي والتصرف في حالات حوادث الصحة والسلامة، وتقييم المخاطر والفرص	8. بيانات السلامة المقدمة إلى منظمة الصلب العالمي 9. استخدام نظام إدارة السلامة والصحة 10. نشر إحصاءات أداء السلامة. 11. المشاركة في يوم الصلب العالمي للسلامة والصحة.
5	القوى العاملة	تمكين القوى العاملة من تقديم وإظهار اقصى إمكاناتهم و توفير بيئة عمل مناسبة وتساوي الفرص بينهم.	12. توفير وقت تدريب للموظفين في صناعة الصلب العالمي 13. وضع سياسات لإدارة الموارد البشرية.
6	المسؤولية الاجتماعية	بناء الثقة وإنشاء علاقات بناءة مع المجتمعات المحلية.	14. إشراك المجتمع، والاستثمار، والمشاركة في أنشطة المسؤولية الاجتماعية للشركات.

م	الموضوع	المبدأ	المعايير
7	سلاسل القيمة والتوريد	تطبيق ممارسات أعمال مسؤولة على امتداد سلسلة القيمة	15. استخدام قواعد أو أنظمة سلسلة التوريد و/ أو إدارة المشتريات
8	شفافية العمليات	إجراء العمليات بمعايير عالية وعمليات شفافة	16. وضع مدونة قواعد سلوك العمل 17. نشر تقرير الاستدامة أو المسؤولية الاجتماعية للشركات 18. إشراك أصحاب المصلحة والتواصل معهم
9	الابتكار والتطوير	متابعة الابتكارات في التقنيات والمنتجات لتحقيق التنمية الاقتصادية المستدامة	19. بيانات حول استثماراتها في عمليات ومنتجات جديدة، شاملةً النفقات الرأسمالية (CAPEX) وأبحاث التطوير (R&D) المقدمة إلى منظمة الصلب العالمي 20. بيانات القيمة الاقتصادية المضافة (EVD) المقدمة إلى منظمة الصلب العالمي

ونشرت منظمة الصلب العالمي المؤشرات العالمية للصلب للسنوات من 2003 الى 2023 م ، والجدول (3) يبين مؤشرات الاستدامة للسنوات من 2019 الى 2023 م :

الجدول (3) مؤشرات الاستدامة للسنوات من 2019 الى 2023 م

الجانب	المبدأ	وحدة القياس	2023	2022	2021	2020	2019
الأداء البيئي	**كثافة انبعاثات CO_2**	(طن من CO_2 / طن من الصلب السائل)	1.92	1.92	1.91	1.89	1.83
	كثافة الطاقة	(جيجا جول/ طن الصلب السائل)	21.27	21.01	21.04	20.43	19.86
	كفاءة المواد	% (من المواد المحولة إلى منتجات صلبة وسائلة ومنتجات ثانوية)	98.15	97.59	97.47	97.96	97.49
	نظام إدارة البيئة	% (من الموظفين والمقاولين العاملين في مرافق الإنتاج المسجلة)	94.81	97.19	95.62	96.21	97.16
الأداء الاجتماعي	**معدل تكرار الإصابات الضائعة**	(عدد الإصابات/مليون ساعة عمل)	0.76	0.85	0.85	0.77	0.83
	تدريب الموظفين	أيام التدريب/الموظف	8.9	8.22	7.62	7.2	6.9
الأداء الاقتصادي	**الاستثمار في العمليات والمنتجات الجديدة**	% (من الإيرادات)	7.25	6.37	6.34	8.03	7.05
	القيمة الاقتصادية المضافة	% (من الإيرادات)	98.82	96.57	92.8	97.82	98.27

6. مساهمة الصلب المستدام في تحقيق أهداف الأمم المتحدة للتنمية المستدامة.

وضعت الأمم المتحدة 17 هدف للتنمية المستدامة وهي اهداف تغطى جميع مجالات الحياة ، هذه الأهداف تعمل على تحسين جودة الحياة والمحافظة على البيئة والموارد والحماية من التلوث والهدر، وصناعة الحديد والصلب تتقاطع مع هذه الأهداف بما يدفع بها الى تبني هذه الأهداف للمساهمة في تبني العديد من التقنيات الحديثة الصديقة للبيئة وتجعل من هذه الصناعة صناعة مستدامة ، ويخدم الصلب المستدام عدد من اهداف الأمم المتحدة للتنمية أهمها:

6.1 الهدف رقم (9) (الصناعة والابتكار):

تبني صناعة الحديد والصلب مبدأ التصنيع الأخضر وهو توجه صناعي يهدف إلى تقليل الآثار البيئية السلبية للإنتاج الصناعي مع الحفاظ على الموارد الطبيعية وتحقيق التنمية المستدامة، يشمل ذلك استخدام مصادر الطاقة المتجددة، وتقليل النفايات، وإعادة التدوير، وتحسين كفاءة الطاقة، واستخدام مواد بالإضافة الى **استخدام التصنيع الرشيق والتقنية الخضراء**.

6.2 الهدف 12 (الاستهلاك والإنتاج المسؤول)

ولتحقيق هذا الهدف يتم تصميم دورة حياة المنتج بالكامل بحث يتم تقليل النفايات من خلال تصميم المنتجات من أجل إعادة استخدامها أو إعادة تدويرها أو تحويلها إلى سماد في نهاية دورة الحياة. وتعتبر إدارة سلسلة التوريد جانب آخر من جوانب الاستدامة.

6.3 الهدف رقم 13 (العمل من اجل المناخ)

ويشمل هذا الهدف الحد من انبعاثات الكربون للحد من البصمة الكربونية (تقليل انبعاثات الكربون) ، بالإضافة الى حماية المناطق الطبيعية ولهذا تلتزم شركات التصنيع الأخضر بحماية البيئة الطبيعية من خلال الحفاظ على الموارد الطبيعية والحياة البرية والتنوع البيولوجي.

7. التقنيات المساهمة في إنتاج الصلب المستدام.

على الرغم من انخفاض احتياجات الطاقة المطلوبة لإنتاج كل طن من الصلب خلال العقدين الماضيين، إلا إن النمو في معدلات الإنتاج نتيجة زيادة الطلب العالمي أدت إلى زيادة مطردة في إجمالي استهلاك الطاقة لهذه الصناعة الحيوية؛ وبالتالي زيادة انبعاثات غاز «ثاني أكسيد الكربون»، والغازات الدفيئة بشكل عام، وهو الأمر الذي دفع العديد من مصنعي الحديد والصلب حول العالم إلى البحث والتطوير، وتجربة تقنيات جديدة في عمليات التصنيع؛ بهدف مواجهة هذه التحديات، وذلك عن طريق تطبيق مبادئ الاستدامة عن طريق السبل التالية:

7.1 إعادة التدوير

يمكن جمع خردة الصلب الناتجة خلال العمليات التصنيعية، بالإضافة إلى الصلب الموجود في مختلف المنتجات في نهاية عمرها الافتراضي، على سبيل المثال: المبنى التي يتم هدمها، أو السيارات التي لم تعد صالحة للاستخدام، أو استعادة المعادن الموجودة في الآلات والمعدات المختلفة، حيث تصل معدلات استعادة الصلب العالمية من المنتجات في نهاية عمرها الافتراضي نسبة تقدر بـ (90%) لكل من السيارات والآلات، (85%) للبناء، و(50%) في الأجهزة الكهربية والمنزلية. على الصعيد العالمي فإن المحتوى المعاد تدويره في إنتاج الصلب يمكن أن يرتفع مع زيادة النمو في الإنتاج، والجدول (4) يبين كميات الخردة الموردة والمتداولة بين دول العالمً بالإضافة للكميات الخردة المستخدمة داخل الدول ولا يتم تصديرها او استيرادها.

الجدول (4) كمية الخردة المتبادلة بين الدول العالم (مليون طن)

السنة	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
كمية الخردة	95.3	84.0	88.0	99.2	103.3	102.3	98.5	100.7	96.7	97.4

7.2 التحول الى طرق انتاج مستدامة

يتم إنتاج أغلب الحديد والصلب في الأفران العالية Blast Furnace (BF) أو أفران الأكسجين القاعدية Basic Oxygen Furnace (BOF)، وهو ما يتطلب استخدام خام الحديد والفحم في شكل فحم «الكوك»، ولكن هذه الطريقة في إنتاج الصلب كثيفة جدا في استهلاك الطاقة؛ وكذلك ارتفاع كمية الانبعاثات.

يمكن التحول الى طرق اكثر استدامة مثل طريقة الحديد المختزل المباشر Direct Reduced Iron (DRI) مع استخدام أفران القوس الكهربيElectrical Arc Furnace (EAF)، وتتميز طريقة الحديد الإسفنجي وفرن القوس الكهربي بأن الانبعاثات الناتجة واستهلاك الطاقة أقل بنسبة 30 % و 20 % عند المقارنة مع الأفران العالية وأفران الاكسجين القاعدية على الترتيب، ليس هذا فقط، بل إن أفران القوس الكهربي التي تستخدم خردة الصلب كمادة خام يمكن أن يقل استهلاكها من الطاقة بنسبة (85% و90%) عند المقارنة مع الأفران العالية وأفران الاكسجين القاعدية على الترتيب ، كما ان الطرق الحديثة لها دور في تقليل من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

7.3 الهيدروجين الأخضر

يمكن انتاج الهيدروجين المستخدم في إنتاج الصلب ويستخدم كعامل مختزل عن طريق الغاز الطبيعي باستخدام عملية تسمى إصلاح الغاز ، ويتولد عنها «أول وثاني أكسيد الكربون» كمنتجين ثانويين ، ويمكن استخدام «الهيدروجين الأخضر»، والذي ينتج باستخدام التحليل الكهربائي مدعوما بالطاقة المتجددة لعزل الهيدروجين من المياه و تصبح عملية إنتاج الهيدروجين الأخضر خالية من الكربون وبذلك يعتبر الهيدروجين الأخضر كأحد الحلول الواعدة للوصول إلى صناعة صلب مستدامة منخفضة الكربون.

7.4 المساهمة الخضراء في القطاعات الأخرى

يساهم الحديد والصلب في عدد كبير من الصناعات الرئيسية التي تساعد في دفع التحول الأخضر، حيث يمثل الصلب مادة رئيسية تستخدم في بناء المعدات اللازمة لتزويد العالم بالطاقة المتجددة مثل: الطاقة الكهرومائية والرياح، والطاقة الشمسية، ، الصلب أيضا عنصر بالغ الأهمية في بناء كفاءة الطاقة للمباني والمصانع والسيارات الكهربية، ويمكن استخدام الأنواع المتقدمة من الصلب عالية القوة يمكن أن يقلل من الوزن الهيكلي للسيارات بما يصل إلى 25%، وهو الأمر الذي يساعد على خفض دورة انبعاثات «ثاني أكسيد الكربون» الخاصة بها.

8. المتطلبات الدولية لإنتاج صلب المستدام

في إطار سعي الاتحاد الأوروبي لتحقيق الحياد الكربوني بحلول عام 2050، والتي تأتي ضمن اهداف المناخ العالمية لتخفيض كمية انبعاث الغازات الدفيئة، أطلقت المفوضية الأوروبية آلية ضبط حدود الكربون (Carbon Border Adjustment Mechanism – CBAM) ، ودخل CBAM حيز التنفيذ تدريجياً بدءاً من أكتوبر 2023 (مرحلة انتقالية) ويصبح إلزامياً بشكل كامل في سنة 2026 ، ويُعتبر هذا النظام أول آلية عالمية تفرض رسوماً على الانبعاثات الكربونية للواردات، مما يجعله أحد أكثر الأدوات تأثيراً في السياسة المناخية الدولية.

9. دور الصلب المستدام في استدامة قطاع البناء.

1. **التأثير البيئي وتوفير الموارد والطاقة وتقليل الانبعاثات** :حسب ما تطرقنا سابقاً فان الصلب المستدام يعتمد على إعادة تدوير المواد وكذلك توفير في الطاقة واقل انبعاثات واستخدام اقل للمياه من خلال إعادة تدوير المياه بعد معالجته ، وبالتبعية فان استخدام صلب مستدام يساهم بشكل فعال في بناء مستدام

2. **القوة والتحمل** : يمتاز الصلب بقدرته العالية على التحمل، مما يقلل من الحاجة للصيانة المستمر ويمتاز بعمر افتراضي اكبر ، كما ان استخدام الصلب يقلل من استخدام المواد الأخرى نظرًا لقدرته على التحمل.
3. **التصميم المستدام** : يتمتع الصلب بمرونة في التصميم حيث يمكن استخدام الصلب في تصاميم معمارية مبتكرة، مما يعزز من كفاءة استخدام المساحات كما ان استخدام الصلب يقلل من وزن المباني، مما يقلل من الأحمال على الأساسات.
4. **الكفاءة الطاقة** : يساعد الصلب في دمج تقنيات عزل فعالة مع هياكل الصلب، مما يقلل من استهلاك الطاقة ، كما يمكن دمج أنظمة الطاقة الشمسية في المباني المصنوعة من الصلب.
5. **الاقتصاد الدائري** : يعطى استخدام الصلب الفرصة في إعادة استخدام هياكل الصلب في مشاريع جديدة، مما يعزز من مفهوم الاقتصاد الدائري.

10.مجهودات الشركة الليبية في تبني تقنيات انتاج الصلب المستدام.

1. **تبني التقنيات الصديقة للبيئة** : عملت الشركة الليبية للحديد والصلب منذ انشائها على تبيني طرق صناعة الحديد والصلب الأقل ضرر على البيسة حيث تبنت طريقة الاختزال المباشر للخامات باستخدام الغاز الطبيعي وافران القوس الكهربائي التي تستخدم منتجات الحديد المختزلة (DRI) وكذلك الخردة ، والجدول (5) يبين كميات الخردة التي تم إعادة تدويرها واستخدامها في مصانع الشركة الليبية للحديد والصلب.

الجدول (5) كميات الخردة التي تم إعادة تدويرها واستخدامها في مصانع الشركة الليبية للحديد والصلب (ألف طن).

السنة	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
كمية الخردة	142.2	121.9	89.1	105.3	8.3	40.3	49.3	53.7	60.6	27.7	36.2	39.0	78.7	11.1	74.8	40.1	47.1	19.8

2. **استبدال بعض أنواع الوقود بوقود افل ضرر على البيئة** : قامت الشركة الليبية للحديد والصلب باستبدال الزيت الثقيل في مصانع حرق الجير بالغاز الطبيعي الأقل ضرر وانبعاثات مقارنة بالزيت الثقيل
3. **إعادة استخدام المياه** : قامت الشركة الليبية للحديد والصلب استخدام انظمة الدوائر المغلقة للمياه في أنظمة التبريد بمصانع الشركة حيث يتم تبريد المياه ومعالجتها وإعادة استخدامها في أنظمة التبريد
4. **الالتزام بالمتطلبات الدولية** : قامت الشركة بتبني أنظمة الجودة والبيئة والسلامة والصحة المهنية (أنظمة الايزو) ، وتعمل الشركة حالياً على الإيفاء بمتطلبات آلية الاتحاد الأوروبي لضبط حدود الكربون (Carbon Border Adjustment Mechanism – CBAM) التي تمنح الشركة استدامة منتجاتها وفرصة بتسويق منتجاتها في السوق الأوروبية.

11. الخلاصة والتوصيات

الصلب المستدام يفرض نفسه خلال العقود القادمة لما يتميز به من مميزات تجعل اقل ضرر على البيئة بالإضافة الى مساهمته في خفض استخدام الطاقة والموارد ، كما انه يساهم بشكل فعال في استدامة قطاع البناء لما يتميز به من مرونة في التصميم وانخفاض في تكلفته مقارنة بالمواد الأخرى وعمر أفتراضي أطول .

لذا نوصى بالاتي:

- تبني مادة الحديد والصلب في البناء وخصوصا في المباني الكبيرة (الأبراج السكنية) والمطارات المجمعات الرياضية وغيرها.

- دعم الدولة للشركات المصنع لمادة الحديد الصلب لتبني التقنيات الخاصة بإنتاج الصلب المستدام وكذلك مساعدة بالايفاء بالمتطلبات الدولية الخاصة باستدامة صناعة الحديد والصلب.
- تبني التقنيات النظيفة والمتجددة في انشاء محطة توليد الطاقة مثل الطاقة الشمسية لمساهمتها الفاعلة في انتاج الصلب المستدام والمحافظة على البيئة والموارد.
- تشجيع القطاع الخاص العامل في مجال إعادة تدوير مادة الحديد وتجميع الخردة لدورها الكبير في انتاج الصلب المستدام.

12. المراجع

1. آلية ضبط حدود الكربون (CBAM) وفق اللائحة التنفيذية لمفوضية الاتحاد الأوروبي ، جمال الجمل ، إسماعيل هب الريح ، مجلة الصلب الليبي ، العدد 11 ، مايو 2025.
2. أبرز التقنيات المستدامة في صناعة الحديد والصلب ،مؤسسة حماة الارض، فبراير 2023 م (www.earthsguards.com)
3. الهيدروجين الاختيار الأفضل لمواجهة انبعاثات الكربون في صناعة الحديد والصلب، المستقبل الأخضر ، ديسمبر 2022 .(www.greenfue.com).
4. تقارير الإنتاج السنوية للشركة الليبية للحديد والصلب ، إدارة تخطيط الإنتاج ، 2020 الى 2024م.
5. Steel-Statitsical-Yearbook-2024 , World steel , (www.worldsteel.org).
6. Sustainability performance of the steel industry 2003-2023 , Nov. 2024 , (www.worldsteel.org).
7. Sustainability Charter Explanatory document, Feb 2025, (www.worldsteel.org).

دراسة تأثير حجم الركام بمحاجر بني وليد على انسياب ومقاومة الخرسانة ذاتية الدمك

حمزة علي إبراهيم الصحراوي[1] , إبراهيم محمد الحاج الفقهي[2], حسين فرج الشيباني[3] , محمد غيث علي[4]
1- محاضر بكلية الهندسة جامعة بني وليد ، ليبيا
2- عميد كلية الهندسة جامعة بني وليد ، ليبيا
3- طالب دراسات عليا بكلية الهندسة جامعة بني وليد ، ليبيا
4 -جهاز تنفيذ مشروعات الإسكان والمرافق – ليبيا

الملخص

تُعد الخرسانة الذاتية الدمك (Self-Compacting Concrete) من المواد الإنشائية المتطورة التي تتميز بقدرتها على الانسياب الذاتي وملء القوالب دون الحاجة إلى عملية الدمك الميكانيكي، مما يسهم في تحسين جودة البناء وتقليل زمن التنفيذ. كما تتميز بمقاومتها للانفصال الحبيبي، مما يحافظ على تجانس مكوناتها أثناء الخلط والنقل والصب حتى التصلب. في ظل التوجه المتزايد لاستخدام هذه الخرسانة في المشاريع الحديثة، خاصة الأبراج الشاهقة ذات التصاميم المعمارية المتطورة، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم أداء الخرسانة الذاتية الدمك باستخدام أحجام مختلفة من الركام الخشن المتوفر في مدينة بني وليد. وقد تم التركيز على تحقيق الخصائص اللدنة المطلوبة، بما في ذلك قدرة الخرسانة على الانسياب الذاتي وملء القوالب ذات التسليح الكثيف مع الحفاظ على تجانس المكونات. ولتحقيق ذلك، تم استخدام الملدنات الفائقة لتحسين خواص الخلطات.أُجريت اختبارات لتقييم الخرسانة في حالتها اللدنة عبر اختبار الهبوط (Slump Flow)، بينما تم قياس أدائها في الحالة المتصلدة من خلال اختبار مقاومة الضغط على مكعبات خرسانية عند أعمار 7 و28 يومًا. أظهرت النتائج أن الخلطات التي استخدمت ركامًا بحجم (1 – 1.25 سم) مع نسب ماء إلى إسمنت (0.55 – 0.5 – 0.45) بدون ملدنات حققت نتائج مقبولة في اختبارات الهبوط ومقاومة الضغط. ومع تقليل نسبة الماء إلى الإسمنت (0.4 – 0.425 – 0.45) مع إضافة الملدنات، تحسنت الخصائص الخرسانية، حيث قدم الركام بحجم (1.25 سم) أفضل أداء من حيث الانسياب ومقاومة الضغط.

الكلمات المفتاحية: *ذاتية الدمك – ركام – خرسانة – انسياب – مقاومة الضغط .*

Abstract

Self-Compacting Concrete (SCC) is an advanced construction material characterized by its ability to flow and fill formwork under its own weight without the need for mechanical compaction. This property enhances construction quality and reduces execution time. SCC also exhibits high resistance to segregation, which helps maintain the homogeneity of its components during mixing, transportation, and placement until hardening .With the growing trend toward the use of SCC in modern construction projects—particularly in high-rise buildings with complex architectural designs—this study aims to evaluate the performance of SCC using different sizes of coarse aggregate available in the city of Bani Walid The focus is on achieving the desired fresh properties, including self-flowing capability and the ability to

fill densely reinforced molds while preserving mixture homogeneity. To this end, superplasticizers were used to enhance the mix properties .Tests were conducted to evaluate the concrete in its fresh state using the Slump Flow Test, and in its hardened state through compressive strength testing on concrete cubes at the ages of 7 and 28 days .The results showed that mixes incorporating coarse aggregates of size (1 – 1.25 cm) and water–to–cement ratios of (0.55 – 0.5 – 0.45) without superplasticizers achieved acceptable results in both slump flow and compressive strength tests. Further improvement in concrete properties was observed when the water–to–cement ratios were reduced to (0.4 – 0.425 – 0.45) with the addition of superplasticizers, with the 1.25 cm aggregate size yielding the best performance in terms of flowability and compressive strength.

Keywords: *Self–Compacting, Aggregate, Concrete ،Flowability, Compressive Strength.*

1. المقدمة:

تُعد الخرسانة ذاتية الدمك (Self–Compacting Concrete – SCC) لها القدرة على الانسياب وملء القوالب دون الحاجة إلى اهتزاز ميكانيكي، فهي مناسبة للعناصر الإنشائية ذات التسليح الكثيف مثل الجسور، الحوائط الساندة , بالإضافة إلى أعمال الترميم. طورت لأول مرة في اليابان في أواخر الثمانينيات، بهدف التغلب على صعوبات التنفيذ وتحسين جودة الإنشاء، ومع تزايد الاهتمام بتنفيذ خرسانات عالية الانسيابية، ظهرت مشكلات تتعلق باستخدام نسب ماء وملدنات غير مدروسة، ما يؤدي إلى ضعف في مقاومة الخرسانة وارتفاع مساميتها[7].

من هذا المنطلق، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم أداء الخرسانة ذاتية الدمك باستخدام أنواع مختلفة من الركام الخشن المتوفر محلياً في مدينة بني وليد. وتم إجراء تجارب باستخدام نسب مختلفة من الماء والملدنات، وقياس الخصائص اللدنة عبر اختبارات الهبوط (Slump Flow) وJ–Ring، إضافة إلى اختبار مقاومة الضغط عند أعمار مختلفة

2. متغيرات الدراسة:

- نسبة الماء إلى الإسمنت (0.4 إلى 0.55).
- أحجام الركام (1 – 1.25 – 1.5 سم).
- نسب الملدن الفائق (0.8 إلى 1.25)%

3. تأثيرالركام الخشن على الخرسانة :

الركام الخشن هو أحد المكونات الأساسية للخرسانة ويحتل أكبر حجم في الخليط، هذا هوا السبب في انها تؤثر بشكل كبير على تصميم مزيج الخرسانة، وخصائصه مثل القوة – الحجم الأقصى– الشكل– امتصاص الماء الذي يؤثرعلى الطلب على الماء[1]. كمية الاسمنت والركام الناعم في خليط الخرسانة، وقد تم الإبلاغ عن أن الحجم الاقصى للركام الخشن المرتفع يؤدي انخفاض الطلب على الماء في الخليط نظرا لأن هذا الركام يحتوي على مساحة سطح أقل مقارنة لجم الكلي الخشن الصغير، وفيما يتعلق بالشكل يوفر ركام الشكل المستدير تصميما اقتصاديا للمزيج من الخرسانة العادية ومع ذلك فأن الركام الخشن الزاوي مرغوب فيه في حالة الخرسانة عالية القوة، ويتم تقليل امكانية الفصل هذه اذا تم تصنيف الركام الخشن بشكل

صحيح يوضح هذا مدى اهمية الدرجات الجيدة لتصميم الخلطة الخرسانية، وبقدر ما يتعلق الامر بالقوة، فأن القوة الكلية الاعلى ستنتج قوة ملموسة اعلى بشرط ان يتم التعامل مع عوامل التحكم الاخرى بشكل صحيح[9].

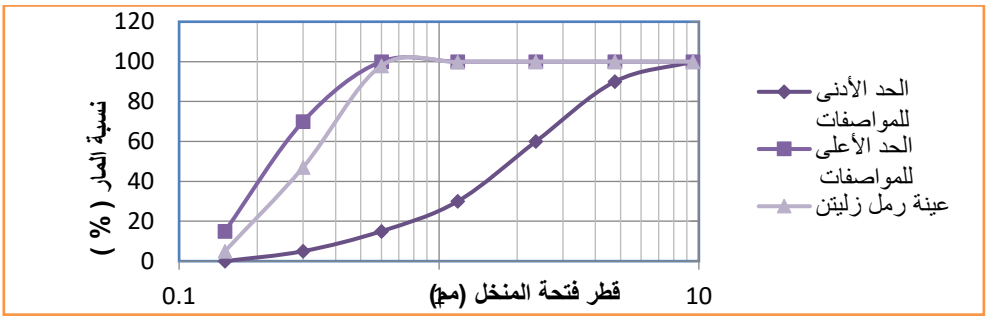
4. المواد المستخدمة.

4.1 الركام الناعم

في هذه الدراسة تم إستخدام رمل زليتن ، والجدول (1) يوضح التحليل المنخلي له وحدود الواصفات[2][3]

جدول (1) التحليل المنخلي لعينة الركام الناعم

فتحة المنخل (مم)	نسبة المار (%)	حدود المواصفات	
		BS882-2002(zone1)	LQS 257 -2024
4.75	100.00	90-100	100
2.36	100.00	60-95	100-80
1.18	99.86	30-70	100-70
0.6	97.94	15-34	100-55
0.3	47.04	5-15	70-5



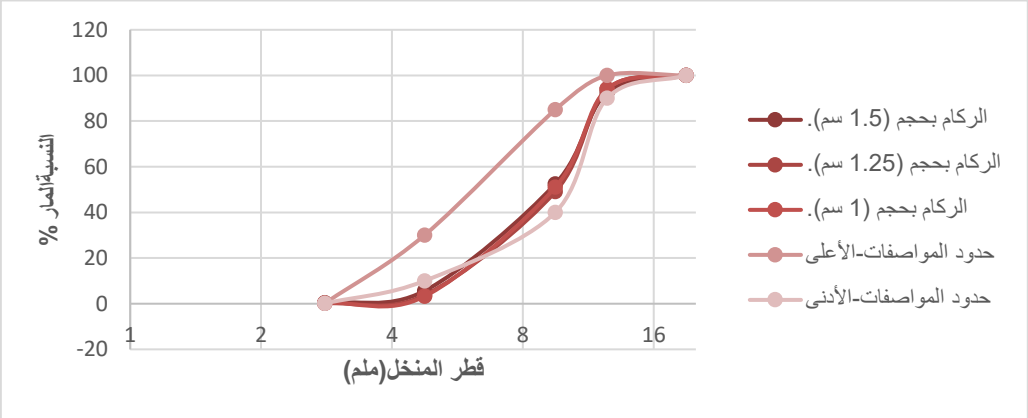
شكل (1) التدرج الحبيبي لعينة الركام الناعم وحدود المواصفات .

4.2 الركام الخشن

تم توريد الركام الخشن من إحدى الكسارات الموجودة بمدينة بني وليد لصناعة الزلط بجميع أنواعه (محجر النجوم) ، وكما ويوضح الجدول (2) التحليل المنخلي لعينة الركام الخشن وحدود الواصفات [2][3]

جدول (2)يوضح التحليل المنخلي لعينة الركام الخشن

فتحة المنخل	النسبة المئوية العابرة للمنخل (%)			حدود المواصفات	
(ملم)	الركام بحجم (1 سم).	الركام بحجم (1.25 سم).	الركام بحجم (1.5 سم).	BS882:2002	LQS 49 – 2002
19	100	100	100	100	100
12.5	94.06	93.94	92.34	100-90	100-90
9.5	51.05	49.08	52.48	80-40	80-40
4.75	1.98	0.98	1.33	60-30	60-30
2.4	0.288	0.06	0.351	0-10	20-5



شكل (2) التدرج الحبيبي لعينة الركام الخشن وحدود المواصفات .

جدول (3) يوضح نتائج الاختبارات افيزيائية والميكانيكية للركام الخشن حسب المواصفات .

نوع الاختبار	نتائج الاختبارات		
	الركام بحجم (1 سم).	الركام بحجم (1.25 سم).	الركام بحجم (1.5 سم).
الوزن النوعي	2.6	2.628	2.69
وزن وحدة الحجوم(كجم/م3)	1959.33	1972.78	1999.33
الامتصاص (%)	%0.755	%0.685	%0.595
معامل الصدم (%)	%19.93	%21.73	%22.51
معامل التهشيم (%)	%12.46	%10.97	%10.31

4.3 الأسمنت

نوع الاسمنت المستخدم في هذه الدراسة هو الاسمنت البورتلاندي العادي (Type I) من إنتاج مصنع إلإتحاد العربي للأسمنت (زليتن)، وخواصه الفيزيائية والكيميائية تم الحصول عليها من معمل مراقبة الجودة بالمصنع والموضحة بالجداول(4) (5)(4)

جدول (4) يوضح نتائج الاختبارات افيزيائية والميكانيكية للأسمنت حسب المواصفات .

نوع الاختبار	النتيجة	حدود المواصفات	
		BS 882:2002	LQS 49 – 2002
القوام القياسي(%)	29%	%32–%27	%33–%27
زمن الشك الابتدائي (ساعة)	2:40	لا يقل عن 45 دقيقة	لا يقل عن 45 دقيقة
زمن الشك النهائي(ساعة)	5:30	لا يزيد عن 10	لا يزيد عن 10
ثبات الحجم (مم)	0.85 مم	لا يزيد عن 10 مم	لا يزيد عن 10 مم
مقاومة الضغط بعد 28 يوم(ن/مم2)	46	لا تقل عن 39 ن/مم2	لا تقل عن 39 ن/مم2
الوزن النوعي	3.16	–	–
النعومة (جم/سم2)	3000	لا تقل عن2500	لا تقل عن2500

5. البرنامج العملي

5.1 الخلطات التجريبية

تم تنفيذ 6 خلطات تجريبية أولية بطريقة غير منهجية من حيث نسب الخلط ونوعية المواد، لذا لم تُعتمد نتائجها بالكامل. ومع ذلك، ساعدت بعض النتائج في وضع خطة مبدئية لبرنامج الخلطات المعتمد، حيث تهدف هذه المرحلة إلى اختبار كفاءة الأجهزة والمعدات المستخدمة (معظمها لم يتم تشغيله في المعمل ولا توجد خبرة كافية لذلك).

ومن ثم التحقق من ملاءمة المواد المتوفرة لإنتاج خرسانة ذاتية الدمك وبالتالي مدى الإمكانيات لتصميم خلطات تحقق الانسياب وتجانس ومقاومة الضغط.وايضا التدريب على تنظيم العمل المعملي لتوحيد طريقة تنفيذ جميع الخلطات وتفادي الفروقات الزمنية والأخطاء.ومن الأساسيات لتصميم الخلطات التجريبية: كان محتوى الإسمنت 450 كجم/م^2 ونسبة الماء إلى الإسمنت (0.375 – 0.45)ونسبة الركام الناعم إلى الكلي: 0.5,المقاس الأكبر للركام الخشن متغير و تحدد جرعة المدن حسب نسبة الماء/الإسمنت

5.2 اختبارات الخرسانة الطرية والمتصلدة

5.2.1 اختبار الإنسيابية

اختبار الهبوط يقاس بقطر الخرسانة بعد تدفقه عند رفع مخروط القياس في زمن معين يحدد بالثواني ويتراوح قطر هبوط الخرسانة بين 650 إلى800 مم في زمن من 2إلى 5 ثانية بحسب المواصفات المعمول بها.يختلف طرق تعيين النتيجة في الخرسانة العادية والذاتية الدمك ففي الخرسانة العادية يقاس الارتفاع الرأسي لهبوط الخرسانة بينما في الخرسانة الذاتية الدمك يقاس القطر الأفقي لتقييمها .والجدول (3) يبين قيم الهبوط

جدول (5) يوضح نتائج الخواص الإنسيابية للخلطات الخرسانية.

	رقم الخلطة	نسبة الملدن %	w/c	Slump Flow(mm)	T50(s)	النضح
ركام (1سم)	A1	%0.85	0.4	700	3.7	متوسط
	A2	%1	0.4	730	3.2	بسيط
	A3	%0.80	0.425	700	3.4	متوسط
	A4	%0.80	0.45	710	2.5	لايوجد
ركام(1.25سم)	B1	%0.85	0.4	680	3.9	لايوجد
	B2	%0.8	0.425	720	3.1	لايوجد
	B3	%0.8	0.45	770	3.0	بسيط
ركام (1.5سم)	C1	%0.8	0.425	110	8.8	لايوجد
	C2	%0.9	0.425	178	8.4	متوسط
	C3	%1	0.425	547	8.7	متوسط
	C4	%1.25	0.425	582	4.1	عالي
	C5	%0.8	0.4	662	4.2	متوسط

5.2.2 اختبار مقاومة الضغط

يتم إجراء إختبار مقاومة الضغط على العينات ذات المقاس 150*150*150ملم عند فترة زمنية قدرها (7,28) يوم من تاريخ الصب . تم إجراء هذا الاختبار على العينات حسب المواصفات البريطانية (BS 1881 Part 116:1983)[4] باستعمال جهاز تكسير عينات بمعدل تحميل 6 كيلو نيوتن لكل ثانية

6. مناقشة النتائج

6.1 نتائج اختبارات الخرسانة الطرية

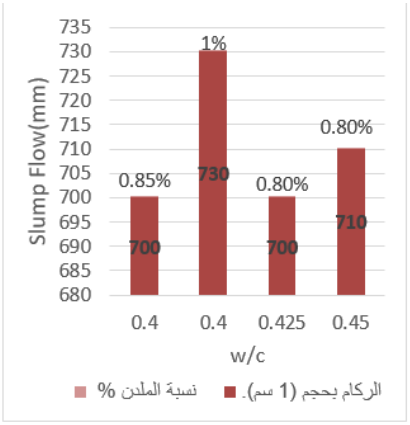
تحليل نتائج اختبار الهبوط لعينة من الخلطات الخرسانية باستخدام مقاسات مختلفة من الركام الخشن

تم تنفيذ سلسلة من الخلطات الخرسانية باستخدام ثلاث مقاسات مختلفة من الركام الخشن (1 سم، 1.25 سم، و1.5 سم)، بهدف تقييم أداء الخرسانة من حيث الانسياب ومظاهر ماء النضح، ضمن نطاق الهبوط المستهدف للخرسانة ذاتية الدمك والذي يتراوح بين 650 – 800 ملم.

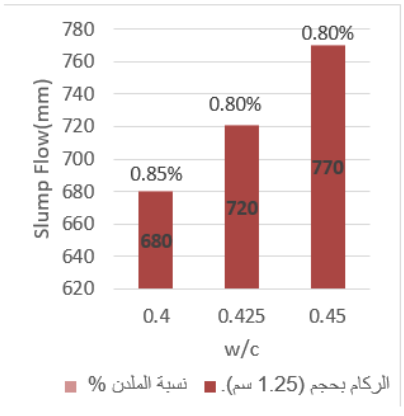
عند استخدام ركام بمقاس 1 سم، أظهرت الخلطات نتائج مرضية من حيث الهبوط. ففي الخلطة الأولى التي استُخدم فيها نسبة ماء إلى إسمنت 0.40% وملدن بنسبة 1%، سُجل هبوط بلغ 730 ملم، إلا أن ظهور ماء النضح كان واضحًا. وعند تقليل نسبة الملدن في الخلطة الثانية إلى 0.85% مع ثبات نسبة الماء، لوحظ انخفاض طفيف في الهبوط مع تقليل ملحوظ في ماء النضح. أما الخلطتين الثالثة والرابعة، فقد استخدمت نسب ماء أعلى (0.425 و0.45) مع ملدن بنسبة 0.80%، وقد حققتا انسيابًا جيدًا دون ملاحظات تُذكر على ماء النضح، مما يشير إلى تحسن في توازن الخلطة بين الانسياب والاستقرار.

أما بالنسبة للخلطات المنفذة باستخدام ركام بمقاس 1.25 سم، فقد أظهرت سلوكًا مشابهًا من حيث قابلية التشغيل. ففي الخلطة الأولى (0.4 ماء/إسمنت و0.85% ملدن)، سُجل هبوط أقل قليلاً من الخلطات اللاحقة لكنه بقي ضمن النطاق المقبول، دون ظهور لماء النضح. في الخلطة الثانية، مع رفع نسبة الماء إلى 0.425 وتقليل الملدن إلى 0.8%، لوحظ تحسن في الهبوط مع بقاء الخلطة مستقرة دون نضح. وفي الخلطة الثالثة، التي زادت فيها نسبة الماء إلى 0.45 مع تثبيت الملدن، سُجل هبوط مقبول، لكن ظهرت علامات واضحة لماء النضح، ما يدل على أن رفع نسبة الماء مع ثبات الملدن قد يخل بتوازن الخلطة.

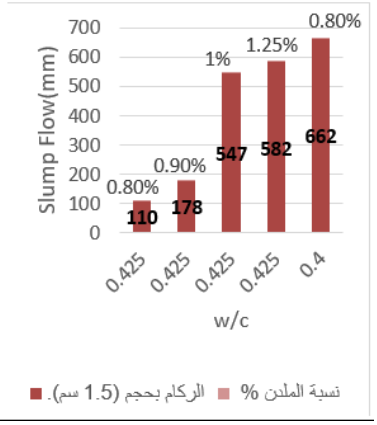
أما الخلطات المنفذة باستخدام ركام بمقاس 1.5 سم فقد أظهرت سلوكًا مختلفًا وأقل كفاءة من حيث الانسياب. ففي أول أربع خلطات، تم تثبيت نسبة الماء/إسمنت عند 0.425، ورفع نسبة الملدن تدريجيًا من 0.8% إلى 1.25%. ومع ذلك، لم تحقق هذه الخلطات الهبوط المطلوب، إذ بقيت الخلطة جافة ومتكتلة في الحالات الثلاث الأولى، وفي الخلطة الرابعة ورغم تحسن نسبي في الهبوط، إلا أنه لم يصل إلى الحد الأدنى المستهدف، ورافقته علامات واضحة على ماء النضح عند الأطراف. وفي الخلطة الخامسة، تم رفع نسبة الماء إلى 0.45 وتثبيت الملدن عند 0.8%، مما أدى إلى تحقيق هبوط ضمن المدى المطلوب، لكنه ترافق أيضًا مع ظهور ماء نضح واضح، ما يشير إلى أن استخدام هذا المقاس الكبير من الركام يتطلب ضبطًا دقيقًا لنسب الماء والملدن لتحقيق التوازن بين الانسياب والاستقرار.



شكل(3)انسيابية الخرسانة باستخدام ركام 1.5سم



شكل(4) انسيابية الخرسانة باستخدام ركام 1.25سم



شكل (5) انسيابية الخرسانة باستخدام ركام 1سم

6.2 نتائج اختبارات مقاومة الخرسانة

تم إعتماد مقاومة الخرسانة بعمر (7،28)يوم محسوبة من لحظة إضافة ماء الخلط إلى مكونات الخرسانة وبعدد ثلاث عينات خرسانية لكل خلطة ويؤخذ متوسط قراءة جهاز الاختبار.

تحليل نتائج مقاومة الضغط للركام 1 سم

- التغير في نسبة الملدن ونسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) لم يؤدِّ إلى تغييرات جوهرية في مقاومة الضغط، مما يدل على استقرار نسبي في أداء الخلطة عند هذا الحجم من الركام.
- أعلى مقاومة عند 28 يومًا سُجّلت عند نسبة ملدن 0.80% و(50.13 MPa) W/C = 0.425.
- مقاومة الضغط بعد 7 أيام تراوحت بين (36.83 – 37.6) MPa، وهي قريبة جداً، مما يشير إلى تطور منتظم في مقاومة الخرسانة.
- بشكل عام، الخرسانة بهذه الخلطة أقل أداءً مقارنة بالركام الأكبر حجماً، كما يتضح في النتائج التالية.

جدول(6) نتائج اختبار مقاومة الضغط المتحصل عليها للركام 1سم

نسبة الملدن%	W/C	متوسط مقاومة الضغط (MPA)	
		بعد 7 يوم	بعد 28 يوم
%0.85	0.4	37.4	49.86
%0.80	0.425	37.6	50.13
%0.80	0.45	36.83	49.11

تحليل نتائج مقاومة الضغط للركام 1.25 سم

- الزيادة في حجم الركام من 1 سم إلى 1.25 سم أدت إلى زيادة ملحوظة في مقاومة الضغط، حيث تراوحت القيم عند 28 يومًا بين (67.4 – 70.8 MPa).

- أعلى مقاومة عند 28 يومًا كانت عند W/C = 0.45، ما قد يكون مرتبطاً بتحسين التشغيلية مما سمح بتوزيع أفضل للركام.
- نسبة الملدن الأقل (0.80%) لم تؤثر سلباً، بل حافظت على الأداء العالي، ما يشير إلى أن التأثير الأكبر ناتج من حجم الركام وليس من الملدن وحده.

جدول(7) نتائج اختبار مقاومة الضغط المتجصل عليها للركام 1.25سم

نسبة الملدن%	W/C	متوسط مقاومة الضغط (MPA)	
		بعد 7 يوم	بعد 28 يوم
%0.85	0.4	52.2	69.6
%0.80	0.425	50.6	67.4
%0.80	0.45	53.1	70.8

تحليل نتائج مقاومة الضغط للركام 1.25 سم

- أعلى مقاومة ضغط سُجلت في جميع الجداول كانت لهذه الفئة (74.8 MPa بعد 28 يوماً)، مع نسبة ملدن 1.25% و W/C = 0.45.
- الزيادة في نسبة الملدن أدت إلى تحسين ملحوظ في مقاومة الضغط، خصوصاً عند نسبة 1.25%، ما يشير إلى أن استخدام ملدن بكفاءة عند الأحجام الكبيرة من الركام يُحسن الترابط الداخلي ويقلل الفراغات.
- الخرسانة بهذه الخلطة مناسبة للتطبيقات الإنشائية التي تتطلب مقاومة عالية.

جدول(8) نتائج اختبار مقاومة الضغط المتجصل عليها للركام 1.5سم

نسبة الملدن%	W/C	متوسط مقاومة الضغط (MPA)	
		بعد 7 يوم	بعد 28 يوم
%0.80	0.4	52.2	69.6
%1	0.425	52.4	69.9
%1.25	0.45	56.1	74.8

7. الخلاصة

- الركام الأصغر حجمًا (1 سم و1.25 سم) أظهر أداءً أفضل من حيث الانسياب وتحكم أكبر في ماء النضح ضمن نفس نسب الخلط.
- الركام الأكبر حجمًا (1.5 سم) تطلّب نسبًا أعلى من الملدن لتحقيق الانسياب، لكنه كان أكثر عرضة لمشاكل الجفاف أو ماء النضح، مما يُبرز أهمية تقليل حجمه أو تحسين تدرجه الحبيبي عند استخدامه في خرسانة ذاتية الدمك.
- أداء الخلطات يتأثر بشكل مباشر بالتوازن بين نسبة الماء إلى الإسمنت وجرعة الملدن، إذ أن زيادة الماء دون ضبط الملدن تؤدي إلى ظهور ماء النضح والانفصال الحبيبي.
- حجم الركام له تأثير واضح على مقاومة الضغط، حيث أن زيادة الحجم من 1 سم إلى 1.5 سم أدت إلى تحسين ملموس في المقاومة.

- نسبة الملدن تُحسّن من مقاومة الضغط خصوصاً عند استخدام ركام أكبر، وتكون أكثر فاعلية عندما تُستخدم مع نسب W/C أعلى.
- نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) تؤثر أيضاً، لكن تأثيرها أقل وضوحاً مقارنة بتأثير حجم الركام ونسبة الملدن.
- أفضل أداء للخرسانة تحقق عند:ركام بحجم 1.5 سمو0.45 = W/Cوملدن بنسبة 1.25%ومقاومة ضغط = 74.8 MPa بعد 28 يومًا

8. التوصيات

- استخدام الركام الخشن بحجم أكبر (1.25 سم إلى 1.5 سم) في الخلطات الخرسانية التي تتطلب مقاومة ضغط عالية، حيث أظهرت النتائج تحسنًا ملحوظًا في المقاومة بزيادة حجم الركام.
- استخدام نسب ملدن تتراوح بين (1.0% – 1.25%)، خاصة عند استخدام ركام كبير الحجم، لضمان تحسين التشغيلية مع الحفاظ على مقاومة ضغط عالية.
- الانتباه إلى تأثير التفاعل بين نسبة الملدن وW/C لضبط انسيابية الخلطة وتجنب الانفصال الحبيبي أو فراغات داخلية.
- بالرغم من أن الزيادة الطفيفة في W/C أدت إلى مقاومة جيدة عند بعض الخلطات، إلا أن القيم المرتفعة قد تؤثر سلبًا على المتانة على المدى الطويل، لذا يوصى بعدم تجاوز 0.45 للحفاظ على التوازن بين التشغيلية والمقاومة
- يمكن توسيع الاختبارات لتشمل مقاومة الانحناء، مقاومة الشد، والانكماش، بالإضافة إلى اختبارات ديمومة مثل مقاومة التجمّد والذوبان أو التفاعل القلوي–السيليكا
- بالرغم من أن استخدام الملدنات بتركيزات أعلى قد يرفع التكلفة، إلا أن يمكن بإجراء تحليل جدوى اقتصادية تُوازن بين التكلفة والأداء لتحقيق حلول إنشائية فعّالة ومستدامة

9. المراجع

[1].Neville A M., " Properties of Concrete ", 4th, London Group Ltp., Essex,1995.

[2]المواصفات القياسية الليبية رقم 257 لسنة 2002ف الخاصة بركام الخرسانة من المصادر الطبيعية ، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية – طرابلس .

[3]. BS 882:2002" Specification for aggregates from natural sources ".British Standards Institution , 389 Chiswk high road , London ,W4 4AL,UK,2002.

[4]المواصفات القياسية الليبية رقم 340 لسنة 2009ف الخاصة بالإسمنت البورتلاندي ، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية – طرابلس .

[5]. BS 12:1996" Specification for Portland Cement ".British Standards Institution , 389 Chiswk high road , London ,W4 4AL,UK,1996.

[6]المواصفات القياسية الليبية رقم 340 لسنة 2013ف الخاصة بالمياه المستعملة في الخرسانة ، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية – طرابلس .

[7] م.سناء عبدالستار الباجقني " , تنفيذ الخرسانة ذاتية الدمك باستخدام المواد المحلية , " رسالةمقدمة لاستكمال متطلبات التخرج لنيل درجة الاجازة العليا (الماجستير)قسم الهندسة المدنية بكلية الهندسة جامعة ط ا ربلس – ليبيا ,فصل الخريف 2010-9200

[8] م عبد الرحمن محمد أحمد " (تأثير نسب الرمل (S/A) على مقاومة الخرسانة ذاتية الدمك عالية المقاومة) , " رسالةمقدمة لاستكمال متطلبات التخرج لنيل درجة الاجازة العليا (الماجستير)قسم الهندسة المدنية بكلية الهندسة جامعة ط ا ربلس – ليبيا ,2012

[9]الصادق إعبيد عبد الله وآخرون،. (تأثير اختلاف مصادر الركام الخشن على خواص الخرسانة عالية المقاومة). المؤتمر الوطني السابع لمواد البناء والهندسة الإنشائية، ليبيا(2018)

تأثير انوع الركام المحلي في جنوب ليبيا على مواصفات الخرسانة ذاتية الدمك

فؤاد فروج فرج[1] و علي احمد حسن[2]
1 استاذ، الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطي، ليبيا
2 طالب درسات عليا, الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطي، ليبيا
f.faroug@Wau.edu.ly.

الملخص

تعتبر الخرسانة ذاتية الدمك (Self-Compacting Concrete – SCC) من أحدث أنواع الخرسانة المتطورة التي تتميز بقدرتها على التدفق والانسياب بسهولة تحت تأثير وزنها الذاتي دون الحاجة إلى دمك ميكانيكي، مما يضمن تعبئتها للقوالب حتى في المناطق الضيقة والمعقدة وذات التسليح الكثيف. وتهدف هذه الدراسة الى تقييم تأثير أنواع مختلفة من الركام الخشن المحلي المتوفر في جنوب ليبيا على خواص هذه الخرسانة، وذلك من خلال دراسة ستة مصادر مختلفة للركام وهي: سبها، الشاطي، الغيلانية، أوباري، تمنهنت، والجفرة. تم في هذه الدراسة إجراء مجموعة من الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية لكل نوع من هذا الركام وهي التدرج الحبيبي، نسبة الامتصاص، الكثافة النوعية، التفلطح والاستطالة، مقاومة التهشيم، ومقاومة التآكل، بالإضافة إلى اختبار التحليل الكيميائي. بعد ذلك تم تصميم الخلطات الخرسانية ذاتية الدمك مع تثبيت جميع المكونات (إسمنت مصنع البرج، وركام ناعم طبيعي من منطقة زلاف – الشاطي، وماء صالح للشرب، وملدن فائق من نوع ليبومنت) باستثناء نوع الركام الخشن الذي تم تغييره حسب المواقع التي تم اختيارها. تم تقييم الخلطات من خلال إجراء اختبارات للخرسانة في حالتها الطازجة مثل Slump Flow Test، T500، J-Ring، V-Funnel، L-Box وفي الحالة المتصلدة مقاومة الضغط عند الأعمار 3، 7، 21، 28، و60 يوم، ونسبة الامتصاص، والكثافة الجافة. وأظهرت النتائج ان خلطة تمنهنت تفوقت في جميع اختبارات الحالة الطازجة والمتصلدة، حيث حققت أفضل انسيابية وتوازن مثالي بين السيولة والاستقرار، كذلك كانت لها أقوى مقاومة ضغط بعد 60 يوم وأقل نسبة امتصاص، مما يجعل ركام تمنهنت الأكثر ملاءمة لإنتاج خرسانة ذاتية الدمك بجودة عالية في الجنوب.

الكلمات الدالة: *الاختبارات الفيزيائية، الاختبارات الكيميائية، الركام المحلي، الخصائص الطرية، جودة الخرسانة، جنوب ليبيا، خرسانة ذاتية الدمك، مقاومة الضغط*

Abstract

Self-Compacting Concrete (SCC) is one of the most advanced types of concrete, known for its ability to flow and spread effortlessly under its own weight without the need for mechanical compaction. This feature ensures complete filling of the formwork, even in narrow, complex areas with dense reinforcement. This study aims to evaluate the impact of different types of locally available coarse aggregates in southern Libya on the properties of SCC. Six aggregate sources were investigated: Sabha, Al-Shati, Al-Ghailaniyah, Ubari, Tamanhant, and Al-Jufrah. A series of physical, mechanical, and chemical tests were conducted on each type of aggregate, including particle size distribution, water absorption, specific gravity, flakiness and elongation indices, crushing resistance, abrasion resistance, and chemical composition

analysis. SCC mixtures were then designed using fixed materials (Al-Burj cement, natural fine aggregate from Zallaf – Al-Shatti, potable water, and a high-range water reducer of the type LiboMint), with the only variable being the type of coarse aggregate according to the selected locations. The fresh properties of the mixes were evaluated using Slump Flow Test, T500, J-Ring, V-Funnel, and L-Box, while hardened properties were assessed through compressive strength at 3, 7, 21, 28, and 60 days, as well as water absorption and dry density tests. The results showed that the Tamanhant mix outperformed the others in all fresh and hardened.

***Keywords**: Physical Tests, Chemical Tests, Local Aggregates, Fresh Properties, Concrete Quality, Southern Libya, SCC, Compressive Strength*

1. المقدمة:

تعد الخرسانة المادة الأساسية في مشاريع البناء الحديثة لما تتمتع به من خصائص ميكانيكية متميزة، وسهولة في التشكيل، وتنوع في الاستخدامات. ومع تطور احتياجات المشاريع المعمارية والإنشائية، ظهرت الحاجة إلى أنواع خاصة من الخرسانة قادرة على توفير أداء محسّن يتلاءم مع متطلبات التنفيذ والتصميم المعقد [7]. من أبرز هذه الأنواع الخرسانة ذاتية الدمك (Self-Compacting Concrete – SCC)، التي تمتاز بقدرتها على الانسياب والدمك الذاتي دون الحاجة إلى أي اهتزاز ميكانيكي، مما يجعلها مثالية في المنشآت ذات الكثافة العالية في التسليح، أو تلك التي تحتوي على أشكال معمارية دقيقة يصعب صب الخرسانة فيها بالطرق التقليدية [9]. لقد تطور استخدام الخرسانة ذاتية الدمك منذ ظهورها في تسعينيات القرن الماضي، وأصبحت محط اهتمام الباحثين والمهندسين نظرًا لما توفره من مزايا تنفيذية وإنشائية، خصوصًا في المناطق ذات الظروف البيئية الصعبة مثل المناطق الصحراوية [10]. وقد تناولت العديد من الدراسات السابقة أثر خصائص الركام على خصائصSCC؛ ففي دراسة خليل [12]، تم التوصل إلى أن استخدام ركام خشن بقطر 10 مم يساهم في تحسين الانسياب وقابلية المرور، بينما أظهر الركام المكسر أداء أعلى في مقاومة الضغط بسبب سطحه الخشن وتفاعله الجيد مع العجينة الأسمنتية. ومن جهة أخرى، أوضحت دراسة هاجيمي اوكامورا [9] أن تقليل نسبة الركام الخشن وزيادة لزوجة العجينة من خلال خفض نسبة الماء إلى المسحوق ضروريان لتحقيق استقرار الخلطة ومنع الانفصال الحبيبي. أما محليًا، فقد كشفت دراسة فاطمة مسعود[4] أن نوع الرمل والركام الخشن له تأثير بالغ على أداء الخلطة، خاصة فيما يتعلق بالسيولة والتجانس. ورغم توفر هذه الدراسات، فإن الأدبيات ما تزال تفتقر إلى بحوث مركزة على تأثير الركام المحلي، خصوصا في جنوب ليبيا، حيث تتنوع المصادر الجيولوجية وتختلف خواص الركام من منطقة لأخرى، مما يؤثر مباشرة على كفاءة الخرسانة في المشروعات الصحراوية. ومن هنا تنبع أهمية هذه الدراسة، التي تهدف إلى تحليل تأثير أنواع مختلفة من الركام المحلي المتوفر في جنوب ليبيا على أداءSCC ، من خلال تقييم الخصائص الطازجة والمتصلدة للخلطات، مع تثبيت جميع المتغيرات الأخرى (الماء، الأسمنت، الملدنات الفائقة). وتهدف هذه الدراسة إلى تقديم توصيات عملية لتحسين تصميم الخلطات الخرسانية ذاتية الدمك بما يعزز الكفاءة الاقتصادية والوظيفية للمنشآت في المناطق الصحراوية، مع إمكانية الاستفادة من الركام المحلي المتاح في تعزيز الأداء دون الحاجة لاستيراد مواد مرتفعة التكلفة [4].

2. منهجية البحث:

1.2 الإطار النظري:

تضمنت الدراسة النظرية مراجعة منظمة لمجموعة من المراجع والدراسات العلمية السابقة حول الخرسانة ذاتية الدمك وخصائصها، مع التركيز على دور الركام، كأحد المكونات الرئيسية للخلطات الخرسانية، في التأثير على قابلية التشغيل والخواص الإنشائية للخرسانة. كما تم دراسة المعايير والمواصفات القياسية المتعلقة بتصميم الخرسانة ذاتية الرص وأهمها مواصفات الأوروبية للخرسانة ذاتية الدمك (EFNARC) [11].بالإضافة إلى المواصفات الليبية القياسية ومعايير ASTMالأمريكية و BS البريطانية، والتي تغطي خواص المواد وطرق الاختبار وحدود المواصفات للركام[12] .

2.2 الإطار العملي:

ركز الجانب العملي من هذه البحث على مرحلتين رئيسيتين؛ الأولى تضمنت اجراء اختبارات شاملة على المكونات المستخدمة، خاصة الركام الخشن من مصادره المختلفة، لتقييم خصائصه الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية[8] ، بينما المرحلة الثانية تمثلت في اعداد خلطات تجريبية من الخرسانة ذاتية الدمك، بهدف تحديد الخلطة الأفضل من حيث الأداء في الحالة اللدنة او الحالة المتصلدة، مع تثبيت جميع المكونات في الخلطة الخرسانية باستثناء مصدر الركام الخشن.

2.2.1 المواد المستخدمة في الدراسة.

الإسمنت:في هذه الدراسة، تم استخدام الأسمنت البورتلاندي العادي من النوع الأول الذي يتم تصنيعه محليا بواسطة مصنع البرج للإسمنت في زليتن في جميع الخلطات وهو من الأنواع الأكثر شيوعا في البناء في ليبيا، ويتميز بثبات خصائصه وملاءمته للمواصفات الليبية والدولية[7] .

الركام الخشن: يعد الركام الخشن عنصر مهما في الخرسانة، حيث يساهم بشكل كبير في تكوين الحجم الإجمالي للخليط ويؤثر بشكل مباشر على الخصائص الميكانيكية والانسيابية للخرسانة[5]، وخاصة في حالة الخرسانة ذاتية الضغط (SCC)، تم اعتماد واختيار ستة مصادر مختلفة للركام الخشن كما في الشكل (1) المتدرج مقاسه الاعتباري الأكبر 10 مم من مناطق مختلفة في جنوب ليبيا في هذه الدراسة وهي: سبها، الشاطي، الغيلانية، أوباري، الجفرة، ثمنهنت. وقد خضعت جميع أنواع الركام المستخدمة لمجموعة من الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية بهدف تقييم خصائصها ومقارنتها، وكذلك معرفة تأثير كل نوع منها على أداء وفعالية خرسانة ذاتية الدمك ويبن الجدول (1) نتائج اختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام.

شكل (1): عينات الركام الخشن المستخدم

جدول (1): نتائج اختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام الخشن

	ركام سبها	ركام الشاطي	ركام الغيلانية	ركام الجفرة	ركام أوباري	ركام ثمنهنت
الوزن النوعي	2.67	2.2	2.86	2.67	2.0	2.65
الوزن الحجمي المدموك	1.54	1.29	1.51	1.56	1.22	1.47
نسبة الامتصاص %	0.61	4.9	3.09	1.93	6.29	1
نسبة الطمي والطين %	1.6	1.2	2.9	1.20	6.10	0.3
معامل البري (لوس انجلوس) %	32.28	35.93	27.77	21.55	64.69	25.03
معامل التهشيم %	19.59	25.85	16.15	14.52	43.49	20.49
نسبة التفلطح %	19.5	10.29	13.7	15.00	20.65	13.1
نسبة الاستطالة %	25.1	12.61	13.2	19.60	10.70	26.32

الركام الناعم: في هذه الدراسة، تم استخدام ركام طبيعي ناعم من منطقة زلاف في كل الخلطات، لأنه من المصادر المعروفة والمستخدمة محليا في أعمال الخرسانة بجنوب البلاد[7] .

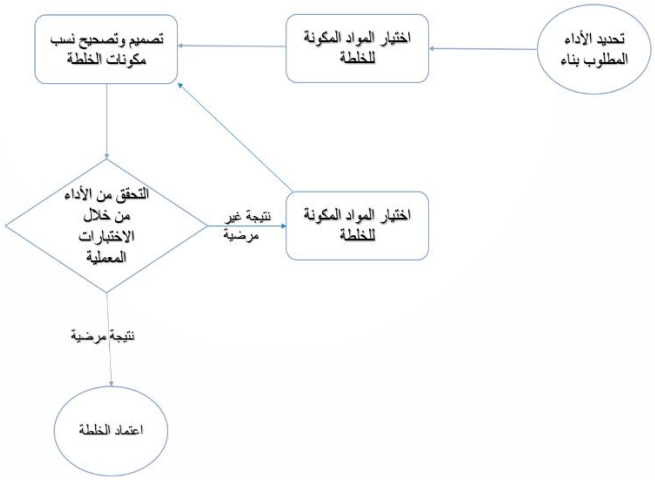
ماء الخلط: تم استخدام الماء الصالح للشرب في كافة الخلطات الخرسانية في هذه الدراسة، وذلك لضمان توافقه مع المعايير الفنية والمواصفات اللازمة في مجال الخرسانة[12] .

الإضافات الكيميائية (الملدن الفائق): تم استخدام ملدن فائق (ليبومنت 163)، وهو منتج محلي من صنع شركة ليبيا لكيماويات البناء، ويصنف كمادة فعالة جدا لتقليل محتوى المياه بشكل كبير، ويتوافق مع المواصفة الأمريكية ASTM C494 Type F والمواصفة البريطانية B. S. 5075 Part 3. تم استخدامه بتركيز 2% من وزن الإسمنت، وهذه النسبة موصى بها من قبل الشركة المصنعة والتي تتراوح بين 0.6 – 2.5%، والشكل (2) يوضح الملدن المستخدم.

شكل (2): نوع الملدن المستخدم

2.2.2 تصميم الخلطات الخرسانية

في هذه الدراسة، تم استخدام طريقة عملية لتصميم خلطات الخرسانة ذاتية الدمك من خلال إعداد مجموعة من الخلطات التجريبية باستخدام ركام محلي المتوفر في جنوب ليبيا، حيث تم الاحتفاظ بنسب المكونات باستثناء نوع الركام الخشن، الذي تم تغييره لدراسة تأثيره على خصائص الخرسانة في حالتها الطازجة والمتصلدة والشكل (3) يبن منهجية التي تم اتباعها في تصميم الخلطات التجريبية واختبارها للوصول الى للوصول إلى النسب الأمثل للمكونات التي تحقق الأداء المرغوب وبالتالي الوصول الخلطة المعتمدة في هذه الدراسة. ومن خلال هذه الاختبارات، تم تحديد نسب الخلط المعتمدة التي تشكل الأساس لتقييم أداء الخرسانة ذاتية الدمك باستخدام أنواع مختلفة من الركام وتم عمل 5 خلطات خرسانية طبقا بعد استبعاد مصدر واحد وهو ركام أوباري وذلك بعد اجراء الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية والجدول (2) يبن مكونات الخلطة الخرسانية ذاتية الدمك المعتمدة في هذه الدراسة[11] .



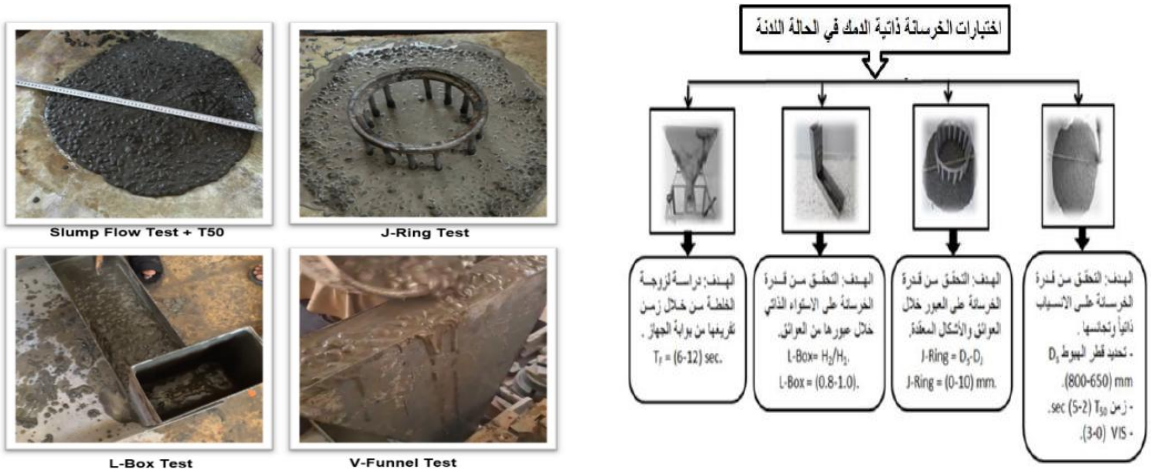
شكل (3): مخطط لعملية اعتماد الخلطة الخرسانية

جدول (2): كميات مواد الخلطة الخرسانية المعتمدة في الدراسة

المـــكون	الكمية (كجم/متر3)	حدود المواصفة في الدليل الأوروبي (EFNARC)
الإسمنت	500	600 - 380
الركام الخشن	818	أكبر من 50% من حجم الركام الكلي
الركام الناعم	818	1000 - 750
الماء	210	210 - 150
الملدن 1.5%	7.5	حسب الشركة المصنعة من 0.6 – 2.5 %

2.2.3 اختبارات الخرسانة ذاتية الدمك

اختبارات الحالة اللدنة : تتميز الخرسانة ذاتية الدمك بقدرتها على التدفق والانتشار داخل القوالب وملء الفراغات حول حديد التسليح تحت تأثير وزنها الذاتي فقط، دون الحاجة إلى أي نوع من أنواع الدمك الميكانيكي، وتعد الخصائص الطازجة لهذه الخرسانة من أهم المعايير التي تحدد جودة أدائها وكفاءتها في مواقع التنفيذ. ولضمان تحقيق هذه الخصائص، تم تطوير مجموعة من الاختبارات القياسية للخرسانة في حالتها الطازجة كما بالشكل (4).[12][9]



شكل (4): اختبارات خرسانة ذاتية الدمك اللدنة

حيث تهدف إلى تقييم أدائها من حيث القابلية للتشغيل والانسياب، ومقاومة الانفصال الحبيبي، والقدرة على المرور بين القضبان الحديدية، والاستقرار الحبيبي والجدول (3) يبين نتائج هذه الاختبارات.

جدول (3): نتائج اختبارات الخرسانة في الحالة اللدنة

	Slump flow 650-800 (mm)	T50 2-3sec	J-Ring 0-10 mm	V-Funnel 6-12 (sec)	L-Box 0.8 - 1	الفحص البصري للعينة
ركام الغيلانية	700	2	6	8	0.81	لايوجد نضح
ركام ثمنهنت	800	2.1	10	6	0.85	نضح متوسط
ركام سبها	620	2.7	2	10.18	0.8	لايوجد نضح
ركام الشاطي	650	3	2	10	0.5	خلطة جافة
ركام الجفرة	765	2.1	3	4.19	0.84	لايوجد نضح

اختبار Slump Flow وT50 : بشكل عام اغلب الخلطات سجلت قيم انسيابية ضمن الحدود ، وسجلت خلطة ثمنهنت أعلى قيمة انسيابية (800 مم) مع زمن T50 مثالي (2.1 ث)، مما يشير إلى لزوجة متوسطة وانسي ممتازا وامتصاصا قليلا ومقاومة متوسطة للكسر. أما خلطة الغيلانية والجفرة، فقد اظهرت نتائج جيدة (700–765 مم)، ما يعكس انسيابية كافية للاستخدام العملي، بينما خلطة سبها سجلت 620 مم فقط، وهو أقل من الحد الأدنى للمواصفة (650 مم)، ويرجع ذلك إلى خشونة سطح الركام وضعف التدرج وارتفاع نسبة التهشيم ،اما خلطة الشاطي كانت عند الحد الأدنى (650 مم) مع T50 أعلى من المواصفة، مما يشير إلى لزوجة مرتفعة ومقاومة داخلية أكبر للتدفق ويرجع ذلك إلى عدة أسباب مرتبطة مباشرة بخصائص الركام حيت يحتوي على نسبة تفلطح واستطالة مرتفعة وهذا بدوره يسبب احتكاك كبير بين الحبيبات خلال الانسياب، مما يزيد مقاومة التدفق ويؤدي إلى بطء الحركة وبالتالي زمن T50 أطول.

اختبار J–Ring: الفرق الواضح بين اختبار التدفق والانسياب Slump Flow واختبار الحلقة J–Ring في خلطة ثمنهنت يشير إلى انسيابية جيدة مع إمكانية فقدان الاستقرار في حالة وجود حديد تسليح بكثافة ، ويوصى في هذه الحالة باستخدام مادة تقلل من الانفصال. بينما في خلطات سبها والشاطي ظهرت فرقا طفيفا، اما الجفرة أظهرت انسيابية مقبولة مع القدرة على التدفق، مما يدل على وجود توازن نسبي في خصائصها بالرغم من النتائج المحدودة في الاختبارات الأخرى.

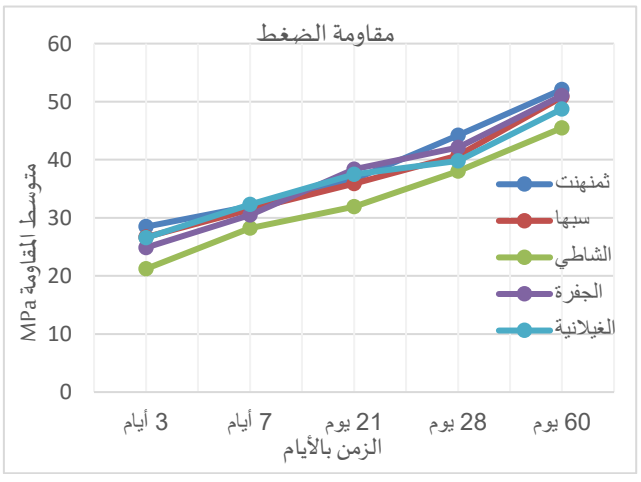
اختبار V–Funnel: جميع الخلطات التي تم اختبارها في هذه الدراسة كانت ضمن حدود المواصفة (6–12 ثانية) مما يدل على أنها تلبي الحد الأدنى من متطلبات لزوجة الخرسانة ذاتية الدمك. خلطة ثمنهنت سجلت 6 ثوان، اما خلطة الغيلانية أظهرت زمن تدفق 8 ثانية، مما يدل على سلوك جيد في الانسياب بينما خلطة سبها والشاطي سجلت أوقات قريبة من الحد الأعلى المقبول 10.18 و10 ثانية على التوالي، مما يشير إلى لزوجة أعلى نسبيا ومقاومة داخلية أكبر لتدفق الخرسانة، أما خلطة الجفرة فسجلت زمن تدفق قدره 4.16 ثانية، وهو وقت اقل من الحد الأدنى وهذا يدل على سيولة عالية واحتمالية حدوث فصل بين الحبيبات، خاصة أنها سجلت أيضا انسياب مرتفع في اختبار Slump Flow (765 مم)، لذلك ينصح بمراقبة استقرار هذه الخلطة أثناء الاستخدام العملي.

اختبار الصندوقL–Box: يهدف هذا الاختبار هو قياس قدرة الخرسانة على المرور بين العوائق أي محكاه مرور خرسانة بين حديد التسليح. كانت خلطة ثمنهنت هي الأفضل في هذا الاختبار من حيث قدرة المرور والانسياب بدون توقف، وخلطة الجفرة سجلت نتيجة جيدة، بينما خلطة الغيلانية وسبها سجلت نتائج عند الحد الأدنى المقبول (0.80–0.81) مما يدل على أداء وظيفي لكنه محدود، مما يعكس وجود مقاومة داخلية بسبب شكل الركام أو توزيعه غير المنتظم، أما خلطة الشاطي سجلت نتيجة خارج الحدود المسموح بها في المواصفة.

الاختبارات الحالة الصلبة: تم إجراء سلسلة من الاختبارات على الخرسانة ذاتية الدمك بعد تصلبها وذلك بهدف تقييم كفاءتها وادائها ومدى جودتها ومتانتها ومن هذه الاختبارات[8] :

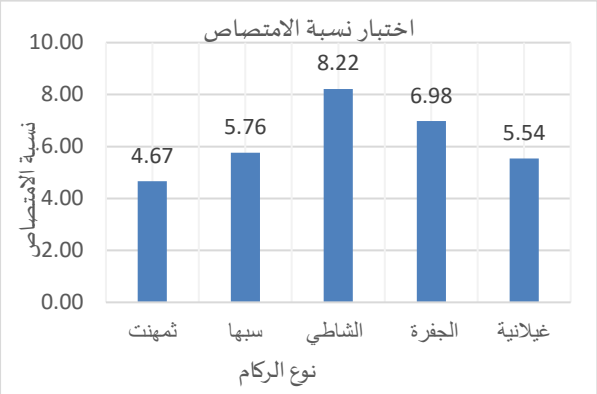
اختبار مقاومة الضغط:تم إجراء اختبار مقاومة الضغط على مكعبات خرسانية بأبعاد (100×100×100 مم) في أعمار زمنية مختلفة، وهي (3، 7، 21، 28، 60) يوم وذلك لمتابعة وفهم عملية تطور المقاومة مع مرور الزمن والشكل (5) يبن الجهاز المستخدم لاختبار مقاومة الضغط. واما الشكل (6) يبن نتائج اختبار مقاومة الضغط لجميع الخلطات.

شكل (5): جهاز كسر العينات



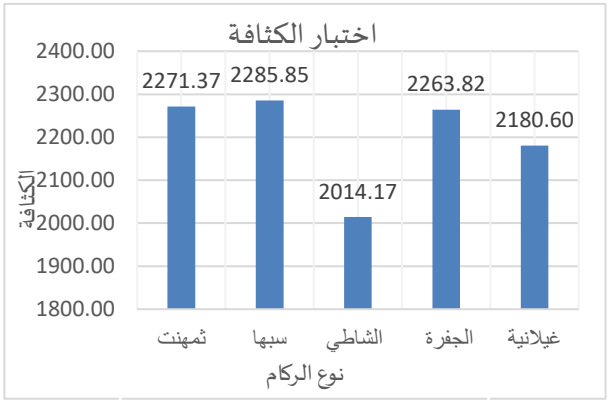
شكل (6): نتائج اختبار مقاومة الضغط

اختبار نسبة الامتصاص: يهدف اختبار الامتصاص لتحديد مدى قدرة الخرسانة المتصلبة على امتصاص الماء، ويعتبر هذا مؤشر مهم على مدى نفاذية الخرسانة وكثافتها، وتم تنفيذ الاختبار وفقا للمواصفة ASTM C642، وذلك باستخدام مكعبات خرسانية مقاسها 100 * 100 *100 مم تم تجفيفها ثم غمرها في الماء، وتم حساب نسبة الامتصاص بناء على الفرق بين الوزن الجاف والوزن المشبع جاف السطح كما بالشكل (7).



شكل (7): اختبار نسبة الامتصاص

اختبار الكثافة: يهدف إلى قياس مدى تماسك ودمك الخرسانة بعد تصلبها، من خلال حساب كتلتها الجافة بالنسبة إلى حجمها.



شكل (8): اختبار كثافة

3. النتائج والمناقشة

3.1 اختبار الضغط:

- أظهرت نتائج الاختبار ان خلطة ثمنهنت أعلى مقاومة ضغط (52.1 ميجا باسكال عند 60 يوم)، ويعزى ذلك إلى تدرج الركام الجيد وانخفاض نسبة الامتصاص، وهو ما يتوافق مع نتائج دراسة خليل [12] التي أكدت دور هذه الخصائص في تعزيز الأداء.
-
- خلطة الجفرة حققت تحسنا ملحوظا مع الزمن رغم امتصاصها العالي حيث بلغت 51 ميجا باسكال عند 60يوم، مما يعكس كفاءة الدمك وجودة الركام، كما أشارت دراسة هاجيمي اوكامورا [9] إلى إمكانية تحسين الأداء بتصميم خلطة مناسب.
- خلطة سبها فقد سجلت مقاومة جيدة لكنها تأثرت نسبيا في الأعمار المبكرة بسبب الامتصاص، وهو ما دعمته دراسة سعاد تليش [1].
- خلطتا الغيلانية والشاطئ أظهرتا مقاومات أدنى، نتيجة خصائص ركام أقل جودة، ما يتماشى مع نتائج دراسة فاطمة مسعود [4] التي ربطت بين شكل وتدرج الركام والأداء الميكانيكي للخرسانة.

3.2 اختبار الامتصاص والكثافة الجافة:

- أظهرت نتائج الاختبار أن خلطة ثمهنت سجلت أقل نسبة امتصاص وكثافة جافة مرتفعة، مما يشير إلى جودة عالية في التدرج والشكل، وهو ما يتفق مع خليل [12] حول دور الركام الجيد في تحسين الكثافة والمقاومة.
- خلطة سبها فقد حققت أعلى كثافة جافة بسبب الكثافة النوعية العالية للركام، بما يتماشى مع أوكامورا [9].
- سجلت خلطة الشاطئ أعلى امتصاص وأقل كثافة نتيجة لسوء التدرج، ما ينعكس سلبًا على الأداء، وهو ما أشار إليه أوكامورا أيضا.

- خلطة الجفرة رغم امتصاصها المرتفع أظهرت كثافة جيدة بسبب الانسيابية العالية، وهو ما يدعمه ما ورد في دراسة فاطمة مسعود [4]. أما خلطة الغيلانية، فأظهرت نتائج متوسطة تعكس استخدام ركام بجودة معتدلة. وتؤكد هذه النتائج أن خصائص الركام المحلي تؤثر بوضوح على جودة خرسانة ذاتية الدمك.

4. التوصيات

اعتمادا على نتائج الدراسة، أوصى بالآتي:

1. اعتماد ركام تمنهنت والجفرة ومن ثم الغيلانية كخيار أفضل في مشاريع الخرسانة الذاتية الدمك في جنوب ليبيا، نظرا لأدائهما المتفوق.
2. ضرورة استبعاد أو معالجة الركام ذو الامتصاص العالي ومؤشر التهشيم المرتفع لتحسين جودة الخرسانة.
3. إجراء دراسات مستقبلية تشمل خصائص ديمومة الخرسانة، مثل مقاومة الكبريتات، النفاذية، والانكماش، عند استخدام نفس أنواع الركام.
4. إمكانية الاستفادة من نتائج الدراسة في مشاريع البنية التحتية والمباني العامة، مع توجيه مصانع الخرسانة ذاتية الدمك نحو مصادر الركام الأفضل.
5. إجراء دراسات مماثلة في مناطق أخرى من ليبيا لتقييم الركام المحلي ومقارنته بالمواصفات القياسية.

5. قائمة المراجع

[1] سعاد تليش، والطاهر يوسف. (2020). دراسة تأثير خبث الأفران كبديل جزئي للرمل على الخواص الهندسية للخرسانة ذاتية الدمك. في أعمال المؤتمر الدولي الثالث للعلوم والتقنية (ICST 2020)، طرابلس، ليبيا، 28–30 نوفمبر 2020.

[2] القمودي، عبد الناصر، خواص الخرسانة المحتوية على ركام محلي من سبها وأوباري، ليبيا، مجلة الهندسة المدنية، جامعة سبها، 2020.

[3] عيسى، عبد الحميد، الخرسانة الذاتية الدمك: دراسة مقارنة للركام المحلي المستخدم في جنوب ليبيا، المؤتمر الوطني للخرسانة، مصراتة، 2017.

[4] المعموري، جعفر عبد الزهرة، دراسة تأثير استخدام الملدنات الفائقة في تحسين خصائص الخرسانة ذاتية الدمك، العراق، المجلة الهندسية العراقية، جامعة بغداد، 2016.

[5] المزوغي، فاطمة مسعود، المشاكل المصاحبة لإنتاج الخرسانة ذاتية الدمك، ليبيا، المؤتمر الثاني للعلوم الهندسية والتقنية، جامعة صبراتة، 2013.

[6] عبيدات، محمد أحمد، والزعبي، حسام، تقييم أداء الخرسانة ذاتية الدمك باستخدام مواد محلية، الأردن، مجلة البلقاء للبحوث والدراسات، جامعة البلقاء التطبيقية، 2011.

[7] عبد الغني، كمال الدين، الخرسانة ذاتية الدمك – خواصها واستخدامها في المنشآت الخرسانية المسلحة، مصر، مجلة الهندسة، جامعة القاهرة، 2006.

[8] Jalal, M., Pouladkhan, A., & Zehtab, B. (2012). Mechanical, rheological, durability and microstructural properties of high performance self-compacting concrete containing SiO2 micro and nanoparticles. Materials & Design, 34, 389–400.

[9] Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). Self-compacting concrete. Journal of Advanced Concrete Technology, 1(1), 5–15.

[10] Nan Su, Kung-Chung Hsu, and His-Wen Chai. (2001). A simple mix design method for self-compacting concrete.Cement and Concrete Research, 31(12), 1799–1807.

[11] EFNARC. (2005). The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use. EFNARC, UK

[12] Khaleel, O. R., Al-Mishhadani, S. A., & Abdul Razak, H. (2011). The effect of coarse aggregate on fresh and hardened properties of self-compacting concrete (SCC). Procedia Engineering, 14,805–813.

دراسة مرجعية لتحديد النسبة المثلى لغبار السيليكا بالخرسانة

*أميرة راشد[1], عبدالمنعم طرنبة[2], نوري الباشا[3]
[1]طالبة دراسات عليا, قسم الهندسة المدنية , كلية الهندسة, جامعة صبراتة, ليبيا
[2]أستاذ قسم الهندسة المدنية , كلية التقنية الهندسية– زوارة, ليبيا
[3]أستاذ قسم الهندسة المدنية, كلية الهندسة, جامعة صبراتة, ليبيا

الملخص

تعتبر الخرسانة التي هي عبارة عن خليط من الركام والإسمنت من أكثر مواد البناء استخدامًا بفضل ما تتمتع به من مميزات عديدة, وقد أدى هذا الاستخدام الواسع إلى طلب متزايد على إنتاج الإسمنت مما تسبب في عواقب بيئية خطيرة أبرزها ارتفاع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون, وقد أصبح هذا الواقع مصدر قلق عالمي يتطلب حلولًا مستدامة, وفي هذا السياق وضع علماء البيئة ولجان التغير المناخي أهدافًا صارمة للحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في مختلف القطاعات كمحاولة للحفاظ على التوازن البيئي وذلك وفقاً للاتفاقية التي أقيمت في باريس عام 2015.

إن منذ القدم وحتى وقتنا الحاضر أجريت العديد من الأبحاث والدراسات حول استخدام مواد بديلة للإسمنت بهدف تقليل استخدامه والحد من آثاره البيئية, وقد حققت هذه المحاولات نجاحاً واسعاً في العديد من دول العالم, حيث أشارت معظم الأبحاث والدراسات أن استخدام غبار السيليكا (SF) له تأثير إيجابي على خواص الخرسانة حتى في المناطق الصحراوية إلا أن نتائج هذه الأبحاث أظهرت تبايناً في خصائص الخرسانة يصل إلى 5% – 20% من (SF) ومع ذلك مازال النقاش قائم حتى الآن حول النسبة الصحيحة والمثلى لدمج غبار السيليكا في الخرسانة.

يهدف هذا البحث إلى مراجعة ومناقشة أهم الأبحاث والدراسات التي أجريت على استخدام (SF) في الخرسانة وتحديد النسبة المثلى لغبار السيليكا, فمن خلال النتائج التي تم الحصول عليها تبين أن النسبة المثلى لغبار السيليكا في الخرسانة تتراوح ما بين 10% إلى 15% وهذا بدوره يقلل الحاجة إلى الإسمنت بكمية تتراوح تقريباً ما بين 30 إلى 60 كجم لكل متر مكعب, إضافة إلى ذلك فإن استخدام (SF) يمنع الشقوق والانكسارات التي قد تحدث للخرسانة في المناطق الصحراوية بسبب الأجواء الحارة.

الكلمات الدالة: *غبار السيلكا , انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ، خواص الخرسانة, خرسانة صديقة للبيئة.*

Abstract

Concrete, which is a mixture of aggregates and cement, is considered one of the most widely used construction materials due to its numerous advantages. This widespread use has led to a growing demand for cement production, resulting in serious environmental consequences—most notably, the increase in carbon dioxide (CO_2) emissions. This situation has become a global concern that requires sustainable solutions. In this context, environmental scientists and climate change committees have set strict targets to reduce CO_2 emissions across various sectors in an effort to preserve environmental balance, in accordance with the Paris Agreement signed in 2015.

From ancient times to the present day, many studies and research efforts have focused on using alternative materials to cement in order to reduce its usage and mitigate its environmental impact. These efforts have achieved widespread success in many countries around the world. Most research has indicated that using silica fume (SF) has a positive effect on the properties of concrete, even in desert regions. However, the results have shown varying effects on concrete properties depending on the percentage of SF used, ranging from 5% to 20%. Despite this, the debate continues regarding the optimal and most effective percentage of silica fume to be incorporated into concrete. This research aims to review and discuss the most significant studies on the use of SF in concrete and to determine the optimal percentage for its use. Based on the obtained results, it was found that the optimal percentage of silica fume in concrete ranges between 10% and 15%, which in turn reduces the need for cement by approximately 30 to 60 kg per cubic meter. Additionally, the use of SF helps prevent cracks and fractures that may occur in concrete in desert areas due to high temperatures.

Keywords: *Silica fume, carbon dioxide emissions, concrete properties, environmentally friendly concrete.*

1. المقدمة

تعد الخرسانة أكثر المواد استخداما في مجال البناء والتشييد, حيث زاد الطلب على الخرسانة وإنتاجها منذ ثلاثينيات القرن العشرين بسبب زيادة الطلب علي تطوير البنية التحتية, ففي كل عام يتم إنتاج ما يقارب 30 مليار طن من الخرسانة في جميع أنحاء العالم, الأمر الذي أدى إلى طلب متزايد لإنتاج الإسمنت والذي من المتوقع أن يصل إلي 5 مليار طن بحلول عام 2030 [1–2], مما ينتج عن ذلك عواقب وخيمة في زيادة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون إلى 386 جزء في المليون، متجاوزة الحدود الطبيعية منذ بداية القرن الحادي والعشرين بسبب زيادة التحضر العالمي [3–7], وهذا بدوره سيؤدي إلى انقطاع التوازن البيئي في العالم وتدمير الغلاف الجوي. إن ظاهرة انقطاع التوازن البيئي أصبحت مصدر قلق عالمي يتطلب حلاً مستداماً وأصبحت تقيم الندوات والمؤتمرات للحد من ظهرة التلوث المناخي, حيث حدد علماء البيئة ولجان تغير المناخ أهدافًا صارمة للحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من جميع القطاعات كمحاولة للمحافظة على التوازن البيئي وذلك بموجب اتفاقية باريس الموقعة في عام 2015 [3],[8].

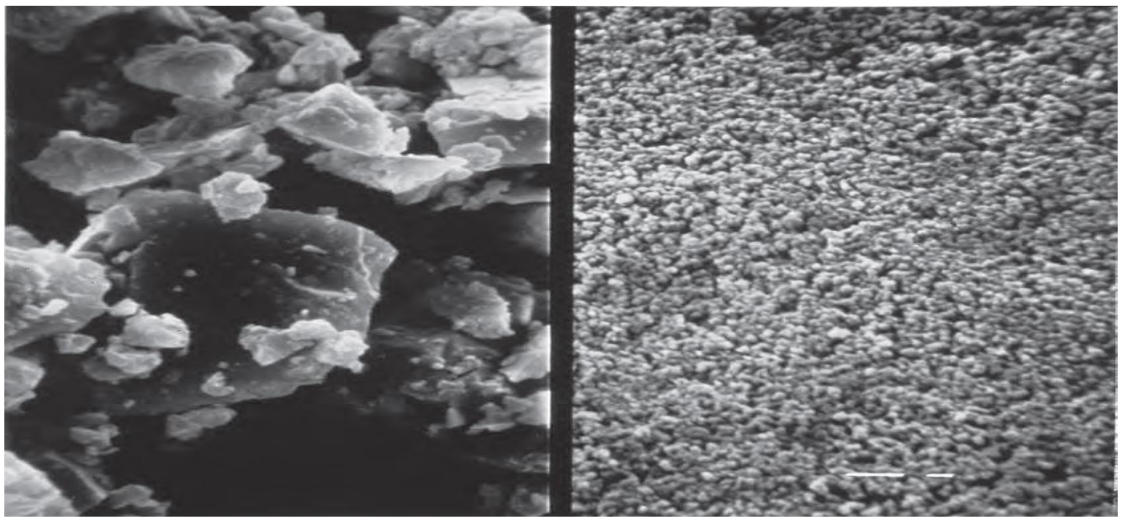
إن منذ القدم وحتى وقتنا الحاضر أجريت العديد من الأبحاث والدراسات حول استخدام مواد بديلة للإسمنت كمحاولة لتقليل استخدام الإسمنت وإنتاجه وبالتالي تقليل انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون المدمر للغلاف الجوي والمحافظة على البيئة, ومن هنا جاءت فكرة استخدام مواد بديلة عن استخدام الإسمنت في إنتاج الخرسانة ولاقت نجاح واسع في العديد من دول العالم, ومن بين المواد البديلة التي يمكن استخدامها كبديل عن الإسمنت في انتاج الخرسانة هي مادة غبار السيليكا (SF) وتسمى أيضاً بالسليكا المتطاير, وقد بينت معظم الأبحاث والدراسات أن استخدام (SF) له تأثير إيجابي على خواص الخرسانة إلا أن نتائج هذه الابحاث أظهرت تبايناً في خصائص الخرسانة يصل إلى 5–20% من غبار السيليكا ومع ذلك

مازال النقاش قائم حتى الآن حول النسبة الصحيحة والمثلى لدمج غبار السيليكا في الخرسانة والتي سيتم تحديدها في هذا البحث من خلال نتائج الدراسات السابقة.

2. غبار السيليكا Silica Fume :

- يصف معهد الخرسانة الأمريكي (ACI) غبار السيليكا بأنه دخان غير متبلور فائق الدقة يتم توليده صناعيًا عن طريق تقليل ثاني أكسيد السيليكون بالكربون في الأفران الكهربائية.
- يتم انتاج غبار السيليكا عن طريق صهر الكوارتز عالي الجودة الي السيليكون في درجات حرارة تصل إلى 2000 درجة مئوية [3].
- إن الكثافة النوعية لدخان السيليكا حوالي 2.2، وهي أخف وزنًا من الإسمنت البورتلاندي الذي تبلغ كثافته النوعية 3.15, وبالتالي فإن إضافة دخان السيليكا إلى خليط الخرسانة لن تزيد من الكثافة [9].
- إن حجم جسيمات دخان السيليكا صغيرة جدًا، حيث أن أكثر من 95% من الجسيمات يقل حجمها عن (1 ميكرو متر).

الشكل (1) يبين صورة مجهرية لحبيبات الإسمنت البورتلاندي وجسيمات دخان السيليكا [9].



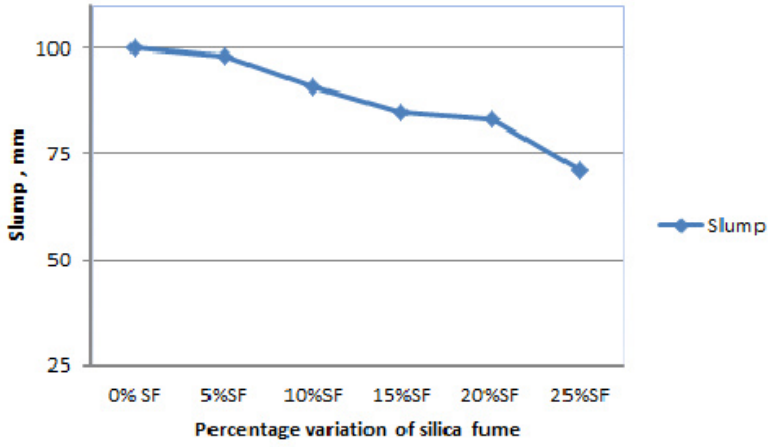
الشكل (1): صورة مجهرية للإسمنت البورتلاندي (يساراً), ولجزئيات دخان السيليكا (يميناً) [9].

3. الدراسات السابقة

دراسة (Lou et.al., 2022): قام الباحثون بإجراء تجارب معملية حول إمكانية استخدام نوعين من غبار السيليكا, النوع الأول يحتوي على ما يقارب 86.3% من أكسيد السيليكون (SF) والنوع الآخر يتميز بدرجة نقاء عالية تصل حتى 96% من ثاني أكسيد السيليكون (HSF). تم استخدام نوعي غبار السيليكا كمادة بديلة عن الإسمنت بنسب مختلفة في الوزن (0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10%) وذلك لدراسة مدى تأثير ذلك خواص الخرسانة. بينت النتائج أن مقاومة الضغط للخلطة المرجعية سجلت (50MPa) وهي أقل مقاومة ضغط وزادت بنسبة 2.8% للعينة التي تحتوي علي (SF 2.5%) بينما كانت نسبة الزيادة لعينة (HSF 2.5%) تساوي 9.4% , ولوحظ زيادة تدريجية مع زيادة نسبة الاستبدال حتى وصلت

نسبة الزيادة إلى 26.7% , 44.7% عند استخدام (SF) , (HSF) على التوالي بالمقارنة مع الخلطة المرجعية. بالنسبة لنتائج اختبار مقاومة الشد فقد تبين أن المقاومة تزداد تدريجياً مع زيادة نسبة الاستبدال بالمقارنة مع العينة المرجعية حيث كانت أعلى نسبة زيادة عند استخدام غبار السيليكا عالي الجودة (HSF) بنسبة وصلت حتى 57.4% [10]. وهو ما يتشابه مع نتائج الباحثون (Ehsan et.al., 2024) الذين أشاروا إلى أن استخدام دخان السيليكا يحسن من مقاومة الضغط وتصل نسبة الزيادة إلى أكثر من 30% [11].

دراسة (Preetha et.al., 2019): أجرى الباحثون اختبارات معملية على خواص الخرسانة التي تحتوي على دخان السيليكا (SF) بنسبة (0%, 5%, 10%, 15%, 20% , 25%) كبديل عن استخدام الإسمنت. أظهرت النتائج أن اضافة (SF) يؤثر بشكل واضح على خاصية قابلية التشغيل للخرسانة حيث ينخفض الهبوط تدريجياً مع زيادة نسبة الاستبدال وكان الانخفاض بمقدار 29مم عند استخدام نسبة استبدال تصل حتى 25% كما هو مبين في الشكل رقم (2).



الشكل (2): نتائج اختبار الهبوط للخرسانة المحتوية على دخان السيليكا [12].

من جانب آخر أكد الباحثون أن مقاومة الضغط للخرسانة تزاد مع اضافة (SF) وسجلت قيم تزيد بمقدار (4.42 , 6.17 , 8.04 , 5.01 , 2.98) ميجا باسكال عند استخدام نسب الاستبدال (5%, 10%, 15%, 20% , 25%) وذلك بالمقارنة مع الخرسانة الطبيعية 0%, كما أشار الباحثون إلى سلوك مشابه بالنسبة لمقاومتي الشد والانحناء وتلخصت الدراسة على أن نسبة الاستبدال المثلى كانت في حدود 15% من دخان السيليكا وتعطي أفضل أداء على أهم خصائص الخرسانة [12]. تشابهت هذه النتائج مع نتائج الورقة المرجعية للباحثون (Hamada et.al., 2023) الذين أشاروا إلى أن استخدام نسبة أكثر من 20% من (SF) تؤدي إلى تقليل مقاومة الخرسانة، بسبب انخفاض محتوى $Ca(OH)_2$ في الإسمنت[13].

دراسة (Taha et.al., 2023): إن من ضمن الاختبارات التي قام بها الباحثون على خواص الخرسانة استخدام دخان السيليكا (SF) كبديل عن الاسمنت وذلك بنسب استبدال مختلفة في الوزن (0% , 10% , 20% , 30%). بينت نتائج الباحثون أن قابلية التشغيل للخرسانة تنخفض بنسبة 45.5% عندما تزيد نسبة الاستبدال من 0% إلى 30% من (SF), من جهة أخرى أوضحت النتائج أن مقاومة الضغط تزداد تدريجياً مع زيادة نسبة الاستبدال حيث بلغت أقصى قيمة لها عند

استخدام نسبة استبدال تصل حتى 20% وكانت نسبة الزيادة 24.5% , 18.1% بعد 7 أيام , 28 يوم على التوالي, ولوحظ سلوك مشابه بالنسبة لمقاومتي الانحناء والشد حيث كانت نسبة الزيادة 6.93%, 19.35% على التوالي [14].

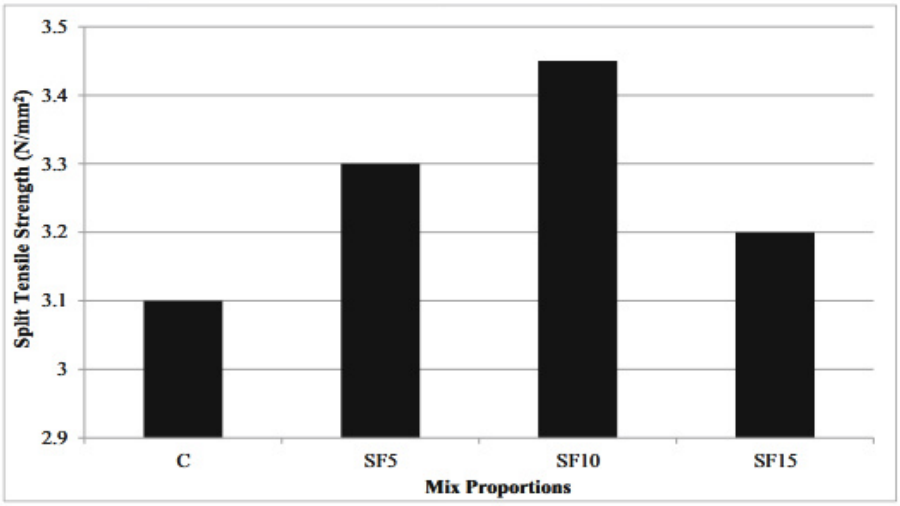
إن النتائج السابقة تقاربت مع نتائج دراسة الباحثان (Strzałkowski & Garbalińska., 2019) عند استخدام دخان السيليكا بنسبة 8% و البلاستيك بنسبة 0.75 [15], وأكد (Phulpoto et.al., 2020) أن 10% هي النسبة المثلى بعد اجراء دراسة تجريبية احتوت على (5% , 10% , 15%) من دخان السيليكا [16].

دراسة (Keerio et.al., 2020): أجرى الباحثون مجموعة مختلفة من التجارب على خواص الخرسانة وكان من بين هذه التجارب استخدام غبار السيليكا (SF) كمكون بديل عن الإسمنت بنسب استبدال مختلفة في الوزن (0% , 5% , 10% , 15%). تلخصت النتائج:

1) تنخفض قابلية التشغيل للخرسانة بنسبة 14.67% , 26.67% , 33.33% عند استخدام نسب الاستبدال 5% , 10% , 15% على التوالي.

2) مقاومة الضغط للعينة المرجعية سجلت ما يقارب 26 ميجا باسكال , بينما كانت (29.4 , 32.5 , 27.5) ميجا باسكال عند استخدام نسب الاستبدال 5% , 10% , 15% على التوالي, أما مقاومة الشد فتزداد مع إضافة غبار السيليكا بنسبة تصل حتى 10% وتنخفض مع زيادة نسبة الاستبدال 15% كما يظهر ذلك في الشكل (3) .

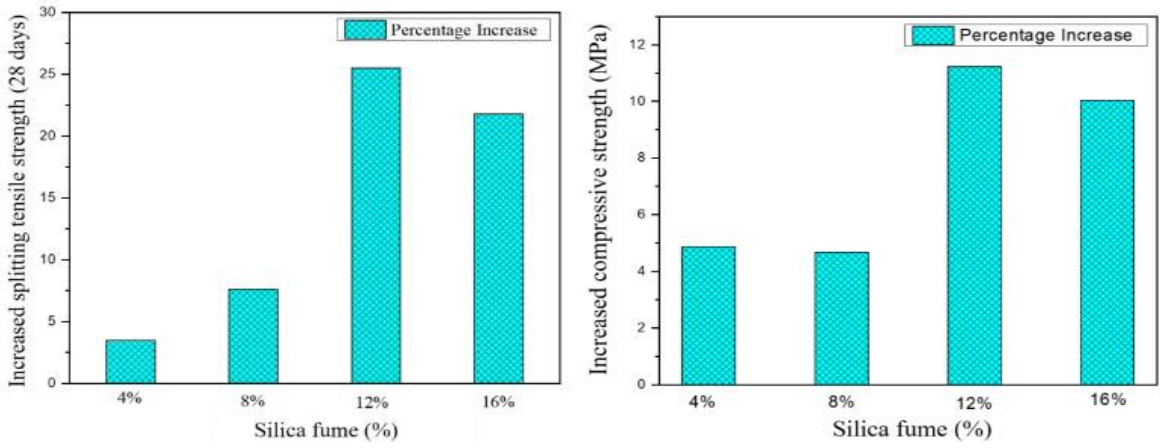
3) إن قدرة الخرسانة على امتصاص الماء تقل تدريجياً مع زيادة نسبة الاستبدال بالمقارنة مع الخرسانة المرجعية, حيث تم تقدير امتصاص الماء بنسبة 8% , 16% , 20% وذلك عند 5% , 10% , 15% على التوالي من (SF) [17].



الشكل (3): نتائج مقاومة الشد للخرسانة المحتوية على دخان السيليكا [17].

دراسة (Nadim et.al., 2024): تهدف هذه الدراسة إلى تقييم فعالية استخدام غبار السيليكا على الخرسانة المحتوية على الركام المعاد تدويره بنسبة 100% وذلك بعد تحضير خمسة عينات خرسانية من بينها أربعة تحتوي على غبار السيليكا

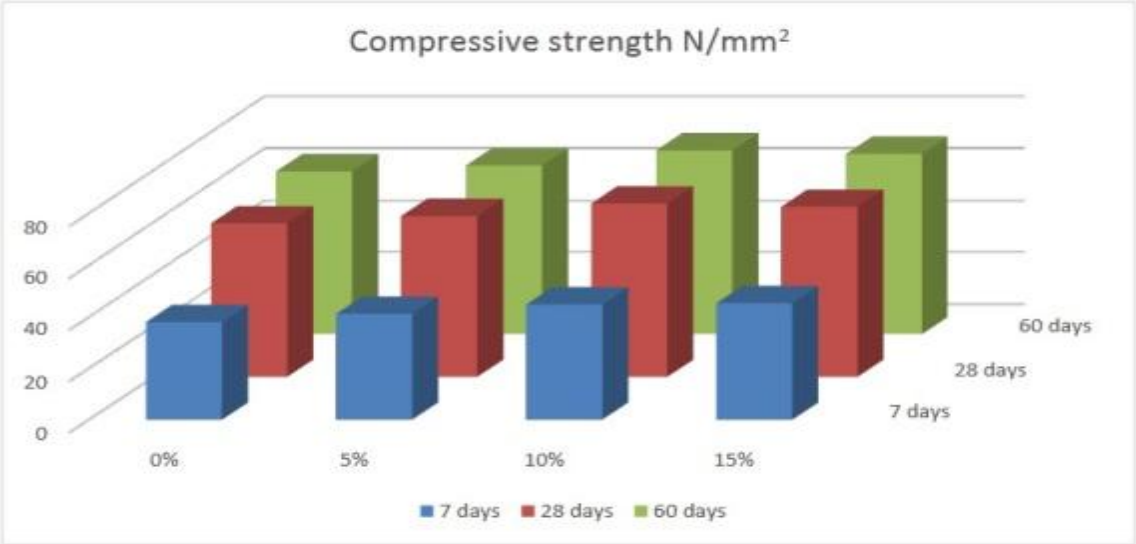
كبديل عن الإسمنت بنسب مختلفة 4% , 8% , 12% , 16% . بينت نتائج اختبار مقدار الهبوط أن قابلية التشغيل تقل تدريجياً مع إضافة (SF) , من جانب آخر تحسنت نتائج مقاومتي الشد والضغط مع زيادة محتوى (SF) , حيث كانت النسبة المثلى هي 12% من (SF) كما يبين ذلك الشكل (4) [18], بالإضافة إلى ذلك أشار الباحثان (Alhajiri & Akhtar., 2023) إلى أن نسبة الاستبدال المثلى تتراوح ما بين 5%– 20% [19].



الشكل (4): يبين مقدار الزيادة في مقاومتي الضغط والشد للخرسانة [18].

دراسة (Roy & sil., 2012): استخدم الباحثان غبار السيليكا (SF) كبديل عن الإسمنت بنسب تختلف بالوزن 0% , 5% , 7.5% , 10% وذلك كمحاولة لتحسين خواص الخرسانة في حالتها الطازجة والصلبة. أجريت مجموعة من الاختبارات على عينات مكعبات خرسانية ذات أبعاد (150×150×150) مم , وأسطوانات بقطر 150 مم وارتفاع 300 مم , وعوارض بأبعاد (100×100×500) مم. بينت نتائج التي تم الحصول عليها أن إضافة (SF) له تأثير إيجابي على الخصائص الميكانيكية للخرسانة , وقد لوحظ من خلال النتائج أن أقصى مقاومة ضغط سواء للعينات المكعبة أو العينات الاسطوانية كانت عند استخدام نسبة الاستبدال 10% من الإسمنت بغبار السيليكا وكانت القيم أعلى بنسبة 19.6%, 16.82% على التوالي بالمقارنة مع الخرسانة التي تحتوي على الإسمنت بنسبة 100% , إضافة إلى ذلك تبين أن مقاومتي الشد والانحناء وصلت إلى مقدار 3.61 ميجا باسكال , 4.93 ميجا باسكال على التوالي عند استخدام (SF) بنسبة 10% وهي تعتبر أعلى بنسبة 38.53%, 21.13% على التوالي من نتائج الخرسانة المرجعية [20].

دراسة (Chakravarth., 2015): إن من أهم النتائج التي توصل إليها الباحث, هي أن استخدام غبار السيليكا (SF) كبديل عن الإسمنت في انتاج الخرسانة له تأثير إيجابي على معظم خواص الخرسانة باستثناء قابلية التشغيل, وتبين كل هذا من خلال استبدال الإسمنت بغبار السيليكا بنسب مختلفة في الوزن 0% , 5% , 10% , 15% بنسبة ماء إلى الإسمنت ثابتة تبلغ 40%. مما أشار إليه الباحث أيضاً أن الخصائص الميكانيكية تزداد مع زيادة (SF) بنسبة تصل حتى 10% من جانب آخر بدأت مقاومة الخرسانة للضغط في الانخفاض عند زيادة نسبة الاستبدال 15% كما هو مبين في الشكل (5) [21] .



الشكل (5): نتائج الضغط عند الأعمار 7 , 28 , 60 يوم [21].

دراسة (Ohnmar Zaw., 2019): أثبتت نتائج هذه الدراسة أن استخدام غبار السيليكا كبديل عن الإسمنت بنسبة 5% , 7.5% , 10% له القدرة على ملئ الفراغات وبالتالي تبين أن تأثيره إيجابي وملحوظ على مقاومة الضغط للخرسانة. بالنسبة للخلطة العادية بلغت مقاومة الضغط للخرسانة 30.01 ميجا باسكال و41.84 ميجا باسكال على التوالي بعد 7 , 28 يوم على التوالي, وزادت عند استخدام (SF) حيث سجلت أقصاها 35.9 ميجا باسكال و43.28 ميجا باسكال بعد 7 أيام , 28 يوم عند استبدال 10% من دخان السيليكا [22]. هذا ما أشار إليه الباحث (Nasratullah Amarkhail., 2015) الذي أكد على أن النسبة المثلى لغبار السيليكا هي من 10% إلى 15% [23]. كما أكد على ذلك (Suryanita et.al., 2022) من خلال دراسة عملية تحدد مدى تأثير غبار السيليكا على مقاومة الضغط للخرسانة خفيفة الوزن وذلك باستبدال الإسمنت بغبار السيليكا بنسبة 0.5% , 1% , 5% , 10% , 15% [24].

4. مناقشة الدراسات السابقة

يعد دخان السيليكا من المواد التي تتميز بخواص بوزولانية عالية, وبالتالي فإن دمجه في الخرسانة يمكّن من الحصول على خرسانة عالية الأداء بطريقة فعّالة [38-39] , و على الرغم من إجراء العديد من الأبحاث والدراسات حول استخدام غبار السيليكا في الخرسانة إلا أن النقاش قائم حتى الآن حول النسبة الصحيحة والمثلى لاستبدال الإسمنت بغبار السيليكا (SF), حيث أفاد الباحثون [40-43] أن نسبة الاستبدال التي تعطي أفضل النتائج تتراوح ما بين 5 – 20% وأن نسبة الاستبدال المثلى هي 10% من (SF), من جانب آخر يرى الباحثون [25] , [44–45] ان استبدال الإسمنت بغبار السيليكا بنسبة تصل حتى 15% تكون للخرسانة مقاومة أعلى من مقاومة الخرسانة المرجعية بنسبة تصل إلى 3.1%, أما عند استبدال الإسمنت بغبار السيليكا بنسبة تصل إلى 20% فأكدت الدراسات [46] , [25] أن الخواص الميكانيكية تحسنت بشكل ملحوظ بالمقارنة مع خواص الخرسانة الطبيعية. الجدول رقم (1) يبين أوجه التشابه والاختلاف حول تحديد نسبة غبار السيليكا في الخرسانة.

الجدول (1) : النسبة المثلى لغبار السيليكا التي حددتها النتائج التجريبية التي اعتمدها الباحثون.

الباحثون	نسبة الاستبدال	نسبة (w/s)	نسبة الاستبدال المثلى
Abubaker and Ghanim, 2022 [25]	%5 , %10 ، %15	0.5	%15
Amudhavalli and Mathew, 2012 [26-27]	%5 , %10 , %15 , %20	--	%10 - %15
Chouhan et.al., 2017 [28]	, %12.5 , %15 , %20 , %25 %5 , %7.5	0.42	%20
Bhanja and Sengupta., 2005 [29] [27]	%5 , %10 , %15 , %20, %25	0.26 - 0.42	%5 - %10
Smarzewski., 2019 [30]	%5 , %10 , %15 , %20, %25	0.25	%10
Suryanita et.al., 2022 [31]	%0.5 , %1 , %5 , %10 , %15	----	%10
Vishal and Bhandari., 2014 [32]	%5 , %10 , %15 , %20, %25	0.6 - 0.5	%10
Pradhan and Dutta., 2013 [33]	%5 , %10 , %15 , %20, %25	--	%15
Sasikumar and Tamilvana., 2016 [34]	%25 , %30 , %40 , %50		%25
Srivastav et.al., 2014 [35]	%15 , %20, %25 , %30 , %35 %5 , %10 ,	0.5 - 0.4	%5
Shanmugapriya and Uma., 2013 [36]	, %5 , %7.5 , %10 , %12.5 %2.5	0.32	%7.5
Hanumesh et.al., 2015 [37]	%5 , %10 , %15 , %20	0.52	%10

5. الخلاصة

1. إن استخدام غبار السيليكا (SF) كبديل عن الاسمنت يعتبر الأكثر رسوخا وقبولا في مجال البناء والتشييد ويكون له تأثير إيجابي على خواص الخرسانة , كما يمنع الشقوق والانكسارات التي قد تحدث للخرسانة في المناطق الصحراوية بسبب الأجواء الحارة.
2. نتائج الابحاث والدراسات أظهرت تبايناً في خصائص الخرسانة يصل إلى 5 - 20% من غبار السيليكا.
3. من خلال النتائج التي تم الاطلاع عليها يمكن القول بأن النسبة المثلى لغبار السيليكا في الخرسانة هي ما بين 10% إلى 15%.
4. استخدام غبار السيليكا بنسبة ما بين 10% إلى 15% يقلل الحاجة إلى الإسمنت بكمية تتراوح تقريباً ما بين 30 إلى 60 كجم لكل متر مكعب.
5. كلما زادت نسبة استبدال الاسمنت بغبار السيليكا (SF) عن 15% قلت خواص الخرسانة.

6. التوصيات

لتقليل الطلب على الإسمنت نوصي باستخدام غبار السيليكا في إنتاج الخرسانة, كما نوصي بإجراء دراسات معملية لتحسين سلوك الخرسانة, وذلك عن طريق استخدام إضافات كالألياف، والمواد البوزلانية الأخرى وغيرها.

7. المراجع

[1]. Monita Olivia, MAldi Maulidi, Fadhlurrahman, Gunawan Wibisono. " Characteristics of palm oil fuel ash concrete admixed with precipitated silica and silica fume" Cleaner Engineering and Technology, (April 2024) 100738.

[2]. Nicolas Muller, Jochen Harnisch, J.P. Mesguen. "How to Turn Around the Trend of Cement Related Emissions in the Developing World" (2008).

[3]. Ayedh Mohammad Alhajiri, Mohammad Nadeem Akhtar. " Enhancing Sustainability and Economics of Concrete Production through Silica Fume A Systematic Review" Civil Engineering Journal, (October, 2023) page 2676.

[4]. Rasheed, R., Tahir, F., Afzaal, M., & Ahmad, S. R " Decomposition analytics of carbon emissions by cement manufacturing – a way forward towards carbon neutrality in a developing country ". Environmental Science and Pollution Research, (2022). doi:10.1007/s11356-022-20797-8

[5]. Devi, K. S., Lakshmi, V., " Alakanandana, A " Impacts of cement industry on environment-an overview". Asia Pacific Journal of Research, 1, 156-161.

[6]. Akhtar, M. N., AKhtar, J. N., & Hattamleh, O. " The Study of Fibre Reinforced Fly Ash Lime Stone Dust Bricks With Glass Powder ", International Journal of Engineering and Advanced Technology, (2013). 3(1), 314-319.

[7]. Vig, N., Mor, S., & Ravindra, K. " The multiple value characteristics of fly ash from Indian coal thermal power plants: a review ". Environmental Monitoring and Assessment, (2023). 195(1), 33. doi:10.1007/s10661-022-10473-2.

[8]. Akhtar, M. N., Jameel, M., Ibrahim, Z., Muhamad Bunnori, N., & Bani-Hani, K. A. " Development of sustainable modified sand concrete: An experimental study", (2023). Ain Shams Engineering Journal, 102331. doi:10.1016/j.asej.2023.102331.

[9]. Book. Silica Fume User's Guide, Second Edition.

[10]. Luo T, a, Cheng H a, Fang L a, Qiang S, b c, Yu Yi a. " Effect of adding solid waste silica fume as a cement paste replacement on the properties of fresh and hardene", case studies in construction materials,(2022).

[11]. Ahsan w, mohammed B, muhammed t,Dorin R, Teofil G, Fadib A, Hamad A,Yakubu d, christiana e ,c, "Investigating the synergisic effects of carbon fiber and silica fume on cncrete strength and eco-efficiency", case studies in construction materials, (2024).

[12]. V. Preetha, Sathyapriyadharshini, Sarguna, Senthamilselvan. " Studies on Effect of Silica Fume on Workability and Strength of Concrete" International Research Journal of Multidisciplinary Technovation , (September 2019) 165-171.

[13]. Hussein M. Hamada, Farid Abed, Herda Yati Binti Katman, Ali M. Humada, Mohammed S. Al Jawahery, Ali Majdi, Salim T. Yousif, Blessen Skariah Thomas. "Effect of silica fume on the properties of sustainable cement concrete"Journal of Materials Research and Technology, (June 2023), Pages 8887-8908.

[14]. Ayat M. Taha, Mohamed H. Makhlouf, Khaled M. El-Sayed, Gamal I. Khaleel. " The effect of Silica Fume and Fly Ash on the Properties of Reactive Powder Concrete and its comparison with High Strength Concrete" Benha Journal of Applied Sciences, (2024), pages 31-43.

[15]. Jaroslaw Strzałkowski1, Halina Garbalińska. "The Influence of Silica Fume on the Mechanical and Thermal Parameters of Portland Cement Concretes" Journal of Ecological Engineering, (October 2019), pages 95-102.

[16]. Sheeraz Ahmed Phulpoto, Muhammad Jaffar Memon, Manthar Ali Keerio, Dildar Ali Mangnejo. "Effect of nylon fiber and silica fume on the properties of concrete " International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science, (October 2023), pages 1105-1114.

[17]. Manthar Ali Keerio, Suhail Ahmed Abbasi, Aneel Kumar, Naraindas Bheel, Khalil ur Rehaman, Muhammad Tashfeen. "Effect of Silica Fume as Cementitious Material and Waste Glass as Fine Aggregate Replacement Constituent on Selected Properties of Concrete" (October 2020), https://doi.org/10.1007/s12633-020-00806-6.

[18]. Nadim, F., Hasan, R., Rahman, M., Ashraf, J., Sadiqul, N., Dip, S., Hamidul, M., Ashraful, M., Robiul, M., Arifur, S., Kawsarul, M. and Oleiwi, Y. "Effect of silica fume on the microstructural and mechanical properties of concrete made with 100% recycled aggregates". Revista de la Construcción. Journal of Construction, (2024) 23(2), pages 413-435. https://doi.org/10.1007/s12633-020-00806-6

[19]. Ayedh Mohammad Alhajiri, Mohammad Nadeem Akhtar. " Enhancing Sustainability and Economics of Concrete Production through Silica Fume: A Systematic Review " Civil Engineering Journal, (October 2023), pages 2612-2629.

[20]. Dilip Kumar Singha Roy, Amitava Sil. " Effect of Partial Replacement of Cement by Silica Fume on Hardened Concrete " International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, (August 2012), pages 472-475.

[21]. Nahushananda Chakravarthy H.G. " **effect of silica fume on partial replacement of cement on high strength concrete** " International **Jo**urnal of Science and Technology,(2015), pages 275-284.

[22]. Ohnmar Zaw. " Effect of Silica Fume on the Properties of Concrete " International Journal of Engineering Research and Advanced Technology,(August 2019), pages 55-60.

[23]. Nasratullah Amarkhail. " **effect of silica fume on** Properties of **high-strength concrete** " International Journal of Technical Research and Applications, (September, 2015), PP. 13-19

[24]. Reni Suryanita, Harnedi Maizir, Rizki Zulapriansyah, Yon Subagiono, Mohd Fadzil Arshad. " The effect of silica fume admixture on the compressive strength of the cellular lightweight concrete" Results in Engineering, (June 2022), 100445 https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100445

[25]. Farhat Abubaker, Hadria Ghanim. " Effect of Silica Fume Addition on The Mechanical Properties of Concrete " Albahit journal of applied sciences, (2022), pages 1-5

[26]. N. K. Amudhavalli, Jeena Mathew. " **effect of silica fume on** strength and duability " Parameters of concrete " International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies, (August 2012), pp 28-35.

[27]. Vidhu Sharma, Dilip Rawat, Abhishek Singh. " A Review paper on the effect of mocro silica on properties of concrete " International Journal of Novel Research and Development, (2023), pages 198-200.

[28]. Prabhulal Chouhan, Sagar Jamle, M.P. Verma. " Effect of Silica Fume on Strength Parameters of Concrete As A Partial Substitution of Cement" researchgate, (May 2017), pages 968-972.

[29]. Bhanja, S., and B. Sengupta. "Influence of SILICA FUME on the tensile strength of concrete." Cement and concrete research 35, no. 4 (2005), pages 743-747

[30]. Piotr Smarzewski. " Influence of silica fume on mechanical and fracture properties of high performance concrete' International Conference on Structural Integrity , (2019), pages 5-12.

[31]. Reni Suryanita, Harnedi Maizir, Rizki Zulapriansyah, Yon Subagiono, Mohd Fadzil Arshad. " The effect of silica fume admixture on the compressive strength of the cellular lightweight concrete' Results in Engineering , (June 2022) 100445. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100445

[32]. Prof. Vishal S. Ghutke, Prof. Pranita S.Bhandari. " Influence of silica fume on concrete ' International Conference on Advances in Engineering & Technology , (2014) pages 44-47.

[33]. Pradhan, D. and Dutta, D. (2013) Effects of Silica Fume in Conventional Concrete. International Journal of Engineering Research and Applications, 3, 1307-1310.

[34]. A.Sasikumar, K.Tamilvanan. " Experimental Investigation on Properties of Silica Fumes as a Partial Replacement of Cement' International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, (march 2016) pages 4392-4395.

[35]. Vikas Srivastava, Rakesh Kumar , V. C. Agarwal and P. K. Mehta. " Effect of Silica Fume on Workability and Compressive Strength of OPC Concrete ' *Environ. Nanotechnol*, (2014) pages 32-35.

[36]. T.Shanmugapriya , Dr.R.N.Uma. " Experimental Investigation on Silica Fume aspartial Replacement of Cement in High Performance Concrete ' The International Journal Of Engineering And Science, (June 2013) pages 40-45.

[37]. Hanumesh B M, B K Varun, Harish B A. " The Mechanical Properties of Concrete Incorporating Silica Fume as Partial Replacement of Cement' International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, (September 2015) pages 270-275.

[38]- Md. Alhaz Uddin, Muhammad Tariq Bashir, Abdul Masroor Khan, Fahad Alsharari, Faizan Farid & Raid Alrowais "Effect of Silica Fume on Compressive Strength and Water Absorption of the Portland Cement–Silica Fume Blended Mortar"Research Article-Civil Engineering, (2024) pages 4803–4811.

[39]- Shijun Zhao, and Qing Zhang " Efect of Silica Fume in Concrete on Mechanical Properties and Dynamic Behaviors under Impact Loading " www.mdpi.com/journal/materials, (October 2019) pages 1–17.

[40]-Mohammad N, Mohammed ,J b, Zainah I, N Muhamad Bunnori , Incorporation of recycled aggregates and silica fume in concrete,Jounrnal of materials research and technology,2022,Pages 4525-4544.

[41]-Xiao s,Liu t,Zou d, Cheng h, Quebz, Enhancing marine anti-washout concrete; optimal silica fume usage for improved compressive strength and abrasion resistance,construction and building materials,volume 428,17 may 2024,136262.

[42]-Luo T, Cheng H, Fang L, Qiang S, Yu Yi ," Effect of adding solid waste silica fume as a cement paste replacement on the properties of fresh and hardened, case studies in construction materials, (2022).

[43]-Olivia,M,m,Aldi M,Fadhlurahman,Gunawan wibisono, "Characteritics of plam oil fuel ash concrete admixed with percipitated silica and silica fume, Cleaner engineering and technology, (2024),100738.

[44] - Zhang,H, Lening C, Yuanfeng D, Zizhao T, Fan Hu, Zhiyuan C, "High-flowable and high-performance steel fiber reinforced concrete adapted by fly ash and silica fume", case studes in constuction materials,(2024).

[45]- نوري الباشا ,مسعود رحومة , حسن الحديدي, تأثير السيليكا فيوم علي خواص الخرسانة عالية المقاومة, جامعة صبراتة ,مجلة العلوم التطبيقية ,ابريل 2019 .

[46]- Alkhrissat t, Impact of adding waste polyethylene and silica fume on the engineering peoperties of cement mortar,case studies in chemical and environmental engineering ,volune9,2024,100731.

دراسة تأثير غبار السيليكا على مقاومة الخرسانة الجيرية

حسن محمد عبدالسلام امحمد*[1] عمر محمد بن ساسي[2]
1 محاضر مساعد، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ، براك الشاطئ – ليبيا
2 أستاذ، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة مصراتة، مصراتة – ليبيا
ha.samba@wau.edu.ly*

الملخص

يشكل الاستخدام المكثف للأسمنت في إنشاء المباني وغيرها تهديدا بيئيا بسبب انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أثناء تصنيع الاسمنت. تبحث هذه الدراسة في تأثير غبار السيليكا (Silica dust) على خصائص مقاومة الخرسانة الجيرية (Lime concrete) كبديل أكثر استدامة، حيث يتم استكشاف تأثير نسب دخان السيليكا المتفاوتة تتراوح بين (0–32٪) على مقاومة الخرسانة الجيرية، تم معالجة العينات المحضرة في الهواء، لكلا المجموعتين مع وبدون الملدن الفائق (Superplasticizer).

من خلال الاختبارات المعملية، وجد أن دمج دخان السيليكا بشكل عام زاد من مقاومة الضغط للخرسانة الجيرية في علاقة شبه خطية مع محتواها. حققت الخلطة مع 32٪ من دخان السيليكا و 2.5٪ من الملدن الفائق أعلى مقاومة ضغط، حيث وصلت إلى 16.94 ميجا باسكال في 28 يوما. أدى دمج الملدن الفائق في الخلطات إلى مقاومة ضغط وشد أكبر من نظيراتها التي لا تحتوي على الملدن الفائق. وكانت نسبة مقاومة الشد إلى مقاومة الضغط للخرسانة الجيرية لكلا المجموعتين أقل من الخرسانة الأسمنتية.

كلمات مفتاحية: *الخرسانة الجيرية، دخان السيليكا، نانو سيليكا، الخرسانة الخضراء، مقاومة الضغط، الجير المطفأ.*

Abstract

The extensive use of cement in the construction industry poses environmental threat due to carbon dioxide emissions. This study investigates the effect of silica fume on the strength properties of lime concrete as a more sustainable alternative. Exploring the effect of varying silica fume percentages (0–32%) on the strength characteristics of lime concrete, the prepared samples were cured in air, for both groups with and without a superplasticizer.

Using laboratory tests, it's found that incorporating silica fume generally increased the compressive strength of lime concrete in a quasi-linear relationship with its content. The mixture with 32% silica fume and 2.5% superplasticizer achieved the highest compressive strength, reaching 16.94 MPa at 28 days. Incorporation of the superplasticizer into the mixtures resulted in greater compressive and tensile strength than counterparts without superplasticizer. The tensile to compressive strength ratio for lime concrete for both groups remained lower than that of Portland cement concrete.

Keywords: *Lime concrete, Nano silica, Compressive strength, Hydrated lime.*

1. المقدمة:

إن التهديدات المتزايدة التي يشكلها الاحتباس الحراري أدت إلى زيادة القلق بشأن تأثير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (carbon dioxide) CO2 على المناخ العالمي، وتشير التقديرات إلى أن صناعة الإسمنت مسؤولة عن ما يقرب من 7-8٪ من انبعاثات الغازات الدفيئة على مستوى العالم[1] [2]، حيث إن استبدال الإسمنت بالجير والمواد البزولانية في انتاج الخرسانة يمكن أن يقلل من انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري[1].

الخرسانة الجيرية هي نوع من الخرسانة التي يستخدم فيها الجير كمادة رابطة أساسية بدلاً من الاسمنت البورتلاندي إضافة الى الرمل والحصى والماء، وتستخدم الخرسانة الجيرية بشكل رئيسي في ترميم المباني التاريخية[3]، وقد استُخدمت قديماً في البناء والترميم[4]، مثل بناء قصر الحمراء ، ومن المتعارف عليه أن الخرسانة المعتمدة على الجير كمادة رابطة لها مقاومة ضعيفة ولا تصلح للأغراض الانشائية، ولكن أظهرت بعض الدراسات أن التي استخدم فيها الجير الهيدروليكي مع إضافة مواد بوزولانية نتائج جيدة، حيث أن بعضها مناسب للاستخدام في العديد من الأغراض الانشائية [5]، وفي هذه الدراسة نبحث تطور مقاومة الخرسانة الجيرية المعتمدة على الجير المطفأ (Hydrated Lime) كمادة رابطة واستبداله بنسب مختلفة من غبار السيليكا والتي تشتهر بأسماء أخرى مثل دخان السيليكا (Silica Fume) او نانوسيليكا (Nano Silica) ، واختبار العينات في أزمنة مختلفة وكذلك تأثير إضافة الملدن الفائق في تقليل مياه الخلط والتشغيلية لهذه الخلطات وتأثيره على المقاومة.

1.1 أهمية الدراسة:

يؤدي الاستخدام المكثف للأسمنت إلى تدهور البيئة من خلال انبعاثات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون CO 2 وأكاسيد النيتروجين NOX وثاني أكسيد الكبريت SO2 والغبار أثناء التصنيع. وهذا يستدعي البحث عن مادة بديلة يكون إنتاجها أقل خطورة من الأسمنت، يعتبر الجير مادة صديقة في هذا المجال، حيث أن عملية الكربنة التي تحدث أثناء تصلب الجير والتي تعمل كعامل ترابط تساعد في امتصاص ثاني أكسيد الكربون من الجو، حيث يتفاعل الجير (هيدروكسيد الكالسيوم، Ca(OH)2) مع ثاني أكسيد الكربون الجوي (CO2) لتكوين كربونات الكالسيوم (CaCO3)، ومع توفر صخور الحجر الجيري بكثرة ومصانع الجير المطفأ في ليبيا وكثير من الدول فإن التمكن من استخدام الخرسانة الجيرية بشكل واسع يعتبر غاية في الأهمية من حيث تقليل الاحتباس الحراري الناتج من صناعة الاسمنت وصناعات أخرى، وعلى الرغم من أن الجير مرتبط بمقاومة منخفضة مقارنة بالأسمنت فمن المأمول عند إضافة دخان السيليكا مع الجير المطفأ بنسب مختلفة ، من المتوقع تحقيق نتائج إيجابية من حيث خصائص المقاومة وشرح علاقتها بالنسب المختلفة.

1.2 أهداف الدراسة:

- زيادة مقاومة الخرسانة الجيرية بإضافة دخان السيليكا ومدى تأثير نسب الاستبدال المختلفة لدخان السيليكا بالجير المطفأ على المقاومة والتشغيلية في الخرسانة الجيرية.
- مدى تأثير إضافة الملدن الفائق على تقليل مياه الخلط وزيادة المقاومة على الخرسانة الجيرية.
- مدى إمكانية استخدام الخرسانة الجيرية كبديل للخرسانة الأسمنتية، لتقليل الانبعاثات الناتجة عن صناعة الأسمنت.

1.3 منهجية الدراسة:

تتناول هذه الدراسة تأثير دخان السيليكا على خصائص مقاومة الخرسانة الجيرية عن طريق البحث في الدراسات السابقة وجمع المعلومات الكافية حول موضوع الدراسة والمتغيرات التي يمكن تطبيقها لتطوير هذه الدراسة، مع التركيز على الجانب العملي من حيث تجهيز المواد واعداد خلطات بنسب مختلفة من دخان السيليكا وتجهيز واختبار هذه العينات على فترات (90,56,28,14,7) يوما، وتجميع النتائج وتحليلها ومناقشتها.

2. البرنامج العملي:

تم عمل عدد أحد عشر خلطة مختلفة حيث كانت ست خلطات مع متغير واحد وهو نسب استبدال مختلفة من دخان السيليكا بالجير من دون إضافة الملدن الفائق (Superplasticizer)، وعدد أربع خلطات اضيف لها الملدن الفائق بنسبة ثابتة، وخلطة واحدة باستخدام الاسمنت.

2.1 المواد المستخدمة:

2.1.1 الجير المطفأ (Hydrated Lime):

تم استخدام الجير المطفأ (CL 90-S) المصنع بواسطة INTERCHAUX وفقا للمواصفات الأوروبية (BS EN 459-1 'Building Lime) وهذا الجير عبارة عن مادة موحدة عالية النقاء يتم تصنيعها بواسطة عملية صناعية، ولا يقل محتوى أكسيد الكالسيوم عن 90٪ من الوزن.

2.1.2 دخان السيليكا (Silica Fume):

غبار السيليكا او دخان السيليكا هو عبارة عن بوزولانا متوسطة التفاعل، المنتج من شركة (DRACO) الإيطالية، حيث تم إجراء اختبار مضان الأشعة السينية (X-Ray fluorescence) على عينة من هذا المنتج، تم الحصول على ~ 70٪ فقط من SiO2 ، كما هو موضح في الجدول1، بالطبع ، هذه النسبة أقل من القيمة المطالب بها البالغة 95٪ وستكون أقل تفاعلا.

جدول (1) التركيب الكيميائي بواسطة اختبار XRF

الاكسيد	CaO	SiO_2	Fe_2O_3	TeO_2	Al_2O_3	Cl	SO_3	K_2O	Ag_2O	MnO
الجير المطفأ (الكتلة)%	94	0.958	0.389	2.93	0.741	0.287	0.181	------	<0.0001	------
دخان السيليكا (الكتلة)%	6.16	69.1	10.4	1.37	0.585	1.38	1.24	2.81	1.76	1.26

2.1.3 الركام الناعم:

استخدم رمل السيليكا الطبيعي حيث كان تصنيفه (F) حسب المواصفات البريطانية BS 882 .

2.1.4 الركام الخشن:

استخدم حجر مكسر من منطقة بني وليد وءاخر من وادي الشاطئ حيث لها شكل وتدرج متشابه وبمقاس أقصى 10مم ، ونسبة امتصاص شبه متساوية حيث كانت 2.19% و 2.32% على التوالي.

بعد الانتهاء من المخاليط التي لم يستخدم فيها الملدنات، تمت التوصية بإضافة الملدن الفائق للمقارنة، ونتيجة استنفاد الركام المستخدم للخلطات الستة. تم اختيار العينة الاخرى بحيث تكون قريبة من خصائص العينة A من حيث التدرج والوزن النوعي والامتصاص.

2.1.5 الاسمنت (Cement):

تم استخدام الاسمنت البورتلاندي العادي المنتج من مصنع زليتن، واستخدم في هذه الدراسة في خلطة واحدة للمقارنة.

2.1.6 الملدن الفائق (Superplasticizer):

تم استخدام الملدن الفائق الذي تنتجه (DEGASET AS 2255) بنسبة 2.5% بعد عدة تجارب مبدئية، وذلك لتقليل مياه الخلط بحيث تكون مقاربة لكمية المياه في خلطات الخرسانة الاسمنتية.

2.2 تفاصيل الخلطات:

تم إجراء عدة خلطات تجريبية تم من خلالها تحديد نسب مكونات الخليط ونسبة الماء المناسب لهذه الدراسة، حيث تم تحديد نسب خلط تجريبية ثابتة لجميع المخاليط 1: 1.5: 3 الجير والرمل والركام على التوالي. ويبين الجدول (2) التالي الخلطات المستخدمة في هذه الدراسة.

جدول (2) يبين تفاصيل الخلطات

رمز الخلطة	نسبة الخلط (بالوزن)			نسبة ماء \ خليط	استبدال دخان السيليكا %	الملدن الفائق %
	الخليط	رمل	ركام			
SF0	1	1.5	3	0.8	0	0
SF4	1	1.5	3	0.8	4	0
SF8	1	1.5	3	0.8	8	0
SF12	1	1.5	3	0.8	12	0
SF16	1	1.5	3	0.8	16	0
SF32	1	1.5	3	0.8	32	0
SP-SF0	1	1.5	3	0.57	0	2.5
SP-SF8	1	1.5	3	0.57	8	2.5
SP-SF16	1	1.5	3	0.57	16	2.5
SP-SF32	1	1.5	3	0.57	32	2.5
CC	1	1.5	3	0.55	0	0

SF = دخان السيليكا SP = الملدن الفائق CC = الخرسانة الأسمنتية

2.3 تحضير العينات والاختبار:

تم تحضير عدد 125 مكعبا قياسيا (15 * 15 * 15 سم) لاختبار مقاومة الضغط، وعدد 30 اسطوانة (قطر 10سم * ارتفاع 20سم) لاختبار مقاومة الشد (الانفلاق). تم تحضير جميع العينات وفقا لـ (BS EN 12390-1)، تم استخدام الخلاط الميكانيكي لخلط المكونات، حيث تمت إزالة القوالب بعد الصب في زمن 36 ±12 ساعة، من ثم معالجة جميع العينات في الهواء في درجة حرارة الغرفة حتى عمر الاختبار.

تم اجراء الاختبارات التالية:

-اختبار الهبوط Slump Test (BS-EN-12350-2: 2009)

-كثافة الخرسانة الصلبة Density of hardened concrete (BS EN 12390-7: 2009)

-اختبار مقاومة الضغط للخرسانة Compressive strength test (BS EN 12390-3: 2009)

- اختبار مقاومة الشد للخرسانة Splitting tensile strength test (BS EN 12390-6: 2009)

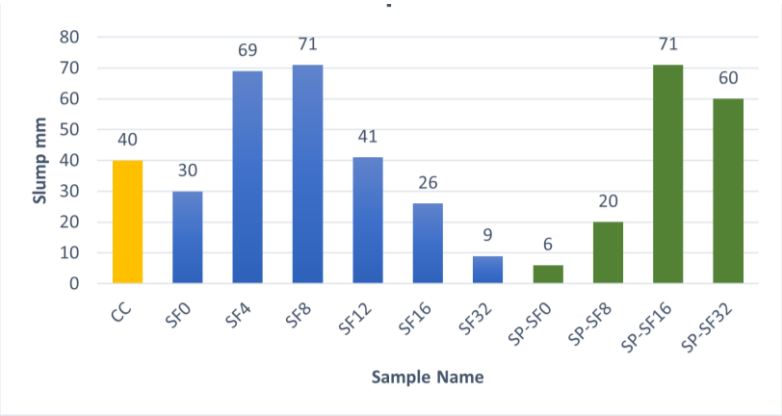
3. النتائج والمناقشة:

3.1 اختبار الهبوط:

الشكل (1) يوضح نتائج اختبار الهبوط لجميع الخلطات في هذه الدراسة، الخلطات التي لا تحتوي على ملدن فائق، زاد مقدار الهبوط تدريجيا حتى نسبة استبدل 8٪ من دخان السيليكا حيث بلغ 71مم، ومع زيادة نسبة الاستبدال (من 12 إلى 32%) أدى إلى انخفاض في الهبوط، فزيادة الهبوط بسبب التفاعل البوزولاني لدخان السيليكا الذي يستهلك الجير الحر، مما يؤدي إلى بنية مجهرية أكثر كثافة مما يسهل عملية التدفق، وبعد عتبة معينة يعيق توافر المياه في الخلطة عملية الترطيب ويؤدي إلى مزيج أقل تدفق، بسبب زيادة الطلب على الماء من دخان السيليكا بالنظر إلى أنها مادة دقيقة جدا لها مساحة سطحية أكبر.

مع تقليل ماء الخلط وإضافة الملدن الفائق، كانت الزيادة في الهبوط أكبر بالنسبة للخلطات (SP-SF16) و (SP-SF32) (71 مم و 60 مم على التوالي) مقارنة بالخليط المرجعي (SP-SF0) (6 مم). يوضح هذا التعاون بين دخان السيليكا والملدن الفائق في تحقيق خرسانة جيرية قابلة للتطبيق والتشغيل بدرجة جيدة.

مع ملاحظة أن نسبة الماء إلى الخليط (w / b) تختلف بين المجموعات: 0.55 لخلطات (CC) و 0.57 (SP-SF) ، و 0.8 لخلطات (SF).

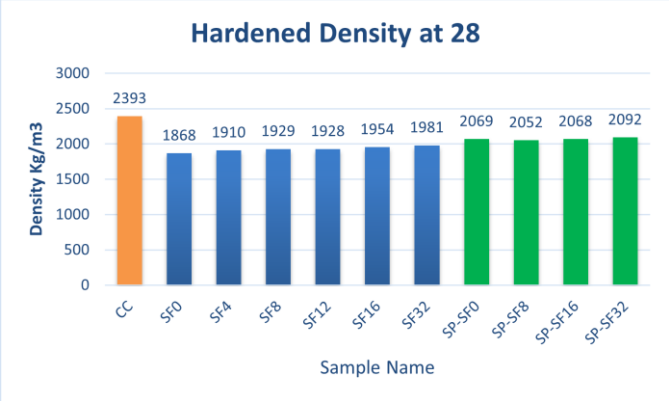


الشكل (1) نتائج اختبارات الهبوط

3.2 الكثافة الصلبة للخرسانة:

أظهرت النتائج في الشكل (2) أن دخان السيليكا له تأثير على كثافة الخرسانة الجيرية في الخلطات التي لا تحتوي على ملدن فائق، حيث تزداد الكثافة بزيادة محتوى استبدال دخان السيليكا، وبإضافة الملدن الفائق تلاشى تأثير دخان السيليكا على الكثافة، وكانت الكثافات أعلى مقارنة بنظيراتها التي لها نفس محتوى دخان السيليكا ومن غير ملدن.

وفقا للكود الامريكي (ACI 318–19) ، فإن نتائج جميع خلطات الخرسانة الجيرية في هذه الدراسة كلها ضمن حدود كثافة الخرسانة خفيفة الوزن (1441–2162 كجم / م 3)، ومع ذلك فإن الفرق في الكثافة يعتبر صغير نسبيا بين خلطات الخرسانية الجيرية، ولكن هناك فرق بينها وبين الخرسانة الاسمنتية التي بلغت كثافتها الصلبة 2393 كجم / م 3.



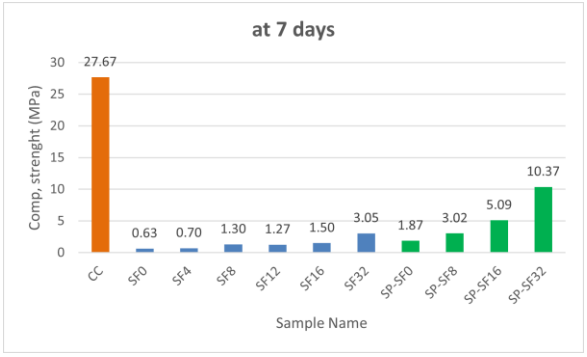
الشكل (2) نتائج الكثافة الصلبة للخرسانة

3.3 مقاومة الضغط:

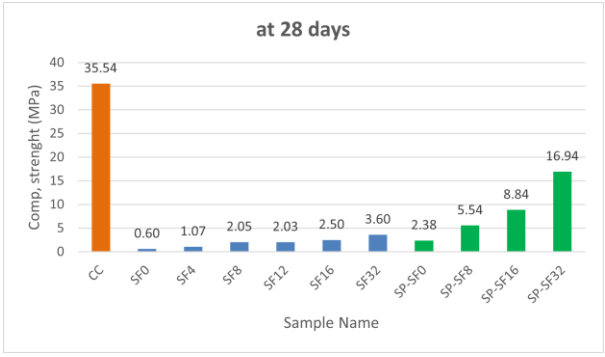
تظهر جميع خلطات الخرسانة الجيرية اتجاها ثابتا في زيادة مقاومة الضغط مع زيادة نسب استبدال دخان السيليكا، وهذا يؤكد فعالية دخان السيليكا كمادة بوزولانية تتفاعل مع هيدروكسيد الجير بمرور الوقت لتشكيل مواد قوية لهيدرات سيليكات الكالسيوم (CSH) ، مما يساهم في تطوير القوة على المدى الطويل، حيث انتجت الخلطات التي لم يستخدم فيها الملدن لها مقاومة ضغط ضعيفة للغاية، أما بالنسبة للخلطات التي تم استخدام الملدن الفائق فيها فقد أعطت نتائج مرضية، بعضها مصنف على أنه C12 / 15 وفقا للمعيار البريطاني (BS EN 206: 2013).

3.3.1 الخلطات من غير الملدن الفائق:

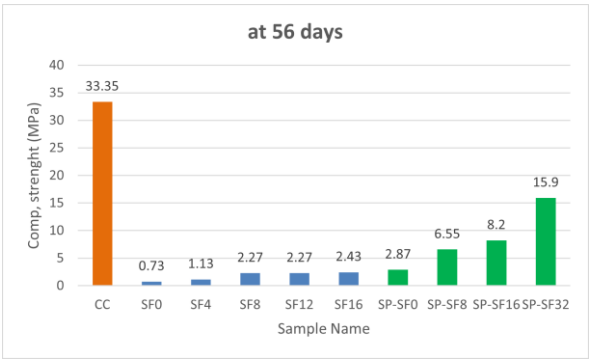
توضح الاشكال (3،4،5،6) نتائج مقاومة الضغط لجميع خلطات الدراسة للأزمنة المختلفة، حيث أظهرت الخلطات التي لم يستخدم فيها الملدن الفائق زيادة واضحة في مقاومة الضغط بين 7 و 28 يوما، ووصلت الزيادة في مقاومة الضغط ذروتها بعد 56 يوما، بينما لا يوجد تقدم ملحوظ في مقاومة الضغط عند عمر 91 يوما، كانت أقصى مقاومة ضغط عند استبدال دخان السيليكا بنسبة 32٪، حيث حققت 3.80 ميجا باسكال في 91 يوما.



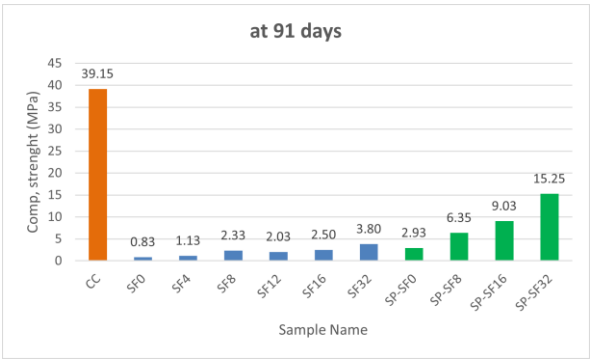
الشكل (3) مقاومة الضغط بعد 7 أيام



الشكل (4) مقاومة الضغط بعد 28 يوم



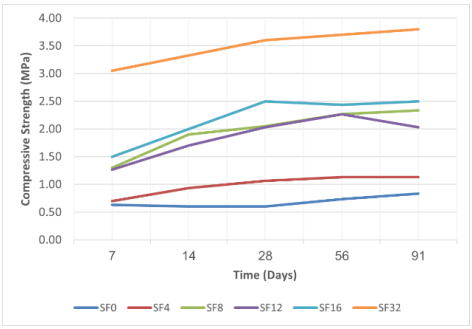
الشكل (5) مقاومة الضغط بعد 56 يوم



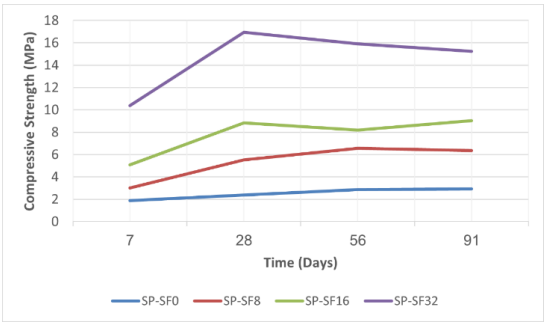
الشكل (6) مقاومة الضغط بعد 91 يوم

3.3.2 الخلطات مع الملدن الفائق:

الاستخدام المشترك لدخان السيليكا والملدن الفائق أعطى مكاسب كبيرة في مقاومة الضغط للخرسانة الجيرية، حيث ساهمت اضافة الملدن الفائق في انخفاض نسبة الماء إلى الخليط w / b من 0.80 إلى 0.57 ، مما ساهم في تطوير المقاومة وتعزيز الخصائص الأخرى، وتزداد المقاومة مع عمر المعالجة حتى تصل مقاومة الضغط إلى ذروتها بعد 28 يوما ، حيث أظهرت الخلطة التي تحتوي على 32٪ دخان السيليكا و 2.5٪ من الملدن الفائق (SP–SF32) أعلى مقاومة ضغط بعد 28 يوم بلغت 16.94 ميجا باسكال كما في الشكل (8)، مما يدل بوضوح على تأثير تقليل الماء وأهمية محتوى دخان السيليكا لتحسين مقاومة الضغط للخرسانة الجيرية.



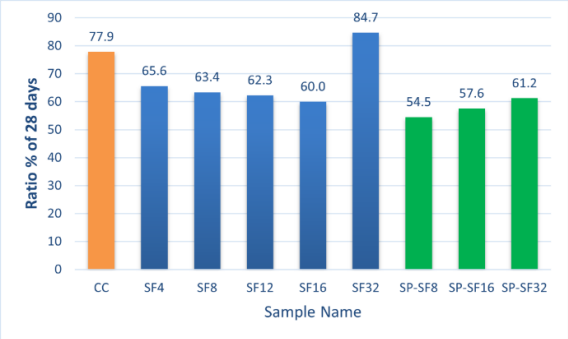
الشكل (7) مقاومة الضغط للخلطات بدون الملدن الفائق بمرور الزمن



الشكل (8) مقاومة الضغط للخلطات مع الملدن الفائق بمرور الزمن

3.3.3 مقاومة الضغط المبكرة:

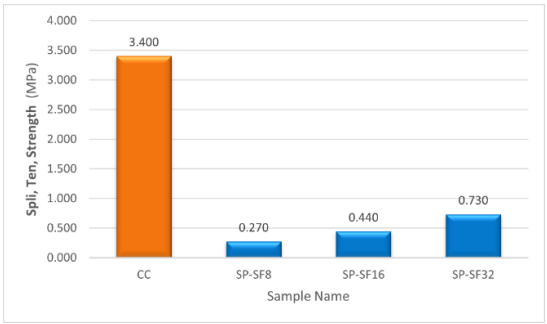
ان دخان السيليكا والملدن الفائق معاً يعززان بشكل كبير مقاومة الضغط الكلية للخرسانة الجيرية، ولكن يقلل من مقاومة الضغط المبكرة، تزداد مقاومة الضغط المبكرة مع زيادة كمية دخان السيليكا المستبدلة كما موضح بالشكل (9)، على عكس الخلطات التي لا تحتوي على ملدن فائق، على أي حال فإن معظم نسب قوة الضغط المبكرة لخلطات الخرسانة الجيرية قريبة من بعضها البعض باستثناء الخلطة (SF32)، ربما بسبب الترطيب غير الكامل بسبب حبيبات السيليكا التي تستهلك ماء الخلط ويبدو هذا واضحا من نتيجة اختبار الهبوط لهذه الخلطة.



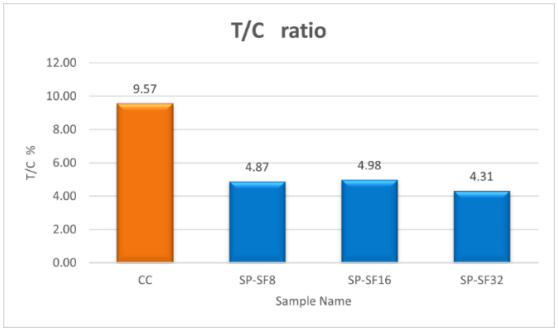
الشكل (9) نسبة مقاومة الضغط المبكرة 7\28 يوم

3.4 مقاومة الشد (الانفلاق):

معظم خلطات الخرسانة الجيرية التي من غير الملدن الفائق (SF)، فشلت في اختبارات مقاومة الشد، وهذا يسلط الضوء على التحدي المحتمل مع الخرسانة الجيرية التي تحتوي على دخان السيليكا من حيث تحقيق مقاومة شد كافية.
تتراوح قيم مقاومة الشد من 0.27 ميجا باسكال إلى 0.73 ميجا باسكال كما موضح بالشكل (11). هذا يشير إلى أن الملدن الفائق يلعب دورا حاسما في تحسين أداء الخرسانة الجيرية مع دخان السيليكا. وتظهر الخرسانة الأسمنتية (CC) أعلى مقاومة شد (3.4 ميجا باسكال) مقارنة بجميع خلطات (SP–SF).



الشكل (11) مقاومة الشد بعد 28 يوم



الشكل (12) نسبة مقاومة الشد إلى مقاومة الضغط بعد 28 يوما

تقع نسبة مقاومة الشد الى مقاومة الضغط لخليط الخرسانة الأسمنتية (CC) ضمن النطاق التقريبي للخرسانة عند 9.57٪ ، $6\ to\ 8\ \sqrt{F'c}$(8) [6] ، ولكن اظهرت خلطات الخرسانة الجيرية مع دخان السيليكا والملدن الفائق (SP–SF) نسبا تتراوح

من 4.31٪ إلى 4.98٪ ، أي أقل من النطاق التقريبي كما موضح بالشكل (12). كما أن قيمته أقل مما حصل عليه الباحثون [7] ، والذي كان في حدود 8٪ من مقاومة الضغط. ربما يكون ذلك نتيجة لمعالجة العينات في الماء.

4. النتائج:

بينت هذه الدراسة عددا من الأفكار حول تأثير دخان السيليكا على خصائص مقاومة الخرسانة الجيرية، نختصرها في النقاط التالية:

- نتائج الكثافة الصلبة للخرسانة الجيرية في جميع الخلطات في هذه الدراسة (SF & SP–SF) كلها ضمن حدود كثافة الخرسانة خفيفة الوزن وفقا للكود ACI 318–19 (1441–2162 كجم / م 3).
- تأثير دخان السيليكا على الكثافة الصلبة للخرسانة الجيرية صغير نسبيا، ومع ذلك عند استخدام الملدن الفائق فإن تأثير دخان السيليكا على الكثافة يكاد يكون معدوما.
- يعزز الملدن الفائق قابلية تشغيل وقوة الخرسانة الجيرية مع دخان السيليكا، ويسمح بانخفاض نسبة الماء إلى الخليط (W/B) مما يؤدي إلى بنية مجهرية أكثر كثافة ومقاومة ضغط أعلى.
- علاقة شبه خطية بين مقاومة الضغط وزيادة نسبة استبدال دخان السيليكا بالجير المطفأ في الخليط.
- زيادة مقاومة الضغط طوال فترة المعالجة بدون دخان السيليكا (SF0 & SP–SF0) من خلال عملية الكربنة، بينما لا يمكن ملاحظة ذلك في بقية الخلطات، حيث لا توجد زيادة ملحوظة بعد 28يوم وبعضها عند 56يوماً، ربما بسبب التأثير الضعيف للكربنة على زيادة قوة الانضغاط مقارنة بالتأثير الكبير لدخان السيليكا ، أو أن هناك تفاعلا يمنع عملية الكربنة عند إضافة دخان السيليكا.
- حققت الخلطات مع دخان السيليكا بنسبة 32٪ أعلى مقاومة ضغط، مع و بدون الملدن الفائق على حد سواء، حيث وصلت إلى 3.60 (SF32) ميجا باسكال في 28 يوما و 16.94 (SP–SF32) ميجا باسكال في 28 يوما مع الملدن الفائق، ومع تحقيق مقاومة ضغط في الخلطة SP–SF32 إلى 48٪ من قوة الخرسانة الأسمنتية البورتلاندية في 28 يوما، ربما يمكن تحقيق مقاومة أعلى عن طريق زيادة نسبة استبدال دخان السيليكا أو استخدام دخان السيليكا عالي النقاء بمحتوى أعلى من 90٪ من SiO_2 .
- فشلت معظم الخلطات التي لا تحتوي على الملدن الفائق في اختبار مقاومة الشد، بينما أظهرت الخلطات مع الملدن الفائق قيما قابلة للقياس تتراوح من 0.27 ميجا باسكال إلى 0.73 ميجا باسكال.
- نسبة مقاومة الضغط إلى مقاومة الشد للخرسانة الجيرية مع دخان السيليكا للعينات المعالجة في الهواء، ما يقرب من نصف مقاومة الانضغاط إلى مقاومة الشد في الخرسانة الأسمنتية، ويمكن تحسينه إذا تمت معالجته بالماء.

بشكل عام، توضح هذه الدراسة إمكانية استخدام دخان السيليكا والملدن الفائق لتطوير الخرسانة الجيرية المستدامة ذات المقاومة المحسنة.

5. التوصيات:

- على الرغم من أن دخان السيليكا لا يستهلك كل كربونات الكالسيوم في الخليط، إلا أنه يمكن أن يعيق عملية الكربنة، لذلك يجب إجراء بحثاً من الناحية الكيميائية.
- المزيد من التحقيق في متانة الخرسانة الجيرية مع دخان السيليكا ضد عوامل التدهور المختلفة مثل دورات التجميد والذوبان والتعرض الكيميائي والكربنة أمرا بالغ الأهمية لتقييم الأداء طويل المدى لهذه الخرسانة.

- استكشاف الجدوى الاقتصادية لاستخدام الخرسانة الجيرية مع دخان السيليكا في مشاريع البناء المختلفة والنظر في تكلفة المواد والنقل والعمالة، فضلا عن الوفورات المحتملة في التكاليف المرتبطة بانخفاض انبعاثات CO2.
- إن إجراء تقييم دورة الحياة (LCA) للخرسانة الجيرية مع دخان السيليكا لمقارنة تأثيرها البيئي مع الخرسانة الأسمنتية البورتلاندية سيوفر معلومات قيمة لتعزيز استخدام مواد البناء المستدامة.

6. المراجع:

[1] Yoshito Izumi. Calculation of greenhouse gas emissions for a carbon recycling system using mineral carbon capture and utilization technology in the cement industry. (2021)

[2] Nur Liyana Mohd Kamal. Carbon Dioxide Sequestered Concrete: A Review Paper (2020)

[3] Boby Joseph Thadathil & Shubham Rajiv Girdhar. Review on Research Progress of Geopolymer Concrete. Journal of Progress in Civil Engineering. 2024.

[4] Ramalingam Malathy, et, al,. Lime based concrete and mortar enhanced with pozzolanic materials – State of art (2023)

[5] Grist, E, Paine, K, Heath, A, Norman, J & Pinder. Structural and durability properties of hydraulic limepozzolan concretes. Cement & Concrete Composites, vol. 62,2015, pp. 212-223

[6] David Darwin, Charles W. Dolan, Arthur H. Nilson. DESIGN OF CONCRETE STRUCTURES. United States, New York: McGraw-Hill Education. Fifteenth Edition (15^{th}) 2016.

[7] Nahida Kadum , Tareq al-Attar , and Zyiad Al-Azzawi. Evaluation of pozzolime mixtures as a sustainable binder to replace portland cement in structural concrete. MATEC Web of Conferences. 120, 2017, Page 10.

تأثير خبث فرن القوس الكهربائي (EAFS) على تصميم خليط ملاط الجيوبوليمر

Abd Alhamid Shbel[1], Hana A.S. Aljewifi[2]
[1, 2] Laboratory of Building Materials, University of Omar AlMukhtar, Elbeida, Libya
Email: amynallhm620@gmail.com

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم أداء خلطات خرسانية جيوبوليمرية تم تصنيعها باستخدام خبث الأفران الكهربائية (EAFS) وميتاكاؤلين (MK) كمواد رابطة بديلة للإسمنت البورتلاندي. أظهرت نتائج اختبارات الضغط قيماً منخفضة وغير متوقعة، حيث تراوحت مقاومة الضغط بين 2–4 ميجا باسكال بعد 7 أيام، ووصلت إلى 6.72–8.9 ميجا باسكال بعد 28 يومًا من الصب. تم تحليل هذه النتائج الضعيفة من عدة جوانب تقنية. أولاً، تبين أن تفعيل المواد الرابطة لم يكن كافياً، ربما بسبب عدم ملاءمة تركيز المنشط القلوي أو نسبته المولية. ثانياً، لوحظ أن نسبة الماء إلى المواد الرابطة كانت مرتفعة نسبياً، مما أدى إلى زيادة المسامية وضعف البنية الداخلية. ثالثاً، كانت ظروف المعالجة غير مثالية، حيث لم توفر الرطوبة أو الحرارة الكافية لنمو البلورات وتطور المقاومة. عند فحص الخلطات المختلفة، أظهرت الخلطة المحتوية على 70% خبث و30% ميتاكاؤلين أداءً أفضل قليلاً مقارنة بالخلطة التي استخدمت 100% خبث، حيث سجلت زيادة في مقاومة الضغط بحوالي 2.18 ميجا باسكال عند عمر 28 يومًا. ومع ذلك، بقيت جميع القيم دون المستويات المتوقعة للخرسانة الإنشائية. كشفت الدراسة عن أهمية التحكم الدقيق في عدة عوامل لتحسين أداء الخرسانة الجيوبوليمرية، تشمل خصائص المواد الأولية، تركيب المنشط القلوي، نسبة الماء، وظروف المعالجة. كما أبرزت التحديات الرئيسية في تطوير هذه الخرسانات الصديقة للبيئة، خاصة فيما يتعلق بتحقيق قوة ضغط مناسبة للتطبيقات الإنشائية.

الكلمات الدالة: *خبث الافران, ميتاكاؤلين, جيوبوليمرية, منشطات قلوية, خصائص فيزيائية*

Abstract

This study aimed to evaluate the effects of polymer concrete modified using electric furnace slag (EAFS) and metakaolin (MK) as binders for Portland cement. The results showed unexpected drop values, showing a stress drop of 2–4 MPa after 7 days, to 6.72–8.9 MPa after 28 days of pouring. These poor results were analyzed from several technical aspects. The association, the co-activation of the bond was insufficient, possibly due to the lack of alkali activator density or volunteer molarity. All of these factors included the fact that the ratio of the binder to the material was open, leading to increased aggregate mass and weak internal structure. Third, the curing infections were not new, as there was insufficient moisture for the growth of resistant crystals. When examining different mixes, the mix containing 70% slag and 30% metakaolin performed better than the mix using 100% slag, recording an increase in compressive strength of 2.18 MPa at 28 days. All assessments of structural concrete, however, showed sub-organic characteristics. The study thus explored the importance of purification control in several factors for optimizing graph polymer strength, including raw

material properties, alkali activator composition, water ratio, and working conditions. It also highlighted key challenges in developing these Vernoden concretes, particularly with regard to structural weighted compressive strength.

Keywords: *EAFS slag, metakaolin, geopolymer, alkali activators, physical properties*

1. المقدمة:

تشهد صناعة الحديد والصلب تحولاً كبيراً لتلبية الطلب المتزايد على الفولاذ ومكوناته. وبشكل عام، يُعد إنتاج الفولاذ عملية مستمرة تُجرى باستخدام أفران متنوعة، بما في ذلك أفران القوس الكهربائي (EAF)، برزت أفران القوس الكهربائي كحل مستدام لإنتاج الفولاذ بفضل استخدامها لنفايات المعاد تدويرها[1]. أدى التوسع السريع للأنشطة الصناعية حول العالم إلى توليد كميات هائلة من النفايات الصلبة، مما يطرح تحديًا عالميًا ملحًا فيما يتعلق بإدارة النفايات بفعالية واستدامة, ويتوقع البنك الدولي أن يرتفع إنتاج النفايات الصلبة عالميًا إلى حوالي 3.4 مليار طن بحلول عام 2050 [2]. ومن المثير للقلق أن جزءًا كبيرًا – يُقدر بنحو43٪ – يُدار من خلال ممارسات خطرة بيئيًا مثل التخلص من النفايات في العراء، والطمر العشوائي، والحرق [3]. وتساهم هذه الممارسات في تدهور بيئي حاد، وأزمات صحية عامة، وانتشار الأوبئة، وعبء اقتصادي [4]. وفي ظل هذا القلق البيئي، تحتوي العديد من المنتجات الثانوية الصناعية – مثل خبث فرن القوس الكهربائي (EAFS) والكاؤلين المزال الألومينيوم (MK) – على نسب عالية من الألومينا التفاعلية والسيليكا، مما يجعلها مرشحة مناسبة للاستخدام في المواد المنشطة بالقلويات، أو ما يُعرف باسم الجيوبوليمر [6,5]. تُمثل هذه المواد بديلاً مستدامًا ومنخفض الكربون لأسمنت بورتلاند، المسؤول عن حوالي 8% من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية بسبب عملية إنتاجه كثيفة الطاقة وتكليس الحجر الجيري [7]. يتطلب إنتاج طن واحد من كلنكر الأسمنت وحده حوالي 1800 ميجا جول من الطاقة الحرارية [8]. الجيوبوليمر وهو مصطلح صاغه دافيدوفيتس (Davidovits) في سبعينيات القرن العشرين [9]، هو بوليمرات غير عضوية تتشكل من خلال التنشيط القلوي لمواد أولية من سيليكات الألومنيوم. تتضمن العملية إذابة المواد الخام، والتكثيف المتعدد لأنواع السيليكات والتلوينات، وتكوين شبكة ألومينوسيليكات صلبة ثلاثية الأبعاد، مما ينتج عنه مواد رابطة ذات خصائص ميكانيكية وحرارية وكيميائية ممتازة [12,11,10]. بناءً على كيمياء المواد الخام، تُصنف الجيوبوليمرات إلى هياكل هلامية مختلفة، مثل مصفوفات C–S–H وN–A–S–H وC–N–A–S–H [13]. البلمرة الجيوبوليمرية عملية كيميائية تستخدم مصادر غنية بالألومينوسيليكات، مثل الخبث، والرماد المتطاير، والميتاكاولين، وغبار السيليكا، والتي تخضع لتفاعل تكثيف متعدد غير عضوي لتكوين بنية الجيوبوليمر [15,14]. ينتج عن تفاعل التكثيف المتعدد غير العضوي (inorganic polycondensation) تكوين شبكة هيكلية ثلاثية الأبعاد من هيكل الألومينو–سيليكات. تُسمى هذه الهياكل ثلاثية الأبعاد بولي سيالات(polysialates), وهي متصلة بذرات الأكسجين [17,16]. وقد حظيت الجيوبوليمرات باهتمام عالمي نظرًا لفوائدها العلمية والصناعية العديدة. إن القبول الواسع النطاق للمركبات الجيوبوليمرية يمكن أن يربط بشكل مناسب العلاقة بين البشر والتطور الصناعي والتكنولوجي دون إثارة المخاوف البيئي.

أظهرت الدراسات الحديثة أنه يمكن استخدام EAFS كمواد تجميعية ومادة أولية أسمنتية عند طحنها بدقة وتنشيطها بالمحاليل القلوية. على سبيل المثال، ليو (Liu) وآخرون. [19] وثّق تحولات هيكلية داخل رباعي سطوح السيليكا أثناء التنشيط القلوي، مما يشير دورًا حاسمًا في تطور التفاعلية ومقاومة الضغط للمواد الرابطة القائمة على EAFS المنشطة بالقلويات. المنشطات القلوية الشائعة المستخدمة في صناعة مركبات الجيوبوليمر مثل هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH)أو الصوديوم (NaOH) مع سيليكات البوتاسيوم ($KSiO_3$) أو الصوديوم(Na_2SiO_3) [36–38]. يؤدي التفاعل بين المنشطات القلوية ومصادر الألومينو–سيليكات الغنية إلى تكوين هلام هيدرات ألومينو–سيليكات الصوديوم (N–A–S–H). يُعد هلام N–A–S–H مرحلة الارتباط الأساسية في مركب الجيوبوليمر، مما يمنحه قوة. يتميز ببنية ثلاثية الأبعاد تتكون من ترتيب SiO_4 وAlO_4 رباعي السطوح [18]. ونظرًا لخصائصه الميكانيكية الممتازة، وبنيته المجهرية الكثيفة، متانته العالية و مقاومة ملحوظة للحريق (تصل إلى 1000 درجة مئوية)، مقارنةً بمركبات الاسمنت البورتلاندي العادي OPC، فقد يكون لمركب الجيوبوليمر تطبيقات أوسع, مما يجعلها مثالية للبنية التحتية– مثل الهياكل البحرية والطرق السريعة والأرصفة وحتى التطبيقات العسكرية [20–23].

اجرت عده ابحاث دراسات علي الخصائص المعدنية والكيميائية والمورفولوجية للخبث الناتج عن فرن القوس الكهربائي (EAF) واستُخدمت تقنيات حيود الأشعة السينية (XRD) لتحليل البنية البلورية للخبث [24]. وأظهرت الدراسة أن خبث فرن القوس الكهربائي (EAF) يحتوي في الغالب على أكاسيد مثل CaO وFeO وSiO_2 وMgO وAl_2O_3. وأفاد مصطفى [25] بأن البنية الدقيقة لخبث فرن القوس الكهربائي (EAF) عند درجات الحرارة المرتفعة تؤثر بشكل كبير على خصائصه المعدنية. والمكون الرئيسي لخبث فرن القوس الكهربائي (EAF) هو خليط منصهر يتكون من أكاسيد سائلة. أثناء عملية الصهر، تُطرد الجسيمات الكروية من المادة المقاومة للحرارة، وترسب بسهولة في طبقة خبث فرن القوس الكهربائي.

خبث فرن القوس الكهربائي عادةً على شكل كتل ذات لون رمادي أو أسود، ويعزى ذلك إلى وجود مركب Fe_2O_3 في تركيبه [26، 27]. غالبًا ما يُظهر خبث فرن القوس الكهربائي بنية سطحية خشنة تتميز بمسام سطحية يتراوح قطرها بين 0.01 و10 ميكرومتر [28، 29].

بالتوازي مع ذلك، أظهر الكاولين المزيل للألومينات (MK)، وهو منتج ثانوي لصناعة تصنيع الشب، نتائج واعدة كمضاف تفاعلي غني بالسيليكا في تركيبات الجيوبوليمر. يُشتق الكاولين المزيل للألومينات من خلال الاستخلاص الحمضي للميتاكاولين، مع المنتج الناتج الذي يحتوي على نسبة Al_2O_3/SiO_2 معدلة، ومساحة سطح متزايدة (تصل إلى 90500 متر مربع/كجم)، ومحتوى سيليكات غير متبلور يعزز نشاطه البوزولاني [30,32]. وعلى الرغم من تفاعله، يتم التخلص من كميات كبيرة من الكاولين المزيل للألومينات في مدافن النفايات، مما يشكل مخاطر بيئية [33]. ركزت جهود البحث الحديثة على تثمين الكاولين المزيل للألومينات في تقنية الجيوبوليمر. قام عبد السلامه وآخرون [34] وكانجيانو (Cangiano) وآخرون [35] بالتحقيق في الكاولين المزيل للألومينات كبديل للكلنكر وكمضاف في طوب الجيوبوليمر

والمواد الرابطة، على التوالي. علاوة على ذلك، عبد العال وآخرون. [37,36] نجحوا في دمج MK في روابط قائمة على الميتاكاولين، مما يُظهر إمكاناته لتحسين القوة المبكرة وطويلة الأجل.

تتناول هذه الورقة مناقشةً للتركيب المعدني، والخصائص المورفولوجية، والآثار البيئية، خبث فرن القوس الكهربائي، وخصائص التصلب لمونة الجيوبوليمر القائمة على خبث فرن القوس الكهربائي EAFS وMK من خلال التنشيط القلوي لإنتاج روابط جيوبوليمر عالية الأداء. اضافة الي التحقيق في السلوك الميكانيكي والفيزيائي والكيميائي لهذه الروابط تحت ظروف معالجة مختلفة و تقييم ثباتها الحراري في درجات حرارة مرتفعة.

تهدف هذه الدراسة إلى تطوير روابط جيوبوليمرية مستدامة باستخدام خبث فرن القوس الكهربائي (EAFS) والكاولين المزال الألومينا (MK) كبديل للإسمنت البورتلاندي، بهدف تقليل الانبعاثات الكربونية وإعادة تدوير النفايات الصناعية. تم تحضير خلطتين رئيسيتين: الأولى تحتوي على 100% EAFS، والثانية على 70% EAFS + 30% MK، وتم تقييم أدائهما عبر اختبارات الشك والهبوط ومقاومة الضغط.

2. البرنامج التجريبي

1.2 المواد الخام

استُخدمت في هذه الدراسة عدة مواد خام لإنتاج روابط جيولوليمرية منشطة قلويًا. وشملت هذه المواد خبث فرن القوس الكهربائي (EAFS) المُستخرَج من شركة الحديد والصلب في مصراتة، ليبيا. جُفِّف الخبث، وهو ناتج ثانوي من صناعة الفولاذ في فرن القوس الكهربائي، وسُحِقَ وطُحِنَ إلى درجة نعومة تُضاهي نعومة الأسمنت البورتلاندي العادي (OPC) لتعزيز تفاعليته. بالإضافة إلى ذلك، استُخدم الكاولين الطبيعي المُستخرَج من منطقة أبراك الشاطئ جنوب ليبيا. يتميز هذا الكاولين بمحتواه العالي من السيليكا غير المتبلورة ونشاطه البوزولاني. حُلِّل كلٌّ من خبث فرن القوس الكهربائي والكاولين باستخدام فلورة الأشعة السينية (XRF) وصُنِّفا وفقًا لمتطلبات ASTM C618. شملت المنشطات القلوية المستخدمة في عملية البلمرة الجيولوجية محلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) بتركيز 12 مولار، والذي تم تحضيره بإذابة كريات صلبة في الماء المقطر وترك المحلول ليبرد لمدة 24 ساعة قبل الخلط. كما استُخدم محلول سيليكات الصوديوم (Na_2SiO_3) المتوفر تجاريًا، بنسبة نقاء 98%، دون تخفيف. علاوة على ذلك، استُخدم الرمل الطبيعي المُجمع من خليج البومبه في ليبيا كركام ناعم نظرًا لخصائصه الفيزيائية المستقرة، مما يُسهم في تحسين القوام الميكانيكي للخليط. الجدول 1 و 2 يعطي اهم الاكاسيد الكيمائية للخبث والميتاكاولين.

الجدول 1. يوضح التركيب الكيميائي لخبث فرن القوس الكهربائي (EAFS)

Composite	Ratio%
Cao	32.8
Al_2O_3	5.62
Sio_2	21.8
Fe_2O_3	31.2
MgO	4.56
Uther com	4.02

الجدول 2. يوضح التركيب الكيميائي للميتاكاولين (MK)

Composite	Ratio%
Al_2O_3	15.74
Sio_2	80.95
Fe_2O_3	2.75
Uther com	0.56

2.2 تصميم الخلطة الخرسانية

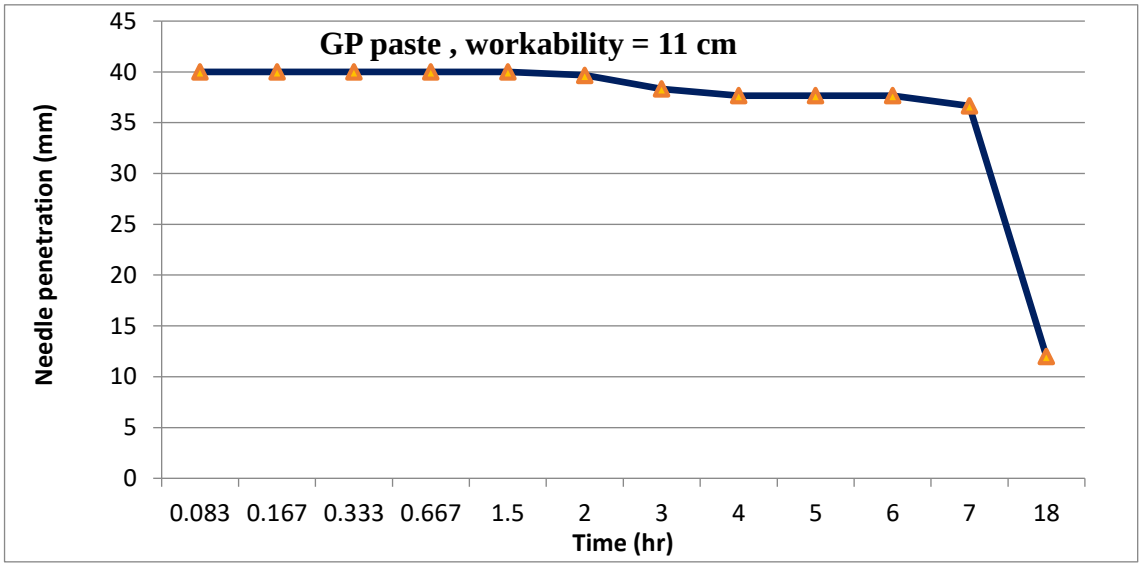
تم اعتماد الخلطة الخرسانية المرجعية وفق (ASTM C305-06) بعد إضافة مُلْدَنٍ مُتَفَوِّقٍ بنسبة (1%) من وزن المواد الرابطة (مع خصم هذه النسبة من كتلة المواد الرابطة)، حيث تضمنت النسب النهائية: مواد رابطة (خبث وميتاكاؤلين) (16.565%)، ملدن متفوق (0.175%)، رمل (26%)، منشط قلوي (8.1%)، وماء مضاف (2%)، مع تجهيز المنشط القلوي قبل 30 دقيقة من الخلط. استبدل 30% من الخبث بميتاكاؤلين اي انه قد استخدمت مادتان رابطتان في هذه الدراسة الاولي كانت 100% خبث (mix1) والثانية كانت 30% ميتاكاؤلين و70% خبث (mix2). تم تغليف العينات بأكياس بلاستيكية ووضعها في درجة حرارة المعمل. الشكل 1 يبين المواد المستخدمة في البحث.

شكل1. يوضح الخلطة الخرسانية المعتمدة لهذه الدراسة

3. الاختبارات وتحليل النتائج

3.1 زمن الشك (Setting Time)

تم إجراء اختبار زمن الشك للخلطتين المدروستين (100% خبث و70% خبث + 30% ميتاكاؤلين) وفق المعايير القياسية. يُظهر الشكل 2 نتائج الاختبار.



الشكل2. يوضح زمن الشك الابتدائي والنهائي للخلطات

2.3 اختبار الهبوط (Slump test)

أظهرت نتائج اختبار الهبوط تطابقاً كبيراً بين المونتين (Mix 1 و2 Mix)، حيث سجلتا قيماً متقاربة تبلغ 10سم و11 سم على التوالي، وهي تقع ضمن المدى المسموح به للأعمال الإنشائية العامة حسب المواصفة (ASTM C143). هذا التشابه في النتائج يعكس اتساقاً في تصميم الخلطات وثباتاً في خواصها التصنيعية, انظر الشكل 3, 4.

الشكل 3. يوضح معدل هبوط mix1. الشكل 4. يوضح معدل هبوط mix2.

3.3 اختبار الضغط (Compressive test)

أظهرت نتائج اختبار الضغط للعينات التجريبية أداءً ضعيفًا وغير مُرضٍ، حيث سجلت مقاومة ضغط تتراوح بين 2–4 ميجا باسكال عند عمر 7 أيام، كما موضح في الشكل 5, مما دفع إلى إلغاء اختبار العينات النموذجية في هذا العمر والانتظار حتى 28 يومًا للحصول على نتائج أكثر دقة. عند عمر 28 يومًا، كانت النتائج كالتالي:

- الخلطة (100% خبث) 6.72 ميجا باسكال.
- الخلطة (70% خبث + 30% ميتاكاؤلين) 8.9 ميجا باسكال.

هذه القيم تُعتبر أقل من المتوقع للمونة الخرسانية التقليدية، حيث إن المواصفات القياسية (مثل ACI 318 وASTM C39) تشير إلى أن مقاومة الضغط النموذجية للخرسانة الهيكلية يجب أن تتراوح بين 20–40 ميجا باسكال عند 28 يومًا.

الشكل 5. يوضح شكل الفشل لاختبار الضغط

4. الخلاصة

لا يقتصر تأثير خبث فرن القوس الكهربائي (EAF) في الخرسانة الجيوبوليمرية على تقليل الطلب التقليدي على خرسانة الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي(OPC) لتحضيرها فحسب، بل لديه أيضًا القدرة على خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بإنتاج الأسمنت. لذلك، يمكن تجاهل العواقب البيئية الرئيسية، مثل رشح المعادن الثقيلة وتبخر الغازات الخطرة

عبر مدافن النفايات المرتبطة بنفايات فرن القوس الكهربائي. تهدف هذه الدراسة إلى فهم دور خبث فرن القوس الكهربائي كمكون في الخرسانة الجيوبوليمرية. و يهدف هذا البحث إلى توفير فهم شامل لدور خبث فرن القوس الكهربائي في مونة الجيوبوليمر، وتوفير أساس لتطبيقاته المُحتملة في مختلف المجالات الهندسية.

أظهرت النتائج أن إضافة MK بنسبة 30% حسّنت مقاومة الضغط إلى 8.9 ميجا باسكال مقارنة بـ 6.72 ميجا باسكال للخلطة المحتوية على EAFS فقط بعد 28 يومًا، رغم أنها لا تزال دون مستويات الخرسانة الهيكلية التقليدية. كما أظهرت الخلطات اتساقًا في قابلية التشغيل، مع نتائج متشابهة في اختبار الهبوط (10 سم). تشير هذه النتائج إلى إمكانية استخدام EAFS وMK في تطبيقات البناء غير الهيكلية، مع الحاجة إلى مزيد من التحسين لتعزيز الأداء. توفر هذه الدراسة أساسًا واعدًا لتطوير مواد بناء صديقة للبيئة، مع تسليط الضوء على أهمية تحسين الخلطات وظروف المعالجة لتحقيق الأداء الأمثل.

5. التوصيات

ركزت الدراسات السابقة بشكل رئيسي على تقييم الآثار البيئية لتوليد خبث فرن القوس الكهربائي والتخلص منه، ولكن لا تزال هناك فجوة كبيرة في فهم العوامل المؤثرة على استخدامه في الخرسانة الجيوبوليمرية. لذا، تسعى هذه الدراسة إلى توضيح العوامل الرئيسية المؤثرة على إنتاج الخرسانة الجيوبوليمرية القائمة على خبث فرن القوس الكهربائي. أظهرت النتائج الأولية لاختبار الضغط قيمًا منخفضة وغير مُرضية، مما يستدعي إعادة تقييم تصميم الخلطة وتحسين ظروف المعالجة. بناءً على ذلك، يُقترح تعديل نسبة المنشط القلوي، تقليل الماء، وزيادة نعومة المواد الرابطة. كما يُوصى بإجراء اختبارات إضافية مثل SEM وTGA لفهم آليات الضعف في المقاومة.

6. المراجع

[1] Kishore, K., Sheikh, M. N., Hadi, M.N.S. (2025). *A critical analysis of electric arc furnace (EAF) slag for sustainable geopolymer concrete production.* Materials Today Sustainability, 29, 101064.

[2] Heikal, M., Nassar, M.Y., & Ibrahim, S.M. (2024). *Mechanical and physio-chemical characterization of geopolymer binders based on EAFS and DK*. Journal of Building Engineering.

[3] World Bank. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*.

[4] Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Urban Development Series.

[5] United Nations Environment Programme (UNEP). (2020). *Waste Pollution and Health Impact Report*.

[6] Davidovits, J. (1991). *Geopolymers: Inorganic Polymer Composites*. Journal of Thermal Analysis.

[7] Palomo, A., & Glasser, F.P. (1994). *Chemistry of Fly Ash Geopolymers*. Cement and Concrete Research.

[8] International Energy Agency (IEA). (2022). *Cement – Analysis*.

[9] Gartner, E. (2004). *Industrial ecology of the cement industry*. Cement and Concrete Research.

[10] Davidovits, J. (1994). *Properties of Geopolymer Cements*. Proceedings of First International Conference on Alkaline Cements and Concretes.

[11] Provis, J.L., & van Deventer, J.S.J. (2009). *Geopolymerisation kinetics. 2. Reaction kinetics of sodium metasilicate activated metakaolin*. Chemical Engineering Journal.

[12] Duxson, P., Provis, J.L., Lukey, G.C., & van Deventer, J.S.J. (2007). *The role of inorganic polymer technology in the development of 'green concrete'*. Cement and Concrete Research.

[13] Shi, C., Krivenko, P.V., & Roy, D.M. (2006). *Alkali-Activated Cements and Concretes*. Taylor & Francis.

[14] De Carvalho, T.A., Gaspar, F., Marques, A.C., Mateus A. (2023). *Evaluation of the potential of metakaolin , electric arc furnace slag, and biomass fly ash for geopolymer cement compositions*, Materials, 2741.

[15] Ye, N., Yang, J., Ke, X., Zhu, J., Li, Y., Xiang, C., Wang, H., Li, L., Xiao, B. (2014). *Synthesis and characterization of geopolymer from bayer red mud with thermal pretreatment*, J. Am. Ceram. Soc. 97(5), 1652–1660.

[16] Khater, H.M.M. (2015). *Influence of electric arc furnace slag on characterisation of the produced geopolymer composites*, Epa. - J. Silic. Based Compos. Mater. 67 (3), 82–88.

[17] Gupta, N., Kishore, K., Saxena, K.K., Joshi, T.C. (2021). *Influence of industrial by-products on the behavior of geopolymer concrete for sustainable development*, Indian J. Eng. Mater. Sci. 28 (5) 433–445.

[18] Apithanyasai, S. Supakata, N. Papong, S. (2020). The potential of industrial waste: using foundry sand with fly ash and electric arc furnace slag for geopolymer brick production, Heliyon, 6(3), e03697.

[19] Liu, M., Wang, Q., & Zhang, Y. (2017). Structure evolution of alkali activated EAF slag studied by 29Si NMR. Construction and Building Materials.

[20] Bernal, S.A., & Provis, J.L. (2014). *Durability of alkali-activated materials: Progress and perspectives*. Journal of the American Ceramic Society.

[21] Zhang, Z., Wang, H., Provis, J.L., & Bullen, F. (2015). *High-performance geopolymer composites*. Cement and Concrete Composites.

[22] Raza, M.H., Khan, M., Zhong, R.Y. (2024). *Investigating the impact of alkaline activator on the sustainability potential of geopolymer and alternative hybrid materials*, Mater. Today Sustain. 26 100742. February.

[23] Qaidi, S., Yahia, A., Tayeh, B.A., Unis, H., Faraj, R., Mohammed, A. (2022). *3D printed geopolymer composites: a review*, Mater. Today Sustain. 20 100240.

[24] Yildirim, I.Z. Prezzi, M. (2011). *Chemical, mineralogical, and morphological properties of steel slag*, Adv. Civ. Eng. 1–14.

[25] Mostafaee, S. (2011). A Study of EAF High-Chromium Stainless Steelmaking Slags Characteristics and Foamability, KTH Royal Institute of Technology.
[26] Pellegrino, C., Gaddo, V. (2009). *Mechanical and durability characteristics of concrete containing EAF slag as aggregate*, Cem. Concr. Compos. 31 (9), 663–671.
[27] Abu-Eishah, S.I., El-Dieb, A.S., Bedir, M.S. (2012). *Performance of concrete mixtures made with electric arc furnace (EAF) steel slag aggregate produced in the Arabian Gulf region*, Construct. Build. Mater. 34, 249–256.
[28] Monosi, S., Ruello, M.L., Sani, D. (2016). *Electric arc furnace slag as natural aggregate replacement in concrete production*, Cem. Concr. Compos. 66, 66–72.
[29] Shaikh, F.U.A., Nath, P., Hosan, A., John, M., Biswas, W.K. (2019). *Sustainability assessment of recycled aggregates concrete mixes containing industrial by-products*, Mater. Today Sustain. 5, 100013.
[30] Phoo-ngernkham, T., Maegawa, A., Mishima, N., Hatanaka, S., & Chindaprasirt, P. (2014). *Effects of sodium hydroxide and sodium silicate solutions on compressive and shear bond strengths of high calcium fly ash geopolymer*. Materials & Design.
[31] World Steel Association. (2023). *Steel Statistical Yearbook*.
[32] Chaurand, P., Rose, J., Briois, V., Olivi, L., Hazemann, J.L., Proux, O., Domas, J., & Bottero, J.Y. (2006). *Environmental impacts of steel slag reused in road construction: A crystallographic and chemical study*. Journal of Hazardous Materials.
[33] Abdelaal, M., et al. (2023). *Recycling of DK and WTS in geopolymer concrete*. Journal of Environmental Chemical Engineering.
[34] Abdel Salama, A., et al. (2021). *Use of dealuminated kaolin in geopolymer bricks*. Journal of Building Engineering.
[35] Cangiano, S., & Princigallo, A. (2020). *Clinker replacement with dealuminated kaolin in cementitious systems*. Cement and Concrete Composites.
[36] Abdelaal, M.M., et al. (2021). *Influence of DK on metakaolin-based geopolymers*. Journal of Materials in Civil Engineering.
[37] Abdelaal, M.M., et al. (2022). *Geopolymers from dealuminated kaolin and sludge from drinking water treatment plants*. Waste and Biomass Valorization.

المحور الثالث

تنفيذ وصيانة المنشآت في البيئة الصحراوية

- تنفيذ وصيانـــــــــة المنشـــآت
- تنفيذ وصيانة الطرق الصحراويـة
- الخرسانـــة في الأجواء الحـــارة

تقييم أداء الخلطات الاسفلتية التقليدية والمعدلة بالإضافات تحت تأثير درجات الحرارة العالية

وليد علي عبدالعظيم*[1], نادية ابراهيم الزوي[2], عبدالقادر عبدالرحمن حسن[3]

1 طالب بكلوريوس, قسم الهندسة المدنية ، كلية الهندسة ، جامعة وادي الشاطئ – براك الشاطئ – ليبيا.

2 محاضر مساعد, قسم الهندسة المدنية ، كلية الهندسة ، جامعة وادي الشاطئ – براك الشاطئ – ليبيا.

3 محاضر, قسم الهندسة المدنية ، كلية الهندسة ، جامعة وادي الشاطئ – براك الشاطئ – ليبيا.

*للمراسلة ab.hassan@wau.edu.ly

الملخص

تعتبر مشاريع النقل والمواصلات من اهم مشاريع البني التحتية ومجال لتنافس الدول المتقدمة في تطويرها بشكل متسارع. تعتبر مشاريع انشاء الطرق المعبدة جزءا هاما من مشاريع النقل والموصلات التي تساهم في توفير مسارات ممهدة لاستيعاب احجام المرور وبأعلى معايير السلامة. حيث تهدف مشاريع الطرق لتخفيف الاختناقات المرورية وإيصال مستخدمي الطرق الي وجهاتهم في اقل زمن ممكن وبدون حوادث مرورية. ولان الطرق الاسفلتية من اكثر أنواع الطرق شيوعا, اهتم العلماء و البحاث بدراسة أداء الرصف الاسفلتي (الرصف المرن) تحت ظروف التشغيل المختلفة وتشمل الاحمال الميكانيكية مثل الاحمال المرورية, والاحمال الطبيعية الناتجة من تأثير الظروف المناخية (درجات الحرارة المرتفعة و الصقيع, تسرب المياه). و لما تم ملاحظته في السنوات الأخيرة من تعرض بعض الطرق الإسفلتية المنفذة حديثا في مناطق جنوب ليبيا للأضرار السابقة للأوان من تصدعات و تشققات و هبوطات دائمة, فتح الباب امام العديد من الأسئلة عن أسباب حدوثها و طرق معالجتها. لعل من أهم الاسباب التي يعزي اليها تدهور حال الطرق في مناطق الجنوب الليبي هو ارتفاع درجات الحرارة خصوصا في فصل الصيف حيث قد تتعدي درجة حرارة سطح الطريق 50 مئوية. الا ان أساليب الحد من حدوث هذا التدهور لم يتم تناولها بشكل يتماشى و حجم المشكلة. ولعل اعتماد الخلطات المعدلة واستخدامها في الرصف الاسفلتي يمكن ان يكون احد الحلول الواعدة لزيادة جودة الرصف الاسفلتي و تعزيز مقاومته للظروف الطبيعية. عليه, تهدف هذه الدراسة الي تقييم الأداء الميكانيكي للخلطات الاسفلتية المعدلة و مدي مقاومتها لتأثير الاحمال الحرارية و ذلك من خلال مقارنة أدائها بالخلطات الاسفلتية التقليدية (بدون إضافات). و لأنها الطريقة الأكثر شيوعا, تم اتباع طريقة مارشال لتصميم الخلطات الاسفلتية سوآءا التقليدية منها او المعدلة. و لتوفرها محليا, تم إضافة مادة البوزلانا كمادة مضافة للخلطات الاسفلتية في هذه الدراسة بالإضافة الي مادتي المطاط و البوليمر ومقارنة أداء بعضها البعض بالإضافة الي مقارنة أدائها مع الخلطات الاسفلتية التقليدية.

الكلمات الدالة: الخلطات الاسفلتية، المناطق الحارة، المطاط، البوليمر ، البوزلانا، طريقة مارشال.

Abstract

Transportation projects are among the most important infrastructure projects and a competitive area for developed countries to develop rapidly. Paved road construction projects are an important part of transportation projects, contributing to the provision of paved paths to accommodate traffic volumes with the highest safety standards. Road projects aim to alleviate traffic congestion and transport road users to their destinations in the shortest possible time and without traffic accidents. Because asphalt roads are among the most common types of

roads, scientists and researchers have focused on studying the performance of asphalt pavement (flexible pavement) under various operating conditions, including mechanical loads (such as traffic loads), and natural loads resulting from the effects of climatic conditions (such as heat, frost, water infiltration). In recent years, it has been observed that some newly constructed asphalt roads in southern Libya have been exposed to premature damage, such as cracks, fissures, and permanent subsidence. This has raised many questions about the causes of their occurrence and ways to address them. Perhaps one of the most important reasons attributed to the deterioration of roads in the southern regions of Libya is the high temperatures, especially in the summertime, where the road surface temperature may exceed 50 degrees Celsius. However, methods to mitigate this deterioration have not been addressed in a manner commensurate with the magnitude of the problem. Perhaps the adoption and use of modified asphalt mixtures in asphalt pavement could be one of the promising solutions to improve the quality of asphalt pavement and enhance its resistance to natural conditions. Therefore, this study aims to evaluate the mechanical performance of modified asphalt mixtures and their resistance to thermal loads by comparing their performance with conventional asphalt mixtures (without additives). Since it is the most common method, the Marshall method was followed to design both conventional and modified asphalt mixtures. Due to its local availability, pozzolana was added as an additive to the asphalt mixtures in this study, in addition to rubber and polymer, to compare their performance with each other and with conventional asphalt mixtures.

Keywords: *Asphalt mixtures, hot regions, rubber, polymer, pozzolana, Marshall Method.*

1. المقدمة:

يمثل الرصف الاسفلتي الطبقة العليا لجسم الطريق التي يتم من خلالها استقبال الاحمال المرورية والاجهادات الخارجية ونقلها لطبقات الأساس التحتية. لذلك يجب ان يمتاز الرصف الاسفلتي بالصلابة والتماسك والمقاومة العالية للعوامل البيئية من احترار و صقيع و رطوبة و رياح بما يحقق الاشتراطات و المواصفات الهندسية لكي تحتفظ الطبقات السطحية بجودتها و توفر الحماية المناسبة لطبقات الأساس السفلية. جودة تنفيذ طبقات الأساس السفلية لا تقل أهمية, فيجب ان تكون مطابقة لاشتراطات التصميم الهندسي و المواصفات و الاشتراطات العامة. بتوفر هذه الميزات يمكن تحقيق العمر التصميمي لطبقات الرصف و طبقات الأساس و تفادي تدهور حالة الرصف بسبب مشاكل التشققات و الهبوطات و التخدد. و لما تم ملاحظته في السنوات الأخيرة من تعرض بعض الطرق الإسفلتية المنفذة حديثا في مناطق جنوب ليبيا للأضرار السابقة للأوان من تصدعات و تشققات و هبوطات دائمة, فتح الباب امام العديد من الأسئلة و منها أسباب حوث هذه الظواهر و مدي إمكانية الحد من حدوثها. ربما كانت الإجابة عن اسباب الحدوث معلومة لدي الخبراء و من أهمها ارتفاع درجات الحرارة في مناطق الجنوب الليبي و خصوصا في فصل الصيف, الا ان أساليب الحد من حدوثها لم يتم التطرق اليها بشكل كافي. و لعل

اعتماد الخلطات المعدلة و استخدامها في الرصف الاسفلتي يمكن ان يكون احد الحلول الواعدة لزيادة جودة الرصف الاسفلتي و تعزيز مقاومته للظروف الطبيعية. عليه, و لزيادة جودة و أداء الرصف الاسفلتي و جعل مشاريع الرصف صديقة للبيئة, بدأ مؤخرا ادخال بعض الإضافات علي الخلطات الاسفلتية مثل مادة البوليمر و المطاط المعاد تدويره و ذلك لإنتاج رصف اسفلتي يساهم في تعزيز مفاهيم الاستدامة البيئية. و بالرغم من اثبات فوائدها الاقتصادية و البيئية والفنية حيث ان الخلطات الاسفلتية المعدلة بالاضافات و البيتومين المعدل بالبوليمرات قلل بشكل كبير من تدهور الحالة الانشائية للطرق الاسفلتية مثل حدوث التشققات و الهبوطات و التخدد و غيرها من أنواع التشوهات الدائمة ([2], [3], [4], [5], [7], [8]), لايزال استخدام الخلطات الاسفلتية المعدلة بالإضافات خجولا مع وجود قصور واضح في وضع اشتراطات تصميمية واضحة تمكن من استعمال الخلطات الاسفلتية المعدلة بشكل اوسع.

تهدف هذه الدراسة الي تقييم الأداء الميكانيكي (الثبات و الانسياب) للخلطات الاسفلتية المعدلة و مدي مقاومتها لتأثير الاحمال الحرارية و ذلك من خلال مقارنة أدائها بالخلطات الاسفلتية التقليدية (بدون إضافات) و ذلك في مسعي لتشجيع التوسع في استخدتم الخلطات المعدلة و الاستفادة من جودة أدائها خصوصا في المناطق الحارة. و لأنها الطريقة الأكثر شيوعا, تم اتباع طريقة مارشال لتصميم الخلطات الاسفلتية سوآءا التقليدية منها او المعدلة. و لتوفرها محليا, تم إضافة مادة البوزلانا كمادة مضافة للخلطات الاسفلتية في هذه الدراسة بالإضافة الي مادتي المطاط و البوليمر ومقارنة أداء بعضها البعض بالإضافة الي مقارنة أدائها مع الخلطات الاسفلتية التقليدية.

2. الدراسات السابقة

توفر المجلات و الدوريات العلمية بعض الدراسات السابقة التي تتناول مواضيع الخلطات الاسفلتية المعدلة. احد هذه الدراسات ذات العلاقة بموضوع البحث الحالي هي الدراسة التي أجريت بواسطة (Hassan & Albarkuoli 2025) [1] و التي اهتمت بتقييم أنواع مختلفة من مادة الأساس الحبيبي و مدي تأثيرها علي أداء الرصف الاسفلتي التقليدي و المعدل بالاضافات. بينما اهتمت الدراسة المقدمة من (Li, et al., 2017) [2] بتقييم أداء الخلطات الاسفلتية المعدلة بالمطاط حيث تم دراسة تأثير إضافة نسب مختلفة من حبيبات المطاط (5%–35%) على أداء الرصف الأسفلتي، وأظهرت دراستهم تحسنًا في الامتصاص ومقاومة التآكل. ركز (Poovaneshvaran, et al. 2020) [3] على استخدام حبيبات المطاط في تحسين أداء الرصف الاسفلتي ووجدوا تحسنًا في الصلابة ونقاط التليين و مقاومة الالتواء للمخلوط الاسفلتي. قام (Yildirim 2007; Prastanto 2019) [4] و[5] بفحص المطاط الطبيعي منزوع البوليمر لاستخدامه في الأسفلت، اكدت نتائج الدراسة على إمكاناته في تعزيز قيم الثبات المتحصل عليها من اختبار مارشال وكذلك تحسن في الخصائص الميكانيكية الأخرى مثل مقاومة الانسياب و التخدد.

بدأ استخدام الخلطات المعدلة بالبوليمر بشكل واسع في أمريكا الشمالية و أوروبا لما وجد له من فوائد في تحسين أداء الرصف الاسفلتي. يُعرف الأسفلت المعدل بالبوليمر (PMA) على نطاق واسع بقدرته على تحسين أداء مخاليط الأسفلت، وخاصة تحت أحمال المرور الكثيفة والظروف المناخية القاسية. يعمل دمج البوليمرات مثل ستيرين–بوتادين–ستيرين (SBS) على تحسين الخصائص اللزجة والمرونة والانسيابية للمادة الرابطة الاسفلتية بشكل كبير. تعمل هذه التعديلات على تقليل ظاهرة التقادم للمخلوط الاسفلتي عند درجات الحرارة العالية ومقاومة التشقق عند درجات الحرارة المنخفضة، مما يجعل PMA مناسبًا بشكل خاص للأرصفة المتعرضة لاحجام مرورية عالية. قام (Ameri et al., 2018) [6] بالتحقيق في تأثير

بوليمرات المطاط النانوي ستايرين بوتادين (SBR) على مقاومة التشقق لمواد الربط الأسفلتية والمخاليط. وأثبتت دراستهم أن بوليمرات المطاط النانوي ستايرين بوتادين تعمل على تعزيز أداء الأسفلت في درجات الحرارة العالية بشكل كبير وتحسين مقاومته للتشوه الدائم. من جانب اخر, استعرض (Brasileiro et al., 2019) [7] استخدام البوليمرات المستصلحة، بما في ذلك البلاستيك المعاد تدويره ومطاط الإطارات، كمعدِّلات في مواد الربط الأسفلتية. وسلطت دراستهم الضوء على الفوائد البيئية والخصائص الميكانيكية المحسنة للإسفلت المعدل بالبوليمر، مع التأكيد على استدامته لبناء الطرق. استكشف (Habbouche et al., 2020) [8] تطوير وتطبيق مواد الربط الإسفلتية عالية البوليمر (HP)، وخاصة الأسفلت المعدل بـ SBS. ركزوا على التخفيف من التشققات الدائمة وتحسين المتانة في طبقات الأسفلت. أظهر بحثهم في أن المخلوط الاسفلتي المعدل بالبوليمر يقاوم حدوث التشققات تحت الأحمال الثقيلة وتقلبات درجات الحرارة. قام (Polacco et al., 2006) [9] بتحليل العلاقة بين بنية البوليمر والسلوك اللزج المرن للإسفلت المعدل. توفر نتائجهم رؤى حول توافق وفعالية البوليمرات المختلفة في تحسين مقاومة الاحمال الحرارية والميكانيكية لمواد الربط الإسفلتية.

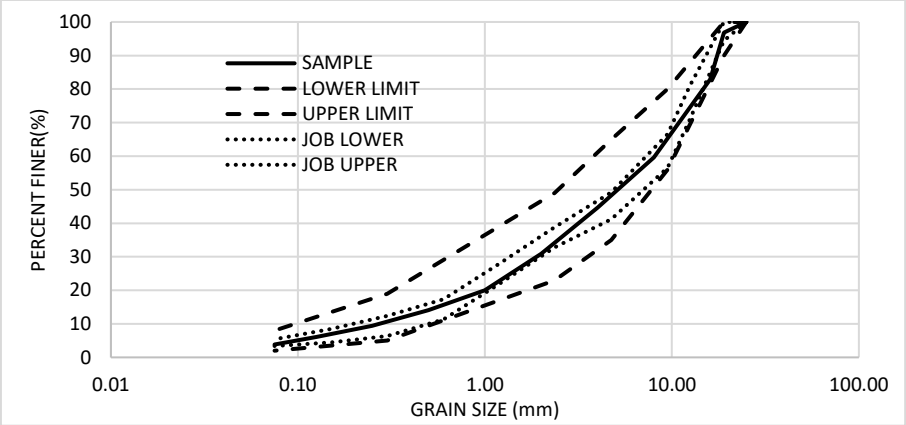
فيما يخص استخدام البوزلانا الطبيعية في تحسين اعمال انشاء الطرق, قام (Onyango & Busch 2017) [10] بالتحقيق في استخدام المواد البوزولانية الطبيعية في إنشاء الطرق، مع التركيز بشكل خاص على دورها في تحسين خصائص الأسفلت. وقد سلط بحثهم الضوء على إمكانات المواد البوزولانية في تعزيز متانة وخصائص الرصف الاسفلتي للطرق، وخاصة في المناطق التي لا تتوفر فيها المواد المالئة التقليدية. علي صعيد اخر, استكشف(Al-Rawas & Goosen 2006) [11] تثبيت التربة الطينية باستخدام البوزولانية الطبيعية والجير، ووجدوا أن مثل هذه التركيبات تعمل على تحسين قوة التربة وقابليتها للعمل. اقترح بحثهم أن البوزلانا الطبيعية يمكن استخدامها بشكل فعال في تثبيت طبقات الأساس للطرق وفي إنشاء مخاليط أسفلتية أكثر متانة. في دراساتهم، فحص (Habbouche et al., 2020) [12] تأثير دمج البوزلانا في مخاليط الأسفلت. أظهرت نتائجهم أن إضافة البوزلانا يحسن بشكل كبير الأداء الميكانيكي للإسفلت، ويقلل من التجعد والتشقق مع تعزيز مقاومة تقلبات درجات الحرارة. بحث (El-Tantawy et al., 2014) [13] في تأثيرات دمج البوزولانا الطبيعية مع الرابط الأسفلتي. ركز عملهم على تحسين الخصائص الريولوجية للبيتومين، مما يجعل الأسفلت أكثر متانة في ظل ظروف درجات الحرارة العالية. تشير نتائجهم إلى أن البوزولانا تساهم في تحسين الأداء في كل تطبيقات الطرق الحضرية والريفية.

3. خصائص الركام و الرابط البيتومينى المستخدم في الدراسة

تم استخدام بيتومين نوع 70/60 كمادة رابطة في جميع الخلطات الاسفلتية التي تم تحضيرها في هذه الدراسة. حيث أجريت تجارب مؤشرات الأداء علي عينة البيتومبن و تم تلخيص نتائجها في الجدول (1). كما تم تلخيص نتائج اختبارات الركام الذي تم استخدامه في هذه الدراسة في الجدول (2). تم الحصول علي الركام المستخدم في هذه الدراسة من مصدر واحد والناتج من تكسير احجار البازلت النارية وذلك للجزء الناعم و الخشن. كما يبين الشكل (2) منحني التدرج الحبيبي للركام المستخدم في تحضير الخلطات الاسفلتية المختبرة في هذه الدراسة كما يبين الحدين الاعلي و الادني التصميمي و كذلك الحد الاعلي و الادني القياسي وفقا لمعايير ASTM 3514 D-4.

جدول 1: يبين نتائج اختبارات البيتومين السائل عيار 70/60			
الاختبار	وحدة القياس	النتيجة	ASTM حدود المواصفات
الاختراق عند 25 م و 5 ث, 100 جم	مم 1/10	64	60–70
نقطة التليين	م°	48	46–58
الاستطالة	سم	>110	min 100
الوزن النوعي	جم/سم3	1.03	---

جدول 2: يبين قيم الاوزان النوعية (الكثافة) و نسبة الامتصاص ومقاومة الاهتراء لأحجام الركام المختلفة				
حدود تدرج عينة الاختبار	22–18	18–10	10–5	5–0
الوزن النوعي الكلي (Gsb) (جم/سم3)	2.787	2.772	2.726	2.65
الوزن النوعي المشبع جاف السطح (Gssd) (جم/سم3)	2.842	2.828	2.782	2.713
الوزن النوعي الظاهري (Gsa) (جم/سم3)	2.951	2.937	2.937	2.828
نسبة الامتصاص (%)	1.993	2.03	2.051	2.38
لوس انجلوس (%)		19.5	20.31	
مؤشر اللدونة	غير بلاستيكية			



شكل 1. يبين التدرج الحبيبي لعينة الركام المستخدمة في الخلطة الاسفلتية

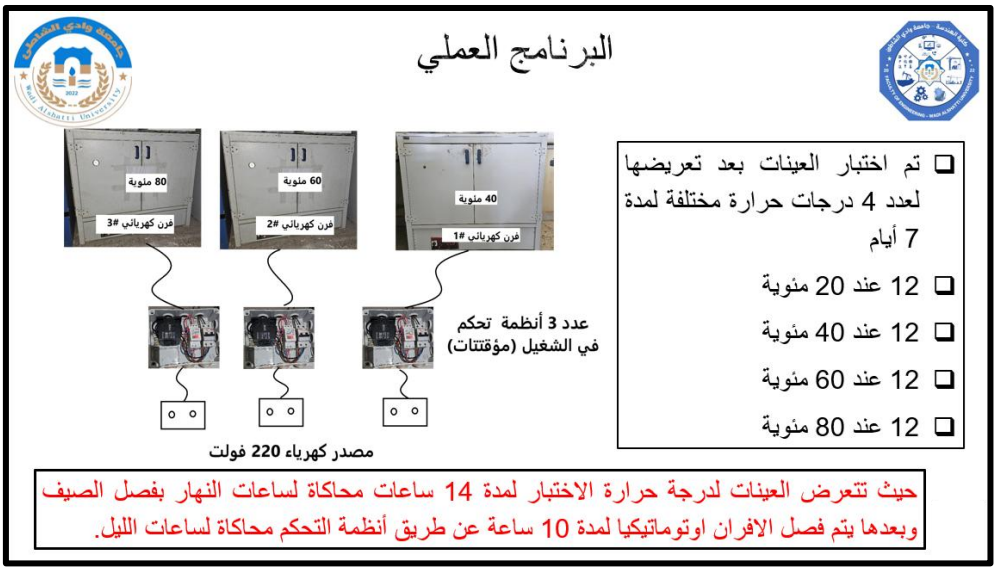
4. البرنامج العملي

شمل البرنامج العملي تصميم و تحضير خلطة اسفلتية بدون أي إضافات و ذلك لجعلها كمرجع لمقارنة التغيرات التي قد تطرأ علي الخلطات الاسفلتية المعدلة بالبوليمرات و المطاط و البوزلانا. بعد اعتماد الخلطة المرجعية, تم بعدها تحضير 12 عينة من الخلطة المرجعية و 36 عينة من الخلطات الاسفلتية المعدلة منها 12 عينة معدلة بفتات المطاط, 12 عينة معدلة بالبوليمر، و 12 عينة معدلة بالبوزلانا بعدد اجمالي للعينات بلغ 48 عينة اختبار.

تم تحضير العينات المعدلة بالمطاط باستبدال 12% من وزن الركام بتدرج مكافئ من حبيبات المطاط. حيث تمت الإضافة بطريقة الخلط علي الساخن و ذلك بوضع فتات المطاط في البيتومين الساخن عند درجة حرارة 190 مئوية و لمدة تكفي لذوبان قطع المطاط (التي تراوحت بين 15 الي 20 دقيقة), ثم إضافته الي عينة الركام. اما العينات المعدلة بالبوليمر, فقد تم تحضيرها بخلط الركام مع بيتومين معدل بالبوليمرات من نوع الستايرين بوتادين ستايرين (SBS) و بنفس طريقة تحضير الخلطة الاسفلتية بدون إضافات. اما العينات المعدلة في بالبوزلانا الطبيعية, فقد تم استبدال المادة المالئة في الركام المكسر و التي نسبتها 4% من اجمالي وزن الركام بمادة مسحوق البوزلانا بنفس النسبة و بنفس طريقة تحضير الخلطة الاسفلتية بدون إضافات.

تم تعريض ثلاث عينات من كل خلطة (عادية, معدلة بالمطاط, معدلة بالبوليمر, معدلة بالبوزلانا) لدرجات حرارة مختلفة شملت 12 عينة معرضة لدرجة حرارة 20 مئوية, 12 عينة معرضة لدرجة حرارة 40 مئوية, 12 عينة معرضة لدرجة حرارة 60 مئوية, و اخيرا 12 عينة معرضة لدرجة حرارة 80 مئوية لمدة 7 أيام لكل مجموعة علي ان يتم تعريض العينات للحرارة لفترة 14 ساعة في اليوم و بعدها يتم خفض درجة الحرارة بشكل تدريجي اوتوماتيكي علي مدي ال 10 ساعات اللاحقة (شكل 2).

تم تسليط الحرارة و التحكم في عدد ساعات تعرض العينات لدرجة حرارة الاختبار عن طريق ثلاث افران كهربائية مرتبطة بأجهزة تحكم تعمل بشكل أوتوماتيكي. تعمل أجهزة التحكم علي تشغيل الافران بشكل ذاتي لزيادة درجة الفرن من مستوي درجة حرارة الغرفة الي درجة حرارة الاختبار علي مدي 14 ساعة. عقب ذلك تعمل أجهزة التحكم علي فصل التيار الكهربائي عن الافران بشكل اوتوماتيكي بعد انقضاء 14 ساعة لتبدأ عملية انخفاض الحرارة من درجة حرارة الاختبار الي المستوي الذي تصل اليه علي مدي عشر ساعات. لينتهي بعدها يوم الاختبار الأول و يبدأ يوم الاختبار الثاني بنفس الطريقة و ذلك حتي انقضاء مدة الاختبار البالغة 7 أيام.



شكل 2. يوضح طريقة تسليط درجات حرارة الاختبار علي عينات الخلطات الاسفلتية العادية و المعدلة.

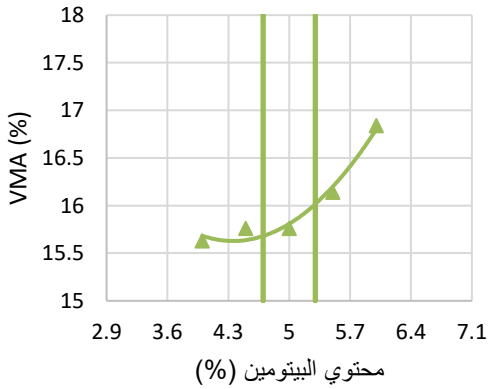
5. النتائج

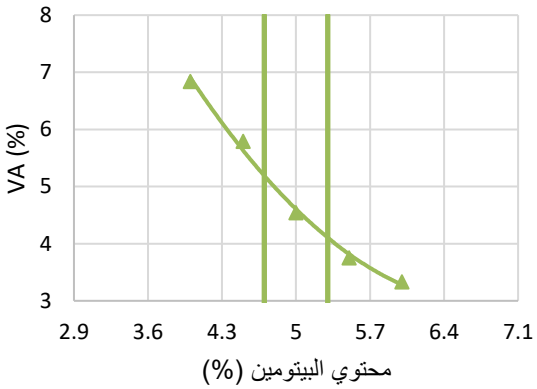
5.1. الخلطة التصميمية (بدون إضافات)

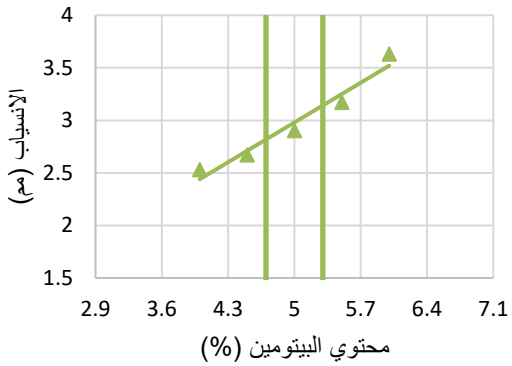
يوضح الجدول 3 الخصائص الميكانيكية كما تم حسابها من اختبار مارشال و كذلك الخصائص الحجمية و ذلك للخلطة الاسفلتية غير المعدلة و مقارنة بالقيم المحددة بالمواصفات. كما يبين الشكل 3 تغير الخصائص الحجمية والميكانيكية لعينات مارشال مع المحتوي البيتومين خلال تصميم الخلطة الاسفلتية المرجعية (بدون إضافات).

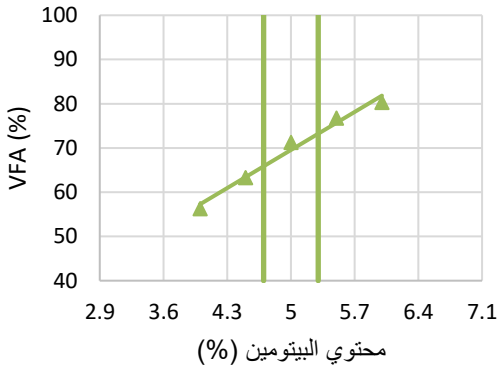
جدول 3: يوضح تباين الخصائص الحجمية والميكانيكية لعينات مارشال مع المحتوي البيتومين خلال تصميم الخلطة الاسفلتية المرجعية (بدون إضافات)

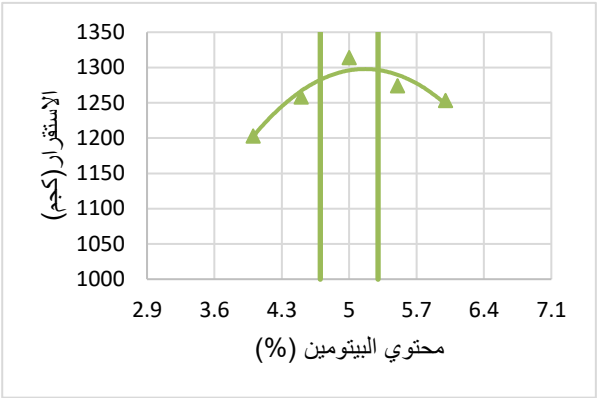
رقم الاختبار	1	2	3	4	5	التصميم	المواصفات
محتوي البيتومين الكلي (%)	4	4.5	5	5.5	6	5	6-4
نسبة الفراغات المملوئة بالهواء VA (%)	6.84	5.79	4.54	3.75	3.33	4.6	8-3
نسبة الفراغات في المادة المالئة VMA (%)	15.63	15.76	15.76	16.14	16.84	15.8	Min. 14
نسبة الفراغات المملوئة بالمادة الرابطة VFA (%)	56.27	63.26	71.18	76.75	80.25	69.5	65-75
الانسياب (مم)	2.53	2.67	2.9	3.17	3.63	3	2-4
الاستقرار (كجم)	1202.9	1258.4	1313.9	1274	1253.2	1290	Min. 1000
الوزن النوعي الكلي (حم/سم3)	2.387	2.396	2.408	2.41	2.403	--	No limits
المحتوي البيتومين الأمثل (OBC)	±0.3%5.0						







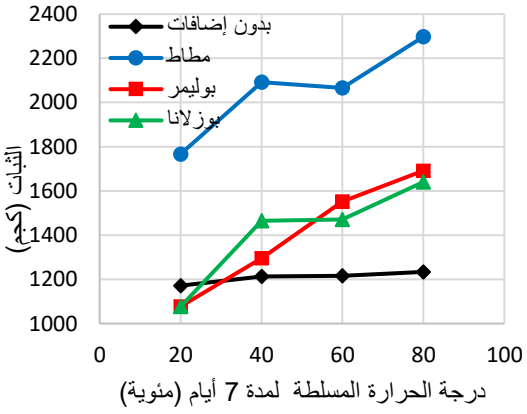




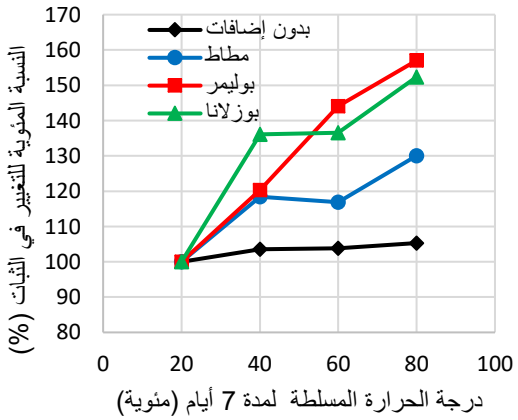
شكل 3. يوضح تغير الخصائص الحجمية والميكانيكية لعينات مارشال مع المحتوي البيتومييني خلال تصميم الخلطة الاسفلتية المرجعية (بدون إضافات)

5.2.نتائج اختبار مارشال للعينات التقليدية و المعدلة تحت تأثير درجات الحرارة العالية

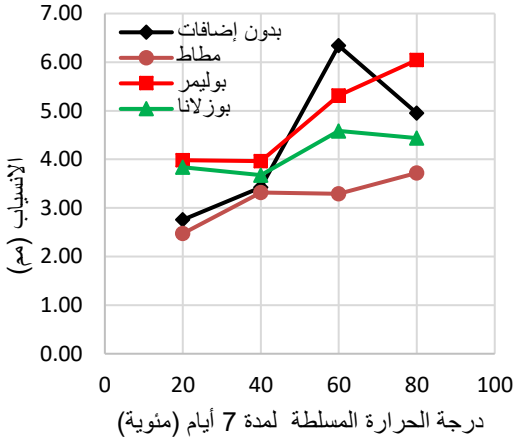
يوضح الشكل 4 متوسط قيم الثبات لعينات الخلطة الاسفلتية بدون إضافات و الخلطات الاسفلتية المعدلة بالمطاط و البوليمر و البوزلانا بعد تعريضها لدرجات حرارة 20, 40, 60, 80 درجة مئوية لمدة 7 ايام . كما يستعرض الشكل 5 التغير في قيم الثبات للعينات المعرضة لدرجات الحرارة 40, 60, 80 درجة مئوية كنسبة مئوية من متوسط قيم الثبات للعينات المعرضة لدرجات حرارة 20 درجة مئوية لكل خلطة اسفلتية علي حدة. بشكل مماثل, يبين الشكل 6 و الشكل 7 متوسط قيم الانسياب و معدل التغيير في قيم الانسياب علي التوالي. اذا ما تم مقارنة القيم المرجعية للثبات و ذلك عند درجة حرارة 20 مئوية لجميع الخلطات المختبرة, يمكن ملاحظة ان الخلطات الاسفلتية المعدلة بالبوليمر و البوزلانا اعطت ادني قيم ثبات مقارنة بالخلطات الأخرى وذلك عند 1057 كجم و كذلك كانت قيم الانسياب هي الأعلى عند 4 مم. بينما كانت قيمة الثبات للخلطة الاسفلتية بدون إضافات عند 1171 كجم و بانسياب 2.76 مم بينما أظهرت الخلطة الاسفلتية المعدلة بالمطاط اعلي قيمة ثبات عند 1766 كجم و بانسياب هو الأدنى عند 2.47 مم.



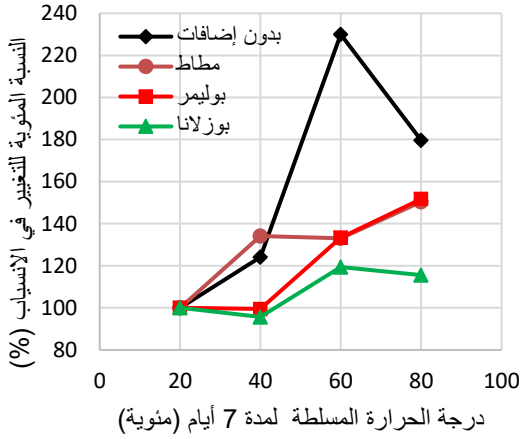
الشكل .4 متوسط قيم الثبات لعينات الخلطة الاسفلتية بدون إضافات و الخلطات الاسفلتية المعدلة بالإضافات.



الشكل .5 التغير في قيم الثبات نتيجة التعرض لدرجات الحرارة العالية.



الشكل .6 متوسط قيم الانسياب لعينات الخلطة الاسفلتية بدون إضافات و الخلطات الاسفلتية المعدلة بالإضافات.



الشكل .7 التغير في قيم الانسياب نتيجة التعرض لدرجات الحرارة العالية.

بزيادة درجة حرارة التعرض, يمكن ملاحظة ان قيم الثبات تزداد بشكل تصاعدي و ذلك لجميع الخلطات الاسفلتية الا ان نسبة الزيادة في الثبات تختلف من خلطة الي اخري. حيث بعد تحقيق قيم الثبات الأولية عند 20 مئوية, كانت نسبة الزيادة في الثبات هي الأدنى للخلطة الاسفلتية بدون إضافات و التي لم تتجاوز 105 % عند 80 مئوية. تلي ذلك الخلطة المعدلة بالمطاط ثم بالبوزلانا و اعلاها الخلطات المعدلة بالبوليمر حيث حققت هذه الخلطات نسبة زيادة في الثبات 130%, 152%, و 157% علي التوالي وذلك عند اعلي درجة حرارة معالجة (80 مئوية). يمكن تفسير الزيادة في الثبات بزيادة درجة حرارة التعرض الي ظاهرة التطاير او الاكسدة و التي يرافقها زيادة ظاهرية في خاصية الثبات. تطاير المواد الخفيفة يزيد من لزوجة البيتومين فيصبح اكثر صلابة بالتالي تظهر قيم ثبات اعلي بعد حدوث التصلب قصير الامد. الا ان هذه الظاهرة قد تؤدي الي هشاشة الاسفلت المتصلب في وقت لاحق مما يقلل مقاومته للتشوهات (الانسياب) و هو ما تم ملاحظته في هذه الدراسة. حيث أظهرت الخلطة الاسفلتية بدون إضافات اعلي نسبة زيادة في الانسياب بلغت 230% عند 60 مئوية و 180% عند 80 مئوية. تلي ذلك الخلطات المعدلة بالمطاط و البوليمر بنسبة زيادة في الانسياب 150% عند درجة حرارة 80 مئوية ثم الخلطات المعدلة بالبوزلانا و التي حققت افضل نتيجة من حيث مقاومة الانسياب بنسبة زيادة هي الادني عند 115% عند درجة حرارة 80 مئوية.

اذا ما اخذنا قيم الانسياب بشكل مطلق, نجد ان جميع الخلطات الاسفلتية حافظت علي قيم انسياب ادني من 4 مم و ذلك حتي درجة حرارة 40 مئوية. وما ان تجاوزت درجة حرارة التعرض الـ 40 مئوية, كل الخلطات الاسفلتية ما عدا المعدلة بالمطاط أظهرت انسياب اعلي من الحد المسموح (أي 4 مم) بينما حافظت العينة المعدلة بالمطاط علي قيم انسياب ادني من 4 مم و ذلك بالإضافة الي قيم الثبات الأعلى التي حققتها العينات المعدلة بالمطاط. هذا يدل علي مدي كفاءة و ملائمة الخلطات الاسفلتية المعدلة بالمطاط في اظهار أداء افضل في البيئات الصحراوية ذات درجات الحرارة العالية. من جانب اخر, فأن الخلطات المعدلة بالبوزلانا و البوليمر لم تقل كفاءة عن العينات المعدلة بالمطاط حيث أظهرت هي أيضا نسب دنيا للزيادة في الانسياب بالرغم من قيم الانسياب العالية التي اظهرتها عيناتها المرجعية (عند 20 مئوية). فاذا ما تم التحكم

في قيم الانسياب الابتدائية للخلطات المعدلة بالبوزلانا و البوليمير و المحافظة عليها عند مستويات ادني من 3 مم, فأن الزيادة في الانسياب بعد التعرض لدرجات الحرارة العالية يتوقع ان يكون ضمن الحدود المسموحة. اما العينة الاسفلتية غير المعدلة فقد تأثرت بشكل كبير بدرجات الحرارة العالية والذي ادي الي ارتفاع قيم الانسياب بشكل ملحوظ بالرغم من قيم الانسياب الواطئة لعينتها المرجعية والذي يمكن ان يعزي الي ظاهرة التقادم المبكرة تحت تاثير دراجات الحرارة العالية. هذا الامر يفسر بشكل واضح أسباب تدهور حالة الطرق المرصوفة بخلطات اسفلتية غير معدلة في المناطق الصحراوية و المعرضة لدرجات حرارة عالية. كما يؤكد ضرورة اعتماد الخلطات الاسفلتية المعدلة و خصوصا بالمطاط و البوزلانا في مثل هذه البيئات مع شرط عمل المزيد من الدراسات المماثلة لتأكيد النتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة.

يمكن ان يعزي تدهور مقاومة الانسياب بعد تجاوز درجة الحرارة 40 مئوية الي التغير في الخصائص الريولوجية للاسفلت. الإسفلت مادة لدنة (Visco–elastic) يبقي في حالة "شبه صلبة" تتحكم فيها قوى التماسك الداخلية عند درجات حرارة أقل من ~40 °م. بعد تجاوز 40 °م، تبدأ لزوجة الإسفلت بالانخفاض بشكل ملحوظ، مما يزيد من قابليته للتشوه تحت الحمل. عليه، ينعكس هذا مباشرة في زيادة قيمة الانسياب. المطاط والبوليمرات تعمل عادة على رفع مقاومة التشوه عند درجات الحرارة العادية. لكن بعد 40 °م تبدأ شبكة الربط الكيميائي (Cross–linking) بالضعف أو التراخي، فيتحول تأثيرها من تعزيز الثبات إلى السماح بمزيد من التشوه. البوزلانا مواد معدنية مالئة، دورها تثبيت البنية، لكنها لا تمنع تأثير فقدان لزوجة الإسفلت عند التسخين الطويل. يبقي السؤال: لماذا 40 °م نقطة تحول؟ الدراسات الرويولوجية (Rheological) للإسفلت تُظهر أن 40 °م تقريبًا هي بداية المنطقة الانتقالية بين "السلوك شبه الصلب" و"السلوك اللدن/المطاطي". بمعنى انه عند درجة حرارة أقل من 40 °م تتصرف الخلطة كجسم أكثر صلابة, اما عند درجات حرارة اعلي من 40 °م, تبدأ بالتصرف كجسم لدن (Viscous) بذلك يظهر الانسياب بوضوح. هذه النقطة قد تختلف قليلًا حسب نوع الإسفلت والمضافات، لكنها غالبًا تتراوح من 35–45 °م.

6. المناقشة :-

أظهرت نتائج هذه الدراسة زيادة في قيم الثبات (Marshall Stability) مع ارتفاع درجة حرارة التعريض طويل الأمد (7 أيام)، وهو ما يعزى إلى ظاهرة الأكسدة وفقد الزيوت الخفيفة في الإسفلت مما يؤدي إلى تصلبه وزيادة مقاومته للاحمال. إلا أن هذا التعرض الحراري قد صاحبته أيضًا زيادة في قيم الانسياب (Flow), مما يعكس ارتفاع القابلية للتشوه التدريجي خاصة في الخلطات غير المعدلة. وقد لوحظ أن هذه الزيادة في الانسياب كانت أقل وضوحًا في الخلطات المعدلة بالمطاط والبوزلانا، ما يشير إلى فعالية هذه الإضافات في الحد من تأثيرات التقادم الحراري. وتدعم هذه النتائج ما توصلت إليه دراسات سابقة؛ حيث أظهرت بحوث عديدة أن الخلطات المعدلة بالمطاط والبوزلانا تتمتع بمقاومة أكبر للتشوه بعد التعرض للحرارة العالية مقارنة بالخلطات التقليدية ([14], [15], [16]). من المحددات التي قد تؤثر على تعميم نتائج هذه الدراسة أن الاختبارات اقتصرت على طريقة مارشال في تحضير العينات و تقييم أدائها دون دراسة تأثير طرق دمك أخرى كال Gyratory Compactor. كذلك، ركزت الدراسة على فترة تعريض حراري ثابتة مدتها سبعة أيام دون محاكاة فترات أطول قد تمثل عمر الطريق التشغيلي. إضافة إلى ذلك، لم تُجر اختبارات التعب والإجهاد الدوري (Fatigue Testing) التي تعد هامة لتقييم الأداء طويل الأمد للخلطات المعدلة. استنادًا إلى النتائج التي أظهرت تحسن مقاومة التشوه في الخلطات المعدلة بالمطاط والبوزلانا تحت تأثير التعرض الحراري طويل الأمد، يوصى باستخدام هذه الإضافات ضمن تصاميم الخلطات

الإسفلتية المخصصة للبيئات الحارة التي تتعرض لدرجات حرارة مرتفعة لفترات مطولة. كما يوصى بإجراء اختبارات إضافية تشمل تقييم مقاومة التشقق عند درجات الحرارة المنخفضة (Low Temperature Cracking) لضمان توازن الأداء. علاوة على ذلك، يُستحسن دراسة تأثير نسب مختلفة من المطاط والبوزلانا و البوليمر في الخلطة لتحقيق أمثل توازن بين الثبات والانسياب.

7. الاستنتاجات :-

من خلال النتائج المتحصل عليها في هذا البحث نستنتج الاتي :-

1. أظهرت الخلطات الاسفلتية المعدلة بالمطاط افضل أداء من حيث ارتفاع قيم الثبات و انخفاض قيم الانسياب فيما زادت قيم الثبات للخلطات المعدلة بالبوليمر و البوزلانا و قلت مقاومة الانسياب و ذلك عند درجة الحرارة العادية (20 مئوية).
2. ان تعرض الرصف الاسفلتي لدرجات الحرارة العالية (حتي 80 مئوية) ادي الي زيادة ملحوظة في خاصية الثبات و لكن قلل من خاصية مقاومة الانسياب و ذلك للخلطة الاسفلتية غير المعدلة و الخلطات الاسفلتية المعدلة. الا ان نقصان مقاومة الانسياب كان اقل للخلطات المعدلة مما يدل علي فوائد الإضافات في زيادة مقاومة التشوهات الدائمة و ديمومة الرصف الاسفلتي المعرض لدرجات الحرارة العالية.
3. عند اضافة المطاط للخلطة الاسفلتية فأنها تكسبها أكبر قيمة للثبات في جميع درجات الحرارة المختلفة مقارنة بالإضافات الاخرى وتحسين المرونة ومقاومة التشوهات.
4. عند اضافة مادة البولمر للخلطة الاسفلتية فأنها زادت من مقاومتها للانسياب مقارنة بالخلطة غير المعدلة في درجات الحرارة العالية مما يدل علي فوائد إضافة البوليمر للخلطات الاسفلتية في المناطق ذات درجات الحرارة العالية .
5. اضافة البوزلانا الى الخلطة الاسفلتية اكسبتها اعلي مقاومة للانسياب مقارنة بالخلطات الاسفلتية الأخرى كما اكسبتها زيادة ملحوظة في الثبات. هذه النتائج تعتبر إضافة علمية ذات قيمة لمجال صناعة الطرق كما انها تمثل مستقبل واعد لاستخدام البوزلانا الطبيعية في الخلطات الاسفلتية المعدلة.
6. تجاوز درجة الحرارة 40 مئوية يؤدي الي زيادة كبيرة في الانسياب لجميع الخلطات الاسفلتية المختبرة. هذا يدل علي ان درجة حرارة 40 مئوية تمثل نقطة تحول في سلوك مقاومة الانسياب لجميع الخلطات الاسفلتية المختبرة.

8. المراجع :-

1. Hassan, A., & Albarkuoli, A. (2025). Comparative Study of Physical and Mechanical Properties of Base Course Materials from 3 Different Gravel Pits within the Municipality of Brack Alshatti, Libya. Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences, 94-99.
2. Li, P., et al. (2017). Effects of crumb rubber on asphalt absorption and performance. Journal of Physics: Conference Series .

3. Poovaneshvaran, et al. (2020). Crumb rubber and latex-modified asphalt performance. Open Access Proceedings Journal of Physics .
4. Yildirim, Y. (2007). Polymer-modified asphalt binders. Construction and Building Materials .
5. Prastanto, H. (2019). Depolymerized natural rubber in asphalt modification. Journal of Materials Science.
6. Ameri, M., et al. (2018). Investigating effects of nano/SBR polymer on rutting performance of binder and asphalt mixture. Advances in Materials Science and Engineering, 2018, Article ID 5891963. https://doi.org/10.1155/2018/5891963
7. Brasileiro, L., et al. (2019). Reclaimed polymers as asphalt binder modifiers for more sustainable roads: A review. Sustainability, 11(3), 646. https://doi.org/10.3390/su11030646
8. Habbouche, H., et al. (2020). High polymer asphalt: Enhancing crack resistance. Virginia Transportation Research Council. Retrieved from Virginia DOT
9. Polacco, G., et al. (2006). Relation between polymer architecture and nonlinear viscoelastic behavior of modified asphalts. Current Opinion in Colloid & Interface Science, 11(4), 230–245. https://doi.org/10.1016/j.cocis.2006.09.006
10. Onyango, M., Macha, J., & Busch, T. (2017). Pilot study for the possible use of naturally occurring pozzolans for road construction.
11. Al-Rawas, A., & Goosen, M. (2006). Cohesive soils stabilization using natural pozzolana and lime. International Journal of Engineering Sciences, 32(1), 45–47. https://doi.org/10.1016/j.ijesonline.com
12. Habbouche, H., et al. (2020). Impact of pozzolana on the properties of asphalt mixtures. Springer.
13. El-Tantawy, A., et al. (2014). Investigating the effects of pozzolana on the rheological properties of asphalt binders. SpringerLink. https://doi.org/10.1007/s10973-014-3999-7.
14. Ali, S., Ahmed, W., & Khan, Z. (2022). Chemical and rheological evaluation of the ageing behaviour of high-content crumb rubber asphalt binder. Polymers, 14(21), 3088. https://doi.org/10.3390/polym14213088
15. Zhang, H., Liu, X., & Li, P. (2021). Effects of aging on rheological properties and microstructural evolution of SBS and crumb rubber modified asphalt binders. Polymers, 13(4), 659. https://doi.org/10.3390/polym13040659

16. Sun, L., Guo, N., & Li, R. (2017). Short-term aging effect on properties of sustainable pavement asphalts modified by waste rubber and diatomite. Materials, 10(2), 153. https://doi.org/10.3390/ma10020153

تحليل تدهور الأعمدة الخرسانية الناتج عن الاختبارات الاتلافية وتقييم استجابتها للترميم عبر النمذجة العددية

بشير صالح[1]، سفيان بشير[2]
أستاذ مشارك، مدرسة العلوم الهندسية والتطبيقية، قسم الهندسة المدنية، الاكاديمية الليبية، طرابلس– ليبيا[1]
طالب ماجستير، مدرسة العلوم الهندسية والتطبيقية، قسم الهندسة المدنية، الاكاديمية الليبية، طرابلس– ليبيا[2]
bashir.saleh@academy.edu.ly

الملخص

يتناول هذا البحث دراسة تحليلية شاملة لتأثير الأضرار الناتجة عن الفتحات غير المدروسة (Unintentional Openings) والتدهور الجزئي على الأداء الإنشائي للأعمدة الخرسانية المسلحة. وقد تم اعتماد منهج مزدوج يجمع بين الفحص الميداني التفصيلي والنمذجة العددية ثلاثية الأبعاد باستخدام برنامج ABAQUS المعتمد على نظرية العناصر المتناهية (Finite Element Method – FEM). استُخدمت ثلاثة نماذج تحليلية رئيسية لتمثيل حالات مختلفة من سلوك الأعمدة تحت تأثير الأحمال المحورية العالية (Axial Loads) ، مع التركيز على تحليل العلاقة بين التشوهات والإزاحات، وكذلك مستوى انهيار التسليح. أظهرت النتائج أن الأعمدة المتضررة التي تعرضت لاختراقات أو ثقوب بقطر 130 مم فقدت نحو 36% من قدرتها الأصلية على التحمل، حيث تقلصت السعة من 2415.75 kN في الحالة السليمة إلى 1538.91 kN في الحالة المتدهورة، مع انخفاض ملحوظ في سعة التشوه من 4.64مم إلى 2.1 مم فقط. كما لوحظ حدوث قطع مباشر في حديد التسليح الطولي (Longitudinal Bar Fracture) في مناطق حرجة من المقطع، وهو ما أدى إلى ضعف القدرة على نقل القوى وزيادة خطر الانهيار المبكر. وبهدف معالجة هذا التدهور، تم تطبيق حل ترميمي متكامل تمثل في تغليف الأعمدة المتضررة بطبقة خرسانية إضافية بسماكة 100 مم من جميع الجهات، مع إضافة تسليح رئيسي بقطر 14 مم وكانات عرضية كل 200 مم. وقد نتج عن هذا الترميم تحسن ملموس في الأداء، حيث استعادت الأعمدة ما يعادل 91% من قدرتها الإنشائية الأصلية، ووصلت إلى قوة تحمل مقدارها 2194.69 kN وتشوه نهائي قدره 3.3مم، مع استقرار واضح في سلوك التسليح.

توفر هذه النتائج دليلاً عمليًا على فعالية منهجية التغليف الخرساني كحل لترميم الأعمدة المتدهورة، دون الحاجة إلى استبدال العناصر أو إجراء تدخلات جذرية في الهيكل. كما تُبرز الدراسة الدور الحيوي لتقنيات النمذجة العددية في تشخيص الأعطال الهيكلية وتصميم حلول الترميم وفق المعايير الدولية، لا سيما ACI 562–16 و Eurocode 2 (EN 1992–1–1). ويُوصى باعتماد هذا النهج في مشاريع تقييم وترميم الهياكل القائمة في البيئات المعرضة لمخاطر التدهور، مثل المنشآت الخدمية والبنية التحتية الحيوية.

الكلمات المفتاحية: *الأعمدة الخرسانية المسلحة، ثقوب ميكانيكية، النمذجة العددية، الترميم الإنشائي، نظرية العناصر المحددة (FEM) ، التغليف الخرساني والفولاذي، الحقن بالإيبوكسي.*

Abstract

This study presents a comprehensive analytical investigation into the impact of damage caused by unplanned openings (Unintentional Openings) and partial deterioration on the

structural performance of reinforced concrete columns. A dual approach was adopted, combining detailed field inspection with three-dimensional numerical modeling using the ABAQUS software, based on the Finite Element Method (FEM). Three primary analytical models were developed to represent different scenarios of column behavior under high axial loads, focusing on the relationship between deformation and displacement, as well as the level of reinforcement failure. The results revealed that columns subjected to penetrations or holes with a diameter of 130 mm lost approximately 36% of their original load-bearing capacity, decreasing from 2415.75 kN in the intact state to 1538.91 kN in the deteriorated state. Additionally, a significant reduction in deformation capacity was observed, dropping from 4.64 mm to only 2.1 mm. Direct fracture of longitudinal reinforcement bars occurred at critical sections, compromising force transfer and increasing the risk of premature failure. To address this deterioration, an integrated repair solution was implemented by jacketing the damaged columns with an additional 100 mm-thick concrete layer on all sides, reinforced with 14 mm main bars and transverse stirrups spaced at 200 mm. This repair method led to a remarkable improvement in performance, restoring approximately 91% of the original structural capacity, achieving a load-bearing capacity of 2194.69 kN and a final deformation of 3.3 mm, with noticeable stability in reinforcement behavior. These findings provide practical evidence of the effectiveness of concrete jacketing as a repair technique for deteriorated columns, eliminating the need for element replacement or major structural interventions. Moreover, the study highlights the critical role of numerical modeling techniques in diagnosing structural deficiencies and designing repair strategies in compliance with international standards, particularly ACI 562-16 and Eurocode 2 (EN 1992-1-1). It is recommended to adopt this approach in the evaluation and rehabilitation of existing structures in environments susceptible to deterioration, such as service facilities and critical infrastructure.

Keywords: *Reinforced Concrete Columns, Mechanical Openings, Numerical Modeling, Structural Repair, Finite Element Method (FEM), Concrete and Steel Jacketing, Epoxy Injection.*

1. المقدمة:

تُعد الأعمدة الخرسانية المسلحة من العناصر الحيوية والأساسية في منظومة العناصر الحاملة في المباني متعددة الطوابق، إذ تساهم بدور رئيسي في نقل الأحمال الرأسية – (Vertical Loads) الناتجة عن وزن المنشأ الذاتي والأحمال الحية – إلى الأساسات، فضلاً عن مساهمتها الفعّالة في مقاومة القوى الأفقية، مثل قوى الرياح والزلازل، والتي قد تُحدث عزوماً وانزلاقات حرجة تؤثر على الاتزان العام للمنشأ [1][2]. ومن هذا المنطلق، فإن أي تدخل غير مدروس في هذه الأعمدة،

سواء عن طريق تنفيذ ثقوب مركزية (Core Drilling) ، أو إزالة جزء من الغطاء الخرساني الواقي(Concrete Cover) ، أو التسبب في قطع أو إضعاف التسليح الطولي ,(Longitudinal Reinforcement) قد يؤدي إلى تقليل السعة القصوى لتحمل الأحمال (Ultimate Load Capacity) ، ورفع احتمالية الانهيار الجزئي أو الكلي للمنشأ، خصوصًا في حال عدم رصد هذه التعديات أو معالجتها بطريقة هندسية دقيقة [3] .

وتنبه المعايير الدولية الرائدة إلى خطورة هذه التعديات، حيث ينص الكود الأمريكي للترميم الإنشائي ACI 562-16 على ضرورة إخضاع أي تعديل إنشائي في العناصر الحاملة لعمليات تقييم وتحليل دقيق، يقوم بها مهندسون مختصون باستخدام تقنيات محاكاة متقدمة، وذلك لتحديد مدى تأثير تلك التعديلات على الأداء الإنشائي للعناصر المُتضررة [4]. كما يُؤكد الكود الأوروبي Eurocode 2 (EN 1992-1-1) على أهمية الحفاظ على الحد الأدنى من الغطاء الخرساني، لما له من دور حاسم في حماية حديد التسليح من التآكل الناتج عن العوامل البيئية أو من تأثيرات الحرائق، مع التشديد على الالتزام بمعاملات أمان كافية في حال وجود تغيرات في مقاومة المقطع أو شكله الهندسي [5] وتشير دراسات حديثة إلى أن استخدام تقنيات الترميم الهيكلي مثل التغليف الفولاذي للأعمدة (Steel Jacketing) أو زرع الأشاير باستخدام أنظمة تثبيت كيميائية قائمة على مركبات الإيبوكسي (Epoxy Anchoring) يُعد من الحلول الفعالة في استعادة الكفاءة الإنشائية للعناصر الخرسانية المتدهورة [6][7]. ومع التطور في أدوات المحاكاة العددية، وخاصة تطبيقات نظرية العناصر المتناهية (Finite Element Method – FEM)، أصبح بالإمكان محاكاة سلوك العناصر المتضررة بشكل كمّي دقيق، وتقييم تأثير تلك التعديات على الأداء العام للعنصر الخرساني، مما يُعزز من موثوقية التوصيات التصميمية وخيارات الترميم [8] .

في هذا الإطار ، تستعرض هذه الدراسة حالة واقعية لمبنى سكني تجاري متعدد الطوابق يقع في مدينة غريان – ليبيا، تعرضت أعمدته الحاملة لتعديات ميكانيكية تمثلت في تنفيذ ثقوب كبيرة داخل مقاطعها المركزية، مما تسبب في تدهور واضح في سلوكها الإنشائي. وقد تم تنفيذ برنامج تحليلي شامل يشمل: (1) الفحص البصري والميداني للأضرار، (2) نمذجة العناصر المتضررة باستخدام برنامج ABAQUS القائم علىFEM ، و(3) اقتراح حلول علاجية متوافقة مع اشتراطات ACI 562-16 وEurocode 2، مع مقارنة الأداء الإنشائي قبل وبعد المعالجة. وتهدف هذه الدراسة إلى تقديم مرجعية علمية وتطبيقية يمكن الاستفادة منها في مشاريع تقييم وترميم الأعمدة المتضررة في المنشآت القائمة، خصوصًا في البيئات الحضرية التي تتطلب حلولًا غير تدخلية وغير مدمرة للهيكل الأصلي.

2. منهجية البحث (Research Methodology)

2.1 توصيف حالة الدراسة (Case Study Description)

تركز هذه الدراسة على مبنى سكني تجاري متعدد الطوابق يقع في مدينة غريان – ليبيا، يتكون من ستة طوابق ويعتمد على نظام الخرسانة المسلحة (Reinforced Concrete) في تصميمه الإنشائي. عند لحظة التقييم، كانت الأعمال الإنشائية قد اكتملت تقريبًا، وبدأت مرحلة التركيبات الميكانيكية.

ينتمي المبنى إلى الفئة متوسطة الارتفاع، والتي تتطلب توزيعًا دقيقًا للأحمال الرأسية (Vertical Loads) والأفقية (Lateral Loads)، خصوصًا في الطوابق السفلية التي تحتوي على الأعمدة الحاملة الأساسية للنظام الإنشائي [1][2] .

2.2 التعدي الإنشائي نتيجة الأعمال الميكانيكية (Structural Intrusion Due to MEP Works)

نتج التعدي الإنشائي عن تنفيذ أعمال ميكانيكية غير مرخصة، تضمنت تركيب وحدات تكييف مركزي (HVAC Units) ، حيث قام فريق غير مؤهل بإنشاء ثقوب دائرية كبيرة في عمودين رئيسيين لتمرير أنابيب، دون الرجوع إلى المهندس المصمم أو إجراء تقييم إنشائي. بلغ قطر الثقوب حوالي 130 ملم وبعمق يقارب 200 ملم، ونُفذت في منطقة حرجة بين الطابق الأرضي والأول، مما أدى إلى قطع مباشر في التسليح الرئيسي والثانوي (Longitudinal Reinforcement) ، وإضعاف الغلاف الخرساني(Concrete Cover) ، وظهور شروخ دقيقة .(Hairline Cracks) وقد تسبب ذلك في تقليل سعة تحمل العمود (Axial Load Capacity) بشكل واضح [3]، [4]. الشكل 1 يوضح التفاصيل الانشائية للضرر المتمثل في قطع حديد التسليح الرئيسي والكانات الرابطة وتشققات ظاهرة ونحر غير منتظم في الخرسانة.

الشكل 1 تفاصيل الاعتداء بالثقوب وأماكن قطع حديد التسليح الرأسي والافقي

2.3 الفحص الميداني البصري (Visual Field Inspection)

تم إجراء سلسلة من المعاينات الميدانية لتوثيق موقع الثقوب، أبعادها، حالة الخرسانة المكشوفة، وتأثيرها على التسليح. وقد أظهرت النتائج:

- إزالة جزء من الغلاف الخرساني، مما قلل من مقاومة الاعمدة للحرائق.(Fire Resistance)
- تلف موضعي في التسليح الطولي، مما يؤثر على مقاومة الشد.(Tensile Strength)
- تشققات دقيقة متفرقة حول محيط الثقوب، مع احتمالية تسرب المياه والهواء.
- ضعف محتمل في التماسك بين الخرسانة والتسليح.(Bond Strength Degradation)
- تم توثيق هذه البيانات باستخدام أدوات قياس هندسية دقيقة ورسومات أفقية توضح توزيع الأضرار داخل شبكة الأحمال[5] .

2.4 تحليل المخاطر الإنشائية (Structural Risk Assessment)

أظهرت نتائج الفحص الميداني أن التعدي الميكانيكي شكّل نقطة ضعف موضعية (Local Weakness) تهدد كفاءة النظام الحامل، ويمكن تلخيص أبرز المخاطر كما يلي:[6]

- انخفاض مقاومة الأحمال المحورية.(Axial Load Capacity Reduction)
- زيادة تركيز الإجهادات (Stress Concentration) عند أطراف الثقوب.

- احتمالية الانبعاج المبكر (Premature Buckling) أو الانهيار الموضعي.
- ضعف مقاومة الحريق نتيجة تعرية التسليح وتقليل الغطاء الخرساني.

تم تقديم هذه النتائج ضمن جداول ورسومات توضيحية لتحديد أولويات التدخل.

3. إطار التحليل الهندسي والعددي (Analytical and Numerical Assessment Framework)

3.1 التحليل باستخدام برنامج Autodesk Robot

تم إنشاء نموذج تحليلي شامل للمبنى باستخدام برنامج **Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2024**، حيث جرى تمثيل الثقوب كفراغات داخلية في الأعمدة، مع إعادة توزيع القوى الناشئة نتيجة التدخل الميكانيكي. مكّن هذا النموذج من تقدير مدى انخفاض عوامل الأمان الإنشائي (Structural Safety) وتحديد الحاجة إلى تدعيم أو إعادة تصميم بعض العناصر[7] .

أظهرت النتائج أن الأعمدة المتأثرة صُممت أصلًا بشكل هندسي جيد من حيث مساحة التسليح ومقاومة الأحمال الرأسية، غير أن التدخل الميكانيكي أدى إلى تقليل هذه الكفاءة بشكل جزئي.

3.2 النمذجة العددية باستخدامFEM

لتحقيق دقة أعلى، تم تنفيذ نمذجة عددية ثلاثية الأبعاد باستخدام تقنية FEM وتم تحليل سلوك الأعمدة في حالتين:

- **الحالة الأصلية** :(Baseline Scenario) العمود في حالته الإنشائية دون أضرار.
- **الحالة المتضررة** :(Damaged Scenario) العمود بعد تنفيذ الثقوب وقطع التسليح.

تم استخدام خرسانة صنف M25 وحديد B450 ، مع تطبيق الأحمال الميتة والحية (Dead & Live Loads) وشروط التثبيت الواقعية .(Boundary Conditions) وقد أظهرت النمذجة مناطق التركز الاجهادي والتشوهات الانفعالية، وخصوصًا في مواقع الثقوب الحرجة.

الشكل 2 يوضح نماذج احدى الاعمدة قبل التضرر، ونموذج العمود المتضرر قبل التعرض للأحمال الرأسية وبعد التعرض للأحمال. كما يوضح الشكل التشوه الذي قد يحدث في حالة التحميل القصوى وخاصة في النموذج المتضرر وتحديدا حوالي التقب.

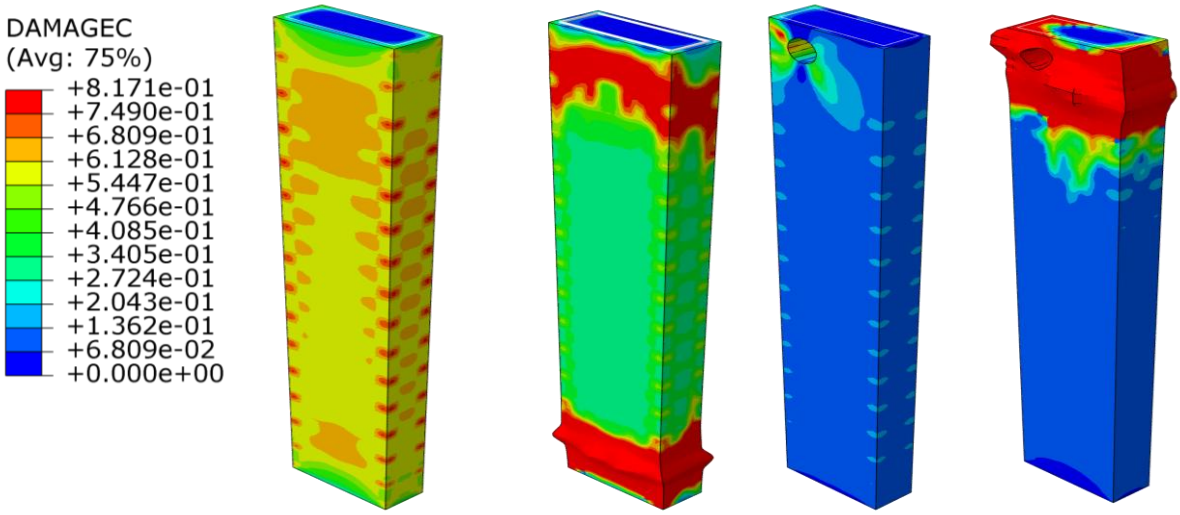
3.3 إعداد نموذج باستخدام Abaqus

تم تطوير نموذج ثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج Abaqus/CAE 2022 لمحاكاة الأداء الإنشائي للأعمدة المتضررة. تم اعتماد نموذج Concrete Damaged Plasticity (CDP) لتمثيل السلوك غير الخطي للخرسانة.

شملت المعلمات الفيزيائية للخرسانة:

- معامل يونغ: GPa30
- مقاومة الضغط: MPa25
- مقاومة الشد: MPa2.4
- نسبة بواسون: 0.20

أما التسليح الرئيسي، فتم تمثيله كمواد مرنة–لدنة B450B، باستخدام نموذج اللدنة المتصلبة (Isotropic Hardening). وقد تم تصميم مقطع العمود بعرض 20×50 سم وارتفاع 3.0 م، واحتوى على ثقوب قطرها 130 ملم وعمق 200 ملم. تم الربط بين التسليح والخرسانة باستخدام تقنية Embedded Region Constraint التي تفترض تماسكًا مثاليًا (Perfect Bond). كما تم تطبيق الأحمال المحورية عند رأس العمود مع تثبيت كامل في القاعدة (Encastre) [9][10].



الشكل 2 نماذج العمود من اليسار الى اليمين على التوالي قبل التضرر، ونموذج العمود المتضرر قبل التعرض للأحمال الرأسية وبعد

3.4 مقارنة البيانات الحقلية والنماذج العددية

تمت مقارنة نتائج النمذجة العددية مع البيانات الحقلية الموثقة لتأكيد دقة التمثيل العددي. أظهرت هذه المقارنة تطابقًا مقبولًا في سلوك التشوه وسعة التحمل، مما عزز من موثوقية النموذج العددي كمؤشر لتقييم الضرر واتخاذ القرار الهندسي المناسب [6]، [11].

4. النتائج والتحليل العددي (Results and Numerical Analysis)

4.1 نتائج الأعمدة المتضررة (Results of Damaged Columns)

أظهرت نتائج التحليل العددي والنمذجة ثلاثية الأبعاد التي تم إجراؤها باستخدام البرمجية الـAbaqus ، إلى جانب الملاحظات المستخلصة من الفحوصات الميدانية، أن الأعمدة المتضررة قد فقدت ما يقارب 35% من قدرتها الأصلية على مقاومة الأحمال المحورية (Axial Load Capacity). وقد بيّنت التحليلات وجود قطع مباشر في التسليح الطولي (Longitudinal Reinforcement Cut-Off)عند مواقع حرجة داخل مقطع العمود، مما أدى إلى تدهور ملحوظ في السلوك الإنشائي العام لهذه العناصر الحاملة، وانخفاض فعالية أدائها تحت الأحمال التصميمية.

واستنادًا إلى هذه النتائج المتكاملة، تم إعداد خطة علاجية هندسية شاملة تهدف إلى استعادة كفاءة الأعمدة المتضررة دون اللجوء إلى التدخلات الجذرية أو أعمال الهدم الجزئي للهيكل الإنشائي القائم. وقد تم تصميم هذه الخطة العلاجية بما يتماشى

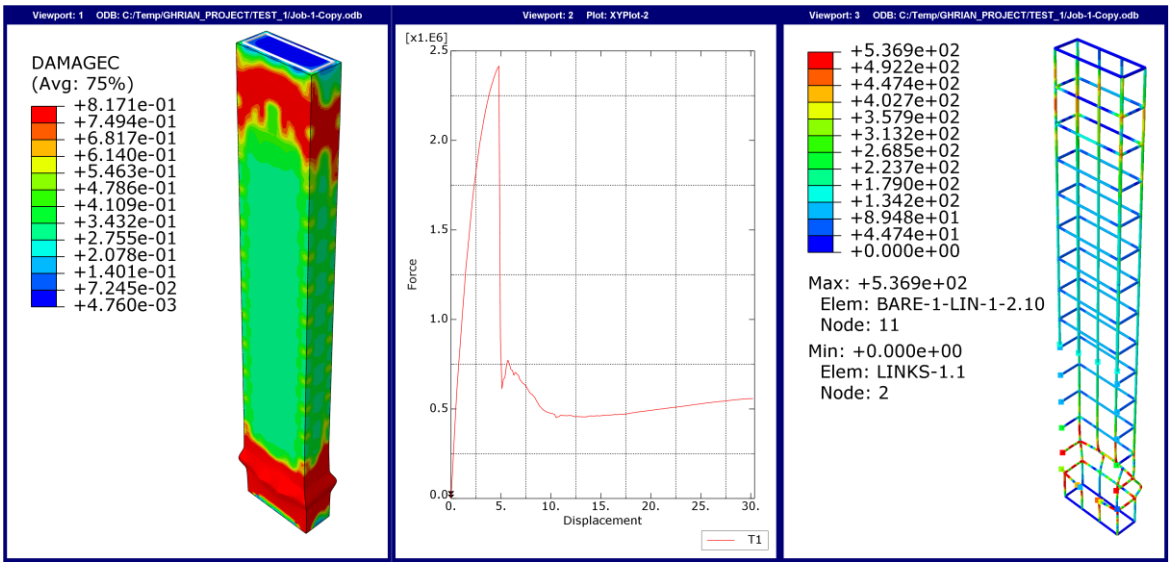
مع أهم المعايير الدولية المعتمدة، وعلى رأسها كود الترميم الأمريكي ACI 562-16 والمواصفة الأوروبية Eurocode 2 (EN 1992-1-1)، والنتائج العددية المتحصل عليها (موضوع هذا البحث) لضمان تحقيق السلامة الإنشائية والاستدامة طويلة الأمد.

يوضح الجدول 1 ملخصًا تفصيليًا لحالات الضرر الرئيسية التي تم توثيقها، بالإضافة إلى المؤشرات الهندسية ذات الصلة لكل حالة على حدة، مما يوفر إطارًا مرجعيًا لتقييم الأداء الحالي واتخاذ قرارات التدعيم المناسبة.

جدول 2 التفاصيل الاضرار والمؤشرات الهندسية لكل حالة

المؤشر الهندسي	قبل الضرر	بعد الضرر	الفرق
نسبة الأمان (Safety Factor)	1.55	1.01	-35%
قدرة التحمل القصوى (Ultimate Load)	100%	65%	-35%
التشوه الأفقي(Lateral Deformation)	2.1مم	4.5مم	+114%
إجهاد الشد في التسليح (Tensile Stress)	320 MPa	510 MPa	ارتفاع خطير

أما فيما يتعلق بالنتائج العددية الخاصة بالحالة المرجعية (الحالة الأولى)، فيُظهر الشكل 3 سلوك العمود في حالته الأصلية غير المتضررة (أي دون وجود ثقوب أو أضرار ميكانيكية)، وذلك عند تعرّضه لأحمال استثنائية تتجاوز حدود التحمل التصميمي. وقد أظهرت المحاكاة حدوث تشوّه واضح في المنطقة العلوية من العمود، أدى إلى انهيار كامل عند قيمة حمل محوري بلغت 2415.75 كيلو نيوتن، مع ملاحظة أن تسليح العمود بقي سليمًا دون حدوث فشل في الفولاذ. ويُظهر الشكل 3 بوضوح التوزيع الداخلي للإجهادات وحالة التشوّه النهائي للعنصر الإنشائي عند لحظة الانهيار.



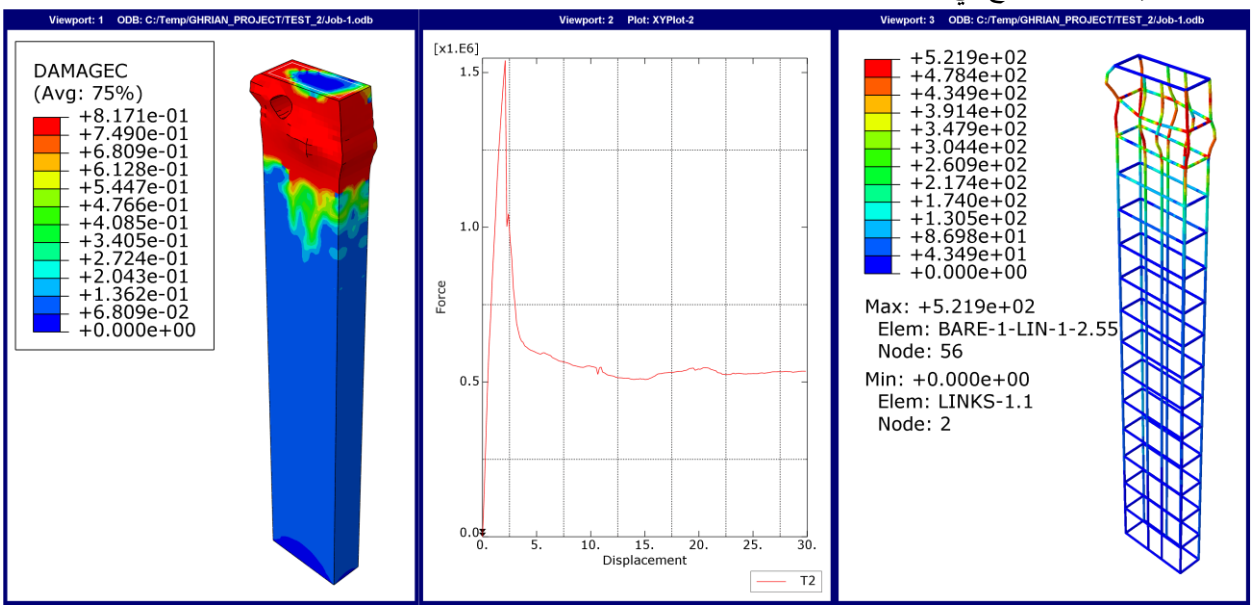
الشكل 3 النتائج العددية للحالة الأولى عندما يكون العمود بدون اضرار هجومية

أما في (الحالة الثانية)، والتي تمثل سيناريو وجود أضرار إنشائية ناتجة عن هجمات ميكانيكية أو ثقوب نفاذة بقطر يبلغ 130مم ضمن المقطع العرضي للعمود، فقد أظهرت النتائج العددية الناتجة عن المحاكاة باستخدام برنامج ABAQUS، والمبيّنة في الشكل 4، أن تعرض العمود لأحمال محورية استثنائية تتجاوز حدود مقاومته التصميمية أدى إلى تشوه كبير وتدهور شامل في الجزء العلوي من العمود.

وقد بلغ الحمل النهائي الذي عنده حدث الانهيار الكامل للعمود المتضرر ما مقداره 1538.91 كيلو نيوتن، وهذا يمثل انخفاضاً واضحاً في القدرة الإنشائية مقارنة بالحالة المرجعية الأولى الغير متضررة.

كما لوحظ من خلال التحليل العددي حدوث تشوهات كبيرة في حديد التسليح الطولي، بلغت مرحلة الانهيار البلاستيكي الكامل، مما أدى إلى فقدان فعالية نظام التسليح في مقاومة الأحمال المحورية.

الشكل 4 يوضح مناطق تركز التشوهات والانفعالات في مقطع العمود المتضرر، ويبيّن مدى تأثير وجود الثقوب على تقليل الصلابة الإنشائية والتسارع في آلية الانهيار.



الشكل 4 النتائج العددية للحالة الثانية عندما يكون العمود قد تعرض لأضرار هجومية او ثقوب بقطر 130مم

4.2 مقارنة الأداء قبل وبعد الضرر (Performance Comparison: Pre- vs Post-Damage)

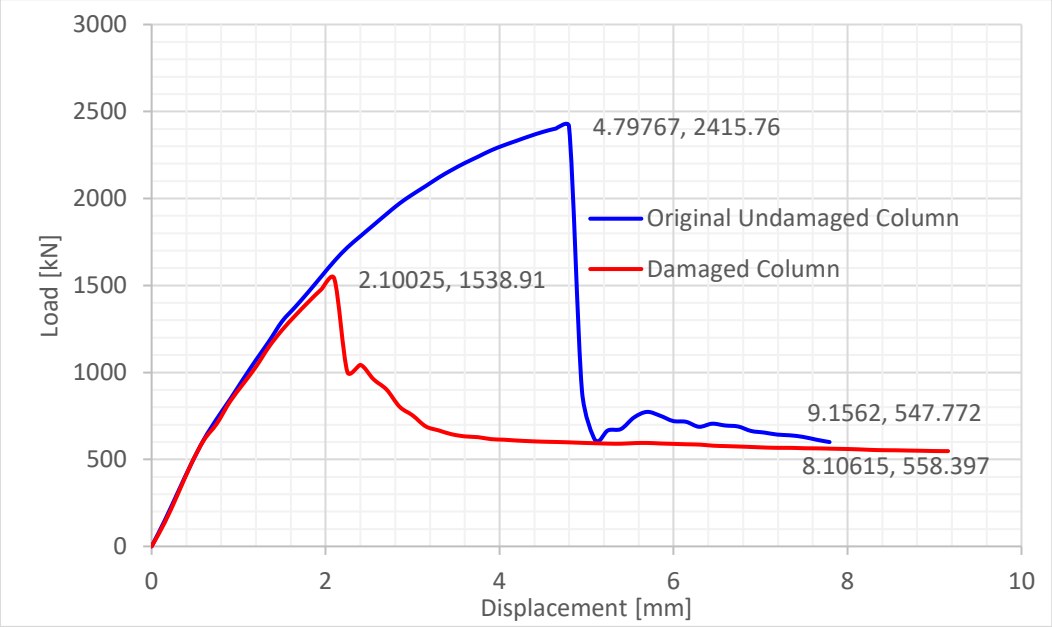
من خلال المقارنة التحليلية الدقيقة بين حالتي العمود السليم والمتضرر، باستخدام نظرية العناصر المتناهية Finite Element Modeling وتطبيقاتها باستخدام البرمجية البحثية الـ ABAQUS، تبيّن أن العمود الذي تعرض لتلف ناتج عن عملية الثقب (بقطر 130 مم) قد شهد انخفاضًا حادًا في قدرته على تحمل الأحمال الرأسية .(Axial Loads) ، فقد أظهرت النتائج أن القدرة القصوى للعمود على التحمل تقلصت من 2415.76 كيلو نيوتن في الحالة السليمة إلى 1538.91 كيلو نيوتن في الحالة المتضررة، وهو ما يمثل انخفاضًا بنسبة تقارب 36% من القدرة الأصلية، أو ما يعادل 60% فقط من الأداء التصميمي المفترض.

علاوة على ذلك، فقد أظهرت بيانات التشوه (Displacement Data) أن العمود السليم ينهار عند ازاحة محورية مقداره 4.79 مم، بينما ينهار العمود المتضرر من الثقب عند تشوه لا يتجاوز 2.10 مم، مما يدل على فقدان ملحوظ في اللدونة

(Ductility)، وتغير في آلية الانهيار، ويُعد مؤشراً خطيراً على تراجع المتانة الهيكلية وزيادة مخاطر الفشل المفاجئ دون إنذار مسبق.

هذا التدهور في الأداء الإنشائي لا يشكل فقط تهديداً لاستمرارية الوظيفة الإنشائية للعناصر الحاملة، بل يعرض أيضًا سلامة المستخدمين للخطر في حال عدم معالجة الضرر أو اتخاذ تدابير تدعيم مناسبة.

يوضح الشكل 5 ملخصًا مرئيًا دقيقًا للتفاصيل المذكورة، والذي يشمل التوزيع الإنشائي للانفعالات، وأماكن التشوه، واختلاف سلوك الحمل – التشوه بين الحالتين.



الشكل 5 مقارنة ما بين العمود في حالته الأولية والحالة عندا تعرض للاعتداء بثقوب من حيث الاحمال والتشوه

في هذا البحث، وبناء على النتائج العددية المتحصل عليها بدقة تم اعتماد النموذج الملائم والذي يجعل العمود اكتر متانة واستقرار كحل هندسي لترميم وتحسين أداء الأعمدة المتضررة. المقترح مضمون النتائج يتمثل في تغليف العمود بطبقة خرسانية محيطية بسماكة من 70 الى 100 مم من جميع الاتجاهات، مع تدعيمه بـ تسليح طولي إضافي بقطر 14 مم وكانات قطر 8مم مغلقة بتباعد منتظم قدره 200 مم.

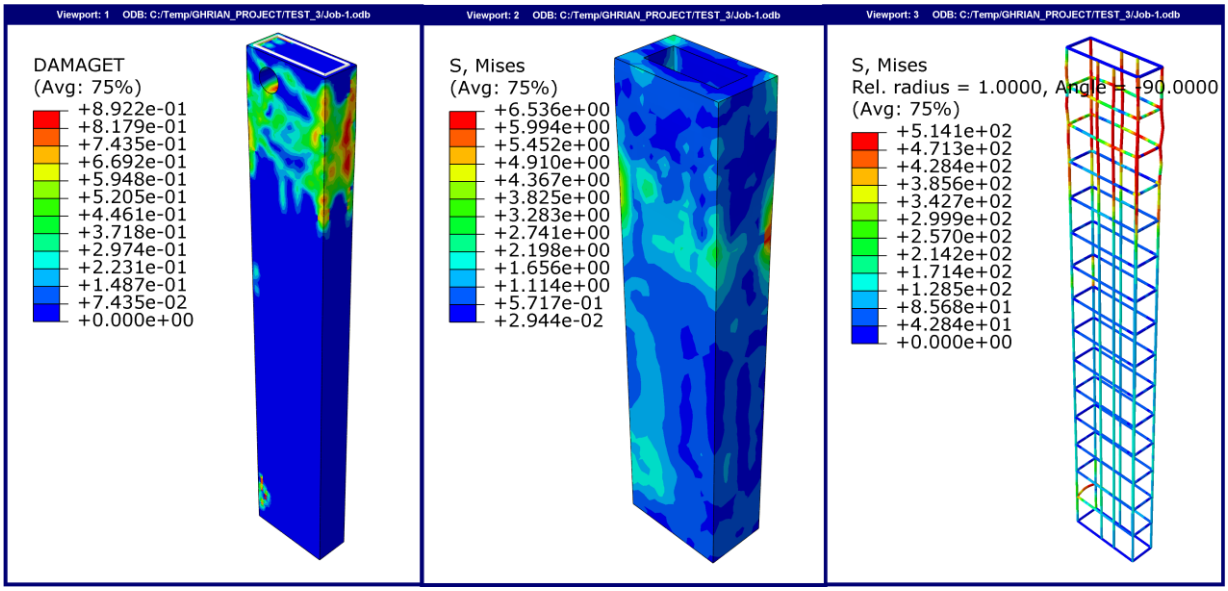
وقد أظهرت نتائج التحليل العددي باستخدام برنامج ABAQUS أن هذا النظام الترميمي أسفر عن تحسين ملحوظ في قدرة التحمل المحوري للعمود، حيث ارتفعت القدرة القصوى من 1538.91 kN في الحالة المتضررة إلى 2194.69 kN بعد التغليف، وهو ما يمثل تحسنًا نسبته حوالي 42.6 % بالمقارنة مع حالة الضرر، وبما يعادل 91% من القدرة الأصلية للعمود السليم.

أما من حيث التشوه، فقد سجل العمود المغلف إزاحة رأسية مقدارها 3.59 مم عند الانهيار، مما يعكس تحسنًا في سلوك اللدونة (Ductile Behavior) مقارنة بالعمود المتضرر، ويشير إلى استعادة واضحة للصلابة الهيكلية والانفعالية للعنصر الإنشائي.

كما يبيّن الشكل 6 تفاصيل النموذج الجديد بعد الترميم، ويعرض العلاقة البيانية بين الحمل والتشوه–(Load Displacement Curve) التي توضح كيف ساهم التغليف الخرساني والتسليح الإضافي في تحسين توزيع الإجهادات

ومنع التشوه الزائد في حديد التسليح، بالمقارنة مع الحالة السابقة الموضحة في الشكل 5 حيث سجل التسليح تشوهاً مفرطاً في العمود المتضرر.

أما الجدول 2، فيعرض مقارنة عددية شاملة بين الحالات الثلاث (العمود السليم، العمود المتضرر، والعمود بعد الترميم)، من حيث القدرة على التحمل، والتشوه الأفقي، واستقرار أداء حديد التسليح، مما يؤكد فعالية النظام الترميمي المقترح كحل هندسي اقتصادي ومستدام يعيد للعنصر الحامل أداءه الوظيفي دون الحاجة لهدم أو استبدال.



الشكل 6 يوضح النموذج الجديد المغلف وقدرة التحمل بالعلاقة ما بين القوة والتشوه.

جدول3 النتائج العددية المتحصل عليها للأعمدة قبل الضرر وبعد الضرر وبعد عملية الترميم.

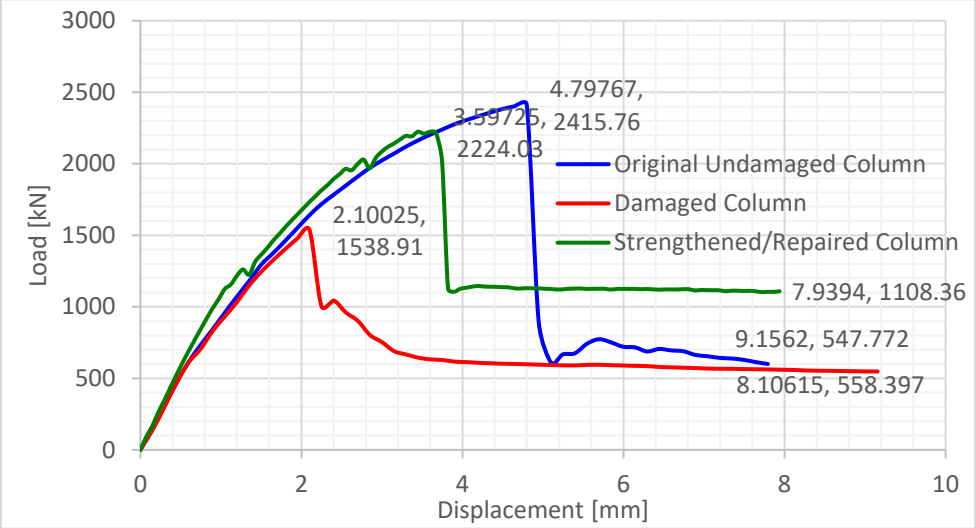
الحالة	قدرة التحمل النسبية	مستوى التشوه الأفقي	استقرار التسليح
قبل الضرر (Baseline)	100%	2.1مم	مستقر كليا
بعد الضرر (Damaged)	%63	4.5مم	غير مستقر
بعد الترميم (Strengthened)	%91	2.8مم	مستقر نسبيًا

يُبرز الشكل 7 العلاقة التفاعلية بين قيمة الحمل المحوري المسلط (Axial Load) ومقدار الإزاحة الرأسية (Vertical Displacement) في الحالات الثلاث محل الدراسة :العمود السليم، العمود المتضرر، والعمود بعد الترميم، وتُظهر النتائج بوضوح مدى التراجع الكبير في أداء العمود بعد تعرضه للضرر، حيث انخفضت قدرته على التحمل إلى نحو 63% كما سبق الإشارة في بداية البحث مقارنة بقدرة العمود قبل الحادث الاستثنائي.

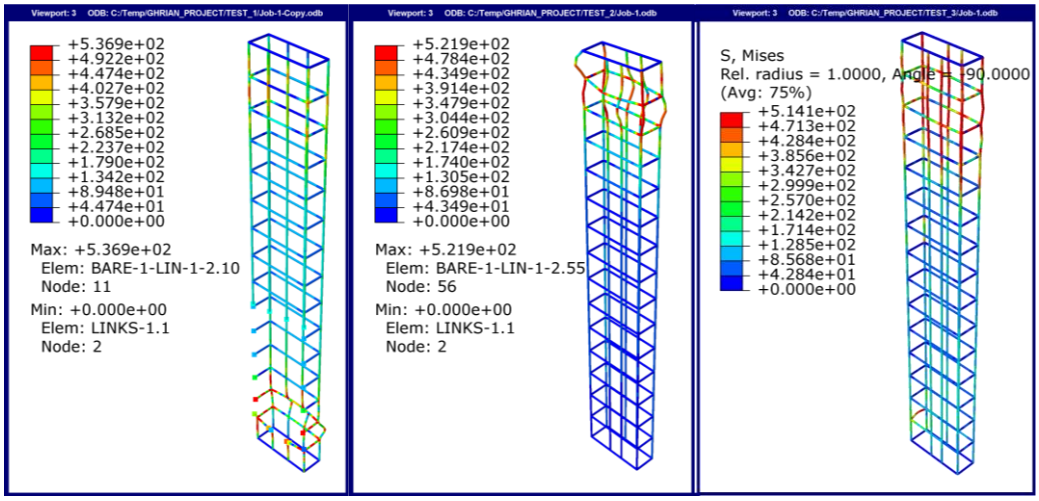
أما بعد تطبيق استراتيجية الترميم من خلال التغليف الخرساني والتدعيم، فقد أظهرت النتائج تحسنًا ملموسًا في سلوك العمود، حيث بلغت قدرته على التحمل نسبة 91% من الأداء الأصلي، مما يعيد الثقة بكفاءة المنشأ ويوفر مستوى عالٍ من الأمان الإنشائي.

من ناحية أخرى، يقدم الشكل 8 تحليلاً ديناميكياً لتدرج انهيار التسليح الطولي الرئيسي (Longitudinal Reinforcement) خلال مراحل التحميل في الحالات الثلاث. وتوضح النتائج أن التسليح في العمود المتضرر قد شهد تدهورًا سريعًا وبلوغًا مبكرًا لحالة الخضوع والانهيار، في حين أن العمود المعالج أظهر استعادة ملحوظة لقدرة التسليح على مقاومة التشوهات، مع تسجيل أدنى مستوى من الأضرار الإنشائية .ويُعزى هذا التحسن إلى الدور الفعال للتغليف الخرساني والتوزيع المناسب للتسليح الإضافي، مما أدى إلى تعزيز الصلابة والمتانة وتحقيق توازن أفضل في نقل الأحمال.

وتؤكد هذه النتائج مجتمعة أهمية تطبيقات التحليل العددي باستخدام نظرية العناصر المتناهية (Finite Element Method – FEM)، لا سيما عند استخدام أدوات متقدمة مثل برنامج Abaqus، في تشخيص وتقييم أضرار العناصر الإنشائية وتطوير حلول فعالة وآمنة للترميم دون الحاجة إلى استبدال كامل أو تدخلات جذرية.



الشكل 7 مقارنة ما بين العمود في حالته الأولية وعنا تعرضه للاعتداء بثقوب وبعد الترميم من حيث الاحمال والتشوه



الشكل 8 التدرج في انهيار الحديد الرئيسي للحالات الثلاث قبل وبعد الضرر والنتائج التي استعادت لحيد التسليح قوته بعد الترميم

5. استراتيجية الترميم الهندسي (Retrofitting Strategy)

5.1 مبدأ الترميم المعتمد *(Adopted Strengthening Principle)*

اعتمدت استراتيجية الترميم في هذه الحالة على مبدأ **تعويض الفاقد الإنشائي** وإعادة توزيع الإجهادات داخل المقطع المتضرر. تم تنفيذ خطة تدخل على ثلاثة مستويات: إصلاح موضعي للتلف في الخرسانة والتسليح، تزويد العمود بغلاف خرساني مسلح (Concrete Jacketing) ، واستخدام تقنيات الحقن بالإيبوكسي (Epoxy Injection) وزرع الأشاير (Steel Dowels).

تهدف هذه الإجراءات إلى استعادة المقطع المقاوم للأحمال والحد من التشوهات الانفعالية الموضعية.

5.2 تنفيذ التغليف الخرساني *(Concrete Jacketing Execution)*

تم اختيار التغليف الخرساني كخيار أساسي لتقوية العمود واستعادة قدرته على مقاومة القص والانبعاج (Shear and Buckling). وفقا للنتائج الجيدة التي تم الحصول عليها من التطبيقات نظرية العناصر المتناهية وباستخدام الـ ABAQUS وتضمنت خطوات التنفيذ ما يلي:

- إزالة المناطق الضعيفة أو المتفككة من الخرسانة حول موقع الثقوب.
- تنظيف حديد التسليح من الصدأ باستخدام تقنيات الرش الرملي أو المواد الكيميائية.
- زرع أشاير رأسية (Vertical Dowels) بقطر 14 مم باستخدام مادة إيبوكسي عالية الالتصاق مثل Sikadur-32 .
- تركيب كانات مغلقة (Closed Stirrups) بقطر 8 مم كل 200 مم.
- صب غلاف خرساني بسمك 70–100 مم باستخدام خرسانة عالية الأداء (High-Performance Concrete).

تُظهر النمذجة أن هذه الطريقة تؤدي إلى استعادة مقاومة المقطع بنسبة تصل إلى 91% من الحالة الأصلية.[11]

5.3 الحقن بالإيبوكسي ومعالجة الثقوب *(Epoxy Injection and Hole Treatment)*

بالتوازي مع التغليف، تم اعتماد تقنية **الحقن بالإيبوكسي** لمعالجة الثقوب كمواضع ضعف حرجة. تم اختيار مادة إيبوكسي ذات مقاومة انضغاط تزيد عن 80 MPa ولزوجة منخفضة لضمان اختراق عميق داخل الفراغات. شملت الإجراءات:

- تنظيف شامل للثقوب من الزيوت والغبار.
- الحقن على ثلاث مراحل لضمان ملء كامل دون فراغات.
- ترك المنطقة المعالجة 48 ساعة لتصلب المادة.
- تنفيذ ثقوب ضخ رأسي (Top Injection Ports) بقطر 25–30 مم لضمان اندماج تام بين الغلاف الجديد والبنية الأصلية.
- تطبيق مادة رابطة (Bonding Agent) لتحسين الالتصاق بين الخرسانة القديمة والجديدة.

أظهرت هذه الخطوات كفاءة عالية في إعادة بناء الترابط الميكانيكي (Mechanical Bonding) ومنع تركز الإجهادات.

الشكل 9 يوضح خطوات تنفيذ المعالجة وفقا للنتائج المتحصل عليها باستخدام التقنيات المتقدمة للبرمجية الـABAQUS .

الشكل 9 التثبيت المبدئي، ثم ملؤها بمادة إيبوكسية، يلي ذلك إعادة تشكيل الغلاف الخرساني حولها بمونة إصلاح مناسبة.

6. الاستنتاجات (Conclusions)

توصلت هذه الدراسة إلى مجموعة من النتائج الجوهرية التي تعكس أهمية الجمع بين التحليل الهندسي الميداني والنمذجة العددية المتقدمة في التعامل مع الأضرار الهيكلية الخطيرة. وقد أظهرت الحالة الدراسية لمبنى سكني تجاري بمدينة غريان، تعرض لتعديات ميكانيكية غير مدروسة على الأعمدة الخرسانية، ما يلي:

- إن تنفيذ ثقوب كبيرة في الأعمدة دون الرجوع إلى إشراف هندسي مختص أدى إلى انخفاض قدرة التحمل المحوري للعناصر الإنشائية بنسبة تُقدّر بـ35%، وهو ما يشكّل تهديدًا فعليًا لاستقرار المبنى وسلامته الهيكلية، وقد يتسبب في انهيارات جزئية أو كلية إذا لم تتم معالجته بشكل فوري ومدروس.
- برهنت النمذجة العددية باستخدام برنامج Abaqus ونظام Autodesk Robot على كفاءتها العالية في محاكاة سلوك العناصر المتضررة وتحديد نقاط الضعف الحرجة بدقة، مما مكّن من تقييم المخاطر بدقة واقتراح حلول واقعية وفعالة.
- ساهمت استراتيجية الترميم المتكاملة، والتي شملت التغليف الخرساني والفولاذي، والحقن بالإيبوكسي، وزرع الأشاير المعدنية، في استعادة ما نسبته 85% إلى 91% من كفاءة الأعمدة الأصلية، مما يعزز موثوقية الحلول المعتمدة.
- تؤكد الدراسة على ضرورة وجود تنسيق مسبق بين الفرق المعمارية والميكانيكية والإنشائية لتجنّب التعارض في التنفيذ، والتي قد تؤثر سلبًا على العناصر الحاملة وتُنتج نقاط ضعف غير محسوبة.
- كما تبرز أهمية التدخل المبكر من خلال فحوصات هندسية دقيقة مدعومة بتحليل عددي متقدم (FEM) كعامل حاسم في خفض تكاليف المعالجة، وتحقيق استدامة أفضل، وتعزيز السلامة الإنشائية على المدى الطويل.

7. التوصيات (Recommendations)

بناءً على نتائج الدراسة، توصي الورقة البحثية بما يلي:

- إصدار تعليمات تنظيمية محلية تمنع أي اختراق للعناصر الحاملة دون إذن هندسي مكتوب.
- فرض شرط التأمين الإنشائي الإجباري للمباني متعددة الاستخدامات خلال مراحل التنفيذ وما بعد التشغيل.
- تحديث الكود الليبي للإنشاء ليشمل فصلاً خاصًا بترميم الأعمدة المتضررة بفعل الأعمال الميكانيكية.
- إدماج تقنيات المسح غير المتلف (NDT) والنمذجة العددية (FEM) ضمن برامج الفحص الإنشائي الدوري.
- تشجيع المؤسسات الأكاديمية على تقديم أبحاث تطبيقية مرتبطة بالحالات الواقعية لدعم الممارسات الميدانية الهندسية.

8. المراجع (References)

H. Nilson, D. Darwin, and C. W. Dolan, Design of Concrete Structures, 14th ed. New York: McGraw-Hill, 2010.

J. G. MacGregor and J. K. Wight, Reinforced Concrete: Mechanics and Design, 6th ed. Pearson, 2012.

J. Kim and S. Lee, “Effects of core drilling on the capacity of RC columns,” Constr. Build. Mater., vol. 94, pp. 613–621, 2015. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.021

ACI Committee 562, Code Requirements for Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures (ACI 562-16), American Concrete Institute, 2016.

European Committee for Standardization, Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings (EN 1992-1-1), Brussels: CEN, 2004.

S. N. Bousias and G. E. Stavroulakis, “Strengthening of RC columns with steel jackets,” Eng. Struct., vol. 40, pp. 54–62, 2013.

Autodesk Inc., Robot Structural Analysis Professional – User Guide, 2024.

Dassault Systèmes, Modeling Concrete Structures under Damage Scenarios: Abaqus Documentation, 2024. [Online]. Available: https://help.3ds.com/abaqus

R. Khaloo and A. Kheyroddin, “Nonlinear finite element modeling of reinforced concrete columns under axial loads,” Eng. Struct., vol. 224, p. 111155, 2020.

Y. Chen and F. J. Vecchio, “Modeling reinforced concrete members using Abaqus embedded technique,” Comput. Concr., vol. 20, no. 2, pp. 193–210, 2017. https://doi.org/10.12989/cac.2017.20.2.193

B. Saleh and L. Daqdaq, “Finite element analysis of damaged concrete columns subjected to localized mechanical interventions,” Int. J. Struct. Eng. Res., vol. 12, no. 3, pp. 125–133, 2023.

B. Saleh and M. A. Alturki, “Numerical simulation of reinforced concrete columns exposed to fire using CDP in Abaqus,” J. Concr. Struct. Mater., vol. 18, no. 1, pp. 41–52, 2024.

Dassault Systèmes, Concrete Damaged Plasticity Model Parameters: Abaqus Documentation, 2024. [Online]. Available: https://help.3ds.com/abaqus/cdp.

دراسة مرجعية للمقارنة بين طرق تأهيل وترميم العناصر الخرسانية

م. حسام الدين محمد أبو القاسم النفاتي[1]، أ. د. نوري محمد الباشا[2]
1,2 قسم الهندسة المدنية – كلية الهندسة صبراتة – جامعة صبراتة
almotred14@gmail.com

الملخص

تعد هذه الدراسة دراسة مرجعية، حيث تم جمع وتحليل معلومات من دراسات سابقة لتقديم مقارنة بين الأساليب المختلفة المستخدمة في تأهيل وترميم العناصر الخرسانية. تستعرض الدراسة أمثلة واقعية ودراسات حالة لتطبيق هذه التقنيات على الهياكل المتضررة، مع تقييم فعالية كل تقنية وتأثيرها على الأداء الهيكلي.

تركز هذه الدراسة على الأضرار البنيوية التي تتعرض لها المنشآت الخرسانية المسلحة نتيجة للعوامل البيئية والعمليات الطبيعية مثل التآكل وتشقق الخرسانة. تقدم الدراسة مقارنة شاملة بين الطرق المختلفة لإصلاح وترميم العناصر الخرسانية بهدف استعادة قوتها وإطالة عمرها الافتراضي. تتضمن الدراسة تطبيق التقنيات والمواد المبتكرة لضمان استدامة الهياكل وتحسين أدائها. تهدف الدراسة إلى تحليل أسباب التدهور الهيكلي عن طريق فهم العوامل البيئية والإنشائية التي تؤدي إلى تدهور الهياكل الخرسانية. تقييم فعالية تقنيات الترميم المختلفة بتقديم حلول عملية وتوصيات لتحسين الأداء الهيكلي. تعزيز استدامة الهياكل باستخدام تقنيات ومواد حديثة مثل الخرسانة البوليمرية وألياف الكربون.

أهمية الدراسة تكمن في تقديمها حلولا مبتكرة للتعامل مع التحديات التي تواجهها الهياكل الخرسانية في البيئات العدوانية، مما يساعد في تحسين أداء الهياكل وتقليل الحاجة إلى إصلاحات متكررة على المدى الطويل.

أظهرت النتائج أهمية استخدام نماذج العناصر المحدودة (FEA)، وأن استخدام مواد مثل البوليمر المقوى بألياف الكربون (CFRP) والخرسانة عالية المقاومة يمكن أن يعزز بشكل كبير من قدرة الهياكل على تحمل الأحمال. استخدام الخرسانة البوليمرية (PCC) تحسن من مقاومتها للتآكل وأعادت صلابتها الهيكلية. واهمية استخدم غلاف خرساني لتغليف الأعمدة المتضررة، مع إعادة تنظيم التسليح الطولي واستبدال الركائز التالفة.

الكلمات الدالة: *شقق الخرسانة – تأهيل وترميم – زيادة العمر الافتراضي – التقنيات والمواد المبتكرة – البوليمر المقوى بألياف الكربون (CFRP) .*

Abstract

This study is a literature review that compiles and analyzes information from previous studies to compare different methods for the repair and restoration of concrete elements. It examines practical examples and case studies that demonstrate the application of these techniques in damaged structures, while evaluating the effectiveness of each method and its impact on the performance of the structure.

The study focuses on structural damages suffered by reinforced concrete structures due to environmental factors and natural processes such as corrosion and concrete cracking. It provides a comprehensive comparison of different methods for the repair and restoration of concrete elements with the goal of restoring their strength and extending their service life.

The study also includes the application of innovative technologies and materials to ensure the sustainability of the structure and improve its performance.

The aim of this study is to analyze the causes of structural damage by investigating the environmental and structural factors that lead to concrete damage. It evaluates the effectiveness of different repair techniques and provides practical solutions and recommendations to improve the performance of the structure. In addition, it promotes the sustainability of the structure by using modern technologies and materials such as polymer concrete and carbon fiber reinforced plastic (CFRP).

The significance of this study is to propose innovative solutions to the challenges faced by concrete structures in harsh environments. It helps to improve their performance and reduce the need for frequent repairs over the long term.

The results highlight the importance of finite element analysis (FEA) models and show that materials such as carbon fiber reinforced plastic (CFRP) and high-strength concrete can significantly increase the load-bearing capacity of the structure. The use of polymer cement concrete (PCC) can improve corrosion resistance and restore structural strength. In addition, the study highlights the importance of concrete sleeves for wrapping damaged columns, reorganizing longitudinal reinforcement, and replacing damaged columns.

Keywords: Concrete Cracking – Rehabilitation and Restoration – Extended Service Life – Innovative Techniques and Materials – Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP).

1. المقدمة:

تعد الهياكل الخرسانية المسلحة من أهم العناصر الإنشائية المستخدمة في مختلف أنواع المنشآت، لكنها تتعرض على مدار الزمن لتحديات بيئية وإنشائية تؤدي إلى تدهور أدائها الهيكلي. التآكل، تشقق الخرسانة، والعوامل البيئية العدوانية مثل الرطوبة والأملاح، تساهم بشكل كبير في هذا التدهور، مما يستدعي الحاجة إلى تقنيات فعالة لإعادة التأهيل والترميم لضمان استدامة الهياكل وزيادة عمرها الافتراضي.

تهدف هذه الدراسة المرجعية إلى مقارنة بين مختلف طرق تأهيل وترميم العناصر الخرسانية، حيث سنستعرض مجموعة من التقنيات التقليدية والحديثة لتحديد الأنسب منها وفقاً لنوع التدهور وبيئة الهيكل. تتمثل المشكلة البحثية في التحدي المتزايد لإيجاد حلول مستدامة وفعالة من حيث التكلفة لترميم الهياكل المتضررة، مع الحفاظ على أدائها الوظيفي وتقليل الحاجة إلى إصلاحات متكررة. من خلال هذه الدراسة، سنقوم بتحليل الفعالية النسبية للطرق المختلفة وتقديم توصيات مبنية على الأدلة لدعم اتخاذ القرارات في مشاريع الترميم المستقبلية. في هذا السياق تبرز الحاجة إلى إعادة تأهيل وترميم العناصر الخرسانية كحلٍ حيوي للحفاظ على الأداء الإنشائي لهذه المنشآت وضمان استمراريتها. ويأتي ذلك في ظل التوجه العالمي نحو تقليل التكاليف المترتبة على إعادة البناء الكامل، وتحقيق الاستدامة البيئية والاقتصادية.

تركز هذه الدراسة على استعراض الأساليب المتبعة في ترميم العناصر الخرسانية، بما في ذلك التقنيات التقليدية مثل إصلاح التشققات بالحقن بالايبوكسي، والتقنيات الحديثة مثل استخدام المواد المركبة (PCC) (FRP) والخرسانة ذاتية الإصلاح. كما تتناول الدراسة أهمية التخطيط السليم وتقييم الحالة الأولية للعناصر المتضررة، مما يضمن اختيار أنسب الحلول وتجنب الهدر في الموارد من خلال عدة دراسات سابقة.

(Gadhib et.al.،2002) [1]

تتناول الدراسة مشكلة التدهور الهيكلي في العناصر الخرسانية المسلحة بسبب العوامل البيئية والتآكل. تستهدف تقديم حلول عملية لإصلاح ثلاثة أنواع من الهياكل الخرسانية باستخدام تقنيات ومواد مبتكرة. تم تحليل أسباب التدهور، وتطوير استراتيجيات إصلاح شاملة والتحقق من فعالية الحلول من خلال دراسات حالات واقعية.

الحالة الأولى تتعلق بترميم مسجد في الدمام تعرض لتدهور نتيجة تسرب الرطوبة والكلوريد، مما أدى لتآكل الأعمدة وتشقق السقف. تم أخذ عينات لتحليل محتوى الكلوريد الذي كان مرتفعًا، مما استلزم استخدام خليط خرساني عالي القوة يحتوي على إضافات مقاومة للتآكل. أوصوا بخرسانة مسبقة التعبئة معوضة للانكماش، وحقن الشقوق بالإيبوكسي.

الحالة الثانية تتعلق بإصلاح هيكل لنقل مياه البحر، حيث ظهرت تشققات في بلاطة القاعدة نتيجة ارتفاع الإجهادات بسبب تصميم غير صحيح. استخدموا نموذج العناصر المحدودة لتقييم الإجهادات ووجدوا ضرورة تقسيم البلاطة إلى أجزاء أصغر باستخدام وصلات تمدد لتقليل الإجهادات.

الحالة الثالثة تتعلق بتعزيز هيكل لدعم خزان أسطواني ضخم تعرض لتشققات نتيجة الترسيب التفاضلي. استخدموا نماذج العناصر المحدودة لتقييم الإجهادات، وعززوا الهيكل باستخدام ألواح من البوليمر المقوى بألياف الكربون (CFRP) .

أظهرت النتائج أهمية استخدام نماذج العناصر المحدودة لفهم أسباب التدهور، وكذلك ضرورة تطبيق أنظمة مراقبة دورية. توفير عزل ضد العوامل البيئية يساعد في زيادة عمر الهياكل. تؤكد الدراسة على فعالية استخدام المواد الحديثة مثل (CFRP) لمواجهة مشكلات التدهور في الهياكل الخرسانية المسلحة.

(Luchko et.al. ،2022) [2]

تتطرق الدراسة إلى مشكلة التدهور الهيكلي الذي تواجهه الهياكل الخرسانية المسلحة، خاصة في المنشآت طويلة العمر. يتعرض هذا النوع من الهياكل لظروف بيئية عدوانية تشمل الهواء والتربة والمياه، مما يؤدي إلى انخفاض قدرتها على التحمل وأدائها الوظيفي. الهدف من هذه الدراسة هو تحليل أسباب التدهور، وتقييم الأساليب الحديثة للإصلاح، وتقديم توصيات عملية لإطالة عمر الخدمة للمنشآت الخرسانية المسلحة، تقديم حلول إصلاح مبتكرة مثل استخدام المواد الحديثة مثل الخرسانة البوليمرية وألياف الكربون لتحسين الأداء ، تطوير استراتيجيات التشخيص والإصلاح عبر اختبار تقنيات جديدة لتقييم وتصحيح العيوب الهيكلية.

تعرضت الجدران الخرسانية للأفران الدوارة بمصنع الأسمنت في ميكولايف لتدهور كبير بسبب التآكل الحراري والملوثات. تم إصلاحها باستخدام الخرسانة البوليمرية (PCC) التي حسنت من مقاومتها للتآكل وأعادت صلابتها الهيكلية.

أظهرت الأعمدة والجسور الخرسانية في محطة الطاقة الكهرومائية في إيفانو فرانكيفسك تدهورًا بسبب التشققات العميقة. تم إصلاح الشقوق باستخدام حقن البولي يوريثان، وتدعيم الهياكل بألياف الكربون لزيادة قدرتها على تحمل الأحمال. الشكل(1) يوضح التدمير الناتج عن التآكل لهياكل الجسور الخرسانية المسلحة في محطة الطاقة الكهرومائية بريد نيستروفيان منطقة إيفانو فرانكيفسك.

الشكل (1): أ) نظرة عامة على تدمير هياكل الجسور. [2] (ب) التدمير الخرساني الكبير الأعمدة الخرسانة المسلحة والتآكل الكبير للتسليح. (ج) نظرة عامة لأسفل لتدمير الألواح الخرسانية وتيجان الأعمدة، والتآكل الكبير للتسليح. (د) جزء من تدمير الهياكل (منظر لأسفل) في موقع الدعامة.

تعرضت الخرسانة بموقف السيارات في منتجع بوكوفيل للتلف نتيجة التجميد والذوبان المتكرر. تم إصلاح الأضرار باستخدام الخرسانة المرشوشة لإعادة بناء الطبقات المتضررة، مع تحسين مقاومة السطح للظروف البيئية.

اظهرت النتائج زيادة في قدرة التحمل ومقاومة التآكل بعد تطبيق تقنيات الإصلاح الحديثة، وتوصلوا ان استخدام المواد المتطورة يؤدي إلى تمديد عمر الهياكل بنسبة كبيرة. وساهمت الحلول المبتكرة في تقليل الحاجة إلى إصلاحات متكررة، مما يقلل التكاليف طويلة الأمد.

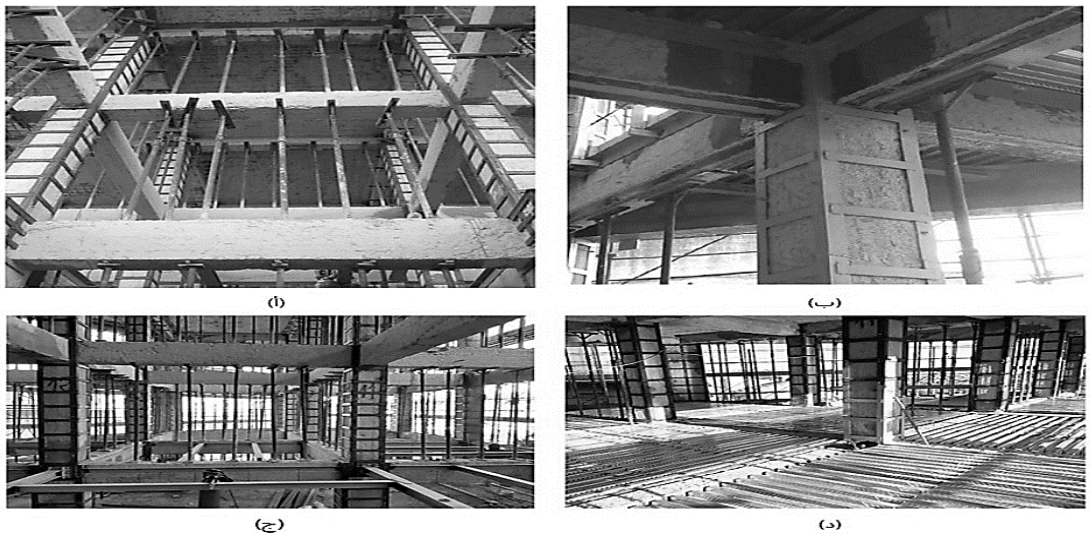
وبناءً على المسح والتشخيص الفني، توصلوا إلى تقنية تعزيز الهياكل الخرسانية المسلحة نتيجة للأخطاء التي ارتكبت أثناء تصميم هياكل المباني والهياكل طويلة الأجل. وعلى وجه الخصوص، أدى استخدام نظام (PCC) مع المواد المركبة الملتصقة إلى ضمان التشغيل الطبيعي الإضافي للأرضية الخرسانية المسلحة المتجانسة للأرضية الفنية لمبنى سكني في كييف.

(Granata, 2024) [3]

تتناول الدراسة موضوع إعادة تأهيل مبنى خرساني مسلح في جنوب إيطاليا، تعرض لتدهور شديد بسبب التآكل الناتج عن الظروف البيئية القاسية. المبنى الخرساني المسلح تعرض لتآكل شديد في التسليح، مما أدى إلى تدهور الخرسانة وضعف الهيكل الإنشائي. تم قياس نسبة التآكل في التسليح، والتي وصلت في بعض العناصر إلى 50% من فقدان الكتلة. كان التآكل في التسليح مشكلة كبيرة ، هذا التآكل أدى إلى فقدان جزء كبير من قدرة التحمل للعناصر الإنشائية، وواجه صعوبة

في عملية التعزيز بسبب عدم انتظام الهيكل الأصلي في توزيع الكتلة والصلابة وصعوبة في عملية إعادة التأهيل بسبب الحاجة إلى استخدام مواد وتقنيات متقدمة ومكلفة مثل الفولاذ والخرسانة المركبة.

توصل لحلول لهذه المشاكل التي واجهته فقام اولا بتعزيز التسليح عن طريق استبدال التسليح التالف وتعزيزه بتسليح جديد، مع استخدام غلاف خرساني لزيادة مقاومة العناصر للضغط والقص. تحسين توزيع الكتلة عن طريق إدخال أرضيات جديدة وطوابق وسيطة لتحسين توزيع الكتلة وتقليل التأثيرات الزلزالية على الهيكل. استخدام الهيكل الفولاذي الخارجي الذي ساعد على تحمل الأحمال الزلزالية وتقليل الضغط على العناصر الخرسانية القديمة. واستخدم تقنيات حديثة مثل (CFRP) لتعزيز العوارض والأعمدة، مما أدى إلى زيادة مقاومتها للانحناء والقص. تم تعزيز العناصر المتضررة بشكل فعال، وتم تحسين توزيع الكتلة والصلابة في الهيكل. الشكل (2) يوضح عملية تعزيز الأعمدة باستخدام غلاف فولاذي خارجي. يتم وضع الغلاف حول الأعمدة الخرسانية المتضررة، حيث يتم تثبيته باستخدام مسامير قص لتأمين الاتصال بين الفولاذ والخرسانة. هذا الغلاف يعمل على زيادة قوة العمود وتحسين أدائه تحت الأحمال الزلزالية. الغلاف الفولاذي يعمل كإطار خارجي يحتوي على الخرسانة ويمنعها من الانهيار تحت الضغط. بالإضافة إلى ذلك، يتم إضافة شرائح فولاذية طولية لزيادة مقاومة الانحناء.



الشكل (2): التدعيم باستخدام غلاف فولاذي وهيكل خارجي. [3](أ) دعم العوارض أثناء تجميع الزوايا والشرائح. (ب) الأعمدة التي تم تحديثها. (ج) استكمال تحديث الأعمدة وتركيب الأرضيات الفولاذية الجديدة. (د) إعداد صب بلاطة الأرضية في الموقع.

الشكل(3) يوضح استخدام الألياف الكربونية (CFRP) لتقوية العوارض الخرسانية. يتم لصق ألواح (CFRP) على الحواف السفلية للعوارض لزيادة مقاومتها للانحناء. هذه الألواح مصنوعة من ألياف كربونية عالية القوة ومثبتة باستخدام لاصق إيبوكسي. بالإضافة إلى ذلك، يتم استخدام شرائط (CFRP) أحادية الاتجاه لتقوية نهايات العوارض ضد القص. هذه التقنية تعمل على تحسين الأداء الهيكلي للعوارض دون الحاجة إلى إضافة كتلة كبيرة إلى الهيكل.

(أ) (ب) (ج)

الشكل (3): لف وتغليف البلاستيك المقوى بألياف الكربون ضمن تدخل التحديث الشامل. [3]. (أ. ب) البلاستيك المقوى بألياف الكربون الالواح والاقمشة الموجودة داخل العوارض. (ج) اختبارات السحب.

أظهرت نتائج التحليل أن استخدام الهيكل الفولاذي الخارجي والتغليف بالخرسانة أدى إلى تحسين كبير في قدرة التحمل والانحناء للعناصر الرأسية والوصلات، أظهرت نتائج تحليل الزحف (Pushover Analysis) تحسناً في قدرة المبنى على تحمل الأحمال الزلزالية بعد التدخلات، مع زيادة في صلابة ومرونة الهيكل الكلي، تبين أن استخدام التغليف الفولاذي وألياف (CFRP) كانت فعالة في تعزيز قوة وصلابة العناصر الإنشائية، مع تقليل مخاطر الفشل المحلي وزيادة قدرة الهيكل على امتصاص الطاقة الزلزالية.

[4] (دراسة اعادة تأهيل العناصر الخرسانية المتصدعة داخل وحدات التكرير والمرافق بمصفاة الزاوية لتكرير النفط,2025)

عند مواجهة عمود خرساني متضرر، يعد استخدام الفحوص غير المتلفة (NDT) أمرًا أساسيًا لتحديد مدى الضرر بدقة وتقييم حالته. تقنيات الفحص غير المتلفة تهدف إلى استكشاف حالته دون الإضرار به أو التسبب في تلف إضافي، من بين هذه الاختبارات الشائعة (Core Testing– Rebound Hammer).

بالفحص الأولي، التقييم الهندسي لضمان اختيار الطريقة الانسب، قياس عمق وطول التصدع **(أكثر من 5 سم)** ثم نقوم بتكسير وإزالة الاجزاء الغير صالحة وصولا الي الخرسانة السليمة، صب طبقه جديدة من الخرسانة المسلحة **(C35)** حول العنصر الخرساني لزيادة قدرته على التحمل.

إذا كان التصدع اقل من 5 سم يمكن إصلاحه، خطوات اصلاح العنصر الخرساني في حالة التصدع اقل من 5 سم تتكون من ثمانية مراحل. **المرحلة الاولي**، نقوم بتحضير السطح لإعادة التأهيل، إزالة أي طبقات متقشرة أو متآكلة وتسوية السطح وإصلاح أي شقوق أو تشققات موجودة. **المرحلة الثانية**، نقوم بتنظيف حديد التسليح بالفرشاة لإزالة جميع آثار الصدأ والمواد المفككة. **المرحلة الثالثة**، يُطبق عليه مادة **(MAPEFER 1K)** باستخدام فرشاة، وهي محلول أسمنتي أحادي المكون مضاد للتآكل يُستخدم لحماية قضبان التسليح. **يُستخدم (Mapefer IK)** لتوفير الحماية الواقعية المضادة للتآكل لقضبان التسليح عند ترميم الخرسانة باستخدام حلول ذات انكماش متحكم فيه من سلسلة **(Mapegrout)** أو باستخدام حلول أسمنتية تقليدية معدلة بمواد لاتكس اصطناعية قائمة على الراتنج. يمكن أيضًا تطبيقه على الهياكل الخرسانية المدفونة تحت الأرض.

يستوفي (**Mapefer IK**) المتطلبات لمعيار (EN 1504–7)، مما يجعله منتجًا مثاليًا للحماية طويلة الأمد للعناصر الخرسانية المسلحة أثناء عمليات الترميم.

المرحلة الرابعة، يُغسل السطح بالماء حتى يصبح مشبعًا بالكامل، لكن يُترك السطح ليجف.

المرحلة الخامسة، حل إسمنتي معزز بالألياف ذو انكماش متحكم به يستخدم لإعادة تأهيل الخرسانة. يُستخدم (**Mapegrout**) (**Thixotropic**) لترميم وإصلاح الخرسانة، بما في ذلك استعادة طبقات الخرسانة، وإصلاح الزوايا، والعوارض، والأعمدة، والشرفات المتضررة نتيجة أكسدة قضبان التسليح. بفضل قوته العالية، يمكن استخدامه للإصلاحات الهيكلية. يتكون المنتج من مزيج من الأسمنت، والركام المختار، والإضافات الخاصة، والألياف الاصطناعية. يفي (**Mapegrout Thixotropic**) بالمتطلبات الدنيا لمعيار (EN 1504–3) لحلول الإصلاح الهيكلية من الفئة (R4). **المرحلة السادسة** ، تُسوّى المونه باستخدام أداة مستقيمة للحصول على سطح أملس يضاف محلول أسمنتي أحادي المكون (**Monofinish**) يتميز بقدرة ربط عادية، مخصص لتنعيم الخرسانة وطبقات الأسمنت. يُوصى باستخدامه لتنعيم العيوب السطحية في الخرسانة المصبوبة، وأيضًا لتنعيم الأسطح الخرسانية التي تم ترميمها باستخدام منتجات سلسلة (Mapegrout).

المرحلة السابعة، يضاف مادة (**Malech**) باستخدام أسطوانة دهان وهي مادة تأسيس تعتمد على راتنجات أكريليكية مع جسيمات دقيقة في محلول مائي. تُستخدم لتأسيس الجدران (سواء كانت خرسانية أو تم إصلاحها بطبقات أسمنتية) كمنظم لامتصاصية القاعدة ومحفز للالتصاق. تتميز الصيغة الخاصة لـ (Malech) بتثبيت الغبار على الأسطح المُعالجة وتأخير ظهور التزهير. المنتج جاهز للاستخدام، لكنه يحتاج إلى التخفيف بالماء بنسبة تصل إلى 50% لتجنب تكوين طبقة زجاجية على الأسطح منخفضة الامتصاص

المرحلة الثامنة والاخيرة، طلاء طبقة من (Elastocolor) باستخدام أسطوانة دهان. (**Elastocolor Paint**) هو طلاء يعمل على تكوين طبقة فيلمية على السطح بفضل تأثير الضوء الطبيعي. عند الجفاف الكامل، يشكل(Elastocolor Paint) طبقة نهائية مرنة غير منفذة للماء وتحمي السطح من العوامل العدوانية في الغلاف الجوي مثل ثاني أكسيد الكربون (CO) وثاني أكسيد الكبريت (SO).

2. مناقشة الدراسات السابقة:-

تناولت الدراسات السابقة تقنيات متعددة لإصلاح وترميم العناصر الخرسانية، مع تحليل متعمق لمتانة هذه الإصلاحات وتأثير التشققات عليها. تُعتبر مشكلة تدهور الخرسانة بسبب التآكل والتشققات من التحديات الرئيسية في صناعة البناء، مما يستدعي الحاجة إلى تطوير تقنيات إصلاح فعّالة ومستدامة. [1–5 ، 10 – 18]

أجمع الباحثون على أهمية إصلاح الخرسانة المتدهورة للحفاظ على سلامة واستدامة الهياكل. كما اتفقوا على أن التآكل والتشققات تُشكلان تهديداً رئيسياً لعمر الهياكل الخرسانية، وأن استخدام مواد وتقنيات مُناسبة للإصلاح يُمكن أن يُحسّن من أداء هذه الهياكل و يُطيل من عمرها الافتراضي. [6–9، 11– 16 ، 19–22]

أظهرت الدراسات أن تقنيات الإصلاح المعتمدة على المواد البوليمرية والحقن تُساهم في تحسين استدامة الهياكل المتضررة من التآكل وتقليل التشققات الناتجة عن الأحمال الديناميكية. تتميز المواد البوليمرية بخصائصها الميكانيكية الممتازة وقدرتها على الالتصاق بالخرسانة، مما يجعلها خيارًا مثاليًا لملء الفراغات والشقوق. أما تقنية الحقن، فتسمح بتوزيع المواد الإصلاحية داخل الشقوق بدقة، مما يعزز من فعالية الإصلاح. [1، 9، 26 –29]

حللوا في دراستي [2، 9] تقنيات إصلاح تعتمد على المواد البوليمرية والحقن. أظهرت النتائج أن هذه التقنيات تساهم في تحسين استدامة الهياكل المتضررة من التآكل، وتقليل التشققات الناتجة عن الأحمال الديناميكية. [27–28]

ركزت بعض الأبحاث على أهمية تحسين متانة أنظمة الإصلاح من خلال استخدام مواد إصلاح متقدمة. على سبيل المثال، أظهرت الدراسة [5] أن المادة الإسمنتية المركبة قادرة على تقليل اختراق الكلوريد بشكل ملحوظ مقارنةً بالمونة المعدلة بالألياف (FRPM) ، مما يساهم في إطالة عمر الإصلاحات، خاصةً في البيئات البحرية والعدوانية. تُعتبر (ECC) مادة عالية الأداء تتميز بمرونتها العالية ومقاومتها للتشقق، مما يجعلها خيارًا واعدًا في إصلاح الخرسانة. [19 ، 24]

ناقشت الدراسات أهمية تقييم متانة الإصلاحات وتحديد العوامل التي تؤثر على عمرها الافتراضي. أوضحت أيضاً أن 55% من الإصلاحات الخرسانية تفشل خلال عشر سنوات بسبب عدم الالتزام بمعايير الجودة واستخدام مواد إصلاح غير متوافقة. أكدت هذه الدراسة الحاجة إلى تحسين تقنيات الإصلاح واعتماد ممارسات استباقية لضمان استدامة الإصلاحات. [6 ، 18 –22]

أثبتت الدراسات فعالية الإصلاح الجزئي باستخدام مثبطات التآكل مثل الزنك والنيتريت. وأظهرت النتائج أن هذه المواد تؤخر بداية التآكل وتقلل من مخاطر انهيار الهياكل الخرسانية مقارنةً باستخدام الخرسانة العادية. تُعتبر مثبطات التآكل خيارًا اقتصاديًا وفعالًا في إصلاح الخرسانة، حيث تُقلل من الحاجة إلى استبدال العناصر المتضررة بشكل كامل. [7 ،23–24]

أثبتت تقنيات استخدام الألياف الكربونية المسلحة والتغليف بالصلب فعاليتها في تحسين القدرة الإنشائية للهياكل الخرسانية المتدهورة. [3–8]

تُساهم هذه التقنيات في تقليل تأثيرات الأحمال الزلزالية وزيادة مرونة العناصر الإنشائية. يتميز (CFRP) بخفة وزنه وقوته العالية، مما يجعله مناسبًا لتدعيم الأعمدة والجسور. أما التغليف بالصلب، فيوفر حماية إضافية للخرسانة ضد التآكل والتأثيرات الخارجية. [25 ، 30–40]

على الرغم من اختلاف المواد والتقنيات المُستخدمة، إلا أن مُعظم الدراسات توصلت إلى نتائج مُتشابهة فيما يتعلق بتحسين أداء الهياكل الخرسانية المتدهورة. جميعها أظهرت أن استخدام تقنيات الإصلاح المُناسبة يُمكن أن يُحسّن من قدرة تحمل الأحمال، ويُقلل من التشققات، ويُطيل من عمر الهياكل الخرسانية .[1–36]

3. الخلاصة: –

كشفت النتائج بوضوح عن الدور المحوري الذي تلعبه التقنيات الحديثة، مثل الخرسانة البوليمرية (PCC) وألياف الكربون المقواة بالبوليمر (CFRP) ، في تعزيز متانة الهياكل الخرسانية. فقد أثبتت هذه المواد قدرتها الفائقة على تحسين مقاومة العناصر الإنشائية للتآكل والتشققات، وزيادة تحملها للأحمال الديناميكية والزلزالية، ما يجعلها خيارًا فعالا في بيئات التشغيل القاسية. كما أثبتت الفحوصات غير المتلفة (NDT) ولا سيما اختبار المطرقة الارتدادية (Rebound hammer) وفحص النواة (Core Testing) جدارتها في تقييم الحالة الإنشائية بدقة. ويعد الجمع بين الطريقتين منهجا متكاملا؛ حيث يستخدم اختبار المطرقة الارتدادية لتحديد المناطق الأكثر تضررا، يلي ذلك الفحص المخبري للنواة للحصول على تحليل أعمق وأكثر شمولية لحالة المواد.

أظهرت الدراسات أن تقنيات الترميم مثل الحقن بالإيبوكسي، واستبدال التسليح المتاكل، وتغليف الأعمدة بمواد مركبة، بالإضافة إلى تدعيم العناصر بعناصر فولاذية خارجية، ساهمت مجتمعة في استعادة الصلابة الهيكلية وإطالة العمر التشغيلي

للمنشآت. وشددت التوصيات على أهمية تطبيق أنظمة مراقبة دورية لضمان كفاءة الحلول المستدامة على المدى البعيد، وعلى ضرورة التقييم المسبق للحالة الإنشائية لاختيار التقنية الأمثل لكل حالة على حدة.

وتبرز ألياف الكربون (CFRP) كخيار متقدم ومُفضل عند معالجة الأضرار الهيكلية الشديدة، في حين يعد الإيبوكسي والخرسانة البوليمرية أكثر ملاءمة في حالات المعالجة الموضعية للشقوق أو إعادة بناء الأجزاء المتآكلة. ويكمن التوجه الأساسي في الاعتماد على المواد الحديثة لتقليل احتياجات الصيانة المستمرة وضمان ديمومة العناصر الخرسانية.

كما أوضحت النتائج أن إدخال هذه التقنيات يسهم في تقليل احتمالات الفشل الموضعي للعناصر الإنشائية، ويعزز قدرتها على امتصاص الطاقة الناتجة عن الأحمال الزلزالية، مما يزيد من الأمان الإنشائي. وبالإضافة إلى ذلك، فقد تم التأكيد مجددا على أهمية اعتماد أنظمة مراقبة ذكية لضمان استدامة الأداء وتحسين الكفاءة الهيكلية.

واختتمت الدراسة بتوصيات تدعو إلى تبني المواد الحديثة وتقنيات الترميم المتقدمة لتحسين مقاومة الهياكل وزيادة عمرها الافتراضي، مع التركيز على البيئات العدوانية التي تُشكّل تحديًا كبيرًا أمام المواد التقليدية.

4. المراجع:-

1. Zhou, Jian; Ye, Guang; van Breugel, Klaas. Durability and Service Life of Concrete Repairs in the Presence of Cracks. Delft University of Technology and Ghent University, (2015).
2. ACI Committee 546. (2021). *Concrete repair guide*. American Concrete Institute.
3. Adam, J. M., Giménez, E., Calderón, P. A., Pallares, F. J., & Ivorra, S. (2008). Experimental study of beam–column joints in axially loaded RC columns strengthened by steel angles and strips. *Steel and Composite Structures, 8*(4), 329–342.
4. Al-Gadhib, A. H., & Baluch, M. H. (2002). Repair and retrofitting of deteriorated reinforced concrete structures–Three case studies. *KFUPM Proceedings*.
5. Al-Sulaimani, G. J., Kaleemullah, M., Basunbul, I. A., & Rasheeduzzafar. (1990). Influence of corrosion and cracking on bond behavior and strength of reinforced concrete members. *ACI Structural Journal, 87*(2), 220–231.
6. Baluch, M. H., Rahman, M. K., & Al-Gadhib, A. H. (2000). Performance guidelines for concrete patch repair. In *Proceedings of the 6th International Conference on Deterioration and Repair of Reinforced Concrete in the Arabian Gulf* (pp. 395–409). Bahrain.
7. Bhattacharjee, J. (2016). Rehabilitation/retrofitting of concrete structures along with case study. *Civil Engineering and Urban Planning*.
8. Champion, S. (1961). *Failure and repair of concrete structures*. John Wiley & Sons Inc.

9. Cirtek, L. (2001). RC columns strengthened with bandage—Experimental programme and design recommendations. *Construction and Building Materials, 15*(6–7), 341–349.
10. Colajanni, P., Recupero, A., & Spinella, N. (2016). Increasing the flexural capacity of RC beams using steel angles and pre-tensioned stainless steel ribbons. *Structural Concrete, 17*(5), 848–857.
11. Czarnecki, L., Geryło, R., & Kuczyński, K. (2020). Concrete repair durability. *Materials, 13*(5). Building Research Institute, ITB, Warsaw, Poland.
12. Emmons, P. H. (2001). *Concrete repair and maintenance illustrated*. R.S. Means Company.
13. Emmons, P. H., & Vaysburd, A. (1996). System concept in design and construction of durable concrete repairs. *Construction and Building Materials, 10*(1), 69–75.
14. Garzón-Roca, J., Ruiz-Pinilla, J., Adam, J. M., & Calderón, P. A. (2011). An experimental study on steel-caged RC columns subjected to axial force and bending moment. *Engineering Structures, 33*(2), 580–590.
15. Granata, M. F. (2024). Seismic retrofit of concrete buildings damaged by corrosion: A case study in Southern Italy. *Buildings Journal*.
16. Granata, M. F., & Recupero, A. (2015). Serviceability and ultimate safety checks of segmental concrete bridges through N–M and M–V interaction domains. *Journal of Bridge Engineering, 20*(4), Article B4014003.
17. Habib, A., Yildirim, U., & Eren, O. (2020). Column repair and strengthening using RC jacketing: A brief state-of-the-art review. *Innovative Infrastructure Solutions, 5*, 75.
18. Jagadish, R. (1995). *Structural failures – Case histories*. Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd.
19. José Emidio Alexandrino Bezerra. (2023, April). Partial repair in reinforced concrete using corrosion inhibitor.
20. Karayannis, C. G., Chalioris, C. E., & Sirkelis, G. M. (2008). Local retrofit of exterior RC beam-column joints using thin RC jackets – An experimental study. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 37*(5), 727–746.
21. Khan, A. R. (2000). *Elasto-damage fatigue modeling of RC beams strengthened by CFRP* (Doctoral dissertation, KFUPM).
22. Kovalchuk, V. V., Luchko, J., & Nazarevich, B. (2022). Degradating concrete and reinforced concrete building structures and long-term structures.

23. Lee, H. S., & Yuen, G. C. S. (1993). *Building maintenance technology*. Macmillan Distribution Ltd.
24. Li, J., Gong, J., & Wang, L. (2009). Seismic behavior of corrosion-damaged reinforced concrete columns strengthened using combined carbon fiber-reinforced polymer and steel jacket. *Construction and Building Materials, 23*(7), 2653-2663.
25. McKaig, T. H. (1962). *Building failures*. McGraw-Hill Book Company.
26. Nagaprasad, P., Sahoo, D. R., & Rai, D. C. (2009). Seismic strengthening of RC columns using external steel cage. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 38*(13), 1563-1586.
27. Naser, M. Z., Hawileh, R. A., & Abdalla, J. A. (2019). Fiber-reinforced polymer composites in strengthening reinforced concrete structures: A critical review. *Engineering Structures, 198*, 109542. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109542
28. Nayak, A. N., Kumari, A., & Swain, R. B. (2018). Strengthening of RC beams using externally bonded fibre reinforced polymer composites. *Structures, 14*, 137-152. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2018.03.004
29. Pinelle, D. J. (1995). Curing stresses in polymer-modified repair mortars. *Cement, Concrete & Aggregates, 17*(2), 195-200.
30. San-José, J. T., & Vegas, I. (2016). Recycling of construction materials for sustainable repairs. *Construction and Building Materials, 127*, 89-96.
31. Shannag, M. J., & Higazey, M. (2020). Strengthening and repair of a precast reinforced concrete residential building. *Civil Engineering Journal, 6*(6), 1121-1132.
32. Shannag, M. J., Al-Akhras, N. M., & Mahdawi, S. F. (2013). Flexure strengthening of lightweight reinforced concrete beams using carbon fibre-reinforced polymers. *Structure and Infrastructure Engineering, 10*(5), 604-613. https://doi.org/10.1080/15732479.2012.757790
33. Sidney, M. Johnson. (1965). *Deterioration, maintenance and repair of structures*. McGraw-Hill Book Company.
34. Silva, A., De Brito, J., & Veiga, M. R. (2020). Incorporation of waste materials in concrete repairs: A review. *Journal of Building Engineering, 27*, 100-106.
35. Siddika, A., Mamun, M. A. Al, Alyousef, R., & Amran, Y. H. M. (2019). Strengthening of reinforced concrete beams by using fiber-reinforced polymer composites: A review.

Journal of Building Engineering, 25, 100798. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100798

36. Tamimi, A., & Hussain, S. E. (2018). Structural rehabilitation of reinforced concrete columns exposed to aggressive environments. *Arabian Journal for Science and Engineering*.
37. Zhou, J., Ye, G., & van Breugel, K. (2015). Durability and service life of concrete repairs in the presence of cracks. Delft University of Technology and Ghent University.
38. Zheng, L., & Liu, S. (2021). Anchorage of plain, naturally corroded reinforcement bars with end-hooks (Master's thesis, Chalmers University of Technology).
39. ASTM C 1202. (2004). *Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration*. ASTM. https://www.astm.org/c1202-22.html
40. ASTM C 876. (1991). *Standard test method for corrosion potentials of uncoated reinforcing steel in concrete*. ASTM.
41. دراسة إعادة تأهيل العناصر الخرسانية المتصدعة داخل وحدات التكرير والمرافق بمصفاة الزاوية لتكرير النفط.

استخدام نظم المعلومات الجغرافية لدراسة تأثير السيول الفجائية على سلامة الطرق و العبارات

حسن عويدات سالم [1] ، حامد القاسى[2], عمر علي الفرجاني [3]
1 جامعة وادى الشاطى، براك الشاطئ ، ليبيا
2 ديوان المحاسبة الليبى ، براك الشاطئ ، ليبيا
3 جامعة وادى الشاطى، براك الشاطئ ، ليبيا
h.awadat@wau.edu.ly, algassi78@gmail.com[2],o.alforjany@wau.edu.ly

الملخص

تُعد السيول الفجائية من أخطر الظواهر في المناطق الجافة وشبه الجافة، حيث يمكن أن تؤدي الأمطار الغزيرة القصيرة المدة إلى فيضانات مدمرة. شهدت منطقة وادي الشاطئ خلال العشرين سنة الماضية أضرارًا بالطرق نتيجة انجراف الطبقات التحتية وانهيارات، ويرجع ذلك إلى قصور في السعة التصميمية للعبارات، اختيار مواقع غير مناسبة لها، وعدم الصيانة الدورية. تُعد محلة المنصورة من أكثر المناطق تضررًا، حيث تسببت أمطار سبتمبر 2024 في فيضانات وانهيار قطاع بطول 500 متر من الطريق. استخدمت الدراسة تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد (GIS & RS) ونظام نمذجة الأحواض (WSM) لجمع وتحليل بيانات الطرق والمجاري المائية والطبوغرافيا والمناخ والهيدرولوجيا، لتحديد ذروة الجريان السطحي عند نقاط تقاطع مستجمعات المياه مع الطريق. تم الاعتماد على برنامج InfraWorks ومعادلات HDS-5 لتصميم عبارات مناسبة، وباستخدام فترة تصميم 50 سنة وطريقة رقم المنحنى SCS، تم حساب ذروة التدفق في ثمانية أحواض، وبلغت القيمة القصوى 24.57 م³/ث عند الحوض رقم 3. أظهرت النتائج أن زيادة البناء والزراعة، وتغير المناخ والمنحدرات، والخواص المورفومترية تؤثر على كفاءة العبارات وزيادة الجريان السطحي.اقترحت الدراسة إنشاء ثمانية عبارات صندوقية بأبعاد مختلفة في نقاط تقاطع المجاري المائية مع الطريق، مع التوصية بتنفيذها في منطقة المنصورة للحد من الفيضانات وضمان استمرارية حركة المرور.

الكلمات المفتاحية: *السيول الفجائية ، الفيضانات ، نظام نمذجة الأحواض (WSM) ، طريقة رقم المنحنى SCS، نظم المعلومات الجغرافية GIS ، عبارات تصريف المياه ، برنامج InfraWorks ، معادلات HDS-5 .*

Abstract

Flash floods are among the most dangerous phenomena in arid and semi-arid regions, where short-term heavy rainfall can lead to devastating flooding. Over the past 20 years, the Wadi El-Shati area has suffered road damage due to subgrade erosion and collapses. This is due to inadequate culvert design capacity, inappropriate culvert locations, and lack of regular maintenance. Mansoura is among the most affected areas, where the September 2024 rains caused flooding and the collapse of a 500-meter section of road. The study used Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) techniques, and a Basin Modeling (WSM) system to collect and analyze data on roads, waterways, topography, climate, and

hydrology, to determine peak runoff at the intersections of watersheds and roads. InfraWorks software and HDS-5 equations were used to design suitable culverts. Using a 50-year design period and the SCS curve number method, peak flow was calculated in eight basins, with a maximum value of 24.57 m^3/s at basin 3. The results showed that increased construction and agriculture, climate and slope changes, and morphometric properties affect the efficiency of culverts and increase surface runoff. The study proposed the construction of eight box culverts of different dimensions at the intersections of waterways with the road, recommending their implementation in the Mansoura area to reduce flooding and ensure traffic continuity.

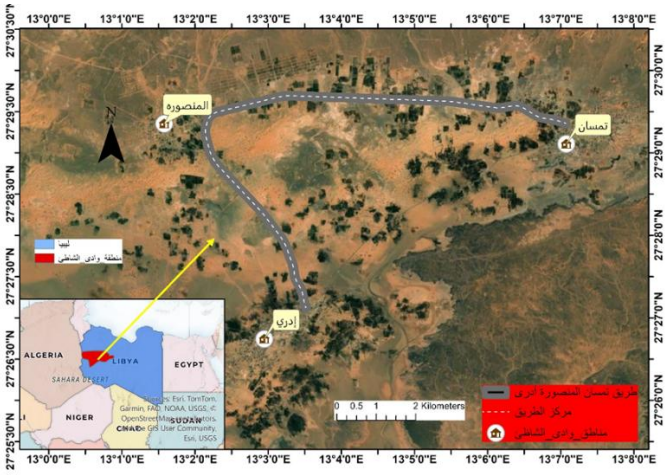
Keywords: *Flash floods, floods, watershed modeling system (WSM), SCS curve number method, GIS, drainage culverts, InfraWorks software, HDS-5 equations.*

1. المقدمة:

يشهد العالم تغيرات مناخية تؤثر على النظم البيئية والبنية التحتية، خاصة في المناطق الجافة كالصحراء الليبية، حيث يؤدي ازدياد الأمطار إلى فيضانات مفاجئة تُعد من أخطر الكوارث على العمران وشبكات الطرق. هذه المناطق، التي تتسم بندرة وتذبذب الأمطار، تعاني من تجاهل السياسات العمرانية لمخاطر السيول، ما أدى إلى الزحف العمراني على مجاري الأودية. غالبًا تحدث الفيضانات المفاجئة خلال ساعات من الأمطار الغزيرة الناتجة عن العواصف الرعدية كما حدث فى مدينة غات الليبية سنة 2019 [1] أو يمكن أن تحدث بسبب انهيار السدود أو الحواجز و/أو الانهيارات الطينية كما حدث فى مدينة درنة الليبية سنة 2023 [2]. تتأثر سرعة ومكان حدوث الفيضانات المفاجئة بعوامل مثل شدة الأمطار، التضاريس، الغطاء النباتي، ونوع التربة. التربة الصحراوية تمتص الأمطار المعتدلة، لكنها عند الأمطار الغزيرة تتحول لسطح غير منفذ ينتج عنه جريان سطحي شديد، كما حدث في وادي الشاطئ بمحلة المنصورة. تعتمد هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي باستخدام بيانات طبوغرافية ومناخية وهيدرولوجية وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية والإستشعارعن بعد (GIS&RS) ونظام نمذجة الأحواض أو المستجمعات المائية (WSM) Watershed Modeling System ، لتقييم تأثير السيول على الطرق وتصميم عبارات تصريف مناسبة عبر برنامج InfraWorks .

1.1 حدود منطقة الدراسة:

تقع محلة المنصورة (منطقة الدراسة) ضمن منطقة وادى الشاطى والتابعة لبلدية ادرى في الجزء الجنوبي الغربي من ليبيا ، وان طريق محلة المنصورة المقترح دراسته في هذه الورقة طوله حوالى (13.404 كم) يبدا من محلة تمسان مرورا بمحلة المنصورة وينتهى ببلدية ادرى و كما موضح فى الشكل رقم (1).



شكل (1) حدود منطقة الدراسة

1.2 إشكالية الدراسة:

شهدت الطرق الرئيسية لمنطقة وادى الشاطى فى العشرين سنة الأخيرة تزايد تساقط كميات الامطار ممأدى الى حدوث انجراف الطبقات التحتية للطرق فى بعض المناطق و انهيار فى مناطق أخرى والناتج عن عدة أسباب منها السعة التصميمية للعبارات وعدم تحديد المسارات الطبيعية لتدفق المياه مما ترتب عليه إنشاء العبارات في المواقع الغير مناسبة بالإضافة الى عدم إجراء الصيانة الدورية للطرق وتنظيف العبارات من المواد العالقة. تعتبر منطقة المنصورة الشاطئ احد اكبر المناطق تضررا من الامطار التى تساقطت فى الفترة مابين 10–11 من شهر سبتمبر لسنة 2024 حيث تسببت في فيضانات في أجزاء من المنطقة كما مبين فى الشكل رقم (1) بالإضافة الي انهيار جزء من قطاع الطريق بمسافة تصل الى500 متر كما مبين فى الشكل رقم (2) الذى يستوجب إعادة تصميم المسار المتضرر مع الأخذ بالاعتبار هذه التغيرات المناخية .

شكل (2) غمر مياه الفيضان لأجزاء من قطاع الطريق

شكل (3) انهيار جزء من قطاع الطريق

1.3 أهداف وأهمية الدراسة

ان هدف الدراسة يتلخص في التصميم الهندسى أو الجيومترى لمسار الطريق و تقدير التصريف الفيضاني الأقصى ولفترات عوده مختلفة لمجموعة من أحواض الوديان التي تتقاطع مع طريق محلة المنصورة بداية بالمدخل الشرقى الذى يتقاطع مع مدخل بلدية أدرى عند النقطة (13+404) قرب محلة تمسان إلى نقطة ال (13+41 كم) عند مدخل محلة المنصورة الى

بلدية ادرى وبطول (13.404 كم) وذلك عن طريق تحليل ومعالجة وإنشاء البيانات الخاصة بالتصميم الهيدرولوجي واختيار العبارات المناسبة لإمرار هذه التصاريف بأمان من خلال التصميم الهيدروليكي للعبارات . أما أهمية الدراسة فهي لمعالجة مشكلة كبيرة تعاني منها الطرق الخارجية باستمرار حيث إن سوء تصميم واختيار مواقع العبارات أدى إلى انهيار وخسائر مادية كبيرة في العديد من الطرق الخارجية أو بين مناطق الجنوب الليبى مثل طريق براك–ادرى وطريق براك–الشويرف و طريق أوبارى–غات وغيرها.

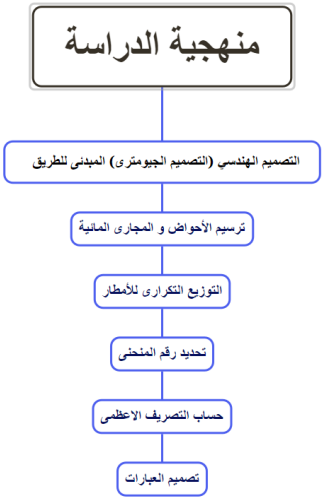
2. السيول الفجائية وتصميم عبارات مياه الطرق بأستخدام نظم المعلومات الجغرافية

تشكل السيول الفجائية واحدة من أخطر الظواهر الطبيعية في المناطق الصحراوية، إذ تؤدي إلى أضرار جسيمة في البنية التحتية، خاصة الطرق، ما يستدعي دراسات دقيقة لتحليل سلوك هذه الظاهرة وتصميم منشآت تصريف ملائمة باستخدام أدوات حديثة مثل نظم المعلومات الجغرافية **G**eographic **I**nformation **S**ystem (GIS). استخدمت العديد من الدراسات نظم المعلومات الجغرافية في تحديد المناطق الأكثر عرضة لخطر السيول، اعتماداً على معطيات مثل الانحدار، نوع التربة، استخدامات الأرض، وكثافة التصريف. حيث أظهرت دراسة قام بها[3] في صحراء مصر الشرقية فعالية GIS في بناء خرائط خطر السيول بدقة عالية، مما ساعد في وضع أولويات لتأمين الطرق والبنية التحتية . أشارت دراسة [4] إلى أن السيول في المناطق الجافة تتسبب في تآكل الطبقات التحتية للطرق، وانجراف الردميات، بالإضافة إلى انقطاع حركة المرور. لذلك، فإن تصميم الطرق في تلك المناطق يجب أن يراعي تدفق المياه النادر ولكنه شديد التأثير، ويتطلب تحليل هيدرولوجي دقيق. قام [5] باستخدام النماذج الرقمية للارتفاعات (DEMs) بالتكامل مع GIS لتحديد مواقع مناسبة لتركيب عبارات تصريف المياه ،حيث بينت النتائج أهمية استخدام هذه التقنيات في ضمان كفاءة التصريف وتقليل تكاليف الصيانة والتأثيرات البيئية. درس[6] إمكانيات استخدام نظم المعلومات الجغرافية كأداة لدعم القرار في حالات الطوارئ وإدارة البنية التحتية، وأوضح أن التكامل بين نظم GIS ونماذج المحاكاة الهيدرولوجية يُعزز من قدرة الجهات المختصة على التخطيط السليم وتحديد أولويات التدخل السريع. أثبتت دراسة [7] أن استخدامات الأراضي تلعب دوراً كبيراً في تضخيم أو تخفيف آثار السيول، خاصة عند بناء الطرق في مجاري أودية نشطة. لذلك، فإن دمج تحليل استخدام الأراضي ضمن نظم GIS ضروري للتخطيط الجيد لمواقع العبارات. أشارت الدراسات السابقة إلى أهمية الدمج بين نظم المعلومات الجغرافية، النماذج الرقمية للارتفاعات، والنماذج الهيدرولوجية لتقييم تأثير السيول وتصميم عبارات تصريف فعّالة، خصوصاً في البيئات الصحراوية. هذه المنهجية تُمكّن من تحسين اتخاذ القرار وتقليل الخسائر في الأرواح والبنية التحتية.

3. منهجية الدراسة

ان التصميم الدقيق للعبارات يتطلب دراسة دقيقه لخصائص الأودية القاطعة للطريق وطبيعة التربة والمناخ في منطقة الدراسة واستعمالات الأرض وشكل الغطاء النباتي للوصول الى معرفة دقيقة لتحديد تصريف الذروة للفيضان الذي يتم على أساسه تحديد حجم ونوع المنشأ الواجب استخدامه لتمرير هذا التصريف بين جانبي الطريق ولتجنب استخدام منشات هيدروليكية بحجم اكبر من اللازم وبالتالي زيادة غير مبرره في كلفة إنشاء الطريق، او استخدام منشأ بحجم اقل من المطلوب وبالتالي هناك احتمالية كبيرة لعبور الموجة الفيضانية من فوق الطريق لعدم قدرة المنشأ الهيدروليكي على استيعاب التصريف الوارد إليه من العاصفة المطرية وبالتالي تدمير الطريق والمنشأ الهيدروليكي وخسارة مادية كبيرة وربما بشرية .تعتمد هذه الدراسة

على المنهج الوصفي التحليلي، حيث تم جمع البيانات الطبوغرافية والمناخية والهيدرولوجية وتحليلها باستخدام منصة ESRI ArcGIS لنظم المعلومات الجغرافية والإستشعارعن بعد(GIS&RS) ونظام نمذجة الأحواض أو المستجمعات المائية Watershed Modeling System (WSM) لتحديد تأثير السيول الفجائية على الطرق وتصميم مواقع وأحجام مناسبة لعبارات تصريف المياه باستخدام برنامج **InfraWork** من شركة Autodesk وكما مبين فى الشكل رقم (4) الذى يوضح خطوات منهجية هذه الدراسة.



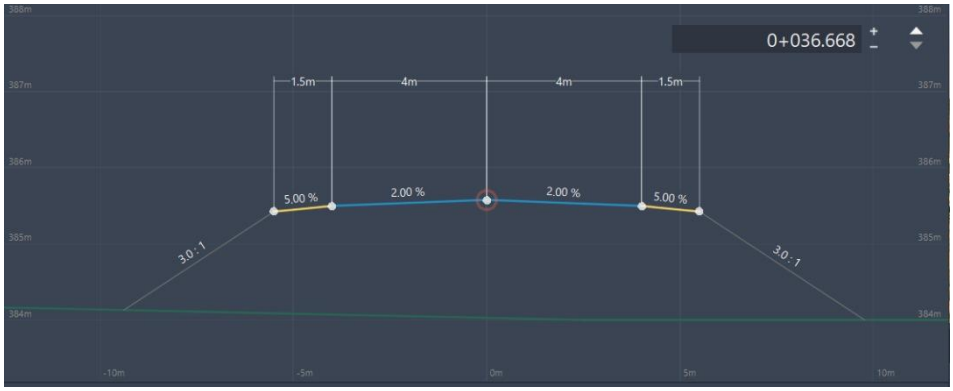
شكل (4) خطوات تنفيد منهجية الدراسة

4. التحليل و المناقشة

4.1 التصميم الهندسى للطريق

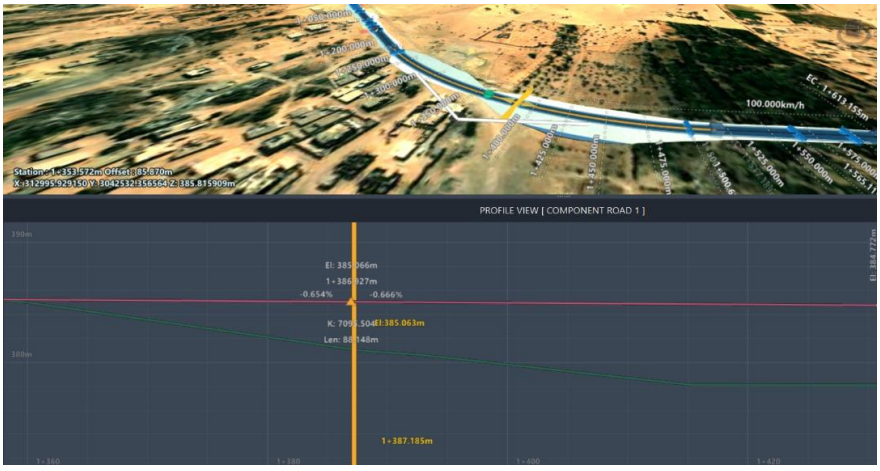
يتميز برنامج InfraWorks بأنه **نموذج تفاعلي ثلاثي الأبعاد** واقعي وسهل الفهم لأصحاب القرار، ويدعم اتخاذ قرارات تصميمية للطرق حسب معايير تصميم AASHTO–2011 مبنية على بيانات جيومكانية، و بتسريع مرحلة التخطيط الأولى مقارنة بالبرامج التقليدية.بالأضافة الى ذلك يمكن أستخدام قواعد بيانات من خوادم GIS مثل منصة ESRI ArcGIS ، واستيراد وتصدير بيانات التضاريس، والصور الفضائية والجوية، وملفات الطرق ،وحدود المشروع. الهدف الرئيسى من استخدام البرنامج للتصميم الهندسى المبدئى هو تحديد نقاط تقاطع مسار الطريق بالمجارى المائية و المناسيب المتعلقة بالتصميم الهيروليكى للعبارات. ونظرا لعدم توفر رفوعات مساحية لإنشاء سطح او surface لمسار الطريق فأنه تم استخدام أداة Model Builder لإنشاء نموذجا تلقائيًا من الإنترنت واداة **Component Roads** لتتبع ورسم قطاع الطريق القائم والتقيد بمعايير تصميم الطرق الشريانية Arterial Roads الخلوية البند رقم (4–4–2) حسب دليل معايير التصميم الهندسي للطرق الليبيى الإصدار رقم 1– ابريل 2016 [8].وتم تصدير ملف التصميم الى برنامج Autodesk Civil 3D ومن ثم الى برامج ArcGISpro وتحويلة لقاعدة بيانات جغرافية file Geodatabase لتعامل معها داخل برامج ArcGISpro و WSM لتحديد نقاط تقاطع الطريق مع المجارى المائية.

قد تم تحديد مسار الطريق بناءاً على المسار القائم من محلة تمسان عند النقطة (0+000) الى بلدية ادرى (13+404) مرورا بمحلة المنصورة بطول (13.404 كم)،وعمل محطات كل 20 مترًا وبسرعة تصميمية 100 كم/ساعة. تم التقيد قدر الإمكان بمواصفات القطاع العرضى حيث تم تصميم حارتين بعرض 4 متر وميل 2% و اكتاف بعرض 1.5 متر وميل 5% و حرم الطريق لايتعدى 30 متر وميول عرضية(حفر وردم) 1 راسى الى 3 متر افقى كما مبين فى الشكل رقم (5) الذى بين قطاع نموذجى للطريق.



شكل (5) قطاع نموذجى للطريق

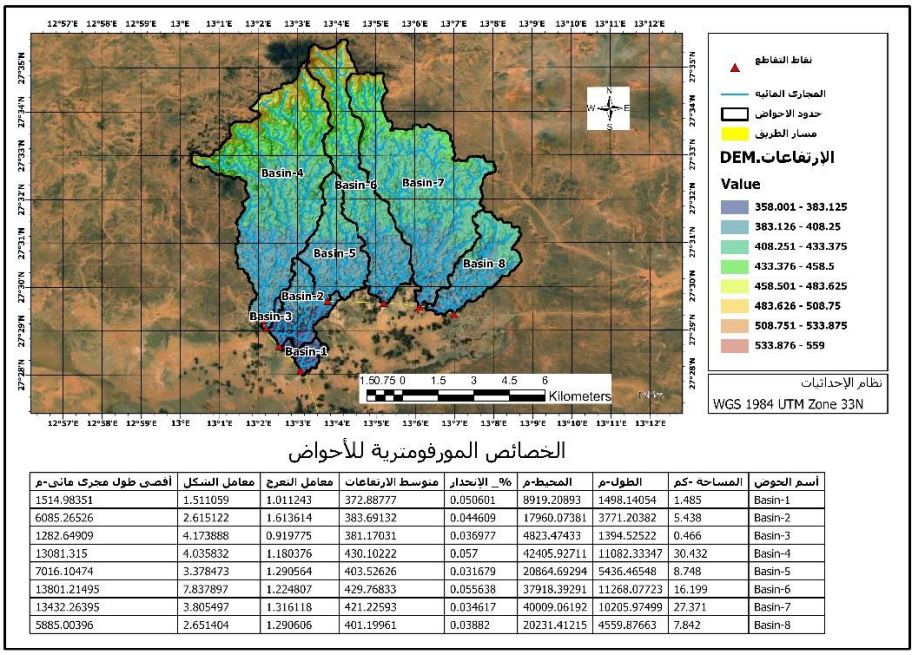
لوحظ ايضا ان عدد تقاطع المنحنيات الأفقية او نقطة تقاطع المماسات (Point of Intersection) لمنحنى أفقي PI تساوى 41 نقطة ومقدار الرفع الجانبي super elevation يتراوح بين (4-6%) وأنصاف اقطار تتراوح مابين (126.99-242.92 م). وبالإضافة لذلك تبين أن عدد نقاط تقاطع المنحنيات الرأسية(Point of Vertical Intersection) PVI تساوى 68 نقطة و يتراوح ميول هذه المنحنيات مابين (0.389-5.33 %) و معدل الانحناء الرأسي(K) لمنحنيات القمة والقاع الرأسية يتراوح مابين (62.5-7056.504) وكما مبين فى الشكل رقم (6) والذى يبين منحنى قاع رأسى عند المحطة رقم (1+353.572).



شكل (6) منحنى قاع رأسى عند المحطة رقم (1+353.572)

4.2 ترسيم الأحواض و المجارى المائية

مع تطور انظمة الإستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية اصبح الإعتماد على بيانات نماذج الإرتفاعات الرقمية(Digital Elevation Model (DEM وهى التمثيل الرقمي لتضاريس سطح الأرض كميزانية شبكية وبرامج نظم المعلومات الجغرافية كاداة لتحليل وترسيم الاحواض والمجارى المائية بالإعتماد على هذه النماذج. تم إنشاء DEM لترسيم الأحواض من بيانات مهمة التضريس الأرضى باستخدام المكوك الرادارى The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) بدقة مكانية 30 مترًا وهو المستخدم داخل برنامج InfraWorks ، وهي متاحة مجانًا على موقع OpenTopography .يحتاج نموذج DEM لمعالجة الفراغات و تحويل الإحداثيات من جعرافية الى مسقطة وقطع منطقة الدراسة وهذا ماتم القيام به داخل برنامج ArcGISpro قبل تصديره لبرنامج WSM لغرض ترسيم الاحواض والمجارى المائية وأيضاً تم تحويل طبقة مسار الطريق او الممرات (Corridor Modeling) الى طبقة GIS مضلعة shapefile polygon داخل برنامج ArcGISpro و تصديره لنموذج GIS داخل برنامج WSM لغرض تحديد نقاط تقاطع مسار الطريق مع المجارى المائية او مخارج او مصابب تصريف الأحواض (Outlets) لترسيم الاحواض المائية .بعد ان تم ادخال البيانات الى برنامج WSM تم تحديد نظام الإحداثيات المسقطة الخاص بمنطقة الدراسة WGS 1984 UTM Zone 33N و ترسيم المجارى المائية و تحديد نقاط التقاطع مع مسار الطريق و ترسيم الأحواض و إستخراج الخصائص المورفومترية للأحواض كما مبين فى الشكل رقم (7) .



الخصائص المورفومترية للأحواض

أسم الحوض	المساحه -كم	الطول-م	المحيط-م	%_الإنحدار	متوسط الارتفاعات	معامل التعرج	معامل الشكل	أقصى طول مجرى مائى-م
Basin-1	1.485	1498.14054	8919.20893	0.050601	372.88777	1.011243	1.511059	1514.98351
Basin-2	5.438	3771.20382	17960.07381	0.044609	383.69132	1.613614	2.615122	6085.26526
Basin-3	0.466	1394.52522	4823.47433	0.036977	381.17031	0.919775	4.173888	1282.64909
Basin-4	30.432	11082.33347	42405.92711	0.057	430.10222	1.180376	4.035832	13081.315
Basin-5	8.748	5436.46548	20864.69294	0.031679	403.52626	1.290564	3.378473	7016.10474
Basin-6	16.199	11268.07723	37918.39291	0.055638	429.76833	1.224807	7.837897	13801.21495
Basin-7	27.371	10205.97499	40009.06192	0.034617	421.22593	1.316118	3.805497	13432.26395
Basin-8	7.842	4559.87663	20231.41215	0.03882	401.19961	1.290606	2.651404	5885.00396

الشكل (7) يوضح الخصائص المورفومترية للأحواض

يشير معامل التعرج الى معرفة مدى انعطاف المجرى المائى وما لذلك من تأثير على كمية المياه في المجرى، حيث انه كلما ازدادت درجة تعرج الوادي ازدادت احتمالات التبخر والترشيح، بينما تقل هذه الاحتمالات عندما تنقص درجة التعرج، وذلك نتيجة سرعة الجريان.أما معامل الشكل يصف مدى انتظام عرض الحوض المائي على طول امتداده من منطقة المنابع وحتى بيئة المصب وكلما قلت قيمته زادت سرعة وصول الموجات المائية إلى الذروة.

4.3 التحليل التكراري لكميات الأمطار

يُعتبر التحليل التكراري الدقيق لكميات الأمطار الهاطلة على الحوض المائي من أهم العوامل التي تساعد في حساب السيول المتجمعة بشكل دقيق، كما يُعد الأساس الصحيح للإحصاءات المائية واحتمالية تكرار السيول. قانون ويبل (Weibull Formula) هو أحد أشهر القوانين الإحصائية المستخدمة في تحليل بيانات الأمطار لتحديد فترة التكرار (Return Period) للعواصف المطرية أو أي ظاهرة مناخية متطرفة.

- **قانون ويبل(Weibull Formula)**

$$P_e = \frac{m}{(n+1)}$$

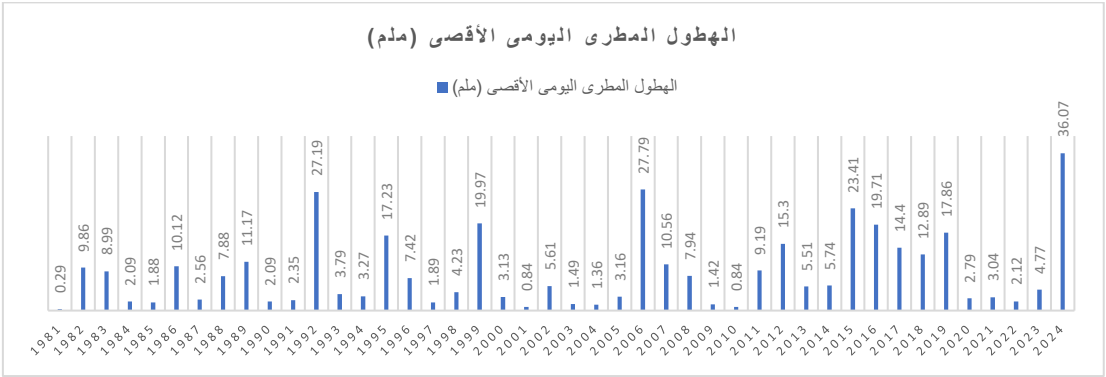
$$P_{ne} = 1 - P_e$$

P_e : احتمال ان تتجاوز قيمة معينة من الأمطار لقيم الأمطار في سنة معينة وP_{ne}: احتمال عدم تجاوز قيمة معينة من الأمطار لقيم الأمطار في سنة معينة و m : ترتيب الحدث من الأكبر إلى الأصغر (الرتبةRank) و n = عدد السنوات التي تتوفر لها بيانات مطرية.

- **حساب فترة التكرار T (Return Period)** (بالسنوات) تُحسب بـ:

$$T = \frac{1}{P}$$

نظرا لعدم وجود محطة ارصاد بالقرب من منطقة الدراسة تم الإعتماد على البيانات اليومية للهطول المطرى القصوى التى تم الحصول عليها عند الإحداثيات الجغرافية للنقطة (13.0497 E ,27.5745 N) من موقع مشروع التنبؤ بموارد الطاقة العالمية (POWER) التابع لمركز أبحاث لانغلي التابع للإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (ناسا)، والذي تم تمويله من خلال قسم علوم الأرض في ناسا للفترة الزمنية من 01-01-1981م إلى 01-01-2025 [9] . ولقد تم تحديد القيم اليومية القصوى للأمطار لكل سنة كما مبين فى الشكل رقم (8) و إجراء التحليل الإحصائي باستخدام التوزيعات الاحتمالية المختلفة للحصول على القيم الخاصة بالفترات التكرارية (5، 10، 25، 50، 100 سنة) باستخدام برنامج التحليل الإحصائي للأمطار HYFRAN [10] .



الشكل (8) يوضح القيم اليومية القصوى للأمطار لكل سنة

تبين من خلال مقارنة التحليل الإحصائي باستخدام 12 توزيع احتمالي لفترة عودة (50 سنة) ان التوزيع اللوغارتمى الطبيعى هو الافضل لبيانات الامطار.و عليه تم الاعتماد فى هذه الدراسة على القيم الخاصة بالفترات التكرارية للتوزيع اللوغارتمى الطبيعى لغرض التحليل الهيدورولجى ولتقدير أقصى معدل للجريان السطحي وكما مبين فى الجدول رقم (1) . والتقيد بالتكرارات المستخدمة فى تصميم المنشات المائية للطرق الشريانية Arterial Roads الخلوية البند رقم (6-1) حسب دليل معايير التصميم الهندسي للطرق الليبيى الإصدار رقم 1- ابريل 2016 والذى يشير لاستخدام فترة تكرار مابين (25-50 سنة) و تم اختيار الحد الاقصى (50 سنة) فى هذه الدراسة.

الجدول (1) عمق المطر للأزمنة التكرارية المختلفة للنقطة المختارة.

فترة التكرار (T) بالسنة	احتمالية التجاوز (P_e)	احتمالية عدم التجاوز (P_{ne})	عمق المطر (P) mm	الإنحراف المعيارى	فترة الثقة لعمق المطر عند مستوى ثقة 95%
100	0.01	0.99	66.7	21.3	24.8-109
50	0.02	0.98	49.5	14.5	21.1-77.9
25	0.04	0.96	35.6	9.34	17.2-53.8
10	0.1	0.9	21.3	4.76	11.9-30.6
5	0.2	0.8	13.1	2.53	8.18-18.1

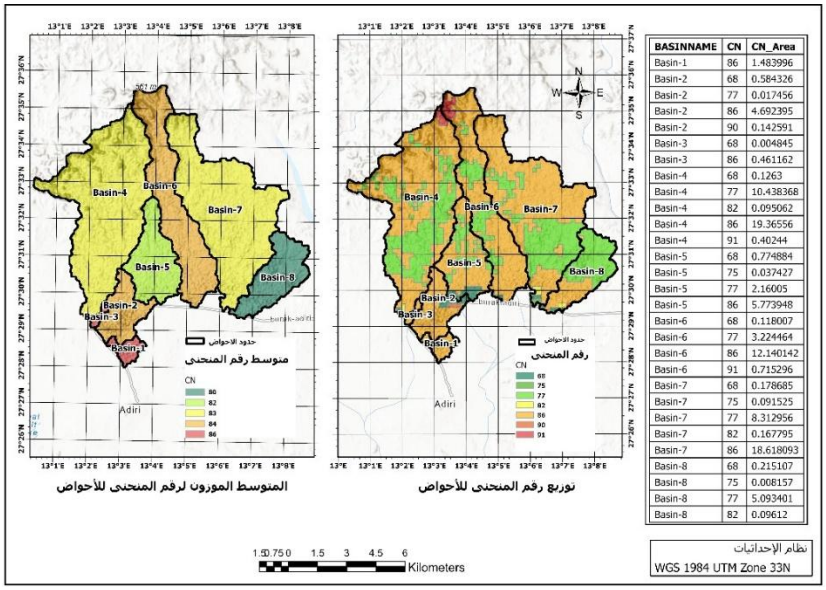
4.4 حساب رقم منحنى الجريان السطحي

رقم منحنى الجريان السطحي (Curve Number – **CN**) هو **معامل هيدرولوجي** وضعته هيئة الموارد الطبيعية الأمريكية (USDA – NRCS)، ويُستخدم لتقدير **الجريان السطحي** الناتج عن العواصف المطرية بناءً على: نوع التربة، و غطاء سطح الأرض (زراعي، حضري، غابات...) ،و الحالة الرطبة للتربة (جافة أو رطبة مسبقًا) ،و درجة الميل.فى هذه الدراسة تم استخدام مجموعة بيانات نقطية عالمية لمعامل رقم المنحنى للنمذجة والتصميم الهيدرولوجي تم تطويرها من قبل [11] و تم قطع منطقة الدراسة حسب طبقة ترسيم الأحواض وحساب CN المركب CNcomposite أو المتوسط الموزون لكل حوض باستخدام برنامج ArcGISpro وحسب المعادلة التالية :

$$CN_{composite}=\frac{\sum A_i * CN_i}{A_i}$$

حيث $CN_{composite}$: =CN المركب او المتوسط الموزون المستخدم لحساب حجم الجريان السطحي لكامل الحوض و A_i = المساحة التى لها قيمة CN موحدة داخل الحوض أو مساحة المنطقة الفرعية i (كم^2) و CN_i = قيمة CN لكل مساحة فرعية داخل الحوض.

يبين الشكل رقم (9) توزيع رقم المنحنى للاحواض قبل وبعد حساب المتوسط الموزون حيث نلاحظ ان القيم متقاربة بعد حساب المتوسط الموزون واعلى قيم عند الحوضان رقم 1و2 .



BASINNAME	CN	CN_Area
Basin-1	86	1.483996
Basin-2	68	0.584326
Basin-2	77	0.017456
Basin-2	86	4.692395
Basin-2	90	0.142591
Basin-3	68	0.004845
Basin-3	86	0.461162
Basin-4	68	0.1263
Basin-4	77	10.438368
Basin-4	82	0.095062
Basin-4	86	19.36556
Basin-4	91	0.40244
Basin-5	68	0.774884
Basin-5	75	0.037427
Basin-5	77	2.16005
Basin-5	86	5.773948
Basin-6	68	0.118007
Basin-6	77	3.224464
Basin-6	86	12.140142
Basin-6	91	0.715296
Basin-7	68	0.178685
Basin-7	75	0.091525
Basin-7	77	8.312956
Basin-7	82	0.167795
Basin-7	86	18.618093
Basin-8	68	0.215107
Basin-8	75	0.008157
Basin-8	77	5.093401
Basin-8	82	0.09612

الشكل (9) رقم المنحنى للاحواض

4.5 حساب أقصى معدل للجريان السطحي

لتحديد ذروة التصريف (Peak Discharge) لغرض تصميم عبارات تصريف مياه الطريق المقترح فى هذة الدراسة تم استخدام طريقة SCS ضمن نموذج HEC−1 داخل برنامج نظام نمذجة الأحوض المائية Watershed Modeling System. طريقة (SCS Curve Number) والمعروفة أيضاً بطريقة (CN method) طورتها هيئة الحفاظ على التربة الزراعية الأمريكية(Soil Conservation Service) ، وتُستخدم لتقدير الجريان السطحي الناتج عن العاصفة المطرية. أما برنامج **HEC−1** طوّرته **فرقة الهندسة التابعة للجيش الأمريكى (US Army Corps of Engineers)** ، ويُعد من أقدم البرامج المتخصصة في **النمذجة الهيدرولوجية** لمستجمعات المياه او الأحواض المائية ويستخدم لمحاكاة انتقال هذا الجريان عبر قنوات أو أودية أو خزنات مؤقتة حتى الوصول إلى نقطة المخرج [12]. ويمكن تلخيص خطوات حساب ذروة التصريف بطريقة HEC−1 وSCS كالتالى:

حساب عمق الجريان السطحي (Runoff Depth − Q)

يعبر عمق الجريان السطحي خلال تفاعل عاصفة مطرية معينة مع مكونات وخصائص حوض التصريف المائي .

ولحساب عمق السيل المباشر او الجريان السطحي بناءً على كمية الأمطار، يمكن استخدام المعادلتين (3,2) التاليتين:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \text{ عندما } P > 0.2S$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

حيث:Q = عمق الجريان السطحي (ملم) و P = الهطول المطرى (ملم) و S = معامل الامكانية القصوى للاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان السطحي (ملم) و CN = رقم المنحنى .

4.6 توليد الهيدروجراف القياسى اللابعدى

هو تمثيل بياني لتوزيع الجريان السطحي الناتج عن وحدة مطر فعّالة (1 بوصة أو 1 سم) خلال زمن معين، باستخدام معادلات موحدة وضعتها SCS . تم استخدام هذا الهيدروغراف لتقدير أقصى معدل للجريان السطحي الناتج عن أي عاصفة مطرية عند دمجه مع توزيع الأمطار داخل نموذج HEC−1 .حيث يتم حساب التصرف الأعظم باستخدام المعادلة التالية:

$$q_p = \frac{2.08 * A * Q}{t_p}$$

$$t_p = t_L + D/2$$

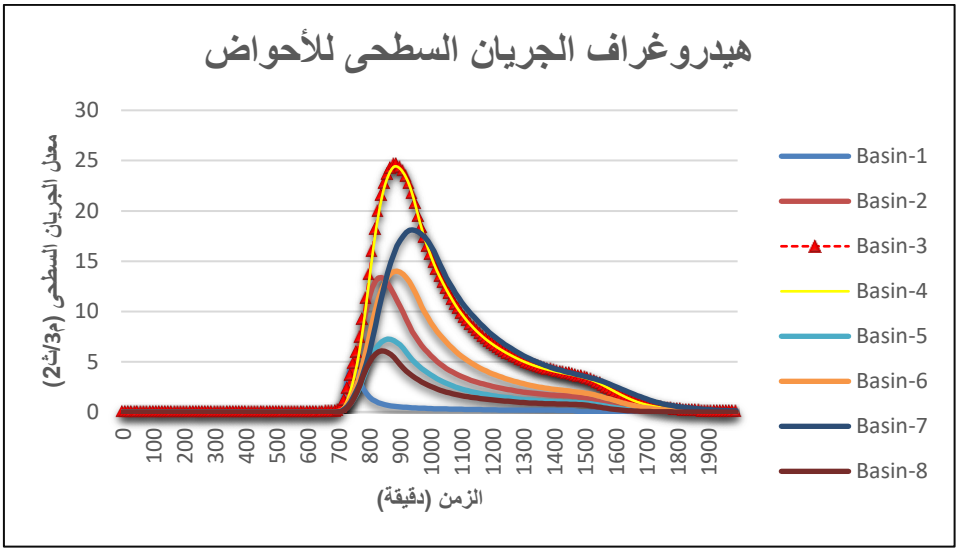
$$D = 0.133 t_c$$

$$t_L = 0.6 t_c$$

$$t_c = 0.0195 \times \mathrm{L}^{0.77} \times \mathrm{S}^{-0.385}$$

$$t_p = 0.133 t_c / 1.7$$

حيث: q_p : أقصى معدل للجريان السطحي (م^3/ث^2) وA : مساحة الحوض (كم^2) وQ : عمق الجريان السطحي (ملم) وt_p : زمن الوصول الى الذروة (ساعة) وهو الوقت بين بداية الجريان وبداية الذروة وt_c : زمن التركيز (ساعة) وهو الزمن اللازم لوصول الماء من أبعد نقطة في الحوض إلى المصب وt_L: زمن التأخير (ساعة) وهو المدة بين ذروة مدة المطر الفعال وذروة معدل الجريان السطحى وD: مدة المطر الفعّال الذى يسبب الجريان (ساعة) وهى المدة التي تُستخدم لبناء الهيدروغراف و S: ميول الحوض (%) .و نظرا لأن منطقة الدراسة تعتبر منطقة صحراوية جافة و تعاني من **السيول الفجائية** فأنه تم استخدام نموذج SCS Type II لتوزيع شدة الأمطار مع الزمن خلال العاصفة التصميمية . يبن الشكل رقم (10) و الجدول رقم (2) مقارنة نتائج هيدروغراف الجريان السطحى لأحواض الدراسة الثمانية حيث نلاحظ ان اقصى تصريف عند الحوض رقم 3 الناتج من تصريف مصب الحوض رقم 4 مع التصريف الناتج من الحوض نفسه حيث تبين ان هذان الحوضان هما السبب الرئيسى فى فيضان سنة 2024 على هذه المنطقة.



الشكل (10) مقارنة هيدروغراف الجريان السطحي للأحواض

الجدول (2) التحليل الهيدرولوجي.

اسم الحوض	أقصى معدل للجريان السطحي (م3/ث2)	حجم عمق الجريان السطحي (م3)	وقت الوصول الى الذروة (دقيقة)	زمن التركيز (ساعة)	زمن التأخير (ساعة)	زمن الذروة (ساعة)
Basin-1	4.581	30576	750	0.86974	0.52185	0.579688
Basin-2	13.38	2344863	840	2.6002	1.56012	1.733033
Basin-3	24.57	519923.7	890	0.88344	0.53006	0.588809
Basin-4	24.407	510332.7	890	4.22549	2.53529	2.816285
Basin-5	7.26	136702.5	860	3.60432	2.16259	2.402277
Basin-6	14.015	291180.3	890	4.2688	2.56128	2.845155
Basin-7	18.111	458369.7	940	5.47321	3.28393	3.647898
Basin-8	6.083	105882	840	3.0791	1.84746	2.05222

4.7 التصميم الهيدروليكى للعبارات

تتمثل وظيفة العبارات في نقل المياه السطحية تحت الطرق ؛ بالإضافة إلى هذه الوظيفة الهيدروليكية؛ ينبغي أن تحمل أيضًا حركة المرور على الطرق وأحمال التربة؛ ولذلك فإن تصميم العبارات يتضمن كلا من التصميم الهيدروليكي والإنشائي. تقتصر هذه الدراسة على التصميم الهيدروليكي للعبارات وهو عملية حسابية هندسية تهدف إلى تحديد أبعاد العبارة (القطر، الطول، الميل) ونوعها ومنسوب المدخل والمخرج بحيث تمرر الجريان السطحي الناتج عن العواصف المطرية بأمان دون التسبب في فيضان أو انهيار الطرق والمناطق المحيطة بها . يعتمد التصميم الهيدروليكي للعبارات داخل برنامج Infrawork على معايير العدد الخامس من سلسلة التصميم الهيدروليكي (Hydraulic Design Series No. 5 – HDS-5) الصادرة عن الإدارة الفيدرالية للطرق السريعة الأمريكية (FHWA) والذى يعتمد على التحليل التجريبى Trial Analysis [12]

والمستخدمة ايضا داخل دليل معايير التصميم الهندسي للطرق الليبيى الإصدار رقم 1- ابريل 2016. تم تحديد معادلات التصميم الهيدروليكي للعبارات باستخدام HDS-5 بناءً على حالتين رئيسيتين للجريان:

1. **التحكم عند المدخل (Inlet Control)** وتكون العناصر المؤثرة فى التحكم : المقطع العرضى لجسم العبارة والمواصفات الهندسية للمدخل و عمق الماء أو العمود الهيدروليكي الإجمالي عند المدخلHW
2. **التحكم عند المخرج (Outlet Control)** وتكون العناصر المؤثرة فى التحكم : منسوب الماء فى المجرى خلف العبارة , وطول العبارة و الميل الطولى لها , و خشونة جدرانها وأرضيتها.

حيث يتم مقارنة التصريف الناتج من كل حالة واختيار الأصغر، لأنه يمثل الحالة الحرجة (الحاكمة).ويعتمد HDS-5 على ثلاث معادلات رئيسية وهى كالتالى :

1. معادلة التحكم عند المدخل (Inlet Control Equation)

معادلة عامة لحساب التدفق Q :

$$Q = K \cdot A \cdot HW^{M}$$

حيث: Q : التدفق (م^3/ث^2) و K, M : معاملات تعتمد على نوع المدخل وشكل المقطع (من الجداول داخل *HDS-5*) و A : مساحة المقطع العرضي (م^2) و HW : العمود الهيدروليكي الإجمالي عند المدخل *HeadWater* او ارتفاع الماء فوق قاع العبارة عند المدخل (م)

2. معادلة التحكم عند المخرج (Outlet Control Equation)

عندما يكون الجريان مضغوطًا (الأنبوب ممتلئ):

$$HW_{total} = h_v + h_f + h_o$$

أو

$$HW = \frac{v^2}{2g} + f.\frac{L}{D}.\frac{v^2}{2g} + h_o$$

حيث h_v : طاقة الحركة للماء عند المخرج بسبب سرعته (Velocity Head) و h_f : الفقد فى الطاقة الناتج عن الاحتكاك بين الماء وجدران العبارة (Friction Loss) و f : معامل الاحتكاك (Manning) و v : السرعة داخل العبارة و g : التسارع الأرضى و L : طول العبارة و D : قطر أو ارتفاع فتحة العبارة حسب شكلها و h_o: الفواقد المحلية (Minor Losses) نتيجة الاضطرابات عند الدخول والخروج (عادة من 0.5 إلى 1.5)

3. معادلة Manning لجريان مضغوط داخل الأنبوب

عند تصميم جريان مضغوط داخل العبارة (مثل التحكم عند المخرج):

$$Q = \left(\frac{1.486}{n}\right).A.R^{\frac{2}{3}}.\sqrt{S}$$

حيث Q : التدفق (م^3/ث^2) و n : معامل Manning و A : مساحة المقطع العرضى للعبارة و R : نصف القطر الهيدروليكي و S : الميل الهيدروليكي.

تم فى هذة الدراسة تصميم ثمانية عبارات صندوقية خرسانية واستخدام معامل Manning (0.012) لجميع العبارات من خلال إدخال قيم التصريف الأقصى و احداثيات مصابب الأحواض Basin Outlet كمداخل للعبارات Culvert Inlet لبرنامج Infrawork والتقيد بمعايير التصميم الهندسي للطرق الليبيى الفقرة رقم (4-10) لتصميم العبارات الصندوقية والتى تشير الى التقيد قدر الإمكان بالشروط التالية:

- الأبعاد الدنيا للعبارات الصندوقية (1 × 1) متر
- استخدام فترة تكرار 50 سنة للتصريف التصميمى (q_{p50})
- يجب ان لايزيد عمق الماء عند مدخل العبارة عن $\frac{HW}{D} \leq 1.25$
- يجب ان تكون سرعة الجريان مابين (3-4 م/ث^2) ويجب ان لاتقل عن 0.6 م/ث^2

يبين الجدول رقم (3) نتائج التصميم لثمانية عبارات صندوقية خلال مسار الطريق المقترح حيث نلاحظ ان أكبر مساحة للعبارتان C4,C3 ناتج عن حجم الجريان السطحى .و ايضاً تجاوز طفيف لبعض العبارات للسرعة التصميمية 4 (م/ث^2) ناتج عن صعوبة التحكم فى الميول بسبب طبيعة تضاريس مدخل ومخرج العبارة ويمكن تخفيض سرعة الجريان خلف العبارة عن طريق تخشين أرضيتها او تنفيد منشأت تبديد للطاقة مثل احواض للتهدئة او طبقة حماية حجرية RipRap.

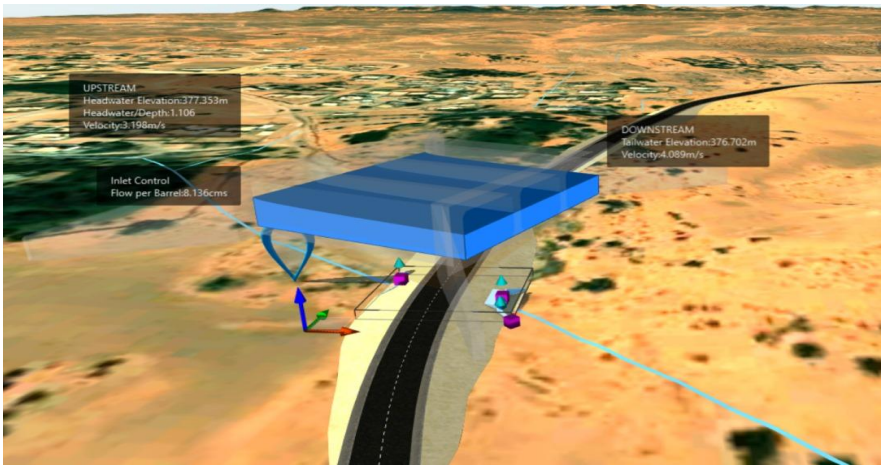
الجدول (3) التصميم الهيدروليكى.

اسم العبارة	الإحداثيات		عدد الفتحات	أبعاد الفتحات (ملم)		التدفق لكل فتحة (م^3/ث)	الطول (م)	الميل (%)	السرعة (م/ث^2)		HW/D
	X	Y		العرض	الإرتفاع				المدخل	المخرج	
C1	307428.68	3039815.63	1	2100	1200	4.58	19	0.11	2.12	2.15	1.09
C2	306536.66	3040851.42	2	2100	1500	6.69	26	1	3.13	4.07	1.06
C3	3041649.06	305997.91	3	2400	1500	8.19	25	0.78	3.21	3.96	1.11
C4	3041955.12	305930.28	3	2400	1500	8.14	28	0.89	3.2	4.09	1.11
C5	3042716.54	308613.08	2	1500	1200	3.63	26	1.39	2.86	3.99	1.1
C6	3042602.21	310929.61	3	2400	1200	4.67	21	0.92	2.78	3.56	1.04
C7	3042417.07	312451.86	3	2100	1200	6.04	20	1.11	2.9	3.84	1.13
C8	3042087.25	313913.14	2	1800	1200	3.04	24	1.54	2.9	4.02	1.14

بالإضافة الى ذلك يبين الجدول رقم 4 مناسيب انشاء مدخل ومخرج العبارات و منسوب سطح الطريق أو الردميات حيث نلاحظ ان اعلى ارتفاع للردميات (الفرق بين منسوب المخرج والردميات) فوق العبارة c4 يبلغ حوالى 1.93 متر والذى يحتاج الى دراسة عند التصميم الإنشائى للعبارة. وأيضا نلاحظ انه تم استخدام كلتا نظامى التحكم فى الجريان السطحى وان اقصى عمق هيدروليكى أمام العبارة c3 هو 1.7 متر وخلفها هو 1.29 متر والناتج عن فرق المناسيب الإنشائية والهيدروليكية امام وخلف العبارة. يبين الشكل رقم (11) نموذج ثلاثى الأبعاد للطريق و المجرى المائى والعبارة C4 موضح فيها سرعة الجريان و المناسيب الهيدروليكية .

الجدول (4) المناسيب الإنشائية والهيدروليكية للعبارات.

اسم العبارة	المناسيب الإنشائية (م)			المناسيب الهيدروليكية (منسوب المياه) (م)				نظام التحكم
	المدخل	المخرج	الردميات	أمام	المدخل	المخرج	خلف	
C1	369.76	369.74	371.1	371.1	370.78	370.74	370.74	Outlet Control
C2	370.66	370.39	372.27	372.27	371.66	371.16	371.66	Inlet Control
C3	374.43	374.23	376.13	376.13	375.48	375.08	375.52	Inlet Control
C4	375.67	375.42	377.35	377.35	376.71	376.23	376.7	Inlet Control
C5	383.22	382.86	384.56	384.56	384.05	383.45	383.88	Outlet Control
C6	383	382.81	384.27	384.27	383.78	383.42	383.81	Inlet Control
C7	378.76	378.54	380.14	380.14	379.61	379.18	379.57	Inlet Control
C8	380.24	379.87	381.62	381.62	381.1	380.49	380.91	Outlet Control



الشكل (11) نموذج ثلاثى الأبعاد للعبارة C4

5. الخلاصة والتوصيات

5.1 الخلاصة

تم فى هذه الدراسة دراسة تأثير السيول الفجائية على الطرق فى المناطق الصحراوية بالإعتماد على البيانات الجيومكانية بأستخدام برامج ومنهجية يمكنها التعامل مع هذه البيانات وتحديد الأماكن الملائمة لإنشاء عبارات تصريف المياه. حيث تبين وجود ثمانية مجارى مائية رئيسية تتقاطع مع الطريق قيد الدراسة و التى على أساسها تم تصميم عبارات المياه.

5.2 التوصيات

بالنظر لما تم سرده من استنتاجات تتعلق بالدراسة تلاحظ أنه لا تزال هناك حاجة ماسة لإجراء المزيد من الدراسة والتحليل ويمكن أن نلخص توصيات الدراسة فى التالى:

- توجيه التنمية الى المناطق منخفضة الخطورة والبعيدة عن مجاري الوديان في منطقة الدراسة.
- توعية السكان بمخاطر السيول وخطورة البناء والإقامة و الزراعة في مجاري الوديان والسهل الفيضي، والتى تزيد من قيمة رقم المنحنى وبالتالى زيادة معدل الجريان السطحى .
- عمل مسح جوى بالدرون للحصول على معلومات طبوغرافية دقيقة قد تصل الى 10 سم لزيادة دقة التصميم الهندسى للطريق والتحليل الهيدورولجى و التصميم الهيروليكى للعيارات
- التصميم الإنشائى للعبارات

6. المراجع

[1] Algassie, H., Fakroun, M., Miskeen, M. B., & Gargar, I. (2023). The use of GIS and multi-criteria fuzzy logic to assess and identify flood-prone areas in the greater Ghat region. *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, *1*(1), 37-47.

[2] Aghafir, et al. (2023). Hurricane Daniel and the catastrophic damage to the Derna Dam and the urban area. International Journal of Science and Technology, 33(2).

[3] Youssef, A. M., Pradhan, B., & Sefry, S. A. (2011). Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, southern Sinai, Egypt using GIS-based morphometry and satellite imagery. *Environmental Earth Sciences*, 62(3), 611-623.

[4] Al Saud, M. (2010). Assessment of Flood Hazard of Jeddah Area 2009, Saudi Arabia. *Journal of Water Resource and Protection*, 2(9), 839-847.

[5] El Bastawesy, M., Khalaf, F., & Arafat, S. (2013). Hydrological modelling of flash floods in arid northern Sinai using remote sensing and GIS. *Environmental Earth Sciences*, 68(4), 1025-1037.

[6] Haddad, K., Rahman, A., & Hu, G. (2020). Application of GIS-based decision support system in flood hazard assessment: a review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 50, 101856.

[7] Alfaro, C., García, C., & López, J. (2019). Impact of land use changes on flash flood risk in semi-arid regions using GIS and remote sensing. *Journal of Hydrology*, 578, 124033.

[8] مصلحة الطرق والجسور (2016) دليل معايير التصميم الهندسي للطرق، طرابلس -ليبيا.

[9] Power Data Access from NASA.https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/

[10] INRS (2008) Hyfran-Plus Software. Quebec. https://www.wrpllc.com /books/ HyfranPlus/indexhyfranplus3.html

[11] Jaafar, Hadi; Ahmad, Farah (2019): GCN250, global curve number datasets for hydrologic modeling and design. figshare. Dataset. https://doi.org/10.6084/ m9 .figshare .7756202.v1 .

[12] NRCS, U. (2009). Part 630 Hydrology National Engineering Handbook. *USDA-NRCS (United States Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service)*.

[13] Schall, J. D. (2012). *Hydraulic design of highway culverts* (No. FHWA-HIF-12-026). United States. Federal Highway Administration.

تأثير إضافة البوزلانا المحلية كبديل جزئي للأسمنت على الانكماش اللدن للخرسانة

م. محمد أحمد عقيلة[1], أ. د فؤاد فرج فروج[2]
كلية الهندسة – جامعة وادي الشاطئ
mahamadaqila235@gmail.com

الملخص

يعد التشقق المبكر خلال مرحلة اللدونة من المظاهر غير المرغوب فيها في الخرسانة، حيث يسبب مشكلات لاحقة في المتانة والأداء الهيكلي للمنشآت. ويستخدم مصطلح " تشققات الانكماش اللدن " لوصف الشقوق التي تتشكل في الخرسانة بين لحظة الصب ولحظة التصلب. يتمثل هدف هذا البحث في دراسة تأثير نسب الخلط المختلفة واستخدام البوزلانا كبديل جزئي للأسمنت، بالإضافة إلى دراسة تأثير الماء إلى الأسمنت على تشكل تشققات الانكماش اللدن، خصوصا في البيئات الحارة والجافة التي يزيد فيها معدل التبخر. تم إجراء تجارب على خلطات المونة الأسمنتية بنسب ماء إلى أسمنت بنسب (0.45–0.60–0.80) وبنسب استبدال للبوزلانا بلغت (0%،10%،20%،30%). أظهرت النتائج أن زيادة نسبة الماء إلى الأسمنت تؤدي إلى زيادة ملحوظة في تشققات الانكماش اللدن، خاصة في الخطات المرجعية، في حين أن إضافة البوزلانا بنسبة 10% ساعدت في تقليل التشققات، وتحسين تماسك الخلطة. ومع زيادة نسبة البوزلانا إلى 20% و30%، لوحظ زيادة طفيفة في التشققات، ما يشير إلى أن زيادة النسبة عن الحد المثالي قد تؤدي إلى نتائج عكسية. توصي الدراسة باستخدام 15% من البوزلانا كبديل جزئي للأسمنت لتحقيق أفضل توازن بين تقليل التشققات وتحسين أداء الخرسانة في الظرف البيئية الصعبة.

الكلمات المفتاحية: *الانكماش اللدن، البوزلانا، نسبة ماء للأسمنت، التشققات، الطقس الحار.*

Abstract

Premature cracking during the plasticization stage is an undesirable phenomenon in concrete, causing subsequent problems in the durability and structural performance of structures. The term "plastic shrinkage cracking" is used to describe cracks that form in concrete between the moment of pouring and the moment of setting. The objective of this research is to investigate the effect of different mixing ratios and the use of pozzolana as a partial cement replacement, in addition to the effect of water–to–cement ratios on the formation of plastic shrinkage cracks, particularly in hot and dry environments with high evaporation rates. Experiments were conducted on cement mortar mixes with water–to–cement ratios of 0.45, 0.60, and 0.80, and with pozzolana replacement ratios of 0%, 10%, 20%, and 30%. The results showed that increasing the water–to–cement ratio significantly increased plastic shrinkage cracking, especially in reference plots, while adding pozzolana at a rate of 10% helped reduce cracking and improve the consistency of the mixture. As the pozzolana percentage increased to 20% and 30%, a slight increase in cracking was observed, indicating that exceeding the ideal percentage may lead to adverse results. The study recommends using 15% pozzolana as a partial cement replacement to achieve the best balance between reducing cracking and improving concrete performance in harsh environmental conditions.

Keywords: *Plastic shrinkage, pozzolana, water–cement ratio, cracking, hot weather.*

1. المقدمة:

تتجه رؤية العالم نحو التنمية المستدامة في جميع المجالات، وخصوصاً في كل ما يتعلق بانبعاثات ثاني أكسيد الكربون [1] [2]. لهذا الامر، توجه العديد من الباحثين بتطوير وتحسين أنواع بدائل الاسمنت، نظراً لمساهمة صناعة الاسمنت بما يقارب 5–8% من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمي خلال مراحل تصنيعه [3] [4] [5]. وقد ظهرت البوزلانا على نطاق واسع كبديل واعد لإسمنت لتحقيق الاستدامة في تكنولوجيا الخرسانة. ويمكن استخدامها كبديل جزئي للإسمنت. وتعتبر البوزلانا مادة طينية مكلسة تحتوي على نسبة عالية من الكاولينيت الطيني المعدني، والذي يمتاز بانبعاثات أقل من ثاني أكسيد الكربون أثناء التكليس. وذلك بفضل انخفاض محتواها من الجير وانخفاض درجة حرارتها. يُحضّر الطين المُكلّس من خلال المعالجة الحرارية لطين الكاولينيت عند درجات حرارة تقارب 800 درجة مئوية، مما يؤدي إلى تحوّله إلى الميتاكاولين، وهو شكل لا مائي من الكاولينيت يمتاز بنشاط بوزولاني مرتفع يجعله مثالياً للاستخدام كمادة إسمنتية مكمّلة [6]. ويستخرج الطين المكلس في الغالب من مصادر محلية، كونه مادة طبيعية قد لا تستخدم أو تستغل بشكل كاف [7] [8] [9]. ويساهم استخدامه كمواد اسمنتية تكميلية في كفاءة استخدام الموارد في البناء، وقد تم اعتماده على نطاق واسع في مختلف دول العالم [10] [11]. كما يؤدي إضافة مادة البوزلانا إلى انتاج مصانع الاسمنت سيخفض 15 مليون طن من انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون سنوياً الناتج من مصانع الاسمنت. وفقاً لدراسات منظمة ECOSMART الكندية [12]. مما يجعلها بديلاً فعالاً ومستداماً للإسمنت البورتلاندي، ومجدياً بيئياً من خلال انخفاض الطاقة المتضمنة في صناعة الاسمنت. ومن هذا المنطلق، تم تسيط الضوء من قبل الباحثين على العديد من الخصائص البوزلانية من ضمنها الانكماش اللدن، يعد الانكماش من أكثر خصائص ضررا ومن المشاكل القديمة التي تواجه الخرسانة. فإلى جانب تأثيرها السلبي على الجانب الجمالي، فإنها تمثل نقاط ضعف محتملة تسهم في زيادة فرص التآكل أو كقنوات لدخول مسرع للعوامل البيئية الضارة مما يقلل من متانتها. بشكل خاص، تعد الخرسانة الطازجة معرضة لخطر تشققات الانكماش اللدن، والتي تنشأ ما بين زمن الصب وبداية التصلب الأولي [13] [14] وتعد الظروف المناخية الحارة، مثل ارتفاع درجة حرارة الهواء، وانخفاض الرطوبة النسبية، وزيادة سرعة الرياح، وشدة الإشعاع الشمسي، من أبرز العوامل التي تؤثر بشكل مباشر على خصائص الخرسانة في حالتيها الطازجة والمتصلدة. ويكمن الخطر الأساسي للبناء في مثل هذه الظروف، إذا لم تتخذ الإجراءات الوقائية المناسبة، في ارتفاع درجة حرارة الخرسانة الطازجة. إذ يؤدي هذا الارتفاع، خاصة عند اقترانه بانخفاض درجة حرارة الجو المحيط، وقلة الرطوبة، أو ارتفاع سرعة الرياح، إلى تسارع معدل تبخر الماء من سطح الخرسانة حديثة الصب، مما يرفع من احتمالية حدوث تشققات انكماشية لدنة [15]. ويعزي السبب الرئيسي لهذه التشققات في خرسانة الأسمنت البورتلاندي إلى معدل تبخر الماء الزائد والسريع من سطح الخرسانة، مع عدم كفاية ماء النزف لتعويض الكمية المتبخرة [16]. ومن الحلول التي طرحها خبراء الخرسانة للتقليل من اثار الظروف المناخية الحارة، اعتماد مواد إسمنتية بوزولانية، مثل دخان السيليكا، والرماد المتطاير، وخبث أفران الصهر، أو البوزلانات الطبيعية، وذلك لما توفره من فوائد تقنية واقتصادية وبيئية [17]. وفي هذا السياق، يعد البوزلان الطبيعي أحد الخيارات الفعالة، إذ يتكون من مسحوق بركاني غني بالمركبات السيليسية أو السيليسية – الألومينية، وقد استخدم منذ القدم كمادة مضافة لتحسين أداء الخرسانة. ويتفاعل هذا المكون مع هيدروكسيد الكالسيوم الناتج عن ترطيب الأسمنت لينتج مركبات **CSH**، التي تسهم في زيادة كثافة الخرسانة، وتقليل مساميتها، مما يعزز مقاومتها للظروف المناخية القاسية ويحسن من متانتها [18]. أثبتت دراسة تجريبية تأثير تركيب الخلطة الخرسانية بشكل ملحوظ على الانكماش اللدن في البيئات الحارة القاحلة، حيث ازداد كل من النزيف ومعدل التبخر بزيادة نسبة الماء إلى الأسمنت ومحتوى الأسمنت. لاحظت الدراسة أن الخلطات قليلة الصلابة أظهرت نزيفًا أقل وتشققًا مبكرًا ولكن بشدة أقل مقارنة بالخلطات الغنية باللدائن. وخلصت النتائج إلى أن خلطة تحتوي على 300 كجم/م^3 من

الأسمنت ونسبة ماء إلى أسمنت 0.40 تعد أكثر ملاءمة لتقليل تشققات الانكماش اللدن. كما أشارت الدراسة إلى أن تشقق الانكماش قد يحدث عند معدلات تبخر أقل من القيم المحددة في معايير ACI 305، مما يستدعي إعادة النظر في هذه القيم عند تصميم الخرسانة في البيئات القاحلة [16]. وكما اجري بحث تجريبي لدراسة تأثير ثلاثة عوامل رئيسية على الانكماش الأولي لأسمنت بورتلاند والأسمنت عالي المقاومة للكبريتات، وهي: نسبة الماء إلى الأسمنت، ومحتوى الملدن الفائق (MC–PowerFlow PF 7951) ومحتوى الميتاكاولين كبديل جزئي للأسمنت. وأظهرت النتائج أن زيادة نسبة الماء إلى الأسمنت أدت إلى ارتفاع ملحوظ في الانكماش، خاصة في الأسمنت عالي الأليت والألومينات مقارنة بالأسمنت عالي البيليت والسيليت. كما تبين أن إضافة الملدن الفائق تزيد من الانكماش لكلا النوعين من الأسمنت، مع تقارب قيم الانكماش بينهما عند استخدام نسب أعلى من الملدن. من جهة أخرى، ساهم استبدال جزء من الأسمنت بالميتاكاولين في خفض الانكماش الأولي، وكان تأثيره أوضح على الأسمنت عالي الأليت. أوصت الدراسة بإجراء أبحاث إضافية لاستكشاف تأثير هذه العوامل على الخرسانة المتماسكة بالرماد المتطاير [19].

2. أهمية البحث

يهدف هذا البحث إلى تحليل وتقيم تأثير نسب الخلط المختلفة، تحديدا نسبة الماء إلى الأسمنت، مع استخدام مادة البوزلانا كبديل جزئي للأسمنت على تطور تشققات الانكماش اللدن في الخرسانة المعرضة لظروف بيئية حارة وجافة. كما يهدف إلى تحديد النسبة المثلي من إضافة البوزلانا التي تسهم في تحسين مقاومة الخرسانة للتشققات المبكرة وتقليل معدل التبخر، مما يعزز من جودة الخرسانة ومتانتها في المراحل الأولية من عمرها الإنشائي. إضافة إلى ذلك، يسعى البحث إلى تحديد أفضل نسبة ماء إلى اسمنت في الخلطات المرجعية لتحقيق توازن مثالي بين قابلية التشغيل وتقليل الانكماش اللدن، وتقديم توصيات عمليات قابلة للتطبيق في مشاريع البناء الواقعة ضمن بيئات مناخية قاسية.

3. منهجية البحث

تنقسم هذه الدراسة الى جزئين الجانب النظري والجانب العملي: –

3.1 الجانب النظري

في هذه المرحلة، تم تجميع المعلومات الكافية والحديثة حول موضوع البحث من خلال استعراض الدراسات السابقة، بما في ذلك البحوث والرسائل والأوراق العلمية المنشورة. يمثل هذا العمل جزءًا من دراسة، حيث لا يزال البحث جاريًا لاستكمال تحليل العوامل المتعددة التي تؤثر على ظاهرة الانكماش. وقد ركزت هذه الدراسات بشكل خاص على تأثير نسب الخلط مع استخدام البوزلانا كبديل جزئي للأسمنت على التشققات اللدنة في الخرسانة. وتُعد دراسة هذه العوامل تمهيدًا لبحث مستقبلي يهدف إلى تعميق الفهمين النظري والتطبيقي لظاهرة الانكماش ضمن ظروف تشغيلية مختلف

3.2 الجانب العملي

تم الحصول على البوزلانا الطبيعية المحلية من الموقع تمنهنت، حيث خضعت لعملية تكسير أولي إلى أحجام صغيرة مناسبة، تلتها عملية معالجة حرارية استمرت لمدة ساعتين عند درجة حرارة 800درجة مئوية. بعد ذلك، تم طحن العينة إلى أن وصلت إلى مستوى النعومة المطلوب، بحيث تمر عبر منخل 90ميكرومتر (μm).

الجدول (1) يوضح تحليل الكيميائي لعينة تمنهنت.

أما الركام الناعم فقد تم توريده من رمال زلاف، وأجريت عليه اختبارات معملية للتحقيق من مدى توافقه مع المواصفات الفنية المعتمدة.

الجدول (1): تحليل الكيميائي لعينة تمنهنت [20]

العنصر	النسبة المئوية (%)
SiO_2	68.85
Al_2O_3	20.26
Fe_2O_3	1.98
Ttal (SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3)	91.09
CaO	6.53
SO_3	0.0
K_2O	0.0
MgO	0.0
TiO_2	0.67
Cl^-	0.0
Na_2O	0.48

تم استخدام الإسمنت البورتلاندي العادي المنتج من مصنع البرج (زليتن)، وهو من الأنواع المتداولة محليًا ويتوافق مع المواصفات القياسية المعتمدة. فيما يتعلق بأعمال القوالب، تم تصنيع قوالب خشبية يدويًا بأبعاد (2.5 × 50 × 50) سم، وذلك لاستخدامها في عمليات الصب وإجراء الاختبارات اللاحقة. وقد تم تصميم هذه القوالب بأبعاد مناسبة لقياس الانكماش الطولي بدقة، استنادًا إلى متطلبات اختبار الانكماش، وليس وفق مواصفة قياسية محددة. تم اعتماد هذه الأبعاد لتحقيق توازن بين تقليل الكميات المستخدمة من البوزلانا، والحفاظ على وضوح النتائج التجريبية ودقتها.

قمنا بتصميم خلطات المونة الإسمنتية مع إضافة البوزلانا المحلية كبديل جزئي للإسمنت بنسب متفاوتة (0–10–20–30) % وكذلك نسبة الماء للإسمنت بنسب مختلفة (0.45–0.60–0.80). وجدول (2) يوضح الرموز المختصرة للعينات.

الجدول (2): الرموز المختصرة للعينات

نسبة البوزلانا				
30%	20%	10%	0%	W\C
A30	A20	A10	A0	0.45
B30	B20	B10	B0	0.60
C30	C20	C10	C0	0.80

3.3 الاختبارات المعملية

تم توريد كافة مكونات الخلطة الإسمنتية الى موقع العمل، حيث تم إجراء عملية الخلط والصب داخل القوالب الخشبية تحت ظروف جوية متجانسة، بلغت خلالها درجة حرارة الجو 36درجة مئوية، وسرعة الرياح 17كم/س، بينما سجلت الرطوبة النسبية 12%. تم أخذ ثلاث

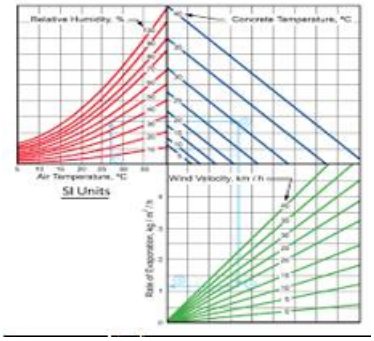
عينات لكل حالة، وتم احتساب المتوسط بين القراءات الثلاث للحصول على نتائج أكثر دقة. تضمنت الدراسة استخدام نسب استبدال مختلفة من البوزلانا الطبيعية بدلاً من الاسمنت البورتلاندي، وفق نسب مختلفة:0%،10%،20%،30% من الوزن الكلي للأسمنت. تم تنفيذ عملية الخلط الجاف أولا لضمان تجانس مكونات الخلطة، خاصة من حيث توحيد اللون بين البوزلانا، والأسمنت، والرمل. وقد تم اعتماد نسبة أسمنت إلى الرمل تعادل (3:1)، وذلك وفقا للمعايير والمواصفات الفنية المعتمدة.علاوة على ذلك، تم استخدام ثلاث نسب مختلفة من الماء إلى الأسمنت لكل خلطة في الخلطات المختبرة، وهي: 0.45،0.60،0.80 وذلك بهدف دراسة تأثير نسبة الماء إلى الأسمنت على خصائص الخلطة. وشكل (1) يوضح مكونات العينة B10 وشكل (2) يوضح الخلطات المختبرة.

شكل رقم (1): مكونات الخلطة B10

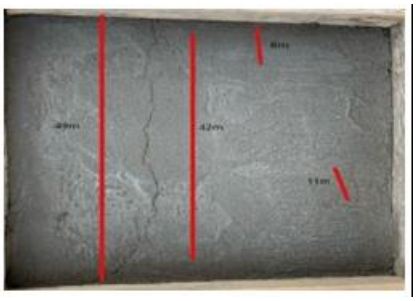
شكل رقم (2): الخلطات مختبرة

4. مناقشة النتائج

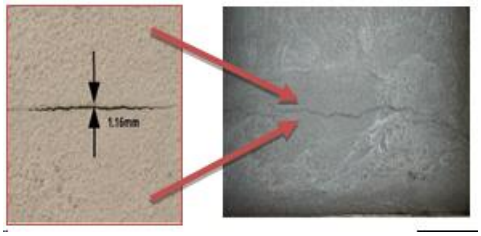
تم عرض نتائج العينات المدروسة في مخططات، ومقارنتها بالعينة المرجعية التي تحتوي فقط على الإسمنت البورتلاندي العادي. كما شملت المقارنة خلطات التي تحتوي على نسب مختلفة من البوزلانا، بالإضافة إلى اختلاف نسب الماء إلى الأسمنت. تم استخراج البيانات من الموقع العمل، وشملت النتائج ما يلي: – درجة حرارة الخرسانة، زمن ظهور أول تشقق، طول التشقق، عرض التشقق، معدل التبخر، وقد تم حساب معدل التبخر بناء على درجة حرارة الجو، وسرعة الرياح، والرطوبة، ودرجة حرارة الخلطة، وذلك باستخدام مخطط يعتمد على المواصفات العالمية كما موضح في شكل (3). أما بالنسبة لطول التشققات، فقد تم قياس الأطوال الموجودة على سطح العينة، ثم أخذ متوسط هذه الأطوال للحصول على القيمة التمثيلية. وبالمثل، تم حساب عرض التشققات، وحساب زمن أول ظهور التشقق والشكل (4) يوضح عرض التشقق والشكل (5) يوضح اطوال التشقق. تشير الأشكال من (6) إلى (9) إلى المخططات البيانية التي توضح نتائج الدراسة.



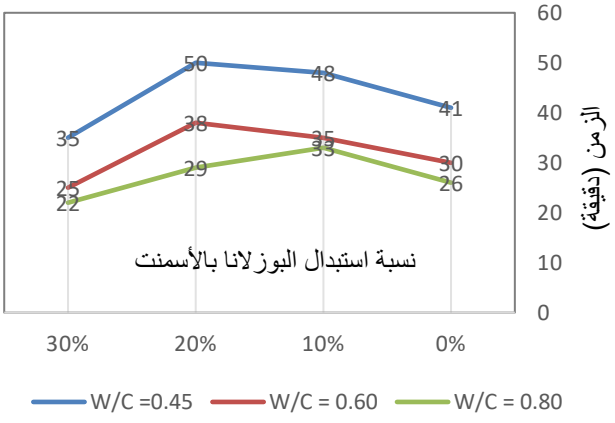
شكل رقم (3): منحنى قياس معدل التبخر [21]



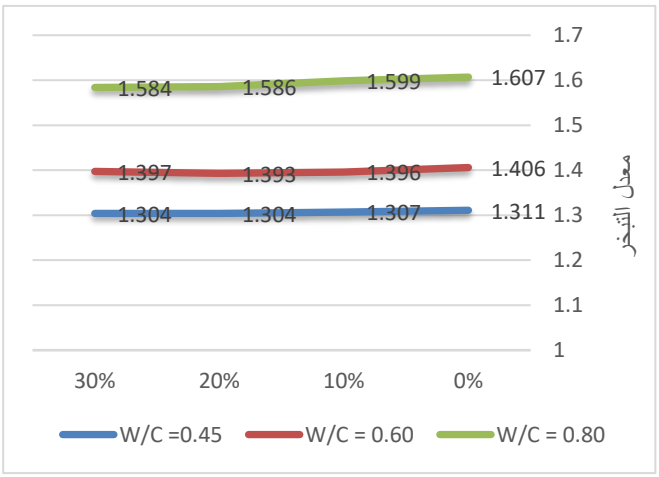
شكل رقم (4): عرض التشقق



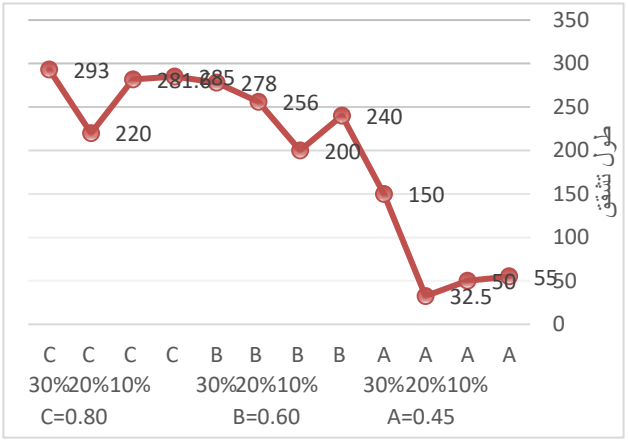
شكل رقم (5): أطوال التشققات



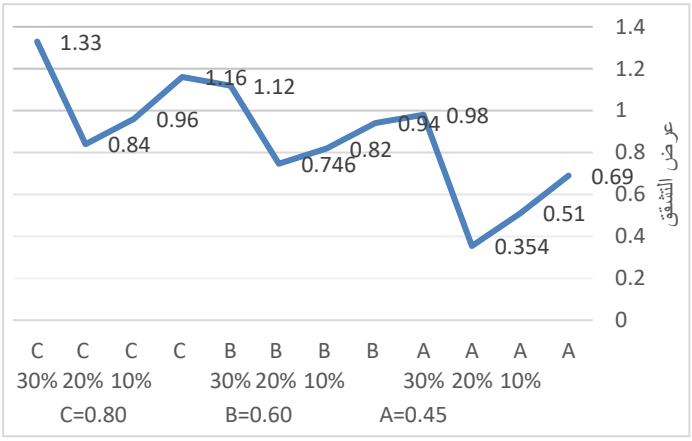
شكل رقم (6): زمن أول ظهور التشققات (دقيقة)



شكل رقم (7): معدل التبخر كجم/(م^2 س)



شكل رقم (8): اطوال التشققات (مم)



شكل رقم (9): عرض التشققات (مم)

بالنسبة لظهور التشققات في العينات، فقد تبين بشكل واضح أن زمن ظهور أول تشقق يزداد مع انخفاض نسبة الماء إلى الأسمنت، وكانت هذه الزيادة ملحوظة عند نسب 0%و10%و20%. أما عند زيادة نسبة البوزلانا إلى 30%، فقد لوحظ أن زمن ظهور أول تشقق يقل في جميع العينات المدروسة. ويمكننا من ذلك استخلاص النتيجة التالية: إن كمية المياه في العينة تؤثر بشكل واضح على توقيت ظهور أول تشقق، حيث إن زيادة كمية المياه تؤدي إلى ظهور التشققات في وقت أبكر، خاصة في الأجواء الحارة والجافة. كما أن زيادة كمية البوزلانا لها تأثير إيجابي في الحد من هذه الظاهرة.

بالنسبة لمعدل التبخر، فقد تبين أنه ثابت تقريبا لجميع العينات التي أجريت عليها التجارب، وذلك بمختلف نسب الماء إلى الأسمنت. وقد أظهرت النتائج أن معدل التبخر تغير بنسب طفيفة جدا لا تتجاوز 1%، مما يشير إلى ثباته سواء مع إضافة البوزلانا أو بدونها. ويعزي هذا الثبات إلى درجة حرارة الجو المحيط، إذ يزداد معدل التبخر في درجات الحرارة العالية لجميع العينات، ويمكن رصد هذا الفرق بشكل أوضح بدرجات الحرارة المعتدلة، في فصل الشتاء.

بالنسبة لطول التشققات، يلاحظ بشكل واضح أن إضافة مادة البوزلانا إلى العينات المدروسة بنسبة 10% و20% أدت إلى انخفاض في طول التشققات، وذلك في العينات التي تحتوي على نسبة منخفضة من الماء إلى الأسمنت. أما في العينات الأخرى، فقد لوحظ ازدياد في طول التشققات. ويلاحظ بوضوح أن زيادة نسبة الى 30% تسببت في ارتفاع ملحوظ في طول التشققات.

بالنسبة لعرض التشققات، يلاحظ بشكل واضح أن إضافة مادة البوزلانا إلى العينات المدروسة بنسبة 10% و20% أدت إلى انخفاض في لعرض التشققات، وذلك في العينات التي تحتوي على نسبة منخفضة من الماء إلى الأسمنت. أما في العينات الأخرى، فقد لوحظ ازدياد في عرض التشققات. ويلاحظ بوضوح أن زيادة نسبة الى 30% تسببت في ارتفاع ملحوظ في عرض التشققات.

5. الخلاصة

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل خصائص الانكماش في الخرسانة في حالتيها اللدنّة، من خلال استخدام المواد البوزلانية المحلية المتماثلة. وقد اعتمدت الدراسة على مواقع تمنهنت. تم في هذه الدراسة إحلال جزء من الأسمنت البورتلاندي العادي بنسب مختلفة من هذه المواد

المستخلصة، وأيضا بنسب مختلفة من كمية ماء إلى الأسمنت ومن ثم تقييم تأثيرها على خصائص الخلطات المدروسة. أظهرت النتائج أن إضافة هذه المواد كان لها تأثير إيجابي ملحوظ على معظم الخلطات الخرسانية، وأسفرت عن نتائج جيدة تؤكد فاعلية هذه الطريقة. توصلت هذه الدراسة إلى النتائج الآتية.

ظهرت النتائج أن معدل التبخر يزداد مع زيادة نسبة ماء الخلط إلى الأسمنت، بينما يؤدي استخدام البوزلانا المحلية كمادة مضافة إلى تقليل معدل التبخر. سُجِّلت أعلى قيمة لمعدل التبخر عند الخلطة رقم(C0)، في حين كانت أقل من القيمة عند الخلطة رقم (0A) لنسبة لزمن ظهور أول تشقق، فقد ظهر أول تشقق في الخلطة (C0) بعد مرور 22 دقيقة، بينما تأخر ظهور أول تشقق في الخلطة (A10) حتى 50دقيقة ومن خلال النتائج، لوحظ أن زيادة نسبة ماء الخلط إلى الأسمنت تؤدي إلى زيادة معدل الانكماش المبكر للخرسانة. ومن خلال النتائج، لوحظ أن زيادة نسبة ماء الخلط إلى الأسمنت تؤدي إلى زيادة معدل الانكماش المبكر للخرسانة.

يُمكن الاستفادة من استخدام المواد البوزلانية الطبيعية، مثل الطين، بعد معالجتها حرارياً وطحنها إلى درجة مناسبة، وذلك بإدخالها في إنتاج الخرسانة لتحقيق بعض الأهداف المرجوة، مثل تقليل تكلفة الإنتاج وتحسين جودة الخلطة. كما تساهم هذه المواد في تعزيز بعض خصائص الخرسانة، كخفض معدل فقدان الماء، وتأخير ظهور التشققات الناتجة عن انكماش اللدن، إضافةً إلى الحد من توسعها، مما يؤدي إلى تحسين متانة الخرسانة بشكل عام.

كلما زادت كمية ماء للأسمنت يزداد التشقق وبتالي ينتج عنه زمن اول ظهور للتشقق أفضل نسبة ماء الي الأسمنت بين 0.45 و0.60 استخدام نسبة الإحلال تتراوح بين 10% الى 20% من الميتاكاولين في المونة الاسمنتية.

6. التوصيات

1- نظرًا لأهمية المواد البوزلانية المحلية في تحسين خصائص الخرسانة، يُوصى بإجراء مزيد من البحوث والدراسات المتعمقة حول تأثير هذه المواد على خصائص أخرى مثل الانكماش الجاف، والمرونة، والزحف، والنفاذية، وغيرها من الخصائص التي تؤثر في أداء الخرسانة على المدى الطويل. إن دراسة هذه التأثيرات بشكل شامل سيسهم في تحسين فهمنا لكيفية استفادة الخلطات الخرسانية من المواد البديلة، وبالتالي تعزيز استدامة المنشآت وتقليل التكاليف المرتبطة بالصيانة والتقوية المستقبلية.

2- يوصى باستخدام نسبة ماء إلى أسمنت تتراوح بين 0.45 و0.60 للحصول على أفضل أداء للخرسانة من حيث المتانة والصلابة.

3- يوصى باستخدام نسبة إحلال من الميتاكاولين تتراوح بين 10% إلى 20% في المونة الأسمنتية لتعزيز الخصائص الميكانيكية وتحسين أداء الخرسانة. يوصى إعادة تقييم نسب الخلط للخرسانة عبر دمج البوزلانا المحلية كبديل جزئي للمواد الأسمنتية ويُقترح توسيع نطاق الدراسة ليشمل أنواعًا متعددة من الأسمنت، وليس الاقتصار على الإسمنت البورتلاندي العادي.

4- يوصى بجمع عينات من البوزلانا من مواقع مختلفة ودراسة تأثيرها على خصائص الخرسانة، بهدف تقييم مدى اختلاف تأثيرها على المتانة، والزحف، والانكماش، والمقاومة للتآكل، وذلك لتحسين استخداماتها في التطبيقات الهندسية المختلفة.

7. المراجع

[1] J. Min, G. Yan and A. Abed. “The effect of carbon dioxide emissions on the building energy efficiency.” *Fuel*, vol. 326, no. 10, p. 124842, 2022, https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022. 124842

[2] Y. Nassar, K. Rateb and S. Alsadi. "Air Pollution Sources in Libya." *Research & Reviewrs Journal of Ecology and Environmental Sciences*, vol. 6, no. 1, pp. 63-79 2018. https://www.researchgate.net/publication/323526028

[3] S. Nie a, J. Zhou a, and F. Yang, "Analysis of theoretical carbon dioxide emissions from cement production: Methodology and application," *J. Clean. Prod.*, vol. 334, p. 130270, 2022, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130270

[4] M. Zahirul Khaiyum and S. Sarker, "Evaluation of Carbon Emission Factors in the Cement Industry: An Emerging Economy Context," *Sustainability*, vol. 21, p. 15407, 2023. https://doi.org/10.3390/su152115407

[5] O. Alobaydy, "Impacts of Cement Production on the Environment with Practical Solutions: A critical review,". J. *Res. Technol. Eng*, vol.2, p. 12-27, 2024. https://www.researchgate.net/publication/380210555

[6] M. Wyrzykowski, "Plastic shrinkage of concrete made with calcined clay-limestone cement.". *Cement and Concrete Research.*vol.189, p. 107784, 2025. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2025.107784

[7] H. M. Hamada a b and F. Abed a, "Effect of Volcanic Ash and Natural Pozzolana on mechanical properties of sustainable cement concrete: A comprehensive review,". Case Studies in Construction Materials vol. 19, p. 2425, 2023, https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02425

[8] H. Wang b and X. Liu, "Pozzolanic activity evaluation methods of solid waste: A review,". *J. Clean. Prod.*,vol. 402, p.136783 2023, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136783

[9] G. A. A.a and A. M. O, "Insights on Sarooj: Oman's Traditional Pozzolan,". *Second International Conference on Advances in Cement and Concrete Research*,, 2023. https://www.researchgate.net/publication/380428118

[10]M. Abdulqader a and H. R. Khalid, "Physicochemical properties of limestone calcined clay cement (LC3) concrete made using Saudi clays,". *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 25, p. 2769-2783 ,2023,: https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.06.114

[11]J. Mwiti Marangu and K. Riding, "Potential for Selected Kenyan Clay in Production of Limestone Calcined Clay Cement," 2020. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-2806-4_3

[12]A. A.-Q. Yahya Abu Saiba, "A reference study on the possibility of substituting some materials as a partial alternative to cement with concrete in Libya.". *The 4th international conference of Sciences and Technology*,vol.20, p.1722, 2021. https://doi.org/10.51984/jopas.v20i4.1722

[13]P. Lura, "Influence of Shrinkage Reducing Admixtures on the Development of Plastic Shrinkage Cracks,". *ACI Materials Journal*, vol.104, p. 187-194, 2007. https://www.researchgate.net/publication/266079850

[14]I. M. G. Bertelsen, L. M. Ottosen, and G. Fischer, "Influence of fibre characteristics on plastic shrinkage cracking in cement-based materials: A review," *Constr. Build. Mater.*, vol. 230, p. 116769, Jan. 2020. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116769.

[15]M. . Maslehuddin, "Effect of curing methods on shrinkage and corrosion resistance of concrete,". *Construction and Building Materials*,vol.41, p. 634-641, 2013. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.12.064

[16]A. .A Almusallam and M. Maslehuddin, "Effect of mix proportions on plastic shrinkage cracking of concrete in hot environments", *Construction and Building Materials*, vol.12, p. 353-358, 1998. https://doi.org/10.1016/S0950-0618(98)00019-1

[17]M. Nasir, "Effect of placement temperature and curing method on plastic shrinkage of plain and pozzolanic cement concretes under hot weather,". *Construction and Building Materials*, p. 943-953, 2017. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.068

[18]S. Ahmad, "Influence of admixing natural pozzolan as partial replacement of cement and microsilica in UHPC mixtures,". *Construction and Building Materials*, vol. 198, p. 437-444, 2019. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.260

[19]K. Usanova, "Plastic shrinkage of concrete modified by metakaolin,". Magazine of Civil Engineering, vol. 103, p. 2712-8172, 2021. http://engstroy.spbstu.ru

[20]R. Taher, "Effect of adding local pozzolana on different types of cement.,". Wadi Al-Shati University, Sabha, Libya, 2024.

[21]A. Akasha, Concrete Technology (1st ed.), *Sabha University Publications*. p.155, 2

العلاقة بين مؤشّر حالة الرصف (PCI) ونظام مسح وتقييم الحالة (CRS) للطرق الإسفلتية باستخدام تقنيات تعلم الالة

م. معمر ونيس عمر [1] , أ.د. محمد عمران امبارك السكبي [2] , د. مراد علي حسن [3]
1 طالب دراسات عليا (قسم الهندسة المدنية – كلية الهندسة – جامعة طرابلس) mwo12esh10@gmail.com
2 أستاذ الهندسة المدنية – كلية الهندسة – جامعة طرابلس mimbarek@hotmail.com
3 أستاذ مساعد – كلية تقنية المعلومات – جامعة بني وليد moradali@bwu.edu.ly

الملخص

تُعتبر عملية مسح وتقييم حالة الرصف عنصرًا أساسيًا في نظام إدارة الرصف (PMS)، وتهدف إلى توفير البيانات حول حالة الرصف لاتخاذ القرارات المتعلقة بصيانته والحفاظ عليه، يتم استخدام العديد من الأنظمة لتقييم حالة الرصف من قبل الادارات المسؤولة عن الطرق، والتي تختلف فيما بينها من حيث آلية جمع البيانات الميدانية التي يتم استخدامها لتقييم حالة الرصف، وتُعد هذه الأنظمة من الأدوات الرئيسية في تخطيط وتصميم برامج الصيانة بكفاءة وفعالية.

تناولت هده الورقة دراسة بين نظامين من أنظمة تقييم حالة الرصف هما: مؤشر حالة الرصف (PCI) ونظام مسح وتقييم الحالة (CRS)، والعمل على تحديد الارتباط وإيجاد العلاقة الرياضية بينهما بحيث يمكن استخدامها للتحويل بين النظامين والاستفادة من التقنيات والبيانات التي يتضمنها كل نظام في اعمال التقييم لحالة الرصف في ليبيا. لتحقيق هذا الهدف تم تطبيق النظامين المذكورين على خمسة قطاعات من الرصف الاسفلتي في مدينة بني وليد بطول إجمالي للقطاعات 31.500 كيلومتر. تمت عملية جمع البيانات بأسلوب الفحص البصري وقياس الأضرار المرئية وكذلك جمع صور لأضرار الرصف من القطاعات المختارة. تم استخدام خوارزمية الانحدار الخطّي والانحدار متعدد الحدود في تعلّم الالة لتحليل البيانات، وتم إتباع المنهج الوصفي التحليلي للوصول الى نتائج علمية موثوقة. أسفر التحليل عن انتاج علاقة تربط بين النظامين، مع قيمة معامل التحديد (Adjusted R^2= 0.884) للمعادلة الخطية، و(Adjusted R^2= 0.92) للمعادلة متعددة الحدود، مع ارتباط بين PCI و CRS قيمته ($r = 0.94$). يمكن استخدام هذه العلاقات في تقييم حالة الرصف، والمساهمة في تعزيز دقة وكفاءة القرارات المتعلّقة بالصيانة والحفاظ على الرصف في ليبيا.

الكلمات الدالة: إدارة الرصف، حالة القطاع، PCI، CRS.

Abstract

Pavement survey and condition assessment are fundamental components of the Pavement Management System (PMS), aiming to provide essential data on pavement conditions to support maintenance and preservation decisions. Various systems are employed by road authorities to evaluate pavement condition, differing mainly in the methods used for field data collection. These systems serve as key tools for the efficient and effective planning and design of maintenance programs.

This paper presents a study comparing two pavement condition evaluation systems: Pavement Condition Index (PCI) and Condition Rating Survey (CRS). The objective is to determine the correlation and establish a mathematical relationship between them, enabling conversion between the systems and leveraging the techniques and data provided by each system in pavement condition assessment in Libya. To achieve this, both systems were applied to five asphalt pavement sections in the city of Bani Walid, with a total length of 31.5 km. Data were collected through visual inspections, measurement of visible distresses, and photographic documentation of pavement defects from the selected sections.

Linear and polynomial regression algorithms within a machine learning framework were employed to analyze the data, following a descriptive-analytical approach to achieve reliable results. The analysis produced a relationship between the two systems, with an adjusted R^2 of (0.884) for the linear model and (0.92) for the polynomial model, and a correlation coefficient of r = 0.94 between PCI and CRS. These relationships can be utilized for pavement condition evaluation and contribute to enhancing the accuracy and efficiency of maintenance and preservation decision-making in Libya.

Keywords: *Pavement Management, Section Condition, PCI, CRS*

1. المقدمة:

تمثل الأرصفة مكونًا أساسيًا في نظام البنية التحتية، وأداؤها السليم ركيزة للتنمية. ان إدارة صيانة الرصف تشكل تحديا كبيرا لمتخذي القرار والمهندسين بسبب التكاليف العالية والتعقيدات الفنية المرتبطة بتقييم حالة الرصف، يُمكن للتقييم الدقيق اختيار أساليب الصيانة، وتحديد تكاليفها الفعلية، وتحسين استثمار الموارد. تعتمد الاستراتيجيات الحديثة على نماذج تنبؤيه تربط أنظمة تقييم الرصف المختلفة، لتحسين كفاءة نظام إدارة الرصف وتخفيض تكاليف الصيانة عبر التنبؤ الدقيق بحالة الرصف [1].

تتم عملية تقييم الرصف لتحديد الحالة الوظيفية والانشائية لقطاع الطريق لأغراض الصيانة والحفاظ على الرصف. تتعلق الحالة الوظيفية بجودة القيادة والسلامة على الطريق، في حين تتعلق الحالة الانشائية بقدرة الرصف على نقل الأحمال وسمك الطبقات وكذلك خصائص المواد [2]. تعد عملية مسح وتقييم حالة سطح الرصف أحد المكونات الرئيسية في برنامج إدارة الرصف، حيث يمكن من خلالها المراقبة والقياس والتقييم والتحليل لبيانات الحالة وأداء الرصف. وهي تعتمد على تقييم أضرار الرصف، التي تعتبر علامة رئيسية تعبر عن حالة الرصف وعادة ما تظهر في صورة شقوق ورقع وحفر وتشوهات وعيوب على سطح الرصف [1].

أشار برنامج أداء الرصف طويل الأجل (LTPP) إلى أن أضرار الرصف مثل (الشقوق، الحفر) تُعد مؤشرات حاسمة في أنظمة إدارة صيانة الرصف. بينما لا تتطلب معظم هذه الأنظمة بيانات عالية الدقة (كالقياسات المليمترية)، فإن تصنيف مستويات شدة الأضرار (منخفض، متوسط، عالٍ) يظل كافيًا لاتخاذ قرارات الصيانة المناسبة لجميع الإدارات [3].

يشير نظام حالة الرصف إلى القيمة التي تحدد أداء قطاع الرصف أو الشبكة بأكملها، وتعتمد النتيجة على الفحص البصري والقياسات لأضرار الرصف، يتم اختيار نتيجة التقييم لقطاع معين حسب النظام المستخدم في التقييم وذلك من مقياس يتراوح من 0 – 100 لمؤشّر حالة الرصف ومن 1 – 9 لنظام مسح وتقييم الحالة [1].

أنظمة تقييم حالة الرصف تختلف من حيث المبدأ باختلاف مسمياتها في عملية تقييم حالة الرصف إلا أن الهدف منها هو تقييم حالة الرصف من أجل الوصول الى سياسات تساعد في اتخاذ القرارات المتعلقة بصيانة الرصف والحفاظ عليه.

1.1 الدراسات السابقة

نشرت دراسة في يوليو 2020 لمبارك وسلام حول استخدام مؤشر الحالة لتوصيف أضرار الرصف بهدف تحسين حالتها في المستقبل .استخدمت الدراسة أربعة مؤشرات، ووجدت ارتباطا بين مؤشر الأضرار ومؤشر الخدمة الحالي .أوصت باستخدام مؤشر خدمة الرصف كخيار أول. [4].

في دراسة لحاسبيان وسورباكتي عام 2019 العلاقة بين مؤشر حالة الرصف ومؤشر الخشونة الدولي .أظهرت النتائج أضرارًا في الرصف مثل التخدد والشقوق .كان مؤشر الخشونة جيدًا بينما كان مؤشر حالة الرصف مقبولًا .وأكدت الدراسة وجود علاقة قوية ومعاكسة بين المؤشرين [5].

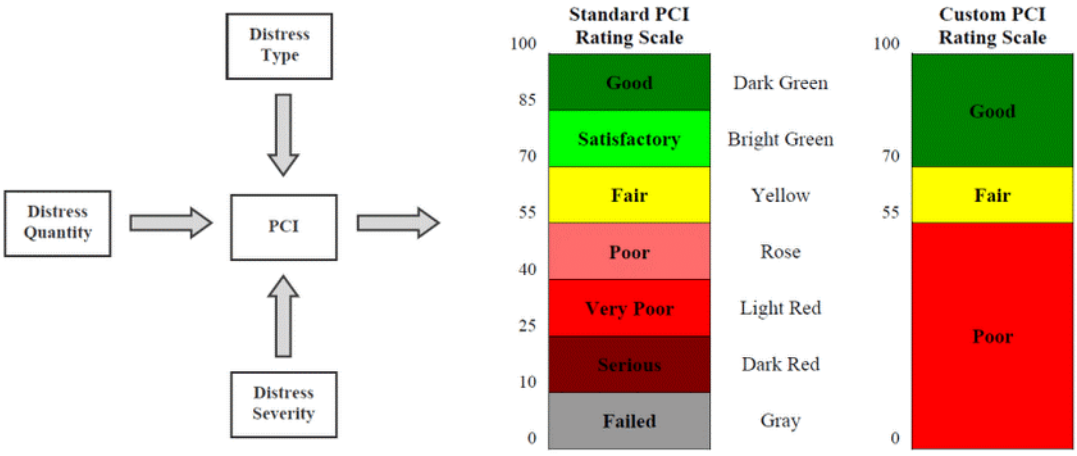
نشر نجوين دراسة في 2017 حول العلاقة بين مؤشر الخشونة الدولي ومؤشر الخدمة الحالي للرصف. أظهرت الدراسة وجود علاقة قوية بينهما، مما ساعد في تقييم جودة الرصف الاسفلتي والخرساني بشكل أسرع وأقل تكلفة [6].

في دراسة حديثة نشرت عام 2022 لكل من عبد المطلب على ومحمد السكبي عرضا من خلالها تطوير نموذج تقييم مؤشر حالة الرصف لأرصفة الطرق في ليبيا باستخدام تعلم الآلة [7]. وفي دراسة أخرى لهما في نفس السنة قدما نموذجا آخر للتنبؤ بمؤشر حالة الرصف باستخدام تعلم الالة والتحليل التقليدي [8]. وفي دراسة ثالثة لنفس الفريق تم فيها تقديم نموذج للتنبؤ بمؤشر حالة الرصف باستخدام تقنيات المنهج الضبابي [9].

1.2 مؤشر حالة الرصف Pavement Condition Index (PCI)

مؤشر حالة الرصف هو نظام لتقييم حالة الرصف ويعرف اختصارا بـ PCI، طوره لواء المهندسين في الجيش الأمريكي (US Army Corps of Engineers) واعتمدته الجمعية الأمريكية للاختبارات والمواد (ASTM)، وقد لقى قبولا واسع وخاصة في مجال أرصفة المطارات والطرق ومواقف السيارات. تم اعتماده رسميا كطريقة قياسية من قبل العديد من إدارات الطرق في العديد من الدول. وتم نشره بواسطة الجمعية الامريكية للاختبارات والمواد (ASTM D5340) [10] [11].

في هذا النظام يستخدم مقياس لتصنيف حالة الرصف يتراوح من 0 – 100 حيث يعبر الرقم 100 عن رصف بحالة جيدة ويعبر الرقم 0 عن الفشل الكامل للرصف، ويعتمد حساب مؤشر حالة الرصف على مسح حالة الرصف بصريا (Visual Condition Survey) ويتم فيه تحديد نوع الضرر ومستوى شدته. الشكل (1) يوضّح المقياس المعتمد لوصف حالة الرصف [11].



الشكل (1) مؤشّر حالة الرصف (PCI) مقياس التقييم والألوان المقترحة.

تم تطوير مؤشر حالة الرصف ليعبر عن حالة منشأ الرصف والحالة التشغيلية لسطح الرصف، وأيضا توفير معلومات عن الاضرار التي يتم الحصول عليها من مسح حالة الرصف، وتقييم لأسباب الأضرار ما إذا كانت مرتبطة بالأحمال المرورية والمناخ أو عوامل أخرى.

2. مسح تقييم الحالة Condition Rating Survey (CRS)

يُعَد نظام مسح تقييم الحالة، المُعتمد من قِبَل إدارة النقل بولاية ألينوي الأمريكية (IDOT) منذ عام 1974، آليةً تقييميةً كميةً تعتمد على قيم رقمية لوصف الحالة السطحية للرصف ضمن أربع فئات تصنيفية رئيسة: ممتاز، جيد، مقبول، وسيء. يتم تمثيل حالة الرصف وفق هذا النظام عبر مقياس عددي دي مدى واسع يبدأ من 1.0 (الذي يُعبّر عن حالة الفشل الهيكلي الكامل للرصف) إلى 9.0 (الذي يُشير إلى الرصف حديث الإنشاء أو ذي الحالة المثلى). الجدول (1) يوضّح نطاقات نظام مسح وتقييم الحالة [12].

يهدف هذا النظام إلى توفير إطار منهجي موحد لرصد تدهور الرصف، وذلك عبر دمج المؤشرات الكمية والنوعية في نموذج تقييم متكامل للتشخيص الكمي للأضرار، مثل الشقوق، والحفر والتشوهات، مع تصنيفها وفق مستويات شدة مُحددة (خفيفة، متوسطة، شديدة)، مما يُسهّل عملية اتخاذ القرارات المبكرة في إدارة صيانة الرصف، وذلك من خلال تحديد أولويات الصيانة، وتحسين توزيع الموارد المالية والفنية، بما يُعزز كفاءة الاستثمارات طويلة الأمد في قطاع النقل [12].

الجدول (1) نطاق CRS

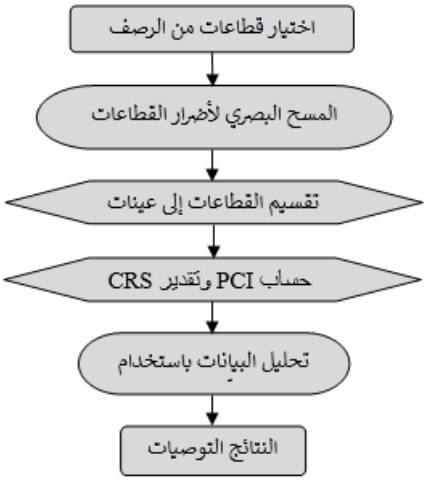
نطاق CRS	وصف الحالة
7.6 – 9.0	Excellent
6.1 – 7.5	Good
4.6 – 6.0	Fair
1.0 – 4.5	Poor

3. منهج البحث

تهدف هذه الورقة إلى ايجاد نموذج رياضي يربط بين نظامي (PCI) و (CRS) باستخدام احدى خوارزميات تعلّم الآلة، وذلك عبر تحليل بيانات ميدانية من طرق إسفلتية في مدينة بني وليد بليبيا. تُسهم هذه الدراسة في سد الفجوة البحثية المُتمثلة في عدم وجود معادلة موحدة تربط النظامين، مما يُعيق تبادل البيانات بين الجهات المسؤولة عن إدارة الطرق. كما تُقدّم إطاراً عملياً يمكن تعميمه على المناطق ذات الظروف المماثلة في شمال إفريقيا.

تم جمع بينات البحث من عدد خمسة طرق إسفلتية في مدينة بني وليد، وهي طريق وادي دينار وطريق مصنع 51 وطريق اليس وطريق فدراج وطريق سوف الجين. حيث شملت عينة البحث خمسة قطاعات من الرصف متنوعة من حيث نوع وشدة الأضرار، هده القطاعات شملت مداخل مدينة بني وليد بطول إجمالي بلغ 31.5 كيلومترًا.

يبين الشكل (2) المنهج العام المتبع في جمع البيانات. هدفت الورقة إلى ايجاد العلاقة والارتباط بين مؤشر حالة الرصف (PCI) ونظام مسح وتقييم الحالة (CRS)، باستخدام إحدى نماذج الانحدار في تعلم الآلة بدلًا من استخدام الأساليب التقليدية، واعتمد منهج البحث على مرحلتين رئيسيتين؛ جمع البيانات الميدانية وتحليل البيانات.



الشكل (2) مخطط منهج البحث.

3.1 الفحص الميداني وجمع البيانات:

تم في هذه المرحلة مسح الأضرار (الشقوق، الحفر، الخ) عبر فحص بصري مُمنهج، مع توثيق مرئي لحالة القطاع. يبين الشكل (3) صور لعينات من أضرار الرصف في قطاعات البحث. جُمعت البيانات لكل قطاع وحصر مساحة ونوع الضرر وكذلك مستوى شدّة الاضرار في قاعدة بيانات مُنظمة (ورقة ملء بيانات PCI).

انتشار شقوق الكلل وشقوق الكتل

شقوق الكتل

شقوق الكلل والطولية والعرضية

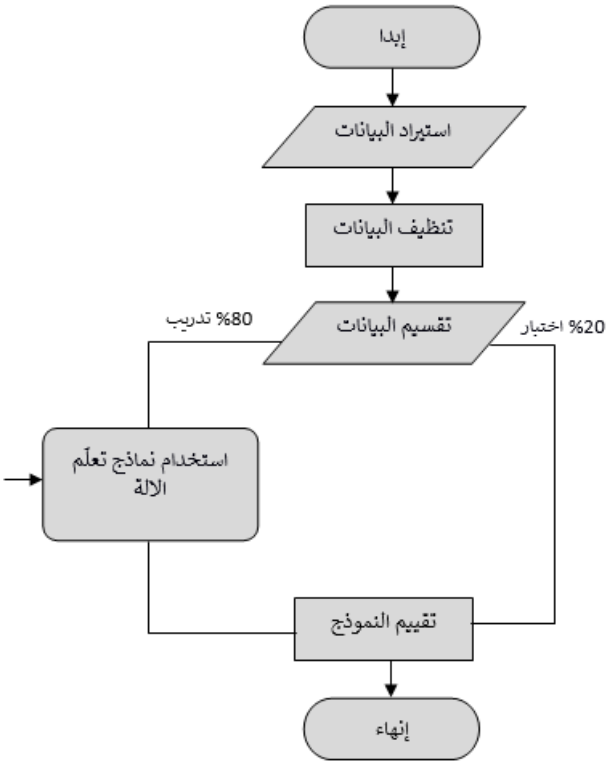
شقوق طولية وعرضية

الشكل (3) مسح عيّنات لحالة قطاعات من الرصف الأسفلتي

3.2 تحليل البيانات باستخدام خوارزمية الانحدار الخطي:

تمت معالجة البيانات وتحليلها في بيئة Visual Studio Code (VS Code) باستخدام لغة البرمجة (Python) يبين الشكل (4) المخطط الانسيابي لمراحل بناء النموذج. تم استخدام حزمة من أدوات البرمجية، ففي جانب المعالجة المبدئية للبيانات، اسْتُخدِمَت مكتبة (Pandas) لتنظيم البيانات وتنظيفها، بينما تم الاعتماد على مكتبة (Numpy) لإجراء العمليات الحسابية ومعالجة المصفوفات.

في مرحلة النمذجة الإحصائية، فقد جرى توظيف مكتبة (Scikit-learn) لبناء نموذج الانحدار والانحدار متعددة الحدود وتقسيم البيانات إلى مجموعتين تدريب واختبار عبر (train_test_split)، فضلا عن حساب مقاييس دقة النماذج مثل متوسط الخطأ المطلق (MAE) ومعامل التحديد (R^2) وأخيرا، استخدمت مكتبة (Matplotlib.pyplot) لتمثيل العلاقات والنتائج.



الشكل (4) مراحل بناء النموذج التنبؤي وتقييمه.

4. النتائج والمناقشة

4.1 تحليل نتائج تقييم القطاعات بواسطة نظام مسح وتقييم الحالة (CRS)

تم تقييم حالة القطاعات باستخدام مسح معدّل الحالة، تراوح متوسط التقييم بين 4.35 – 6.18. وبالرجوع الى نطاقات مسح وتقييم الحالة المبين في الجدول رقم 1، فان التقييم كان مقبول في قطاعات وادي دينار واليس وفدراج وجيد في قطاع سوف الجين وسيء في قطاع مصنع 51، وكانت النتيجة كما هي مبينة في الجدول (2).

4.2 تحليل نتائج تقييم القطاعات بواسطة مؤشر حالة الرصف (PCI)

تم تقييم حالة القطاعات باستخدام مؤشّر حالة الرصف، تراوح متوسط التقييم بين 31.6 – 56. وبذلك تعتبر حالة معظمها سيئة باستثناء قطاع سوف الجين الذي تعتبر حالته مقبولة. وكانت النتيجة كما هي مبينة في الجدول (2).

4.3تحليل العلاقة بين CRS وPCI

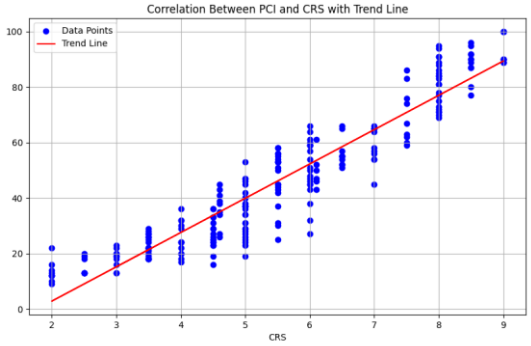
كشفت الدراسة عن وجود علاقة ارتباط قوية ذات دلالة إحصائية بين مؤشر حالة الرصف القائم على القياسات الميدانية الدقيقة ونظام مسح معدّل الحالة المعتمد على التقييم البصري، حيث بلغ معامل الارتباط 0.94، تؤكد هذه النتيجة على وجود اتساق عالٍ بين النظامين في تقييم الحالة العامة للرصف.

لنمذجة هذه العلاقة، تم اختبار ثلاثة نماذج انحدار، النموذج الخطي سجّل معامل تحديد ($R^2 = 0.887$) وقيماً مقبولة لمقاييس الخطأ($MAE = 6.06, RMSE = 7.78$) ، النموذج التربيعي سجّل أداء أفضل قليلا ($R^2 = 0.923$)، مما يشير إلى قدرة أفضل على تمثيل سلوك البيانات. النموذج التكعيبي لم يُظهر تحسنا ملحوظا في الدقة بالمقارنة مع النموذج التربيعي، مما يدل على أن زيادة تعقيد النموذج لا تضيف قيمة معنوية.

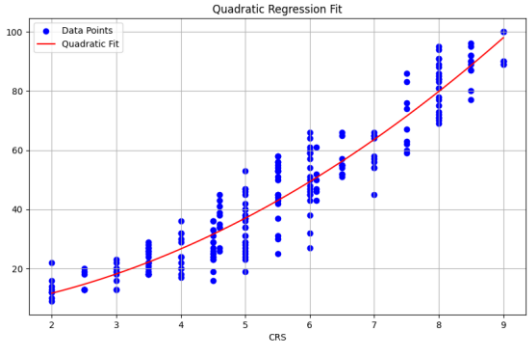
بناءً على هذه النتائج، تبرز كفاءة النموذج الخطي نظرا لسهولة تطبيقه ودقته المقبولة، مما يجعله أداة عملية مناسبة للمسوحات الميدانية السريعة والتقييمات الأولية. في المقابل، يمكن اللجوء إلى النموذج التربيعي في المشاريع التي تتطلب أعلى مستويات الدقة التحليلية، خاصة في حالة الرصف السيئة.

الجدول (2) العلاقة بين حالة القطاعات بواسطة CRS وPCI

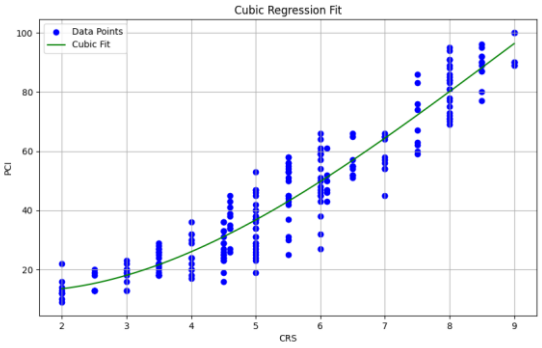
اسم الطريق	طول القطاع (m)	متوسط قيم CRS	متوسط قيم PCI	نوع الضرر المنتشر
إليس	5700	5.32	45.07	شقوق الكلل، والشقوق الطولية والعرضية، والشقوق الكثل، وشقوق الحواف.
فدراج	7400	5.77	45.72	الشقوق الطولية، والعرضية، شقوق الكثل، والحفر.
سوف الجين	7600	6.18	56	الشقوق الطولية والعرضية، شقوق الكثل، شقوق الكلل، الحفر، نزف الاسفلت
مصنع 51	6000	4.35	31.6	الشقوق الصندوقية، وشقوق الكلل، الشقوق الطولية والعرضية، الرقع.
وادي دينار	5000	6.05	53.3	شقوق الكلل، نزف الإسفلت، صقل أوبري الركام الشقوق الطولية والعرضية شقوق الحواف.



الشكل (5) تحليل بيانات جميع القطاعات (Trend Line)



الشكل (6) تحليل بيانات جميع القطاعات (Quadratic Regression)



الشكل (7) تحليل بيانات جميع القطاعات (Cubic Regression)

الجدول (5) تقييم أداء النموذج لجميع القطاعات

النموذج	المعادلة	R^2	Adjusted R^2	MAE	RMSE	r
الانحدار الخطي	PCI = 12.61 CRS + (−23.11)	0.887	0.884	6.06	7.78	0.94
الانحدار التربيعي	PCI = 0.9691 CRS^2 + 1.6645 CRS + 4.4801	0.923	0.920	4.949	6.40	
الانحدار التكعيبي	PCI = −0.1144 CRS^3 + 2.8038 CRS^2 + (−8.2787 CRS) + 23.6710	0.924	0.919	5.01	6.35	

5. الاستنتاجات والتوصيات

5.1 الاستنتاجات

1. تم في هذه الدراسة تقييم لحالة الرصف في عدد 5 طرق حول مدينة بني وليد باستخدام نظامي مؤشّر حالة الرصف مسح وتقييم الحالة. تراوح متوسط التقييم وفق مؤشر حالة الرصف بين 31.6 – 56 بتقدير حالة القطاعات بشكل عام على أنها سيئة في حين تراوحت قيم نظام مسح تقييم الحالة بين 4.35 – 6 وان حالة القطاعات بشكل عام على أنها مقبولة.
2. مؤشر حالة الرصف يصنّف أنواع الأضرار كميا بالاعتماد على القياسات الميدانية الدقيقة لسطح الرصف، حيث يقدّم نظاما معياريا لتقييم الحالة الفعلية بناء على معادلات رياضية محددة، بالمقابل يعتمد نظام مسح وتقييم الحالة على التقدير الذاتي المُرتكز إلى معايير نسبية أو تصنيفات عامة تعكس حالة الرصف، مما يجعله أقل دقةً وموضوعية مقارنة بالنظام القائم على التحليل الرقمي.
3. أظهرت نتائج التحليل وجود علاقة خطية موجبة بين مؤشر حالة الرصف ونظام مسح وتقييم الحالة وبلغ معامل الارتباط r = 0.94 وهذا يعكس نتيجة توافق جيد بين نظامي تقييم الرصف في تمثيل حالة الرصف وتقييم مستوى الأداء.
4. حقق النموذج الخطي قيمة معامل التحديد بلغت (R^2 = 0.887) ومعامل التحديد المعدل (Adjusted R^2 = 0.884)، وهي قريبة من قيمة النموذج التربيعي (R^2 = 0.923) ومعامل التحديد المعدل (Adjusted R^2 = 0.92) أن متوسط

الخطأ المطلق (MAE = 6.06) والجذر التربيعي للخطأ (RMSE = 7.78) لا يشيران إلى تراجع كبير في الدقة، مما يجعل الأداء الإحصائي مقبولًا وضمن نطاق العلاقة.

5. يمكن اعتماد النموذج الخطي للاستخدام في الحالات التي تتطلب أدوات تقييم سريعة وسهلة دون الحاجة إلى حسابات معقدة، مثل أعمال التقييم الميداني أو كأداة أولية لاتخاذ القرار.
6. يمكن استخدام النموذج التربيعي في الحالات التي تتطلب دقة أعلى وتحليلاً شاملاً لسلوك الرصف، خاصة في حالات الرصف السيئة، اما النموذج التكعيبي فإنه يتمتع بمرونة كبيرة في التكيف مع البيانات الا انه لم يُظهر تحسنا كبيرا مقارنة بالنموذج التربيعي، ما يشير إلى أن تعقيد النموذج لا يضيف فائدة جوهرية.
7. الدراسة تقدم نموذج عملي لربط (PCI) مع (CRS) باستخدام خوارزمية تعلّم الالة، مما تساهم في تحسين كفاءة نظام إدارة الطرق في ليبيا وتخفيض تكاليف الصيانة، والحد من الجهود المبذولة عبر التنبؤ الدقيق بحالة الرصف.

5.2 التوصيات

1. توسيع مجال البحث لتشمل المزيد من أضرار الرصف.
2. توسيع مجال البحث ليشمل مناطق أكثر في ليبيا.
3. استخدام الاستشعار عن بُعد مثل صور الأقمار الصناعية لجمع البيانات بشكل آلي.
4. تطوير منصة إلكترونية تدمج (PCI) و (CRS) لتسهيل عملية اتخاذ القرار.
5. تطوير المنصات الإلكترونية للحصول على بيانات وتنبؤات لحالة الرصف المستقبلية.
6. استخدام أنظمة أخرى لتقييم حالة الرصف، وإيجاد العلاقات والارتباط بينها، للحد من التكاليف والجهود المبذولة في تقييم حالة الرصف.

6. المراجع

1. Attoh, N., & Adarkwa, O. O. (June 2013). *Pavement Condition Surveys Overview of Current Practices.* Delaware: Delaware Center for Transportation.
2. Stevenson, J. (Feb 2021). *Pavement Manual.* Texas: Taxes Department of Transportation .
3. Miller, J., & Bellinger, W. (May 2014). *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program (Fifth Revised Edition).* Virginia: Office of Infrastructure Research and Development Federal Highway Administration.
4. Mubaraki, M., & Sallam, H. (July 2020). *The Most Effective Index for Pavement Management of Urban Major Roads at a Network Level.* Jazan: ARABIAN JOURNAL FOR SCIENCE AND ENGINEERING.

5. Hasibuan, R. P., & Surbakti, M. S. (2019). *Study of Pavement Condition Index (PCI) relationship with International Roughness Index (IRI) on Flexible Pavement.* Medan: EDP Sciences.
6. Nguyen, L. H. (September 2017). *Research on the Correlation Between International Roughness Index (IRI) and Present Serviceability Index (PSI), Recommendations on Evaluation Rates in Vietnam's Conditions.* Vietnam: International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT).
7. Abdualmtalab Abdualaziz Ali, Mohamed Imbarek Esekbi(Novmber 2022). "*Development of Pavement Condition Index Assessment Model for Road Pavements in Libya Using Machine Learning*". 9th National Conf. for Building Materials and Structural Engineering (NCBMSE9), University of Tripoli, Tripoli, Libya, Nv. 30 – Dec. 1, 2022.
8. Abdualmtalab Abdualaziz Ali[1], Mohamed Imbarek Esekbi, Muftah Mohamed Sreh. "*Predicting Pavement Condition Index Using Machine Learning Algorithms and Conventional Techniques*". SEBHA UNIVERSITY JOURNAL OF PURE & APPLIED SCIENCES VOL.21 NO. 4 2022, DOI:10.51984/ JOPAS. V21I3.2267.
9. Abdualmtalab Ali, Usama Heneash, Amgad Hussein and Mohamed Eskeb "*Predicting Pavement Condition Index Using Fuzzy Logic Technique*". MDPI, Infrastructures Journal, Volume 7 Issue 7 10.3390/infrastructures7070091
10. Mohamed Y. Shahin .(2005) .*Pavement Managementfor Airports, Roads, and Parking Lots* .New York: Springer.
11. ASTM International .(2016) .*Standard practice for roads and parking lots pavement condition index surveys* .ASTM International.
12. IDOT. (December 2021). *Condition Rating Survey .* Illinois : Illinois Department of Transportation.

تأثير إضافة البوزلانا الطبيعية كبديل جزئي للإسمنت المقاوم للكبريتات علي مقاومة الضغط

أ. د. فؤاد فروج فرج [1] ، أ. رضاء الطاهر البوخاري [2] *
[1] أستاذ. دكتور، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ ، ليبيا
[2] محاضر مساعد، قسم الهندسة المدنية والمعمارية، كلية الهندسة الرقيبة ، جامعة فزان ، ليبيا
r.albokary@wau.edu.ly*

الملخص

تعتبر أملاح الكبريتات أحد المواد الضارة بالخرسانة والمونة الإسمنتية والتي قد تسبب أضرار علي المونة الإسمنتية والخرسانة الغير متينة وتسبب في تلفها فأكثر العناصر الإنشائية المعرضة لهجوم الكبريتات هي الأساسات، لما تحتويه تربة المناطق الصحراوية من تراكيز عالية من أملاح الكبريتات، حيث تعد البوزولانا أحد أقدم مواد البناء، و لما توفره هذه المواد البوزولانية الطبيعية والمتوفرة بكميات كبيرة في مناطق الجنوب الليبي والتي تعتبر من المواد البوزولانية الجيدة والمطابقة لمواصفات ASTM 618 – 3، لذا يجب إدخالها في صناعة الإسمنت ولا سيما الإسمنت المقاوم للكبريتات لتحسين متانة المونة الإسمنتية المنتجة وزيادة مقاومتها للضغط، تهدف هذه الورقة إلي دراسة جدوي وفعالية إضافة البوزولانا الطبيعية بجنوب ليبيا والمستبدلة من الإسمنت المقاوم للكبريتات لصناعة مونة إسمنتية ذات خصائص عالية تقاوم الظرف البيئة في المناطق الصحراوية، استجلبت البوزولانا الطبيعية المحلية والمستخرجة من موقعين سبها و تمنهنت وحرقت لمدة ساعتان بدرجة حرارة (800 °) ثم طحنها لتصل إلي نعومة تسمح لها المرور من منخل 90 ميكرون، تم تصميم 14خلطة مونة إسمنتية باستخدام الإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات و الإسمنت البورتلاندي العادي مع إضافة البوزولانا المحلية له كبديل جزئي بنسب (0%– 10%– 15% –20%) من وزن الإسمنت وإجراء اختبار مقاومة الضغط – اختبار تحديد نسبة الامتصاص – اختبار تحديد نسبة الانسيابية، حيث أشارت كل النتائج بإمكانية استخدام البوزولانا المحلية كبديل جزئي للإسمنت لإنتاج إسمنت بورتلاندي بوزلاني مقاوم للكبريتات حيث أعطت إضافة مادة البوزولانا للإسمنت الكبريتي فروق واضحة في نتائج الاختبارات التي تم إجرائها وكانت أفضلها باستخدام نسبة استبدال (20%) ميتاكاولين في حين كان الفرق بين نتائج مقامة الضغط باستخدام الإسمنت المقاوم للكبريتات أعلى من نتائج الإسمنت البورتلاندي العادي بنسبة تصل إلي (30%).

الكلمات الدالة: *الإسمنت المقاوم للكبريتات، الخرسانة في البيئة الصحراوية، الهجوم الكبريتي، البوزولانا الطبيعية، مقاومة الضغط.*

Abstract

Sulfate salts are considered one of the harmful substances to concrete and cement mortar, which may cause damage to cement mortar and non-durable concrete and cause its deterioration. The most structural elements exposed to sulfate attack are foundations, because the soil of desert areas contains high concentrations of sulfate salts, as pozzolana is one of the oldest building materials, and because these natural pozzolanic materials are available in large quantities in the southern regions of Libya, which are considered good pozzolanic

materials that comply with ASTM 618-3 specifications, therefore they must be introduced into the cement industry, especially sulfate-resistant cement, to improve the durability of the produced cement mortar and increase its resistance to pressure. This paper aims to study the feasibility and effectiveness of adding natural pozzolana in southern Libya as a replacement for sulfate-resistant cement to produce cement mortar with high properties that resist the environmental conditions in desert areas. Local natural pozzolana was brought and extracted from two sites, Sabha and Tamanhint, and burned for two hours at a temperature of (800°) and then grind it to a fineness that allows it to pass through a 90 micron sieve. 14 cement mortar mixes were designed using sulfate-resistant Portland cement and ordinary Portland cement with the addition of local pozzolana as a partial substitute at ratios (0%-10%-15%-20%) of the cement weight. Compressive strength test - absorption ratio test - flowability ratio test were conducted. All results indicated the possibility of using local pozzolana as a partial substitute for cement to produce sulfate-resistant Portland pozzolanic cement. Adding pozzolana to sulfate cement gave clear differences in the results of the tests that were conducted, the best of which was using a replacement ratio of (20%) metakaolin, while the difference between the results of compressive strength using sulfate-resistant cement was higher than the results of ordinary Portland cement by a percentage of up to (30%).

1 . المقدمة

تُعد الخرسانة من أكثر مواد البناء استخدامًا في العالم، لما تتميز به من قوة تحمل، وسهولة تشكيل، ومع ذلك فإنها تتأثر بعدد من العوامل البيئية التي قد تُضعف من متانتها بمرور الزمن، ومن أبرز هذه العوامل تأثير أملاح الكبريتات، خاصة في المناطق الصحراوية الجافة مثل جنوب ليبيا، حيث تُسجل تراكيز ملحوظة من الكبريتات في التربة والمياه الجوفية. [5]

أن التفاعلات الكيمائية لهجوم الكبريتات في عمليات معقدة تعتمد على العديد من المتغيرات منها تركيز أيونات الكبريتات الحرارة المحيطة نوع الإسمنت و نسبة الماء للإسمنت و وجود مواد بوزلانية مخلوطة جزئيا بالخلطة الإسمنتية أو الخرسانية و رغم ما جاء ببعض الأبحاث من أن استعمال نسبة منخفضة للماء للإسمنت واستخدام الإضافات (Admixture) من الإجراءات الفعالة لحماية الخرسانة من التدهور الناجم عن هجوم الكبريتات إلا أن المواصفات الحديثة توصي باستخدام المواد البوزلانية في الأوساط العدوانية على الخرسانة بسبب وجود الكبريتات في التربة أو الماء، ولذلك فقد زاد الاهتمام مؤخراً باستغلال هذه المواد البوزلانية الطبيعية ومن بينها مادة الميتاكولين و ذلك كمادة بديلة لجزء من الإسمنت في صناعة

الخرسانة [4]، و نظرا لخواص هذه المادة في تحسين جودة و متانة الخرسانة فأنها تستخدم وبشكل مكثف في انتاج الخرسانة عالية المقاومة و الخرسانة عالية الأداء مع متانة محسنة.

وتُسبب أملاح الكبريتات تفاعلات كيميائية ضارة مع مركبات الإسمنت، تؤدي إلى تمدد داخلي وتشققات سطحية وفقدان تدريجي في مقاومة الخرسانة للضغط، وللتغلب على هذه المشكلة يجب أُستخدم الإسمنت المقاوم للكبريتات، إلا أن تكلفته العالية تجعل من الضروري البحث عن بدائل أو مواد مضافة تقلل من التأثير السلبي للكبريتات. [1]

و لهذه الأسباب تبرز أهمية البوزولانا الطبيعية، وهي مادة بركانية غنية السيليكا والألومينا، تتفاعل بشكل بوزلاني مع هيدروكسيد الكالسيوم الناتج عن تفاعل الإسمنت، مما يُنتج مركبات إسمنتية إضافية تُعزز متانة الخرسانة وتُقلل من نفاذيتها، وتتوفر هذه المادة بشكل طبيعي في جنوب ليبيا، مما يُوفر حلاً اقتصادياً وبيئياً بديلاً يمكن استغلاله في تحسين أداء الخرسانة في البيئات المعرضة لهجوم الكبريتات. [6]

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير استخدام البوزولانا الطبيعية المستخرجة من جنوب ليبيا كبديل جزئي للإسمنت المقاوم للكبريتات، من حيث مقاومة الضغط والمتانة، ومقارنتها بالخلطات المرجعية، بما يُسهم في دعم قطاع البناء والتشييد المحلي وتوفير حلول مبتكرة ومستدامة.

1.1. أنواع أملاح الكبريتات المتواجدة في تربة المناطق الصحراوية

1. كبريتات الصوديوم (Na_2So_4): تُعتبر من الأملاح الذائبة بسهولة في الماء، مما يجعلها تنتقل بسهولة إلى داخل الخرسانة، من أكثر الأملاح شيوعًا في التربة الجافة وتتراوح تراكيزها من 0.5% إلى 3% من وزن التربة في بعض المناطق الصحراوية.

2. كبريتات المغنيسيوم ($MgSO_4$): تُعد من أخطر الأنواع على الخرسانة، لكونها تسبب في تفاعلات مزدوج، أي تتفاعل مع نواتج إماهة الإسمنت، بالإضافة إلى إحلال أيونات المغنيسيوم محل الكالسيوم مما يؤدي إلى إضعاف الروابط داخل العجينة الإسمنتية، ويتراوح تراكيزها الشائعة ما بين 0.2% إلى 1.5% في بعض الترب الصحراوية.

3. كبريتات الكالسيوم (CaSO4): رغم أنها أقل ذوبانًا من الأملاح الأخرى، إلا أن وجودها بكميات كبيرة في التربة قد تسبب في أضرار علي المدى الطويل خاصة إذا ترافقت مع تغيرات في الرطوبة|، تصل تراكيزاها إلى 2% من وزن التربة في بعض الحالات. [1،3]

1.2 المخاطر المترتبة على وجود هذه الأملاح في التربة

1- ذوبان هذه الأملاح في المياه الجوفية أو مياه الأمطار يؤدي إلى انتقالها إلى داخل الخرسانة.

2- تفاعل الكبريتات مع مكونات الإسمنت يؤدي إلى تكوين مركبات مثل الإترنجايت (Ettringite) التي تتمدد وتُسبب شروخ داخلية.

3- تكرار دورات الذوبان والتبلور يُسبب ضغطاً داخلياً يؤدي إلى تشقق وانفصال أجزاء من الخرسانة. [2]

1.3 الحلول المتبعة لتعزيز متانة الخرسانة لمواجهة هجوم الكبريتات

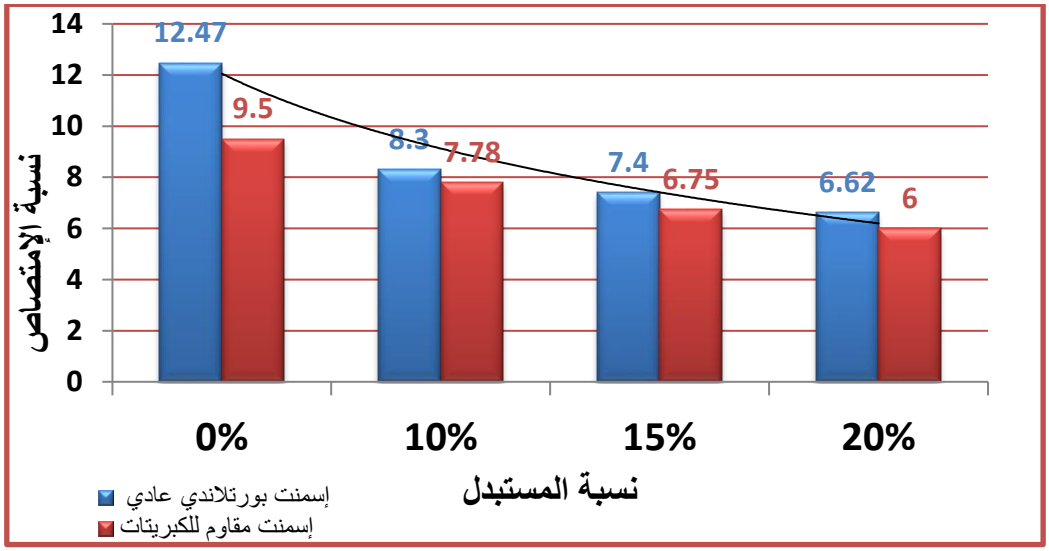
1. تحسين تركيبة المواد المستخدمة في الخلطة الخرسانية باستخدام إسمنت مقاوم للكبريتات.
2. إحلال جزئي للإسمنت بمواد بوزلانية نشطة مثل البوزولانا الطبيعية، والرماد المتطاير (Fly Ash)، وخبث الأفران (GGBFS).
3. تقليل نسبة الماء إلى الإسمنت (Water – Cement Ratio).
4. تحسين خواص الخرسانة الفيزيائية باستخدام الركام عالي الجودة.
5. تحسين الدمك والمعالجة.
6. إضافة المواد البوليمرية أو مانعة النفاذية: لإغلاق المسامات الدقيقة داخل. الخرسانة.و تقليل من امتصاص المحاليل الكبريتية.
7. تصميم الغلاف الخرساني بسمك كافٍ.
8. الطلاء الواقي أو العزل الكيميائي. [2،5]

2. منهجية البحث

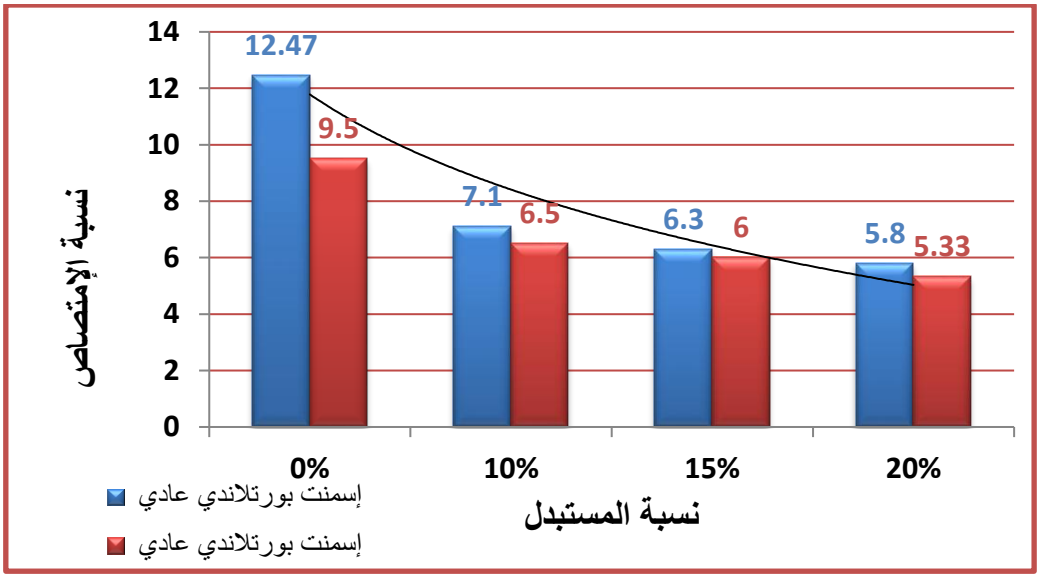
في هذه المرحلة، تم التركيز على جمع معلومات شاملة وحديثة حول موضوع الدراسة من خلال إجراء بحث شامل ومراجعة الأدبيات السابقة، التي تناولت استخدام المواد البوزلانية كبديل جزئي للإسمنت، كما تم استعراض مراحل تطور استخدام هذه المواد في صناعة المونة الإسمنتية والخرسانة عبر العصور.

في هذه المرحلة، تم إعداد البرنامج التجريبي، الذي شمل تحديد وتجميع المواد الأولية اللازمة، واعتمادها وتجهيزها بما يتناسب مع الكميات المطلوبة، تم دراسة مواصفات هذه المواد ومن ثم تصميم سبعة خلطات مونة إسمنتية باستخدام الإسمنت البورتلاندي العادي (OPC)، بالإضافة إلى سبعة خلطات باستخدام الإسمنت البورتلاندي مقاوم للكبريتات (SRC) وفقاً لنسبة خلط ثابتة (1 رمل : 3 إسمنت) ونسبة 0.48 للماء إلى الإسمنت (W / C) حسب المواصفة الأمريكية ASHT، بإضافة البوزلانا المحلية من موقعي سبها و تمنهنت كبديل جزئي للإسمنت بنسب متفاوتة (0% – 10% – 15% – 20%)، تم تحديد نسبة امتصاص الماء، مقدار ثبات الحجم، ومقاومة الضغط وتوثيق النتائج حسب الفترات الزمنية المحددة للاختبار، بهدف تحديد إمكانية استخدام البوزلانا المحلية كبديل جزئي للإسمنت مقاوم للكبريتات، وذلك لزيادة متانة الخرسانة المنتجة من هذا النوع من الإسمنت.

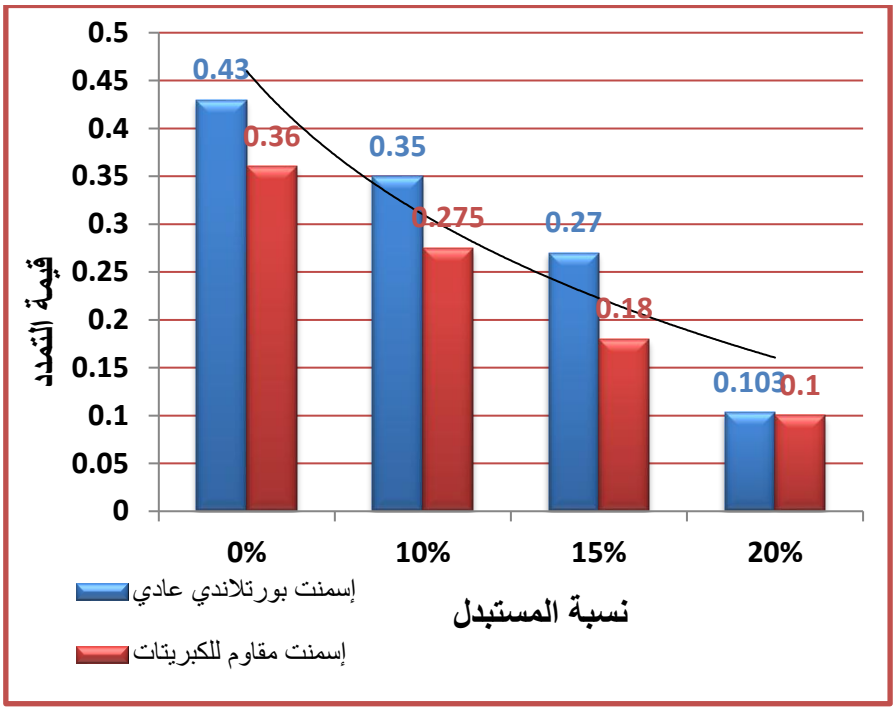
3. النتائج



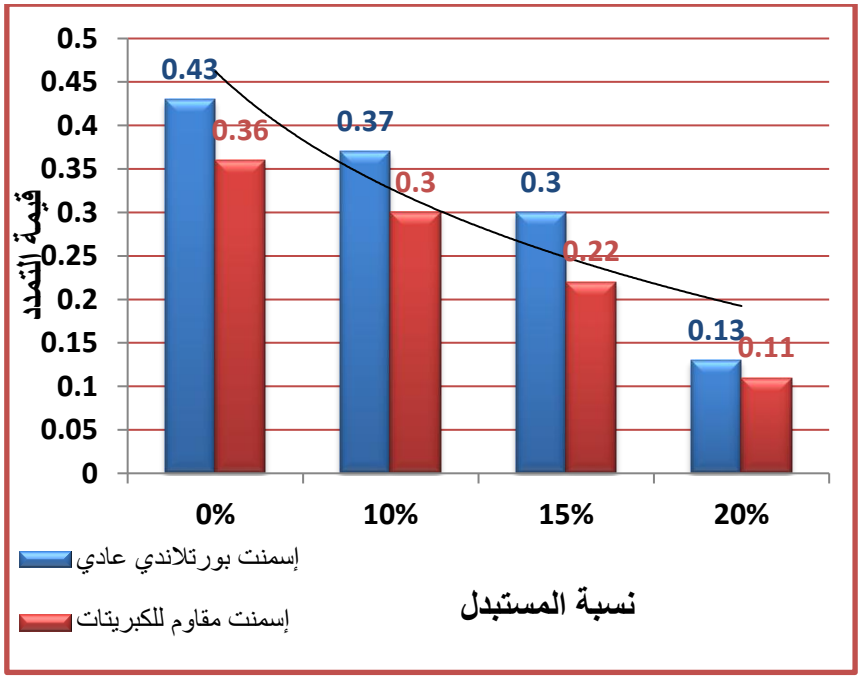
شكل رقم (1) يبين نتائج تحديد نسبة الامتصاص بإضافة (MK) موقع سبها.



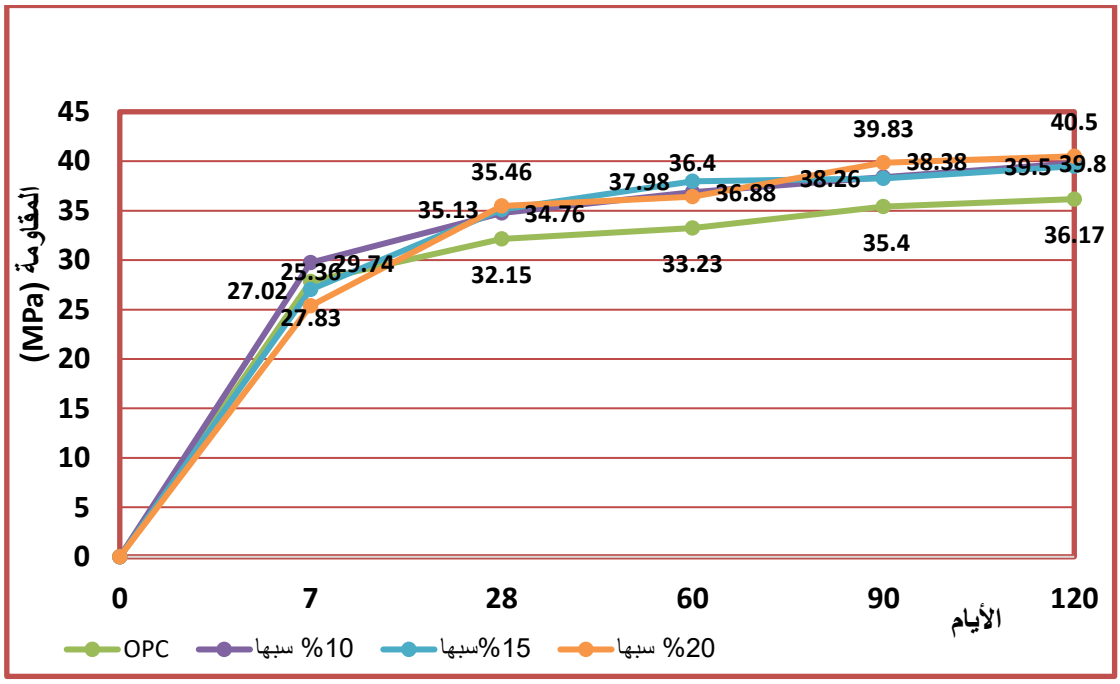
شكل رقم(2) يبين نتائج تحديد نسبة الامتصاص بإضافة (MK) موقع تمنهنت.



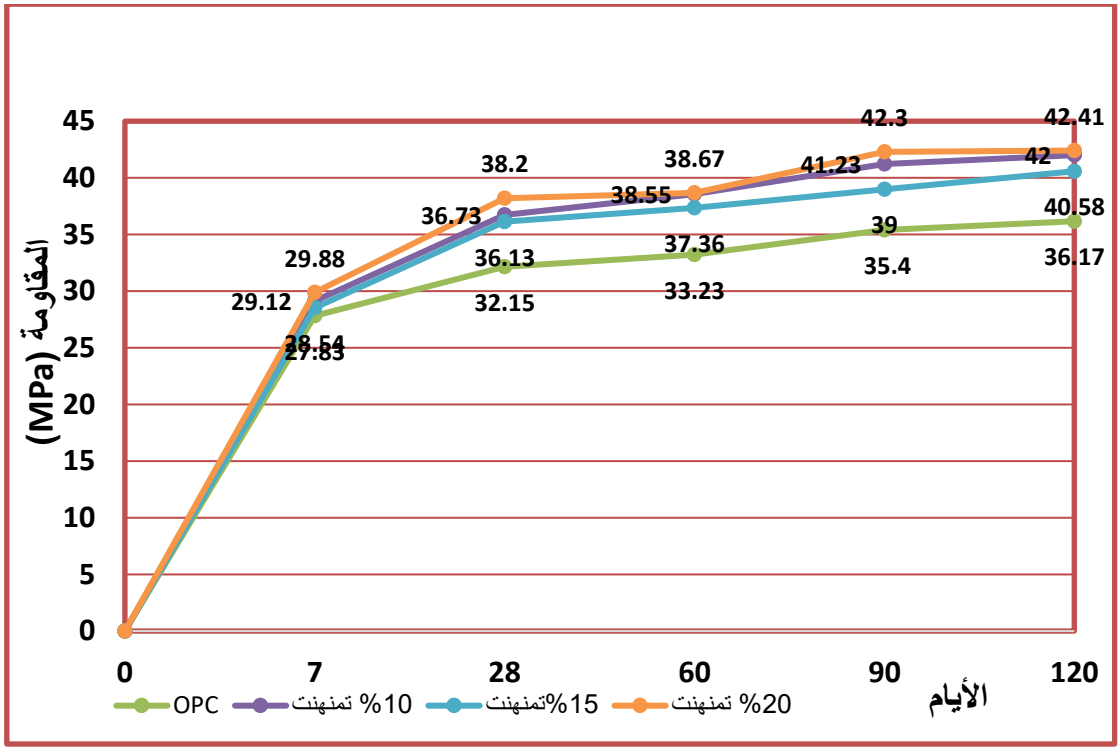
شكل رقم (3) يبين نتائج تحديد اختبار الانسيابية بإضافة (MK) موقع سبها.



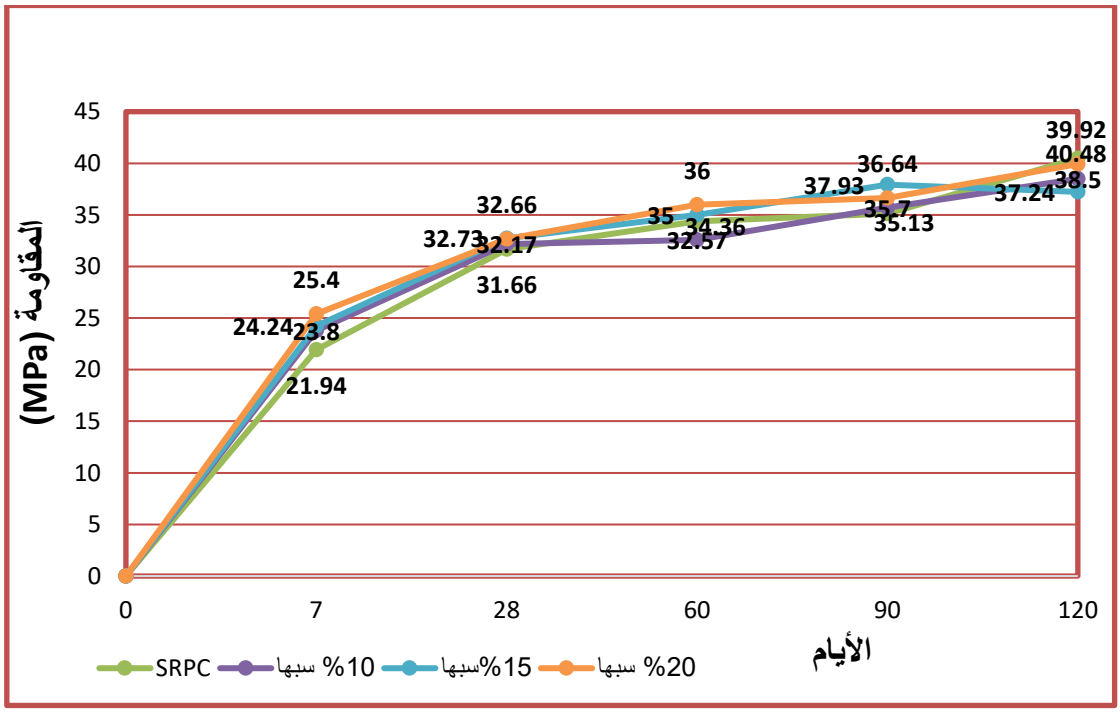
شكل رقم (4) يبين نتائج تحديد اختبار الانسيابية بإضافة (MK) موقع تمنهنت.



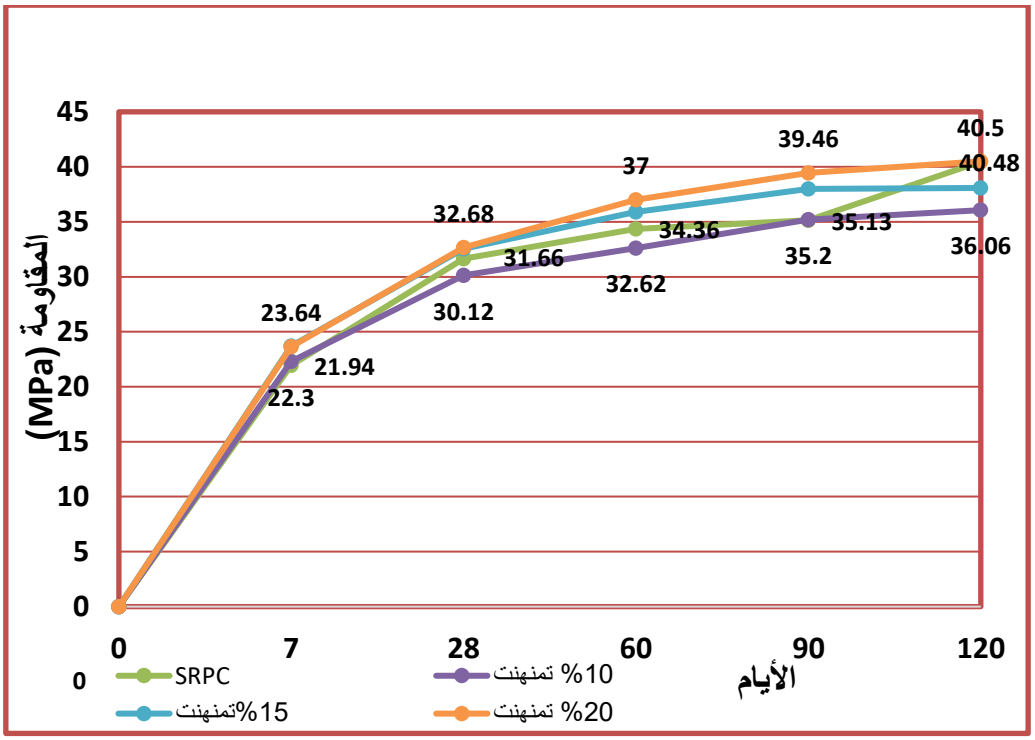
شكل رقم (5) يبين اختبار مقاومة الضغط للإسمنت البورتلاندي العادي بإضافة (MK) موقع سبها.



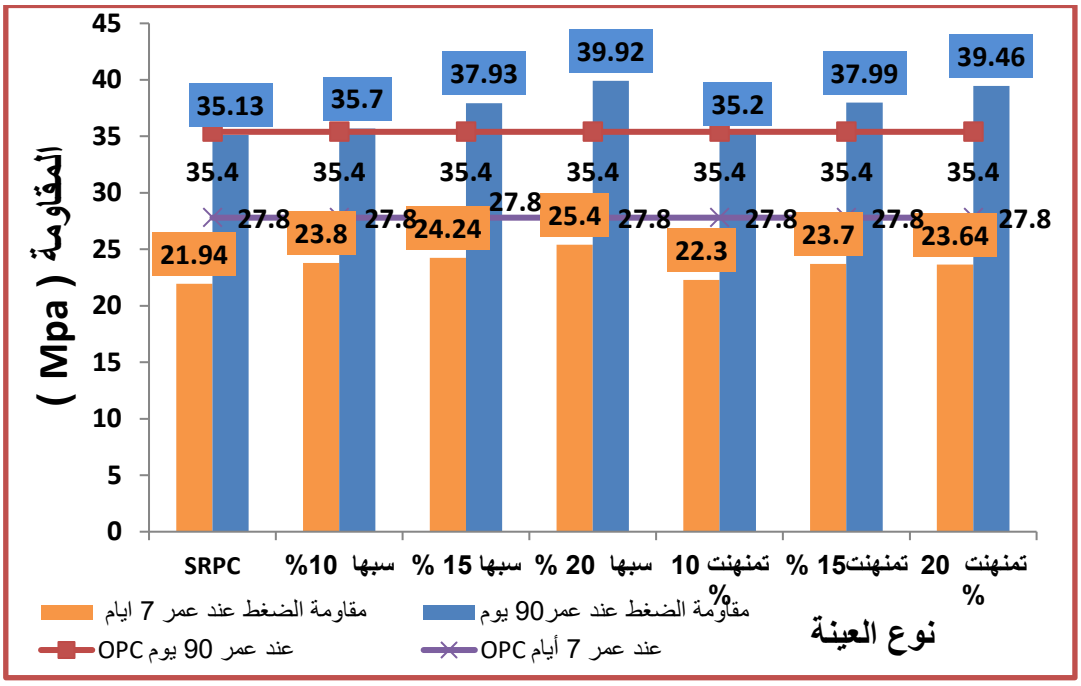
شكل رقم (6) يبين اختبار مقاومة الضغط للإسمنت البورتلاندي العادي بإضافة (MK) موقع تمنهنت.



شكل رقم (7) يبين اختبار مقاومة الضغط للإسمنت البورتلاندي مقاوم للكبريتات بإضافة (MK) موقع سبها



شكل رقم (8) يبين اختبار مقاومة الضغط للإسمنت البورتلاندي مقاوم للكبريتات بإضافة (MK) موقع تمنهنت.



شكل رقم (9) يبين مقارنة نتائج اختبار مقاومة الضغط باستخدام الإسمنت الكبريتي مع نتائج اختبار مقاومة الضغط باستخدام الإسمنت العادي.

4. مناقشة النتيجة

أظهرت نتائج الدراسة أن إضافة البوزولانا الطبيعية المستخرجة من جنوب ليبيا (موقعي سبها و تمنهنت) كبديل جزئي للإسمنت المقاوم للكبريتات أدت إلى تحسينات ملحوظة في خصائص المونة الإسمنتية، وخاصة في مقاومة الضغط ومتانة الخرسانة.

4.1 مقاومة الضغط

أ- عند استخدام نسبة استبدال 20% من البوزولانا، سجلت الخلطات الإسمنتية قيم أعلى في مقاومة الضغط مقارنة بالإسمنت البورتلاندي العادي (OPC) بنسبة 30%، وبزيادة واضحة عن الإسمنت المقاوم للكبريتات (SRC) دون إضافات.

ب- يعزى هذا التحسن في المقاومة إلى زيادة التفاعل البوزولاني بين السيليكا والألومينا في البوزولانا مع هيدروكسيد الكالسيوم، مما يولد مركبات إضافية (C–S–H) والتي بدورها تعزز الكثافة والمتانة.

4.2 نسبة الامتصاص والانسيابية

أ- انخفض امتصاص الماء في الخلطات المحتوية على البوزولانا بنسبة 15 – 20%، مما يدل على تقليل المسامية والنفاذية، وهو ما يعزز من مقاومة اختراق أملاح الكبريتات.

ب- حافظت الخلطات على انسيابية جيدة (وفقًا لمواصفة ASTM C1437)، مما يؤكد إمكانية استخدامها في التطبيقات العملية دون تأثير سلبي على قابلية التشغيل.

4.3 المقاومة الكيميائية للكبريتات

أ- أظهرت العينات المضاف إليها مادة البوزولانا مقاومة أعلى بسبب زيادة في كمية الإترنجات (Ettringite) المتشكلة مقارنة بالعينة المرجعية، بسبب تقليل محتوى الجير الحر ($Ca(OH)_2$) الناتج عن تفاعل الإماهة.

4.4 الجوانب الاقتصادية والبيئية

توفر البوزولانا المحلية يوفر خفضًا في تكلفة الإسمنت المقاوم للكبريتات بنسبة 15-20%، مع تقليل الانبعاثات الكربونية المرتبطة بإنتاج الإسمنت البورتلاندي العادي.

5. الاستنتاجات

1. أثبتت البوزولانا المستخرجة من موقعي (سبها و تمنهنت) فعاليتها كبديل مستدام للإسمنت، حيث حسّنت مقاومة الضغط والمتانة بنسب تصل إلى 30% مقارنة بالإسمنت العادي.
2. نسبة الاستبدال المثلى هي 20%، والتي توازن بين الأداء الميكانيكي والتكلفة.
3. تساهم هذه النتائج في دعم البناء المستدام في المناطق الصحراوية، مع تقليل الاعتماد على المواد المستوردة.

6. التوصيات

بناءً على النتائج التي تم التوصل إليها نُوصي بما يلي:

1. اعتماد نسبة 15-20% (MK) كبديل جزئي للإسمنت في المناطق الصحراوية المعرضة للكبريتات، خاصة للأساسات والمنشآت تحت الأرض.
2. دمج البوزولانا الطبيعية مع مواد بوزلانية أخرى (مثل الرماد المتطاير) لتعزيز الأداء في البيئات القاسية.
3. تخفيض نسبة الماء/ الإسمنت إلى ≥ 0.45 لزيادة الكثافة ومقاومة التآكل.
4. دراسة تأثير البوزولانا على متانة الخرسانة على المدى الطويل (أكثر من 5 سنوات) في ظروف مناخية متغيرة.
5. تحليل التكلفة والعائد الاقتصادي لاستخراج وتجهيز البوزولانا على نطاق صناعي.

7. المراجع

1- American Concrete Institute (ACI) Guide to the Use of Pozzolans in Concrete. ACI 232.2R-13 (2013).

2- Scrivener, K. L., & Gartner, E. M. (2008). "Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry." Cement and Concrete Research, 38(2), 146-153.

3- United Nations Environment Programme (UNEP) "The Emissions Gap Report. UNEP (2014).

4-Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. Concrete: (Microstructure, Properties, and Materials) McGraw-Hill Education (2014).

5- – أ. إبراهيم فضل إبراهيم الأجواد , (مقاومة المونة الجيوبوليميرية لهجوم الكبريتات باستخدام البوزولانا المحلية بالجنوب الليبي), ليبيا, رسالة ماجستير , قسم الهندسة المدنية , جامعة وادي الشاطئي (2024).

6-م. مسعود عبدالكريم عمر , أ.د عبدالسلام المبروك عكاشة, (متانة الخرسانة ذاتية الدمك لهجوم الكبريتات باستخدام البوزولانا المحلية), ليبيا, مجلد أبحاث المؤتمر الوطني العاشر لمواد البناء و لهندسة الإنشائية, (2025).

واقع الرقابة الهندسية على جودة تنفيذ المشاريع الهندسية في الجنوب الليبي

م / محمد حامد علي *[1], أ. د فؤاد فرج فروج *[2]
باحث بقسم الهندسة المدنية جامعة وادي الشاطئ
أستاذ. دكتور في مواد البناء وتقنيات صناعة الخرسانة بقسم الهندسة المدنية جامعة وادي الشاطئ
للمراسلة Mohamad.ali@wau.edu.ly
fff119631963@gmail.com

الملخص

تتناول هذه الدراسة تحليل واقع الرقابة الهندسية على جودة تنفيذ المشاريع الإنشائية في الجنوب الليبي، مع التركيز على بلدية وادي الشاطئ كنموذج تطبيقي. وتهدف إلى تقييم مستوى الإشراف الفني، وكشف أبرز أسباب ضعف جودة التنفيذ، واقتراح آليات فعالة للرقابة. اعتمدت الدراسة على منهج وصفي تحليلي باستخدام استبيان ميداني وُزّع على عينة من المهندسين والمقاولين والمشرفين العاملين في البلدية. وتنبع أهمية هذا البحث من كونه يعالج واحدة من أبرز الإشكاليات التي تؤثر بشكل مباشر على جودة واستدامة المشاريع في الجنوب الليبي , وهي غياب أو ضعف الرقابة الهندسية أثناء التنفيذ. حيث يهدف هذا البحث إلى تقييم واقع الرقابة الهندسية في مشاريع التنفيذ داخل منطقة وادي الشاطئ , مع التركيز على تحديد مستوى الإشراف الهندسي الفعلي على المشاريع , والتعرف على أبرز أسباب غياب الإشراف او ضعفه , ورصد أكثر العيوب الناتجة عن ضعف الرقابة ,واقتراح حلول وإجراءات فعالة لتعزيز جودة التنفيذ وتحقيق الرقابة المهنية. وكشفت النتائج أن نحو 32.5% من المشاريع تنفذ دون إشراف هندسي فعلي , في حين تغيبت الرقابة تماما في 27.5% من الحالات . يعزى هذا الغياب إلى عدة أسباب , أبرزها غياب القوانين الملزمة , بالاضافة إلى ضعف الإمكانيات ، وكذلك قلة وعي المجتمع بأهمية دور الإشراف في سلامة المنشآت. وأشارت النتائج أيضا إلى أن أغلب العيوب المتكررة في المشاريع تشمل ضعف الخرسانة والتشققات التفاضلية ومشاكل العزل والصرف , وهي عيوب ترتبط ارتباطا وثيقا بغياب الرقابة الفنية والتخطيط المسبق. ومن اللافت للنظر أيضا أن ما يزيد عن 65% من المشاركين أكدوا عدم وجود جدول زمني واضح للتنفيذ , مما يعكس خللا في إدارة المشاريع وتخطيطها. كما تبين أن إختيار المقاولين غالبا ما يستند إلى معيار أقل كلفة بنسبة 67.5% , مما يؤثر سلبا على جودة العمل . أظهرت النتائج أن رأي الإشراف الهندسي يؤخذ في الإعتبار أثناء مرحلة التنفيذ , وهذا ما أكده 92.5% من المشاركين في الاستبيان, مما يدل على وجود وعيا جزئيا بأهمية الدور الرقابي. أما من حيث الإجراءات المقترحة للحد من هذه الظواهر فقد شدد المشاركون على أهمية التوعية المجتمعية بدور الإشراف , وتفعيل دور نقابة المهندسين ، وربط التراخيص بمهندسين معتمدين. في ضوء ذلك تؤكد هذه النتائج ضرورة إعادة هيكلية منظومة الرقابة الهندسية , وتعزيز القوانين التنظيمية لضمان جودة واستدامة المشاريع المنفذة في المنطقة.

الكلمات الدالة: *الرقابة الهندسية , جودة التنفيذ , المشاريع الإنشائية , بلدية وادي الشاطئ ، الإشراف الفني ، الكفاءات الهندسية .*

Abstract

This study addresses the reality of engineering oversight on the quality of construction project implementation in southern Libya, focusing specifically on the Municipality of Wadi Al-Shati

as a case study. The aim is to assess the level of technical supervision, identify the main causes behind poor implementation quality, and propose effective mechanisms for oversight. The study adopted a descriptive-analytical methodology using a field questionnaire distributed to a sample of engineers, contractors, and supervisors working in the municipality.

The significance of this research lies in its focus on one of the most critical issues directly affecting the quality and sustainability of projects in southern Libya—namely, the absence or weakness of engineering supervision during execution. The research aims to evaluate the state of engineering oversight in project implementation within the Wadi Al-Shati area, focusing on identifying the actual level of engineering supervision, recognizing the main reasons for its absence or weakness, documenting the most common defects resulting from poor oversight, and proposing effective solutions and procedures to enhance execution quality and ensure professional supervision. The results revealed that about 32.5% of projects are executed without actual engineering supervision, while supervision is entirely absent in 27.5% of cases. This absence is attributed to several reasons, most notably the lack of binding regulations, limited capabilities, and a general lack of public awareness regarding the importance of supervision in ensuring structural safety. The findings also indicated that the most frequent defects in projects include poor-quality concrete, differential cracks, and issues with insulation and drainage. These problems are closely linked to the absence of technical supervision and prior planning. Notably, more than 65% of participants confirmed the lack of a clear timeline for project implementation, reflecting a deficiency in project management and planning. Additionally, the selection of contractors is often based on the lowest cost criterion, accounting for 67.5%, which negatively impacts work quality. The results showed that the opinion of the engineering supervision is taken into consideration during the implementation phase, as confirmed by 92.5% of the survey participants, indicating a partial awareness of the supervisory role's importance. Regarding proposed measures to mitigate these issues, participants stressed the need for public awareness campaigns about the role of supervision, activation of the Engineers' Syndicate's role, and linking licenses to certified engineers. In light of these findings, the study underscores the necessity of restructuring the engineering oversight system and reinforcing regulatory frameworks to ensure the quality and sustainability of implemented projects in the region.

Keywords: *Engineering supervision, implementation quality, construction projects, Wadi Al-Shati Municipality, technical supervision, engineering competencies.*

1.المقدمة:

شهدت منطقة وادي الشاطئ في السنوات الأخيرة توسعًا عمرانيًا متسارعًا نتيجةً لعوامل متعددة أبرزها النمو السكاني والتوسع في النشاط الاقتصادي وزيادة الطلب على المساكن الخاصة[1]، وقد أدى ذلك إلى انتشار كبير لعمليات البناء التي نُفذ العديد منها خارج إطار الإشراف الهندسي الرسمي. هذا الواقع أفرز ظاهرة متزايدة تتجلى في إقامة منشآت دون رقابة هندسية متخصصة، مما أثار تساؤلات جوهرية حول مدى جودة هذه الأبنية وسلامتها واستدامتها، خاصةً في ظل غياب آليات واضحة تُلزم أصحاب المشاريع بالرجوع إلى مكاتب هندسية أو جهات إشراف معتمدة[2]. إن الرقابة الهندسية تُعد عنصرًا حاسمًا في إنجاح أي مشروع إنشائي، إذ تضمن الالتزام بالمواصفات الفنية والمعايير المعتمدة وتقلل من احتمالية وقوع أخطاء إنشائية جسيمة، كما تُسهم في التأكد من جودة المواد المستخدمة وضمان تنفيذ الأعمال وفق التصاميم الهندسية المعتمدة. وفي المقابل، فإن غياب هذه الرقابة يؤدي إلى نتائج سلبية على أكثر من صعيد [3]، حيث يُلاحظ تدنٍ واضح في مستوى جودة التنفيذ وظهور مبكر للعيوب الهيكلية مثل التشققات وضعف مقاومة العناصر الإنشائية واستخدام مواد رديئة، وهو ما ينعكس على المدى البعيد في تقليص العمر الافتراضي للمنشآت وزيادة مخاطر تعرضها للانهيار أو الضرر الإنشائي [4]. من خلال الملاحظة الميدانية في عدد من المناطق التابعة لوادي الشاطئ، تبين أن نسبة كبيرة من المباني السكنية والتجارية يتم تنفيذها دون إشراف هندسي فعلي، إما بسبب غياب المتابعة من قبل الجهات الرقابية أو نتيجة لضعف الوعي لدى المواطنين بأهمية وجود المهندس المشرف [5] أو حتى بدافع تقليص التكاليف. هذه الممارسات تُنذر بعواقب فنية واقتصادية واجتماعية خطيرة تهدد أمن وسلامة المجتمع. ومن هذا المنطلق، تسعى هذه الدراسة إلى تحليل تأثير غياب الرقابة الهندسية على جودة البناء في وادي الشاطئ، وبيان الانعكاسات الفعلية لذلك على واقع البيئة العمرانية، مع الاستناد إلى نتائج فنية وميدانية ومقارنات حقيقية بين مشاريع خضعت للرقابة وأخرى لم تخضع لها [6]. ترتكز هذه الدراسة على تساؤل محوري يتمثل في ما هو الأثر المترتب على غياب الرقابة الهندسية في مشاريع البناء بمنطقة وادي الشاطئ وكيف ينعكس ذلك على جودة وسلامة المنشآت[7]، ومن خلال هذا التساؤل تسعى الدراسة إلى تحليل الأسباب التي تؤدي إلى ضعف أو غياب الإشراف الهندسي في مشاريع البناء داخل المنطقة وتحديد أبرز مظاهر التدهور في جودة الأبنية الناتجة عن تنفيذ المشاريع بشكل غير منظم. كما تهدف إلى إجراء مقارنة تقنية بين المباني التي أُنشئت بإشراف هندسي وتلك التي لم تخضع لأي إشراف من حيث الجودة والمتانة والسلامة، واستطلاع آراء أصحاب الخبرة من مهندسين ومقاولين وسكان محليين حول أهمية الرقابة الفنية، وأخيرًا الخروج بتوصيات عملية قابلة للتطبيق من شأنها أن تسهم في تحسين جودة البناء وتعزيز ثقافة الإشراف الفني وتفعيل دور الجهات الرقابية للحد من هذه الظاهرة[8].

2. الدراسات السابقة

في دراسة تطبيقية أجريت ضمن مشروع بنية تحتية ضخم في المملكة المتحدة، قام الباحث بتحليل دور تقارير عدم المطابقة (NCRs) كأداة لتحسين إدارة الجودة في مشاريع البناء، وركّزت الدراسة تحديدًا على مشاريع الطرق السريعة. اتبعت الدراسة

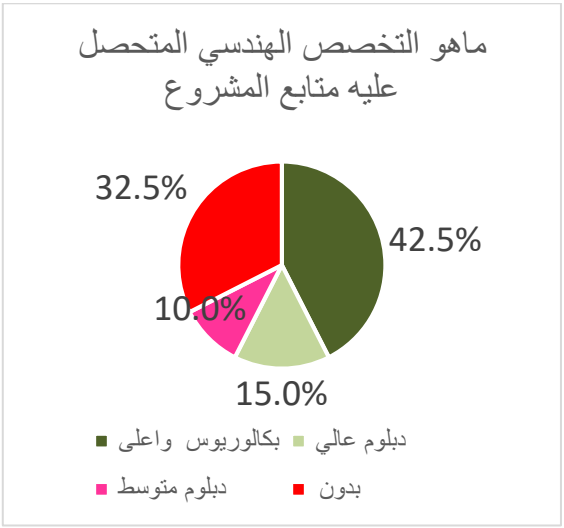
منهجًا مختلطًا تم تنفيذه على مرحلتين؛ حيث شملت المرحلة الأولى تحليل 1260 تقرير NCR للكشف عن أنماط الفشل المتكررة في التنفيذ، وقد بينت النتائج أن نسبة كبيرة من هذه التقارير تعود إلى مشكلات تتعلق بضعف التنسيق بين فرق العمل، وسوء استخدام المواد، وتنفيذ غير دقيق للتفاصيل الإنشائية رغم توفر المخططات اللازمة. أما المرحلة الثانية، فشملت استبيانًا موجهًا إلى مهندسين عاملين ضمن شركة مقاولات كبرى (Tier 1)، وأظهرت نتائجه أن معظم المهندسين يرون أن تكرار الأخطاء يعود إلى غياب التحقيق الجاد في أسباب الفشل، وضعف ثقافة التعلم من الأخطاء داخل المؤسسات، وأشار أكثر من ثلثي المشاركين إلى الحاجة لتفعيل أدوات تحليل معرفي مثل إطار Cynefin وتقنيات تحليل السبب الجذري (RCA) لفهم طبيعة مشكلات الجودة. وانتهت الدراسة إلى اقتراح إطار متكامل لتحسين الجودة يعتمد على تحليل منظم لبيانات NCR، وتعزيز ثقافة التعلم المؤسسي، واستخدام أدوات معرفية لحل المشكلات المعقدة، بما يدعم الانتقال نحو تنفيذ المشاريع بشكل صحيح من المرة الأولى (Right–First–Time). وعلى الرغم من أن نطاق الدراسة كان محصورًا في مشاريع الطرق، إلا أن النتائج التي توصلت إليها توفر مرجعية قابلة للتطبيق في قطاعات بناء أخرى تعاني من ضعف في الرقابة وتكرار العيوب[9]. و في سنة 2024 قام ضو عمر محمد الشيباني قام بدراسة أسباب التأخير في تنفيذ المشاريع الإنشائية بمنطقة الجبل الغربي .حيث شملت عدة مشاريع مثل الطرق والمباني والمؤسسات الصحية والتعليمية. ولضمان استمرارية ونجاح مشاريع البناء، أجريت هذه الدراسة لتحديد أسباب التأخير في مشاريع البناء، وتحديد أسبابها الرئيسية، وتحديد أسباب التوقف والعواقب المحتملة التي قد تنشأ لاحقًا. تم استخدام استبيان كمنهجية للبحث، مع توزيع 61 نسخة ورقية على المهندسين والمتخصصين في المؤسسات الحكومية والشركات الخاصة في منطقة الجبل الغربي. تم جمع الاستبيانات وتحليلها باستخدام برنامج التحليل الإحصائي. وجدت الدراسة أن المالكين والمقاولين والاستشاريين يساهمون بشكل كبير في التأخير بسبب عدة عوامل، بما في ذلك نقص الخبرة وسوء الإدارة وتغييرات التصميم وتأخير المدفوعات المالية. بناءً على هذه النتائج، اقترحت الدراسة عدة توصيات، بما في ذلك جذب الاستثمارات الأجنبية، وتشجيع الشراكات بين المقاولين، وتعزيز البرامج التعليمية في إدارة المشاريع، وتحسين الآليات التنظيمية للمقاولين[10]. وفي سنة 2024 أيضا قام م. صادق يحي بومجداد و م. محمد عزت النخيلي بتقييم جودة التصميم وأثاره على التنفيذ بمشاريع السكن الخاص بالكويت حيث ظهرت العديد من المشاكل الفنية بمرحلة الانشاء في بعض مشروعات السكن الخاص بدولة الكويت، تم ارجاع بعض من أسبابها إلى انخفاض جودة التصميم، وحيث أن جودة وثائق التصميم من العوامل الفعالة التي تسهم في نجاح وكفاءة مشاريع البناء، فقد تناولت الدراسة تقييم جودة تصميم السكن الخاص والعوامل المؤثرة على مستوى جودة التصميم وتأثير تلك العوامل على جودة تنفيذ المشروع ووسائل رفع الجودة في مرحلة التصميم، تم الاستفادة من الدراسات السابقة ومقابلات الخبراء واتباع المنهج الوصفي التحليلي بالدراسة ببيانات كمية ونوعية حيث تم تحليل حالات دراسية المشروعات سكن خاص بالكويت كما تم جمع البيانات الكمية من خلال استخدام الاستبانة كأداة للحصول على الاستجابات للعينة من أطراف المشروع[11] ، وقد أظهرت نتائج الدراسة ضعف مستوى التصميم ووثائقه بصفة عامة في مشروعات السكن الخاص بالكويت حيث ساهم في تأخير تنفيذ المشروعات بنسبة متوسطة بلغت 51.8% من اجمالي عوامل تأخير المشروع بينما ساهم في زيادة تكلفة المشروعات بنسبة متوسطة بلغت 39.3% من اجمالي عوامل زيادة التكلفة وقد ارتبط قصور التصميم بعدة عوامل تسبب فيها استشاري المشروع أبرزها ضعف المستوى الفني وعدم التنسيق بين المخططات والوثائق المرتبطة بها وعدم مراجعة المشروع وعدم تقديم تفاصيل كافية للتنفيذ والنسخ من مشاريع سابقة مماثلة، بينما كان من أهم العوامل

التي تسبب فيها مالك المشروع عدم القدرة على تحديد احتياجاته بوضوح ودقة نتيجة ضعف خبرته واختيار الاستشاري على أساس السعر على حساب الكفاءة وقيامه بالتعديل على التصميم أثناء تنفيذ المشروع، فضلاً عن عوامل أخرى اقل تأثيرا منها ضعف الاتصال بين اطراف المشروع وعدم اتاحة الوقت الكافي للتصميم وعدم وجود كود تصميم محلي موحد وتم وضع إطار شامل من التوصيات لرفع جودة مرحلة التصميم كان من أهمها تفعيل الرقابة والتقييم المستمر للمكاتب الاستشارية، وتفعيل نهجا شاملا لتقييم جودة التصميم وحصول أطقم التصميم على تصاريح مزاولة مهنة من جمعية المهندسين الكويتية بعد تقييم قدراتهم ونشر الوعي بين مالكي المشروعات بمعايير اختيار الاستشاري. [12]

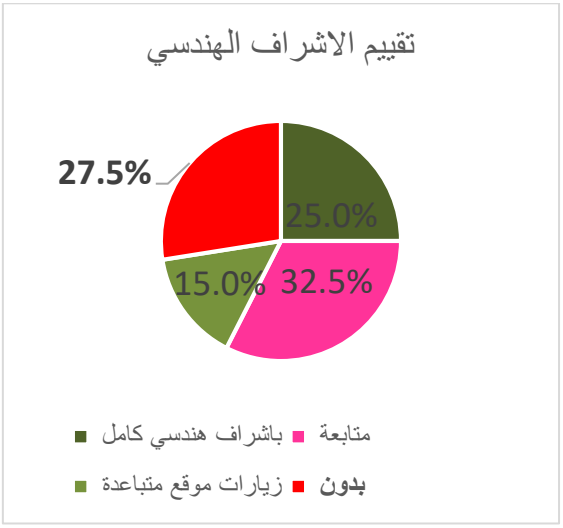
3. منهجية البحث

يعتمد هذا البحث على المنهج الوصفي التحليلي، وذلك لتحليل واقع الرقابة الهندسية في مشاريع البناء والتنفيذ في مناطق الجنوب الليبي، من خلال جمع البيانات المتعلقة بأساليب الإشراف، مستوى الالتزام بالمواصفات، والمعوقات التي تواجه تطبيق الرقابة الفنية في الميدان. حيث تم توزيع 40 استبيان على مهندسين مشرفين على مواقع التنفيذ ومقاولين منفذين في منطقة وادي الشاطئ.

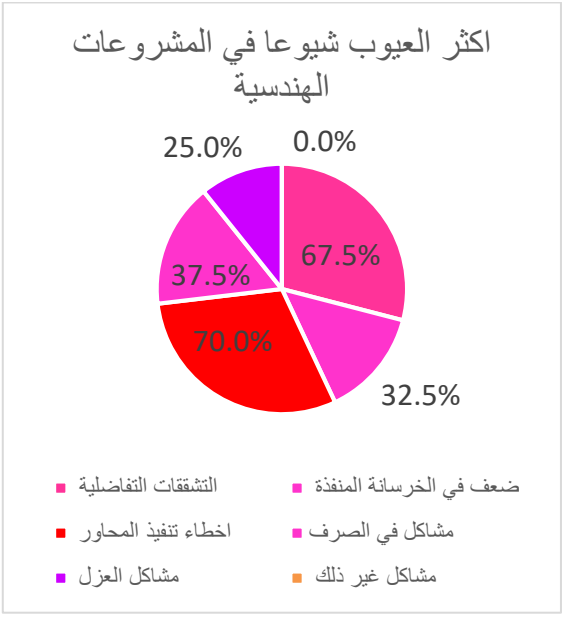
4. النتائج



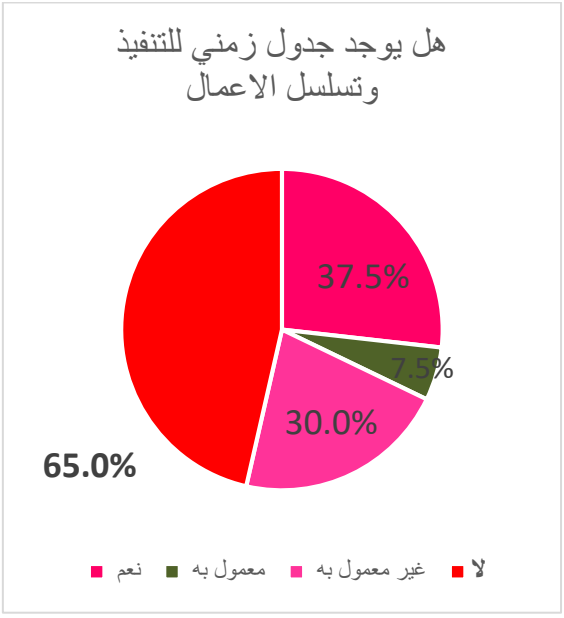
الشكل (1) يوضح تخصصات المشاركين في الإستبيان



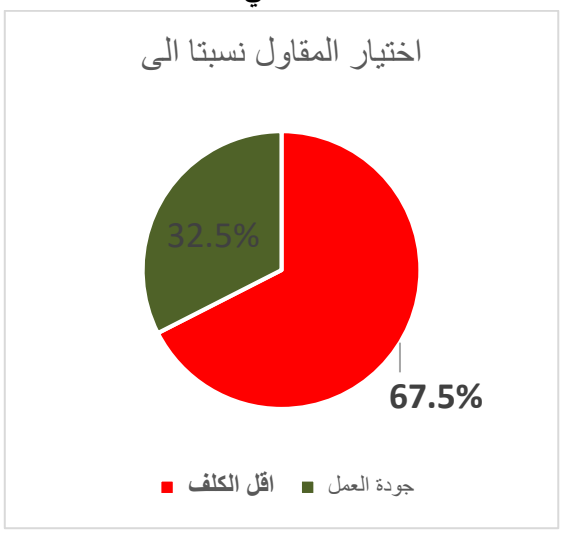
الشكل (2) يوضح تقييم الإشراف



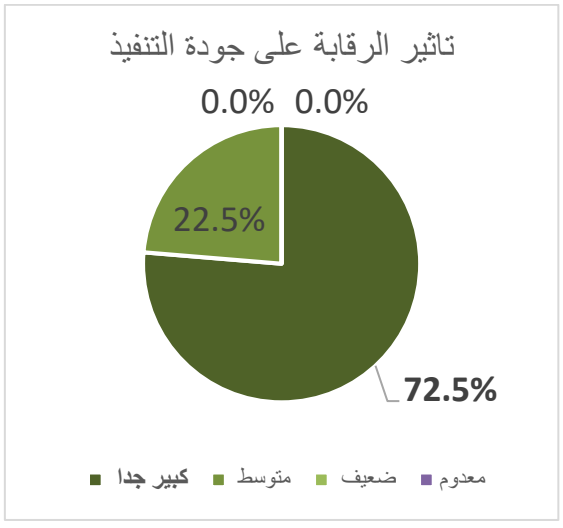
الشكل (3) يوضح العيوب الأكثر شيوعا في المشاريع الهندسي



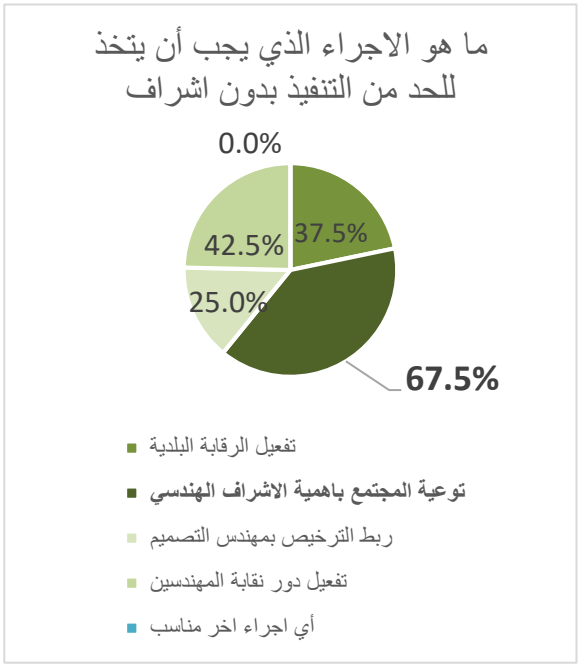
الشكل (4) يوضح الجدول الزمني للتنفيذ وتسلسل الأعمال



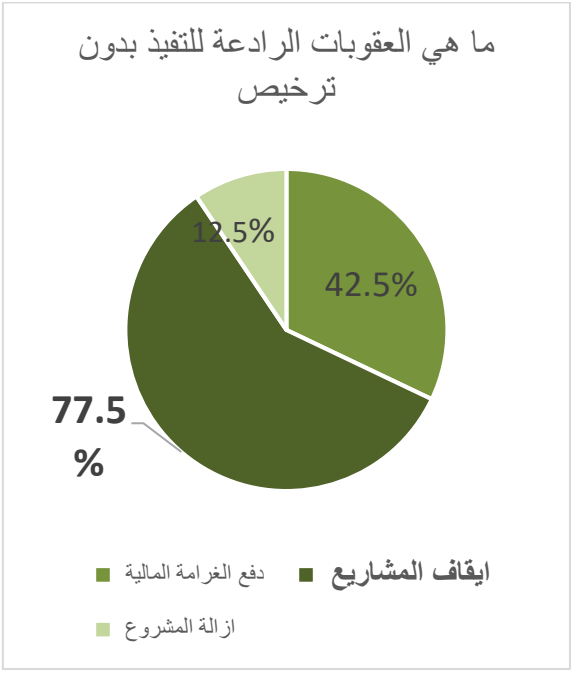
الشكل (5) يوضح معيار اختيار المقاول



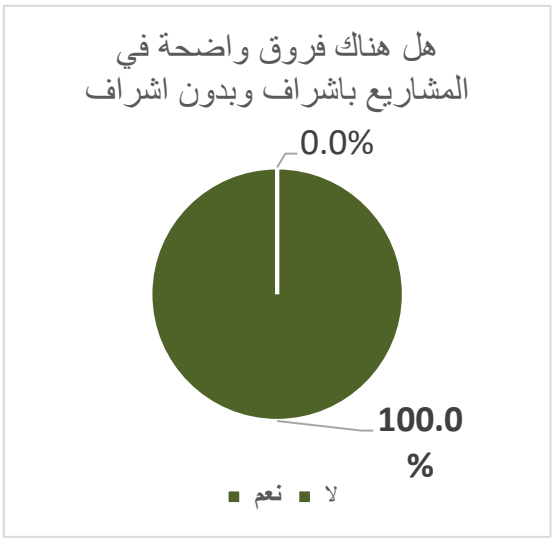
الشكل (6) يوضح تأثير الرقابة على جودة التنفيذ



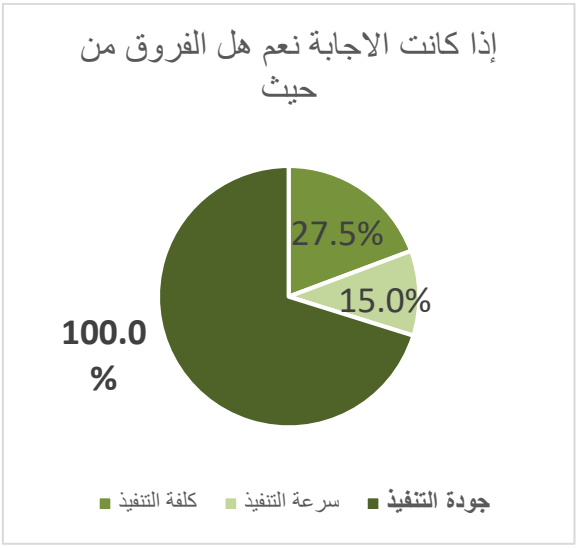
الشكل (7) يوضح الإجراءات التي يجب اتباعها للحد من التنفيذ من غير اشراف



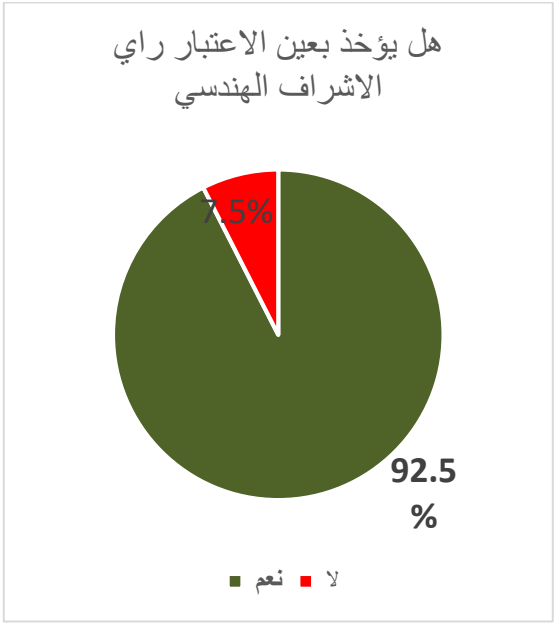
الشكل (8) يوضح العقوبات الرادعة للتنفيذ بدون ترخيص



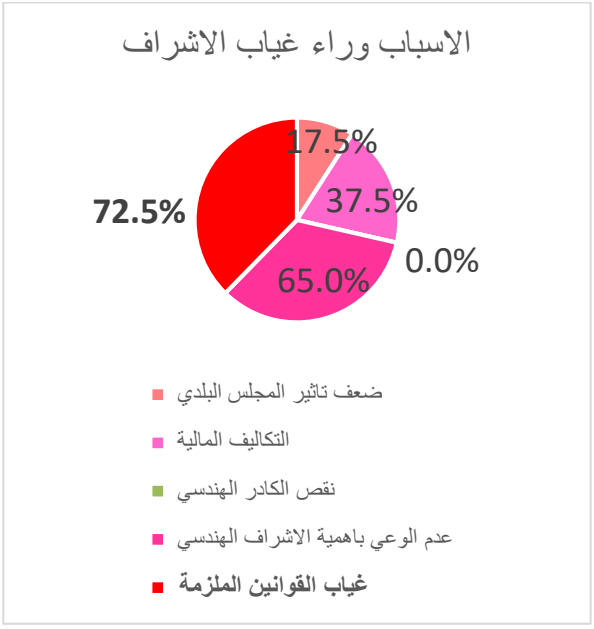
الشكل (9) يوضح هل هناك فروق واضحة في المشاريع بالإشراف وبدون إشراف



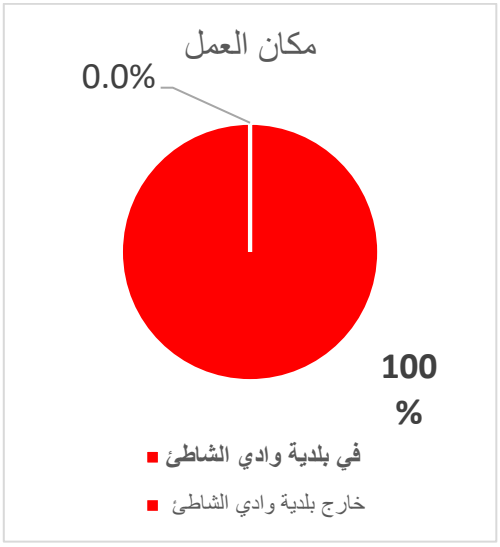
الشكل (10) يوضح الفروقات الموجودة في المشاريع التي بها إشراف



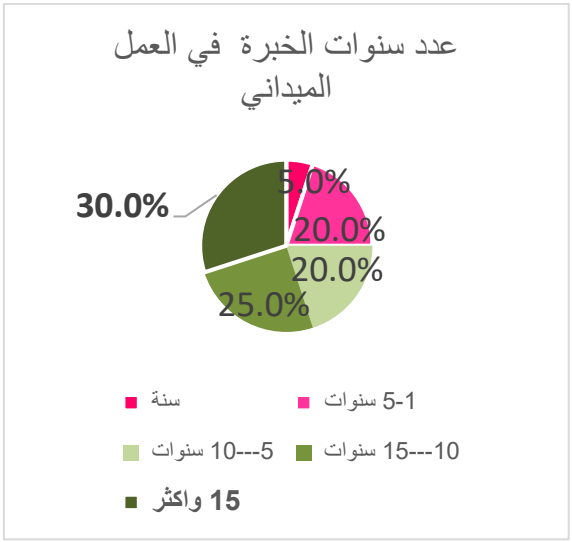
الشكل (11) يوضح هل هناك فروق واضحة في المشاريع بالإشراف وبدون إشراف



الشكل (12) يوضح الأسباب وراء غياب الإشراف



الشكل (13) يوضح مكان العمل



الشكل (14) يوضح عدد سنوات الخبرة في العمل الميداني

4.1 ناقشة النتائج

تُظهر نتائج الاستبيان تنوعًا واضحًا في الخلفيات الأكاديمية للمشاركين في الاستبيان ، حيث تبين أن 42.5% منهم يحملون درجة البكالوريوس أو أعلى، في حين أن 32.5% لا يمتلكون أي مؤهل أكاديمي هندسي، مما يعكس فجوة معرفية قد تؤثر على جودة القرارات التنفيذية المتخذة في المشاريع. انظر الشكل (1) وفيما يخص سنوات الخبرة الميدانية، فإن أكبر نسبة

(30%) من المشاركين يمتلكون خبرة تتجاوز 15 سنة، وهو مؤشر إيجابي على توفر الكفاءات، في حين أن نسبة ذوي الخبرة سنة واحدة فقط لا تتجاوز 5%، ما يعزز مصداقية الإجابات المتعلقة بواقع التنفيذ. انظر الشكل (14) أما بخصوص مكان العمل، فأكد جميع المشاركين في الإستبيان أنهم يعملون بنسبة 100% داخل بلدية وادي الشاطئ انظر الشكل(13)، ما يعطي قوة تمثيلية للبيانات في السياق المحلي للبلدية , و يؤكد على أنه ليس لهم علاقة في الخارج فإن دل ذلك يدل على عدم استخدام تقنيات حديثة في صناعة مواد البناء في الجنوب الليبي ومثال على ذلك عدم استخدام الطوب البوليسترين . من ناحية تقييم الإشراف الهندسي، تبين أن 32.5% فقط أفادوا بوجود متابعة متقطعة أي زيارات ميدانية كل 10 أيام ، بينما أشار 27.5% إلى غياب الإشراف كليًا، ما يعكس ضعفًا واضحًا في آليات الرقابة الميدانية. انظر الشكل (2) . وفي تحليل أسباب غياب الإشراف الهندسي، كانت أبرزها غياب القوانين الملزمة بنسبة 72.5%، تليها عدم وعي المجتمع بأهمية الإشراف بأهمية الإشراف الهندسي (65%)، ثم التكاليف المالية (37.5%)، ما يُظهر وجود خلل في البنية التنظيمية والتشريعية. انظر الشكل (12) .إن عدم وجود كادر إشراف مؤهل لمتابعة المشاريع أو أنه حاصل على شهادة متوسطة وأدنى يؤدي إلى حدوث أخطاء هذه الأخطاء أهمها أخطاء في تنفيذ الخرسانات وأخطاء في تنفيذ الصرف الصحي وشبكات الكهرباء ، فقد تمثلت أبرز العيوب في "أخطاء في تنفيذ المحاور" (70%) والتشققات التفاضلية (67.5%)، ثم مشاكل في الصرف(37.5%)، وكلها مؤشرات تدل على ضعف جودة التنفيذ وغياب الرقابة الهندسية الفعلية. انظر الشكل (3) وبخصوص وجود جدول زمني للتنفيذ، أوضح 65% من المشاركين أنه لا يوجد أي جدول، بينما أشار 30% إلى وجود جدول غير معمول به، مما يعكس ضعفًا في التخطيط الإداري والتنظيمي. انظر الشكل (4). وفي ما يتعلق بمعايير اختيار المقاولين، تبين أن 67.5% من المشاريع تم اختيار منفذيها على أساس أقل تكلفة وليس بناءا على الكفاءة، في مقابل 32.5% تم اختيارهم بناءً على جودة العمل، وهو ما يشير إلى تفضيل الجانب المالي على حساب الجودة الفنية. انظر الشكل (5). حول مدى تأثير الرقابة على جودة التنفيذ حيث أكد 72.5% من المشاركين أن تأثيرها كبير جدًا ، ما يعزز أهمية تعزيز أنظمة الإشراف والرقابة الرسمية. انظر الشكل (6) . وفيما يتعلق بالفرق بين المشاريع المنفذة بإشراف وتلك دون إشراف، أفاد 100% من المشاركين بوجود فروق واضحة، وقد حدد 100% منهم أن هذه الفروق تتجلى في جودة التنفيذ، تليها تكلفة التنفيذ (27.5%) وسرعة الإنجاز (15%). انظر الشكل (10) .أما عن مدى أخذ رأي الإشراف الهندسي بعين الاعتبار، فقد أكد 92.5% من المشاركين أنه يتم الأخذ به، وهو مؤشر إيجابي يعكس بعض جوانب التفاعل المؤسسي، رغم محدوديته. انظر الشكل (11) . وفي ما يتعلق بالإجراءات الواجب اتخاذها للحد من التنفيذ دون إشراف، اعتبر 67.5% من المشاركين أن توعية المجتمع بأهمية الإشراف الهندسي هي الإجراء الأهم، تليها تفعيل دور نقابة المهندسين بنسبة 42.5%. انظر الشكل (7). وعن العقوبات المقترحة، رأى 77.5% أن إيقاف المشروع هو الإجراء الرادع الأنسب، في حين اقترح 42.5% فرض غرامة مالية، ما يعكس الحاجة لردع حقيقي للحد من التجاوزات. انظر الشكل (8).

5.الاستنتاجات

1. تُظهر النتائج أن غياب الإشراف الهندسي أو محدوديته يؤثر بشكل مباشر وسلبي على جودة تنفيذ المشاريع، وهو ما أكدته نسبة كبيرة من المشاركين.

2. تمثل الأسباب التنظيمية والتشريعية، مثل غياب القوانين الملزمة وعدم الوعي بأهمية الإشراف، أحد أبرز العوائق أمام وجود رقابة فعّالة.
3. تُشير البيانات إلى أن التكاليف تُعد عاملاً مؤثراً في اختيار المقاولين، حيث يتم في كثير من الحالات تغليب الجانب المالي على الجودة.
4. أبرز العيوب المرتبطة بالمشاريع المنفذة دون إشراف كانت ضعف الخرسانة، والتشققات، ومشاكل الصرف، مما يعكس ضعفًا في تطبيق المعايير الهندسية.
5. يوجد تأثير واضح وملموس للرقابة الهندسية على جودة التنفيذ وتكلفته ومدة الإنجاز، ما يعزز من أهمية وجود أنظمة إشراف صارمة.

6.التوصيات

1. ضرورة تفعيل القوانين والتشريعات التي تُلزم بوجود إشراف هندسي في جميع مراحل المشروع، خاصةً في المشاريع العامة والخاصة على حد سواء.
2. تعزيز دور نقابة المهندسين في مراقبة جودة التنفيذ وتوفير الكادر الهندسي المؤهل للمواقع.
3. إطلاق برامج توعية للمواطنين والمستثمرين حول أهمية الإشراف الهندسي في الحفاظ على جودة وسلامة الأبنية.
4. تضمين معيار الجودة كشرط أساسي في اختيار المقاولين، وعدم الاعتماد فقط على عامل التكلفة.
5. فرض عقوبات رادعة، مثل إيقاف المشروع أو الغرامات المالية، على كل من ينفذ دون إشراف هندسي معتمد.

7.المراجع

[1] K. S. Kyaw, "Population and Economic Growth," *The International Journal of Management*, vol. 8, no. 1, Mar. 2019, doi: 10.32327/IJMESS/8.1.2019.1.

[2] A. Al-Juhani, "The Role of Regulatory and Supervisory Authorities in Enhancing Risk Management in the Construction Sector in the Kingdom of Saudi Arabia," *International Journal of Finance, Accounting and Economics Studies*, 2024, doi: 10.59992/ijfaes.2024.v3n8p12.

[3] Y. Qian, "Discussion on Supervision for Completion Acceptance of Construction Engineering," 2015, doi: 10.3969/j.issn.1671-3702.2015.11.040.

[4] M. M. Albattah, "Geoinformatics Engineering and GIS for Urban Growth Patterns Assessment," *Wasit Journal of Engineering Sciences*, vol. 10, no. 4, pp. 46–57, 2022.

[5] S. Huang, "Supervision Quality Control of the Main Architecture's Construction," 2011, doi: 10.3969/j.issn.1674-0688.2011.12.017.

[6] S. Shahraki, E. Saghatforoush, and A. Ravasan, "Identification and Classification of Factors Affecting the Performance of Building Supervisor Engineers for Construction Industry," *Journal of Engineering, Project & Production Management*, vol. 8, no. 2, 2018.

[7] S. Jkhsi, "Evaluation of Risk and Safety in Building Structures Under Construction," *International Journal of Applied Engineering and Scientific Advances*, vol. 1, no. 4, pp. 24–28, Oct. 2020, doi: 10.47346/IJAESA.V1I4.43.

[8] Y. Cao, *Quality Control of Construction Projects*, 2010.

[9] G. Ford, *Non-conformance and Rework in Construction: A Quality Management Improvement Initiative for Change*, Cardiff University, 2024.

[10]ض. ع. م. الشيباني، "دراسة أسباب التأخير في تنفيذ المشاريع الإنشائية بمنطقة الجبل الغربي"، جامعة سبها، 2024.

[11]ص. ي. بومجداد و م. ع. النخيلي، "تقييم جودة التصميم وأثاره على التنفيذ بمشاريع السكن الخاص بالكويت"، 2024.

[12]م. ع. عبد الرحمن، "أثر الإشراف الهندسي في جودة تنفيذ مشاريع البناء في المدن الليبية"، *مجلة العلوم الهندسية والتطبيقية*، جامعة طرابلس، 2019

دراسة أسباب تأخير تنفيذ المشاريع في مدينة مرزق

*[1] عبد العظيم سعد محمد الصيد خليفة, [2]إبراهيم علي خليفة غرغار
1 بكالوريوس وطالب دراسات عليا، القسم: الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ، البلد: جيزاو
2 أستاذ مساعد، القسم: الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة سبها، البلد: سبها

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى التعرف على أسباب تأخير تنفيذ المشاريع في مدينة مرزق. وذلك في ظل التحديات التي واجهتها المدينة خلال السنوات الأخيرة، خاصة بعد موجة النزوح في عام 2019 وتوقف أغلب المشاريع، تم إستئنافها تدريجيا أواخر عام 2023، ونظرا لأهمية المشاريع التنموية في دعم الاقتصاد المحلي وتحسين مستوى الخدمات، برزت الحاجة إلى دراسة علمية متخصصة تسلط الضوء على أبرز العوامل التي تؤدي إلى التأخير في تنفيذ هذه المشاريع من خلال التعرف على المدى الزمني الذي تصل له هذه التأخيرات، والتعرف على الطرف الأعظم مسؤولية عن التأخير، لقد إعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، وتم جمع البيانات باستخدام أداة الإستبيان التي وزعت على عينة مكونة من (120) مشاركا من فئات: المقاولين، الإستشاريين، والمالكين. توصلت الدراسة إلى عدد من النتائج أهمها: أن متوسط الفترة الزمنية للتأخير في المشاريع تتراوح مدتها(13–24) شهر، كما أظهرت النتائج إلى أن المقاول هو المتسبب الأول لحدوث التأخيرات في المشاريع في مدينة مرزق بنسبة (48.3 %) كما توصلت الدراسة إلى أن أعلى عشر أسباب تؤدي إلى التأخير في تنفيذ المشاريع في مدينة مرزق حسب أهميتها من جهة نظر المستجيبين فهي بالترتيب: التأخر في دفع وصرف المستحقات والدفوعات المالية للمقاول، إرتفاع الأجور، التأخير في الدفعات للموردين، التأخير في الدفعات للمقاولين الفرعيين (الباطن)، تأخر المالك في الموافقة على طلبات المقاول، التغير في أسعار المواد، نقص العمالة الماهرة في السوق، التأخير في إعتماد مستحقات المقاول من قبل الإستشاري، إختيار المقاول ذو الأقل سعر، الصعوبات المالية في تمويل المشروع من قبل المقاول، وفي ضوء النتائج، قدمت الدراسة عددا من التوصيات العملية التي من شأنها تحسين إدارة المشاريع وتسريع وتيرة تنفيذها، مثل: وضع سياسات واضحة إتجاه نظام المناقصات وإختيار المقاول، يجب على المقاول أن يقوم بتحديد مصادر التمويل وضرورة وضع خطة مالية لكل مشروع قبل البدء بتنفيذه، وقيام المالك أو صاحب المشروع بتقدير وتحديد الميزانية بشكل دقيق قبل البدأ في تنفيذ المشروع. وتوفير مبالغ إحتياطية للمشروع، إتخاذ إجراءات عقابية وتغريم للمقاول المتأخر (إذا كان التأخير دون سبب قاهر)، وتطوير أليات التعاقد والتمويل، تعزيز قدرات المقاولين، تحسين مستوى الإشراف الهندسي، ووضع خطط طوارئ للمخاطر المحتملة.

الكلمات الدالة: *أسباب تأخير المشاريع، المشاريع الإنشائية، إدارة تنفيذ المشاريع، تحليل البيانات الإحصائية، تقييم الأداء الزمني، أطراف المشروع.*

Abstract

This study aims to identify the causes of project delays in the city of Murzuq, considering the challenges the city has faced in recent years, especially after the wave of displacement in 2019, which led to the suspension of most projects. Projects resumed gradually in late 2023.

Given the importance of development projects in supporting the local economy and improving service levels, there emerged a need for a specialized scientific study to highlight the key factors contributing to project delays. The study examines the timeframes of these delays, identifies the party most responsible, and importance.The study adopts a descriptive-analytical approach, collecting data through a questionnaire distributed to a sample of 120 participants, including contractors, consultants, and owners. The study found that the average delay in projects ranges between 13 and 24 months. Results also indicate that contractors are the primary cause of delays in Murzuq's projects, accounting for 48.3% of cases. The top ten causes of project delays, ranked by importance according to respondents, are:Delays in payment and financial dues for contractors, High wages, Delayed payments to suppliers, Delayed payments to subcontractors,Owners' delays in approving contractors' requests, Fluctuations in material prices, Shortages of skilled labor in the market,Delays in consultants' approval of contractors' dues,Selection of the lowest-bidding contractor, Financial difficulties faced by contractors in project fundingIn light of these findings, the study provides several practical recommendations to improve project management and accelerate implementation, including: Establishing clear policies for bidding systems and contractor selection, Requiring contractors to identify funding sources and develop financial plans before starting projects, Ensuring owners accurately estimate and set budgets before project initiation, including reserve funds, Imposing penalties on delayed contractors unless justified by unavoidable circumstances, Enhancing contracting and financing mechanisms, Strengthening contractor capabilities, Improving engineering supervision standards, Developing contingency plans for potential risks.

***Keywords**: Project delay causes, Construction projects, Project implementation management, Statistical data analysis, Time performance evaluation, Project stakeholders.*

1. المقدمة:

تعد المشاريع التنموية والبنية التحتية من الركائز الأساسية لتحقيق التنمية الإقتصادية والإجتماعية في أي مجتمع وفي مدينة مرزق، التي تشهد تزايدا في إحتياجاتها التنموية، تلعب المشاريع دورا حيويا في تحسين جودة الحياة وتطوير الخدمات الأساسية للسكان. ومع ذلك، يواجه العديد من هذه المشاريع تحديات تعيق تنفيذها في الوقت المحدد، مما يؤدي إلى تأخيرها أو تعطيلها بشكل متكرر. إن تأخير تنفيذ المشاريع التنموية في المدينة يشكل عائقا كبيرا أمام تحقيق الأهداف المرجوة في التنمية المستدامة وتحسين جودة الحياة للسكان. تعتبر مشكلة تأخير تنفيذ المشاريع من القضايا الحيوية التي تؤثر على تقدم المجتمع ونمو الإقتصاد، حيث تؤدي إلى زيادة التكاليف وفقدان الثقة بين المواطنين والجهات المعنية. وقد أصبحت ظاهرة

تأخير تنفيذ المشاريع واحدة من المشاكل الأساسية التي تؤثر سلبا على حياة المواطنين. إن دراسة أسباب هذا التأخير باتت ضرورة ملحة، نظرا لتأثيراتها المتعددة على الإقتصاد المحلى وعلى البيئة الحضرية في المدينة. ويعد تحديد الأسباب وفهم الأسباب الجوهرية لتأخير تنفيذ المشاريع خطوة أساسية نحو إيجاد حلول فعالة للتغلب على هذه التحديات وتحقيق الأهداف التنموية للمنطقة. تسعى هذه الدراسة إلى تحليل أسباب تأخير تنفيذ المشاريع في مدينة مرزق من خلال جمع البيانات اللازمة من خلال إستبيانات ومقابلات مع المسؤولين والمشرفين على المشاريع، بالإضافة إلى تحليل البيانات باستخدام الأساليب الإحصائية المتقدمة. من خلال هذا البحث، نسعى إلى تقديم توصيات عملية تستهدف تحسين عملية التخطيط والتنفيذ للمشاريع في مدينة مرزق، مما يساهم في تحقيق التنمية المستدامة والتطوير الشامل للمدينة.

ويقصد بالمشاريع في هذه الدراسة المشاريع الإنشائية التي يتم تنفيذها في مدينة مرزق، سواء كانت مشاريع إنشاء جديدة أو مشاريع صيانة وتطوير إعادة تأهيل، وتشمل المباني العامة، والمرافق الصحية والتعليمية، وشبكات الطرق والصرف الصحي والبنية التحتية وغيرها من الأعمال الإنشائية التي تنفذها الجهات المختصة في المدينة.

إن المشاريع الإنشائية معرضة للعديد من التقلبات والتغيرات والعوامل غير القابلة للتنبؤ والتي تنتج بسبب أداء الأطراف المشتركة في المشروع، ومدى توافر الموارد، والظروف البيئية، والعلاقات التعاقدية، وغيرها من العوامل المؤثرة على المشروع، مما يسبب تأخير في إنجاز المشروع وعدم إكتماله في الوقت المحدد[1].

إن التأخير في المشاريع الإنشائية هي ظاهرة عالمية شائعة في كل البلدان، والتأخير هو من أكثر المشاكل شيوعا وله تأثير سلبي على نجاح المشروع من حيث الوقت والتكلفة والجودة والأمان، كما أن التأخير له أطراف سلبية على أطراف المشروع (المالك، المقاول، الإستشاري) من حيث زيادة العدائية بين الأطراف وعدم الثقة ووجود محاكم ودعاوي بالإضافة إلى الشعور العام بالخوف إتجاه الأخر[2]. ولعدة قرون وصناعة الإنشاءات تلعب دورا أساسيا في المجال الإقتصادي والتنموي في جميع الدول، وهي من أهم القطاعات الرئيسية التي توفر العناصر الهامة لتطوير الإقتصاد[3].

تعكس هذه التأخيرات مجموعة من العوامل المعقدة والمتشابكة التي تشمل، من جهة، الظروف الأمنية والسياسية غير المستقرة في البلاد، والتي كانت لها تأثيرات سلبية على سير الأعمال وإستكمال المشاريع. كما تلعب الأزمة الإقتصادية الراهنة دورا محوريا في تأخير تنفيذ المشاريع، نظرا للتحديات المرتبطة بتوفير التمويل اللازم وتنظيم الميزانيات الحكومية بالإضافة إلى ذلك، تساهم العوامل الإدارية والتنظيمية مثل نقص الكوادر الفنية المدربة وضعف التنسيق بين مختلف الجهات الحكومية في تعميق هذه الأزمة. إن نجاح المشروع يتطلب إنجازه في حدود الوقت والتكلفة المحددة وتحقيق الجودة المناسبة[4].

2. منهجية الدراسة:

تعد هذه الدراسة بحثا وصفيا تحليليا يستخدم المنهج الكمي لجمع وتحليل البيانات بهدف التعرف على أسباب تأخير تنفيذ المشاريع، والجهات المسؤولة، وقياس المدة الزمنية للتأخير في مدينة مرزق.

تعتمد هذه الدراسة على المنهج الوصفي لاعتماده في تحليل وتفسير البيانات والحقائق التي جمعها الباحث وتفسيرها من أجل الوصول إلى النتائج.

وتعتمد الدراسة أسلوب المسح (الإستبيان) التي تستخدم للتعرف على خصائص الظاهرة ومعرفة المتغيرات والعوامل التي تتسبب بوجودها.

تـم تصـميم إسـتبيان يتضـمن أسـئلة ومقـاييس لقيـاس أسـباب التـأخير، المـدة الزمنيـة للتـأخير، وتحديـد الجهـات المسؤولة، بالإضافة إلى أسئلة أخرى.

الإسـتبيانات: تـم تصـميم إسـتبيان يعتمـد علـى قيـاس درجـة تـأثير العوامـل المختلفـة موجـه لمجموعـة مـن المشـاركين مـن ذوي العلاقـة، مثـل المهندسـين المشـرفين علـى المشـاريع والمقـاولين ومـديري المشـاريع، لجمـع المعلومـات حـول الأسـباب التـي تـؤدي إلـى تـأخير تنفيـذ المشـاريع وقـد أعـدت خصيصـا لجمـع البيانـات التـي تتعلـق بموضـوع الدراسة.

1.2 مجتمع البحث:

يتكـون مجتمـع الدراسـة مـن المقـاولين، الإستشـاريين، وأصـحاب المشـاريع الـذين لـديهم خبـرة مباشـرة فـي تنفيـذ المشاريع في مدينة مرزق.

2.2 عينة البحث:

تـم إختيـار عينـة تمثيليـة باسـتخدام أسـلوب العينـة العشـوائية الطبقيـة، لضـمان تمثيـل كافـة الفئـات ذات العلاقـة بالمشاريع، مع عدد مستهدف يصل إلى 120 مشاركا.

سيتم إختيار عينة مكونة من جميع رؤساء المشاريع والمقاولين والمهندسين المشرفين على المشاريع.

3.2 أساليب تحليل البيانات:

تحليـل إحصـائي: تحليـل البيانـات الكميـة باسـتخدام أدوات إحصـائية، لمعالجـة إسـتجابات الإسـتبيانات وتصـنيف الأسباب المؤثرة على التأخير حسب درجة تأثيرها.

تحليل النتائج بناء على الفئات المختلفة للمبحوثين (مقاولين، إستشاريين، مالكين)

3. النتائج والمناقشة:

عرض نتائج التحليل الإحصائي ومناقشتها.

1.3 عرض نتائج أقسام الإستبانة:

أداء المشاريع التابعة لمدينة مرزق:

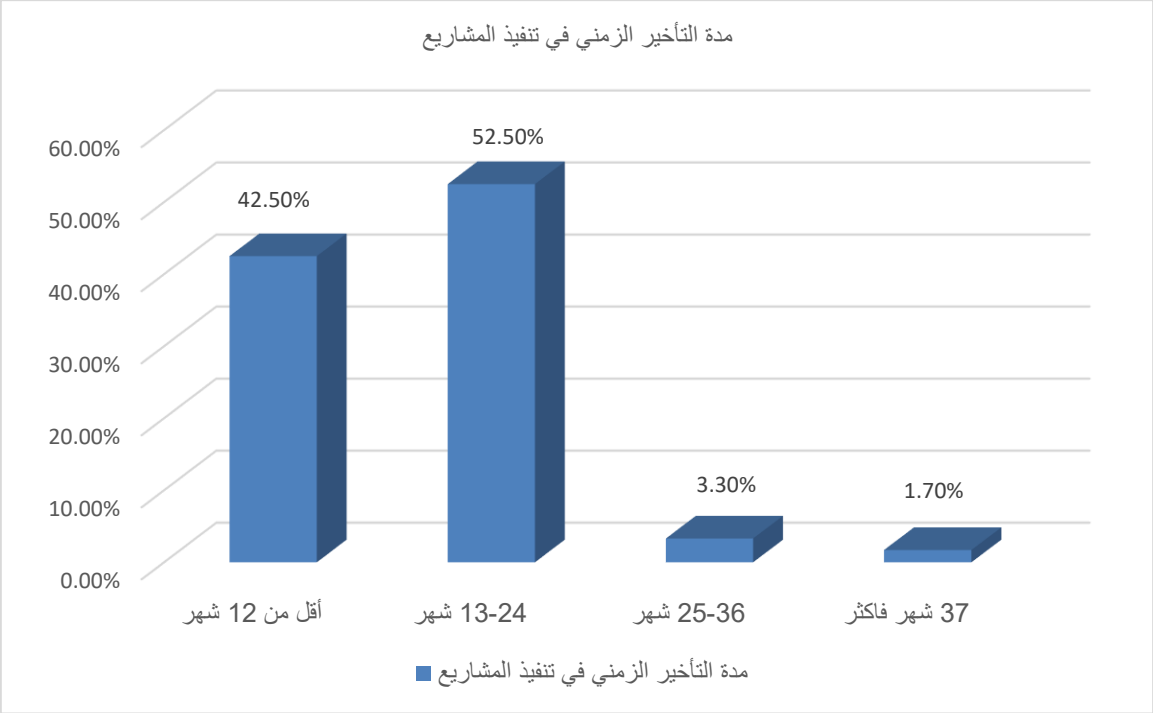
يتمثـل هـذا القسـم مـن الإسـتبانة والـذي يتكـون مـن أسـئلة تتعلـق بـأداء تنفيـذ المشـاريع التابعـة لمدينـة مـرزق، ويحتـوي هـذا القسـم علـى سـؤالين يتعلقـان بمـدة التـأخير الزمنـي لتنفيـذ المشـاريع، ومعرفـة مـن هـو الطـرف الأكبـر مسـؤولية لحـدوث التـأخير فـي تنفيـذ المشـاريع التابعـة لمدينـة مـرزق ولقـد إسـتخدم الباحـث لتحليـل هـذا المحـور المعالجـة والنسب الإحصائية اللازمة باستخراج الأعداد المئوية.

1. مدة التأخير الزمني في تنفيذ المشاريع

قـام الباحـث بتوجيـه هـذا السـؤال إلـى المسـتهدفين، وقـام الباحـث بتحديـد أربعـة خيـارات للمسـتهدفين وقـد طلـب مـنهم إختيار أحد الخيارات، وتم إستخراج التكرارات والنسب المئوية للتكرار لكل خيار من الخيارات الأربعة.

جدول (1): النسب المئوية والتكرارات حول مدة التأخير الزمني في تنفيذ المشاريع

الرقم	مدة التأخير الزمني في تنفيذ المشاريع	التكرار	النسبة المئوية للتكرار
1	أقل من 12 شهر	51	%42.5
2	13-24 شهر	63	% 52.5
3	25-36 شهر	4	% 3.3
4	37 شهر فاكثر	2	% 1.7



شكل (1): مدة التأخير في تنفيذ المشاريع

من خلال النتائج المعروضة في الجدول والموضحة في الشكل أن أعلى مدة في التأخير الزمني في تنفيذ المشاريع تتراوح من (13-24 شهر) وبنسبة مئوية (52.5%)، يأتي بعدها في التأخير المدة التي يتراوح مداها (أقل من 12 شهر) بنسبة (42.5%)، يليها في المرتبة الثالثة فترة التأخير التي تتراوح من (25-36 شهر) بنسبة (3.3%)، ثم في المرتبة الرابعة جاءت فترة التأخير (37 شهر فأكثر) بنسبة (1.7 %).

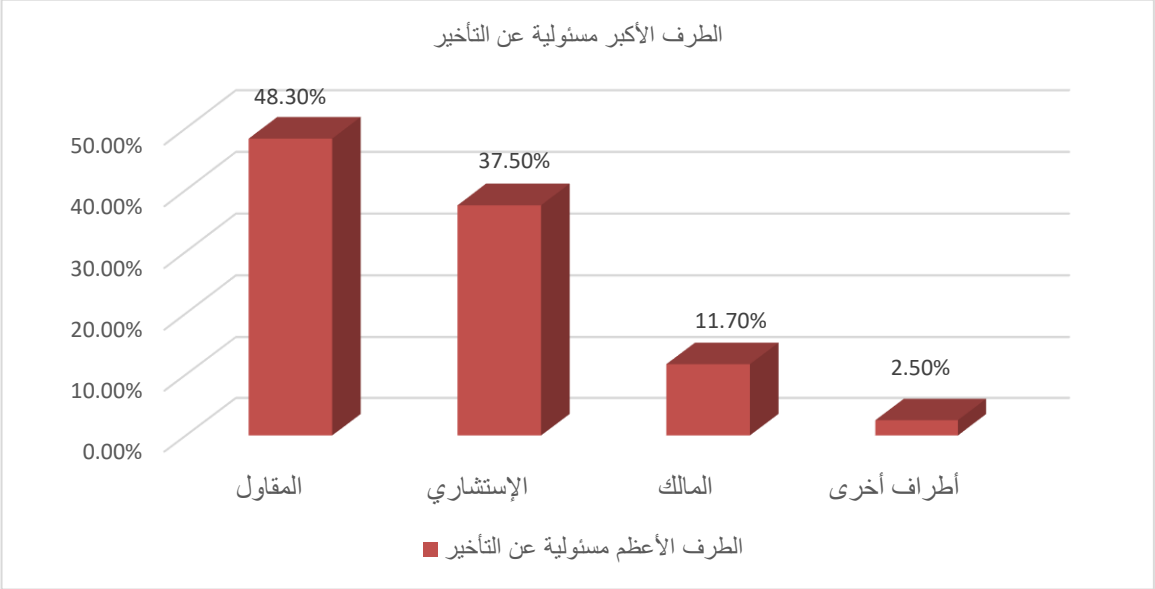
يري الباحث أن مدة التأخير الزمنية والتي تتراوح من (13-24 شهر) مدة كبيرة ولها تأثير كبير وينعكس سلبا على جميع أطراف المشروع وعلى المواطنين، حيث تنعكس مدة التأخير هذه على المقاول من حيث تجاوز التكاليف وزيادة المصاريف، كما تنعكس على المالك في عدم إستثمار المشروع والإستفادة من عوائده، وتنعكس على المواطنين في عدم الإستفادة من خدمات هذا المشروع.

2. الطرف الأكبر مسؤولية عن حدوث التأخير في تنفيذ المشاريع التابعة لمدينة مرزق.

قام الباحث بتوجيه سؤال إلى المستهدفين، وذلك لتعرف على الطرف الأكبر مسؤولية عن حدوث التأخير في تنفيذ المشاريع التابعة لمدينة مرزق، وقام الباحث بتحديد أربعة خيارات للمستهدفين، وقد طلب منهم إختيار أحد الخيارات، وتم إستخراج التكرارات والنسب المئوية لكل خيار من الخيارات الأربعة.

جدول (2): النسب المئوية والتكرارات حول الطرف الأكبر مسؤولية عن حدوث التأخير في تنفيذ المشاريع التابعة لمدينة مرزق

الرقم	الطرف	التكرار	النسبة المئوية للتكرار
1	المقاول	58	% 48.3
2	الإستشاري	45	%37.5
3	المالك	14	% 11.7
4	أطراف أخرى	3	%2.5



شكل (2): الطرف الأكبر مسئولية عن حدوث التأخير في تنفيذ المشاريع

من خلال النتائج المعروضة في الجدول والموضحة في الشكل أن أعلى نسبة كانت (48.3 %) والتي أشارت أن المقاول هو الطرف الأكبر مسؤولية عن حدوث التأخير في تنفيذ المشاريع التابعة لمدينة مرزق، يليها في الترتيب الثاني الإستشاري بنسبة مئوية بلغت (37.5%)، ثم المالك بنسبة بلغت (11.7%)، وفي الأخير حصلت أطراف أخرى على نسبة مئوية (2.5 %).

أظهرت النتائج أن المقاول هو الطرف الأعظم مسؤولية عن حدوث التأخير في تنفيذ المشاريع وذلك إلى عدد المهام والمسؤوليات الكثيرة التي تقع على عاتق المقاول في تنفيذ المشروع وإنجازه في الوقت المحدد.

4. الخلاصة:

تناولت هذه الدراسة تحليل الأسباب المؤثرة في تأخير تنفيذ المشاريع في مدينة مرزق، وذلك من خلال إستطلاع أراء ذوي العلاقة المباشرة بالمشاريع كالمقاولين والمهندسين والملاك، وقد سعت الدراسة إلى تقديم رؤية تحليلية معمقة، تسهم في وضع إطار عملي للحد من هذه الظاهرة مستقبلا.

الهدف الأساسي من هذه الدراسة هو دراسة أسباب تأخير تنفيذ المشاريع في مدينة مرزق باستخدام الإستبيانات التي تم تصميمها وعلى ضوء النتائج التي تم التوصل إليها من هذه الدراسة يمكن إستخلاص الأتي:

1.4 ملخص النتائج:

1. ملخص النتائج المستمدة من أداء المشاريع:

أظهرت النتائج، أن (52.5) من إجابات المستجيبين إلى أن الفترة الزمنية للتأخير في تنفيذ المشاريع تتراوح ما بين (13–24) شهرا

أظهرت النتائج، أن (48.3) من إجابات المستجيبين تظهر أن الطرف الأعظم مسؤولية عن حدوث التأخير هو المقاول

5. التوصيات:

1– توصي الدراسة المقاولين بتحديد مصادر التمويل وضرورة وضع خطة مالية لكل مشروع قبل البدء بتنفيذه، قادرة على التنبؤ بكل الظروف الغير طبيعية التي تحدث خلال تنفيذ المشروع من نقص السيولة لدى المقاول أو ارتفاع أجور العمال أو أسعار المواد أو وجود أعطال مفاجئة في المعدات.

2– توصي الدراسة بإعداد برامج تأهيلية للمقاولين المحليين تركز مهارات التخطيط، وإدارة الوقت، والتحكم في الموارد، لضمان تنفيذ المشاريع في الأوقات المحددة.

3– توصي الدراسة بأن يكون هناك نظام رقابي فاعل يلزم الإستشاريين بتقارير دورية موحدة تشمل الجوانب الفنية والمالية والزمنية، مع تفعيل أدوات المحاسبة المهنية في حال القصور.

4– توصي الدراسة بإنشاء منصة إلكترونية توثق المشاريع المنفذة في مدينة مرزق، تتضمن معلومات تفصيلية عن التحديات وأسباب التأخير لتستفاد منها في تخطيط المشاريع المستقبلية.

5– توصي الدراسة بالإستفادة من البرمجيات المتخصصة في إدارة المشاريع لتتبع مراحل التنفيذ، مما يسهل رصد الإنحرافات الزمنية أولا بأول ومعالجتها بشكل فوري.

6. المراجع:

projects. [1]Assaf, S. A., & Al-Hejji, S. (2006). Causes of delay in large construction International Journal of Project Management, 24(4), 349-357.

[2]Ahmed, S. M., Azhar, S., Kappagantula, P., & Gollapudi, D. (2003).

Delays in Construction: A Brief Study of the Florida Construction Industry. Paper presented at the ASC Proceedings of the 39th Annual Conference, Clemson University, Clemson, SC.

[3]Nasser, A. (2013). The Effect of Payment Delay on Construction Projects in Gaza Strip. (Master's thesis), The Islamic University – Gaza, Gaza – Palestine.

[4]Burke, R. (1999). Project management: planning & control techniques. New York: Wiley.

[5]Marzouk, M. M., & El – Rasas, T. I. (2014). Analyzing delay causes in Egyptian construction projects. JARE Journal of Advanced Research.

[6]Mahamid, Ibrahim. (2017). Schedule Delay in Saudi Arabia Road Constru Construction Projects: Size, Estimate, Determinants and Effects. International Journal of Architecture, Engineering and Construction.

[7]Anita, R., Wira, D., (2022). Causes of delays in construction projects in the Province of Aceh, Indonesia. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, UniversitasSyiah Kuala, Aceh, Indonesia.

تأثير اختلاف درجات حرارة المعالجة على مقاومة الضغط للمونة الجيوبوليمرية

حيدر عبد السلام الحداد*[1], عبد السلام المبروك عكاشة *[2]
باحث بقسم الهندسة المدنية جامعة وادي الشاطئ
أستاذ الخرسانة بقسم الهندسة المدنية جامعة وادي الشاطئ
للمراسلة : haiderabdulsalam96@gmail.com

الملخص

أصبحت التنمية المستدامة الأمر الشاغل لجميع الباحثين في عصرنا الحالي لتطبيق التنمية المستدامة في مجال الهندسة المدنية يتم تطوير واكتشاف مواد حديثة صديقة للبيئة حيث أشارت العديد من الدراسات إلي توفر المواد الطينية وبشكل كبير في مناطق الجنوب الليبي بحيث يمكن استخدام تلك المواد في صناعة الخرسانة وذلك لغرض تحسين بعض خواصها و كدلك إضافة مادة لمواد البناء و التقليل من المشاكل البيئية و انبعاثات الغازات الناتجة من مصانع الاسمنت حيث يتم في هذه الدراسة معرفة مدى تأثير اختلاف درجة حرارة المعالجة علي مقاومة الضغط للمونة الجيوبوليمرية المعدة من الطين التي تم إحضارها من موقع في منطقة سبها بجنوب ليبيا و التي تم حرقة عينات الطين لمدة ساعتان علي درجة حرارة 800c° وطحنها بدرجة نعومة تصل نسبة المار من منخل 0.075mm الى 100% و الذي تم تحفيزها باستخدام منشط قلوي وهو مزيج محلول هيدروكسيد الصوديوم مع سيليكات الصوديوم بنسبة 2.5% و بتركيز (20M,18M) وذلك لتحفيز عملية البلمرة و لإنتاج مونة جيوبوليمرية حيث تم تعرض العينات بعد 48 ساعة من عملية الصب لدرجات حرارة (حرارة الغرفة،80c° , 100c° , 120c°) ولمدة 24 ساعة و معرفة مدى تأثير درجة حرارة المعالجة علي مقاومة قوة الضغط علي المونة الجيوبوليمرية و مقارنتها بنتائج مقاومة المونة الإسمنتية واعتبارها عينة مرجعية , وفي هذه الدراسة تم التوصل الي انه أفضل درجة حرارة معالجة للمونة الجيوبوليمرية علي المدى البعيد لتركيزي 18M و 20M كانت عند درجة حرارة الغرفة و التي تصل مقاومة الضغط الي 73.11 Map و 77.86 Mpa علي التوالي, حيث توصي الدراسة بالعمل علي أنواع أخرى من البوزلانا و منشطات قلوية أخرى و بتركيزات ودرجات حرارة مختلفة .

الكلمات الدالة : *المونة الجيوبوليمرية ، مزيج ، المعالجة ، مقاومة الضغط, منشط قلوي ، التركيزات*

Abstract

Sustainable development has become a major concern for all researchers in our current era. To apply sustainable development in civil engineering, new environmentally friendly materials are being developed and discovered. Many studies have indicated that clay materials are abundantly available in the southern regions of Libya, which can be used in concrete production to improve some of its properties, as well as to add material to construction and reduce environmental issues and gas emissions resulting from cement factories, This study

aims to investigate the effect of different curing temperatures on the compressive strength of geopolymer mortar made from clay sourced from a site in the Sabha region of southern Libya. The clay samples were fired for two hours at a temperature of 800°C and ground to a fineness where 100% passed through a 0.075 mm sieve. The clay was activated using an alkaline activator, a mixture of sodium hydroxide solution and sodium silicate at a ratio of 2.5% and a concentration of (18M, M20), to stimulate the polymerization process and produce geopolymer mortar, After 48 hours of casting, the samples were subjected to curing temperatures of room temperature, 80°C, 100°C, and 120°C for 24 hours to assess the impact of curing temperature on the compressive strength of geopolymer mortar and compare the results with the compressive strength of cement mortar, which serves as a reference sample, In this study, it was concluded that the optimal curing temperature for geopolymer mortar in the long term, for concentrations of 18 and 20, was at room temperature, where the compressive strength reached 73.11 MPa and 77.86 MPa, respectively, The study recommends working on other types of pozzolans and other alkaline activators, with different concentrations and temperatures.

Keywords: *geopolymer mortar, mixture, curing, compressive strength, alkaline activator, concentrations*

1. المقدمة:

بعد الماء، تعتبر الخرسانة المورد الأكثر استخدام في العالم، يرجع استخدام الانسان للثروات الارضية في بناء حضاراته وتقدمه مند الاف السنين ومن ذلك الزمن شرع الانسان في تطوير وسائل التكنولوجيا للبحث, وأسهمت الأرض بنصيب وافر ومتنوع من المواد الانشائية وغيرها، وفي الوقت الحالي مما لا يخفى على أحد التركيز على الخرسانة في مجال الإنشاءات ويظن بعضهم أنه الخرسانة مادة شديدة التأثير على البيئة في حين أنها في الواقع ذات تأثير قليل, ولكن لإنتاجها بكميات ضخمة أثر جسيم في البيئة ورغم أهمية الإسمنت في جميع جوانب البناء والتشييد، إلا أن ، يتطلب إنتاج الأسمنت البورتلاندي العادي حرق المواد الخام مثل الحجر الجيري عند درجة حرارة 1500C° درجة مئوية وبالتالي إطلاق كمية هائلة من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي في عام 2021 وصل إنتاج الأسمنت إلى 4.4 مليار طن في جميع أنحاء العالم ونتيجة لذلك يساهم إنتاج الأسمنت في جميع أنحاء العالم بنسبة 8% – 5% من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) العالمية مما يجعله سببًا بارزًا للاحتباس الحراري وتغير المناخ وبسبب النمو السريع مع زيادة إنتاجها خلال السنوات الماضية مما يؤدي إلى تلوث البيئة وتغير المناخ وزيادة في التضخم الاقتصادي ينطوي تصنيع كلنكر الاسمنت البورتلاندي على تكليس كربونات الكالسيوم حسب التفاعل [2]

$$CaCO3 + 2SiO2 \rightarrow (3CaO, SiO2)\ (2CaO, SiO2) + 5CO25$$

حيث ان في السنوات الماضية تركزة الأبحاث خصوصا في مجال الهندسة المدنية على استخدام مواد بديلة تحقق التنمية المستدامة دون المساس بخصائص المواد التقليدية .ومن بين هذه المواد البديلة تعد الجيوبوليمرات بدائل واعدة للأسمنت البورتلاندي، وذلك بسبب خواصها ومزاياها وخفض الكلفة ومتانتها بالإضافة إلى ذلك، قلت تأثيرها على البيئة.

2. المونة الجيوبوليمرات

هي مادة خضراء لا تعتمد على الأسمنت البورتلاندي التقليدي يمكن تحضيرها من الموارد الطبيعية و كذلك تستخدم مواد سيليكات الألومنيوم والمنشطات القلوية لتشكل البلمرة الجيولوجية، وهي التفاعل الكيميائي بين مواد الألومينا وسيليكات والمنشطات وتشكل شبكة بوليمرية ثلاثية الأبعاد، مما يوفر آلية الربط في الخرسانة الجيوبوليمرية, تتأثر خصائص مواد الجيوبوليمرات بشكل أساسي بالمصدر البوزولاني مثل نوع الطين المحروق والمنشطات القلوية لتشكل البلمرة , الخرسانة الجيوبوليمر المعتمدة على الميتاكاولين هي نوع من الخرسانة الجيوبوليمرية التي تستخدم في هذه الدراسة حيث تحظى مناطق جنوب ليبيا بالاهتمام من قبل مركز البحوث الصناعية، حيث قام المركز بإجراء عدة دراسات جيولوجية حول رواسب المعادن في تلك المنطقة .وأشارت هذه الدراسات إلى توفر كميات كبيرة من الخامات الأولية التي تستخدم في صناعة مواد البناء، بما في ذلك الطين الذي يتوفر بشكل كبير حول منطقة سبها

تلعب درجة حرارة المعالجة دورًا حيويًا في التصلب والتقوية للخرسانة الجيوبوليمرية حيث تصل عينات المعالجة في درجات حرارة مرتفعة إلى قوة الخرسانة خلال فترة زمنية قصيرة، ولكن عند درجة حرارة الغرفة أقل من 10 درجات مئوية، يستغرق تصلب الخرسانة الطازجة حتى 4 أيام دون فقدان الجودة، لكن تصلب الخرسانة الطازجة في درجة حرارة الغرفة زاد من جودة القوة بعد 28 يومًا مقارنةً بزيادة القوة خلال يوم واحد تلعب مدة المعالجة أيضًا دورًا أساسيًا في اكتساب القوة مع درجة الحرارة.[3]

تلعب المنشطات القلوية دورًا رئيسيًا في خرسانة الجيوبوليمر فهي تقوم بدور المحفز الأساسي الذي يحفز تفاعل البلمرة وترابط مكونات البوزلانا، عادةً ما تكون هذه المنشطات عبارة عن محاليل قلوية قوية مثل (NaOH) و (KOH) (Na2SiO3)، أو مزيج من هذه الهيدروكسيدات والسيليكات وتلعب كل من تفاعلية وتركيز المنشط القلوي دورًا محوريًا في عملية البلمرة الجيوبوليمرية أجمع العديد من الباحثين على أن تركيبة ونوع المنشط القلوي هو العامل الرئيسي المسؤول عن تطور قوة خرسانة الجيوبوليمر، وبالتالي تعد خطوة حاسمة في التحضير

3. دراسة سابقة:

تشير دراسات والأبحاث السابقة إلى أن قوة ضغط الجيوبوليمر تعتمد على عوامل مختلفة، بما في ذلك خاصية البوزلانا والتركيز القلوي ودرجة حرارة المعالجة والفترة، ومن الجدير بالذكر أن تأثير درجة الحرارة يعتمد على مدة العلاج ولم تؤدِ فترة العلاج القصيرة في الفرن إلى تغييرات كبيرة في تطوير القوة، ولكن عملية العلاج الممتدة لمدة لا تقل عن 20 ساعة أدت إلى زيادة ملحوظة في سرعة التفاعل ونتج عنها اكتساب القوة في وقت مبكر ومع ذلك، فإن درجات الحرارة المرتفعة خاصة في المرحلة الأولى، تؤدي إلى نمو مسام أكبر في العينة، مما يؤثر في النهاية على القوة الميكانيكية.

قام (Palomo وآخرون 1999) أنه درجة حرارة العلاج كانت مسرعًا للتفاعل في الجيوبوليمرات وتحقيق قوة مقبولة في فترات زمنية قصيرة جدًا [4] , أفاد (Temuujin J وآخرون 2009) أن استخدام درجات حرارة علاج تتراوح بين 40C° و80C° لمدة 4 إلى 48 ساعة هو أحد الشروط المهمة لتخليق الجيوبوليمرات [5] , كما ذكر (Hardjito وآخرون 2008)أن درجة حرارة العلاج الأعلى لا تضمن بالضرورة أن تكون قوة الضغط للمنتج أعلى [6] , وجد (Bing-hui وآخرون 2014) أن قوة الضغط التي تم اختبارها بعد سبعة أيام تزداد بشكل رتيب مع زيادة درجة حرارة معالجة عينات الجيوبوليمر القائمة على الميتاكاولين .ومع ذلك، تم تسجيل نمو القوة فقط إلى درجة حرارة 60C° ؛ وبالنسبة لدرجات حرارة المعالجة الأعلى، لوحظ انخفاض كبير في القوة، [7] درس (Yewale واخرون 2016) تقييم نوع العلاج الفعال للخرسانة الجيوبوليمرية القائمة علي الرماد المتطاير، وتم تفعيلها بواسطة محلول من (NaOH) و (Na2SiO3) ,تم علاج العينات بأربع طرق مختلفة باستخدام الفرن، البخار، الماء، ودرجة حرارة الغرفة على التوالي .في العلاج في الفرن، تم تغيير درجة حرارة العلاج بفارق 20C° بدءًا من 40C° وحتى 140C° لمدة 24 ساعة داخل الفرن، وتم اختبارها بعد فترة راحة لمدة 7 و 28يومًا بعد فك القوالب .أما بالنسبة للعلاج بالبخار، فقد تم وضع المكعبات في بخار عند درجات حرارة تتراوح بين 60C° إلى 110C° مئوية لمدة 18 ساعة بنفس فترة الراحة .كما تم علاج العينات في الماء وفقًا للطريقة التقليدية ودرجة حرارة الغرفة .تكشف الأدلة التجريبية أن قوة مكعبات الخرسانة الجيوبوليمرية تتحسن عند درجات حرارة أعلى، وكانت القوة المثلى عند 60C° في العلاج في الفرن،[8] توصل (Ekaputri وآخرون 2017) إلى استنتاجات مختلفة، لم يلاحظ العلماء أي فرق كبير بعد سبعة أيام في قوة الانحناء و الضغط لعينات الجيوبوليمر القائمة على الميتاكاولين المعالجة عند درجات حرارة مختلفة لم يُلاحظ أي تأثير كبير لدرجة حرارة المعالجة على كثافة الجيوبوليمر وبعد 14 يوم لحظ تغير في مقاومة الضغط و الانحناء و انخفاض في الكثافة مع زادة حرارة المعالجة [10].

ووفقًا لدراسة (Rovnanik P 2010) تزداد كل من قوة الانحناء والضغط للجيوبوليمر بعد يوم واحد مع زيادة درجة حرارة المعالجة ولكن مع مرور الوقت، تكون قوة العينات المعالجة عند درجات حرارة أقل (20 درجة مئوية و 40درجة مئوية) أعلى من قوة العينات المعالجة عند 60 درجة مئوية أو 80 درجة مئوية .[11] كما قام كل من (Perera وآخرون،2007) ؛ (Kani EN، 2009) ؛ (Rovnanik، 2010)؛ (Heah وآخرون، 2011) لتحديد تأثير ظروف العلاج على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لمادة الجيوبوليمر والخرسانة .لوحظت درجات حرارة العلاج المثالية للجيوبوليمر بين 40 درجة مئوية إلى 85 درجة مئوية [12] ,[13], [14], [15] .

حدد (.Swanepoel et al 2002) انخفاضًا في كثافة الجيوبوليمر القائم على الرماد المتطاير مع زيادة درجة حرارة المعالجة .وفي ورقتهم، يمكن إيجاد أنه بعد سبعة وثمانية وعشرين يومًا، تكون قوة العينات المعالجة عند 40 درجة مئوية و 50 درجة مئوية أعلى من قوة العينات المعالجة عند 60 درجة مئوية أو 70 درجة مئوية .على النقيض من ذلك، [18]

4. تحضير المواد:

تم جمع عينات من منطقة سبها في الجنوب الليبي، من ثم تكليسها عن طريق حرقها وطحنها لأستخدمها مكون أساسي في الخلطة الجيوبوليمرية .تم جدولة التركيب الكيميائي للطين في جدول(1) ، والذي تم الحصول عليه وفقًا للتحليل X-Ray

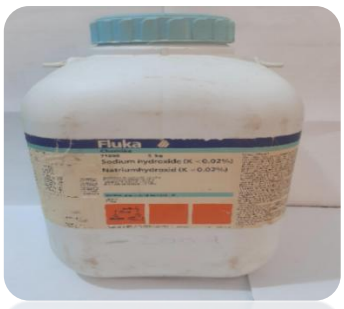
جدول (1) التحليل الكيميائي لمادة البوزلانا

TiO2	MgO	Cl	Co2O3	K2O	SO3	CaO	Al2O3	SiO2	Fe2O3	SiO2+Al2O3+Fe2O3	Component
5.30	0.001>	.0366	0.0283	0.551	0.892	1.02	30.2	59.2	2.68	92.08	Mass%
------	-------	------	-------	------	------	------	-------	------	-------	70%<	ASTM C618-03

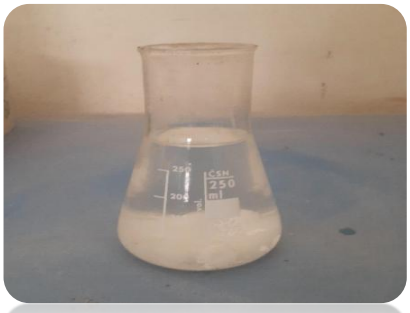
الشكل (1) عينات البوزلانا قبل الحرق و الطحن

الشكل (2) عينات البوزلانا بعد الحرق و الطحن

تم تحضير المنشط القلوي عن طريق خلط محلول سيليكات الصوديوم مع هيدروكسيد الصوديوم بتركيز 12 مولر .ثم تم خلط الرماد المتطاير مع المنشط القلوي في الخلاط .تم وضع الجيوبوليمر الطازج في قالب 50 × 50 × 50 مم وتم اهتزازه لمدة 20 ثانية على طاولة الاهتزاز .تم معالجة العينات بعد ذلك في درجات حرارة معالجة مختلفة :درجة حرارة الغرفة، 50 درجة مئوية، 60 درجة مئوية، 70 درجة مئوية، و 80 درجة مئوية لمدة 24 ساعة .تم تحضير متوسط ثلاث عينات لكل درجة حرارة معالجة .تظهر تفاصيل تصميم الخليط في الجدول(2)



شكل (3) هيدروكسيد الصوديوم(NaOH)



شكل (4) سيليكات الصوديوم(SiO2/NazO)

5. ظروف المعالجة

تم معالجة العينات في فرن تجفيف هو عبارة عن فرن كهربائي تصـل درجة حرارته الي (300) درجة مئوية ولقد تمكنا من خلاله معالجة عينات الجيوبوليمر بدرجة حرارة (120,100,80) درجة مئوية ولفترة زمنية مقدارها 24 ساعة

شكل(5) فرن التجفيف

6. نتائج اختبار مقاومة الضغط

نستعرض في هذا الاختبار نتائج مقاومة الضغط لخلطات عينات المونة لمتوسط 3 عينات لكل عينة المستخدمة عند عمر (90,60,28,14,7,3) يوماً كلا على حدي ومن ثم مقارنتها بخلطة المرجعية كما موضح في الجدول (2)

جدول (2) مقاومة الضغط (Mpa) عينات المونة الجيوبوليمر بتركيز (20M, 18 M)

تركيز المنشط القلوي		20M				18M			
درجات الحرارة / الأيام	العينات الاسمنت المرجعية	درجة حرارة الغرفة	80c°	100c°	120c°	درجة حرارة الغرفة	80c°	100c°	120c°
3	23.01	54.72	66.5	61.1	46	50.61	65.2	59.15	44.4
7	27.17	55.35	68.28	62.33	47.5	52.08	66.16	61.04	47.14
14	35.85	62.28	68.92	63.46	49.69	60.11	66.77	61.15	48.82
28	39.43	70.89	70.04	65.03	52.48	68.4	67.42	63.28	50.17
60	48.95	74.58	70.27	66.17	53.01	70.65	68.46	63.02	50.8
90	49.69	77.86	71.40	66.43	52.76	73.11	68.84	64.41	51.13

7. المناقشة

توضـح نتائج تأثير درجه حرارة المعالجة على المونة الجيوبوليمرية عند تركيز 20 M تعطي نتائج جيده مقارنة بالعينات المرجعية، في الأيام الأولى وبعد 3 أيام كانت اعلى مقاومة عند العينات التي تم علاجها عند درجة حرارة 80c° التي

وصلت مقاومة الضغط الى 66.5Mpa حيث كانت مقاومتها اكبر من العينات التي تم علاجها عند (درجه حرارة الغرفة ,120c° 100c°) بنسبة (30.8%, 8%, 17.7%) على التوالي واكبر من العينات المرجعية بنسبة 65% .

وعنده 7 ايام سجله نتائج اختبار الضغط اعلى مقاومه عند العينات التي تم علاجها عند درجة حرارة 80c° التي تصل الى 66.16 Mpa وكانت اكبر من عينات التي تم علاجه عند (درجة حرارة الغرفة ,100c° ,120c°) بنسبة (19% , 8.7% , 30.4%) على التوالي واكبر من العينات المرجعية بنسبة 60% .

وبعد 14 يوم من الصب اظهرت نتائج مقاومه الضغط اعلى مقاومة عند عينات الجيوبوليمرية عند درجة حرارة 80c° التي تصل الى 68.98 Mpa وكانت اكبر من عينات التي تم علاجه عند (درجة حرارة الغرفة ,100c° ,120c°) بنسبة (9.6% , 8% , 28%) على التوالي واكبر من العينات المرجعية بنسبة 48% .

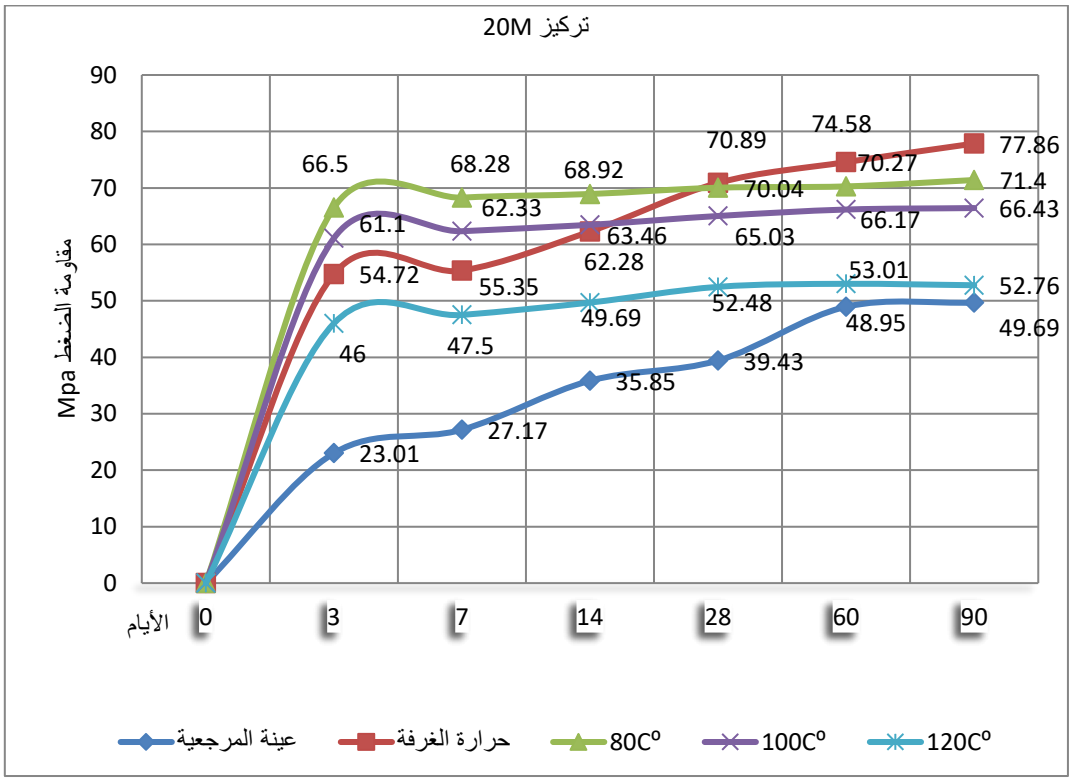
وبعد 28 يوم من الصب كانت اعلى نتيجة لعينات الجيوبوليمرية التي تم معالجتها عند درجه حرارة الغرفة والتي تصل الى 70.89 Mpa حيث كانت اكبر من العينات التي تم علاجها عند درجة حرارة (80°C , 100°C ,120°C) بنسبة (8%,1% , 26%)على التوالي و اعلى من العينات المرجعية بنسبه 44% .

وعنده 60 يوم سجله النتائج اختبار الضغط اعلى مقاومه عند العينات التي تم علاجها في درجه حرارة الغرفة والتي اتصل الى 74.58 Mpa والتي تتفوق على العينات الجيوبوليمرية التي تم علاجها عند (80°C , 100°C, 120°C) بنسبة (6% , 11% ,29%) علي التوالي وتتفوق على العينات المرجعية بنسبة 34% .

وعند 90 يوم أوضحت نتائج مقاومه الضغط اعلى قيمه تحصل عليها عينات الجيوبوليمرية التي معالجتها عند درجه حرارة الغرفة والتي تصل الى 77.99 Mpa والتي كانت مقاومتها اكبر من العينات التي تم علاجها عند (80°C , 100°C ,120°C) بنسبة (8% , 14.6% , 32%) علي توالي واكبر من العينات المرجعية بنسبة 36% .

توضح نتائج تأثير درجه حرارة المعالجة على المونة الجيوبوليمرية عند تركيز 18M تعطي نتائج جيده مقارنة بالعينات المرجعية في الأيام الأولى وبعد 3 أيام كانت اعلى مقاومة عند العينات التي تم علاجها عند درجة حرارة 80c° التي وصلت مقاومة الضغط الى 65.2 Map حيث كانت مقاومتها اكبر من العينات التي تم علاجها عند (درجه حرارة الغرفة ,120c° 100c°) بنسبة (32%, 9%, 22%) على التوالي واكبر من العينات المرجعية بنسبة 64% .

وعنده 7 ايام سجلة نتائج اختبار الضغط اعلى مقاومه عند العينات التي تم علاجها عند درجة حرارة 80c° التي تصل الى 66.16 Map وكانت اكبر من عينات التي تم علاجه عند (درجة حرارة الغرفة ,100c° ,120c°) بنسبة 28.7% (21% , 7.7% ,) على التوالي واكبر من العينات المرجعية بنسبة 58.9% .



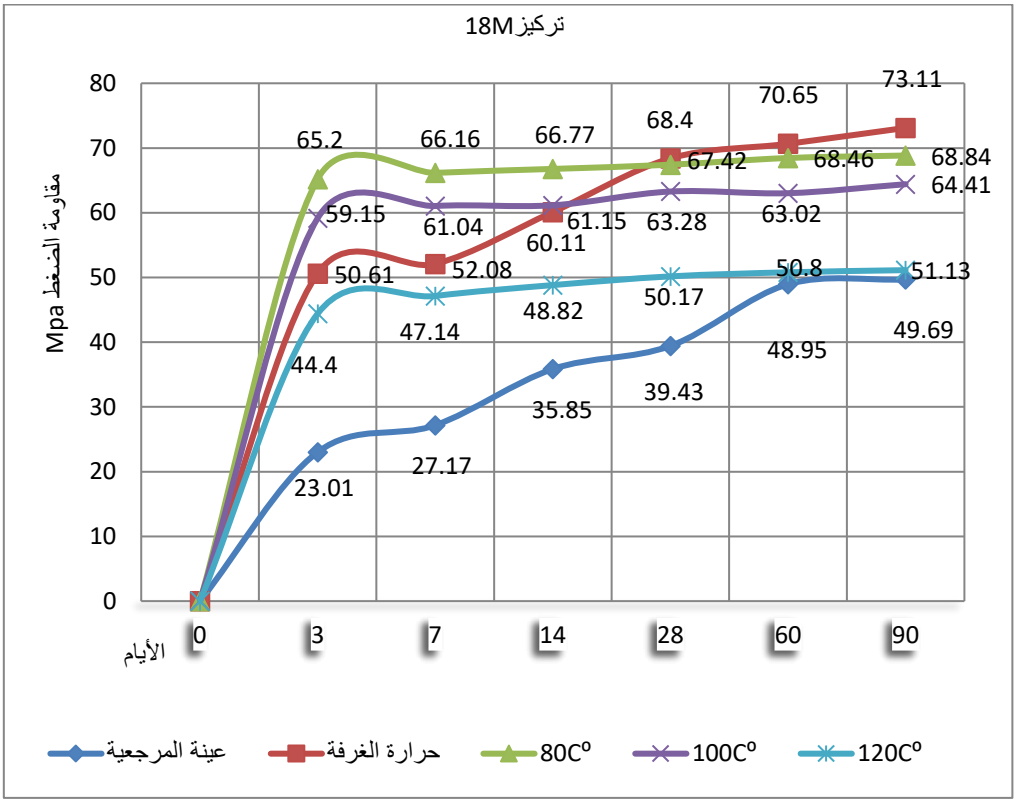
شكل (6) يوضح مقاومة الضغط لتركيز 20M

وبعد 14 يوم من الصب اظهرت نتائج مقاومه الضغط اعلى مقاومة عند عينات الجيوبوليمرية عند درجة حرارة 80c° التي تصل الى 66.77 Map وكانت اكبر من عينات التي تم علاجه عند (درجة حرارة الغرفة ,100c°, 120c°) بنسبة (10% , 8.5% , 26.8%) على التوالي واكبر من العينات المرجعية بنسبة 46.3% .

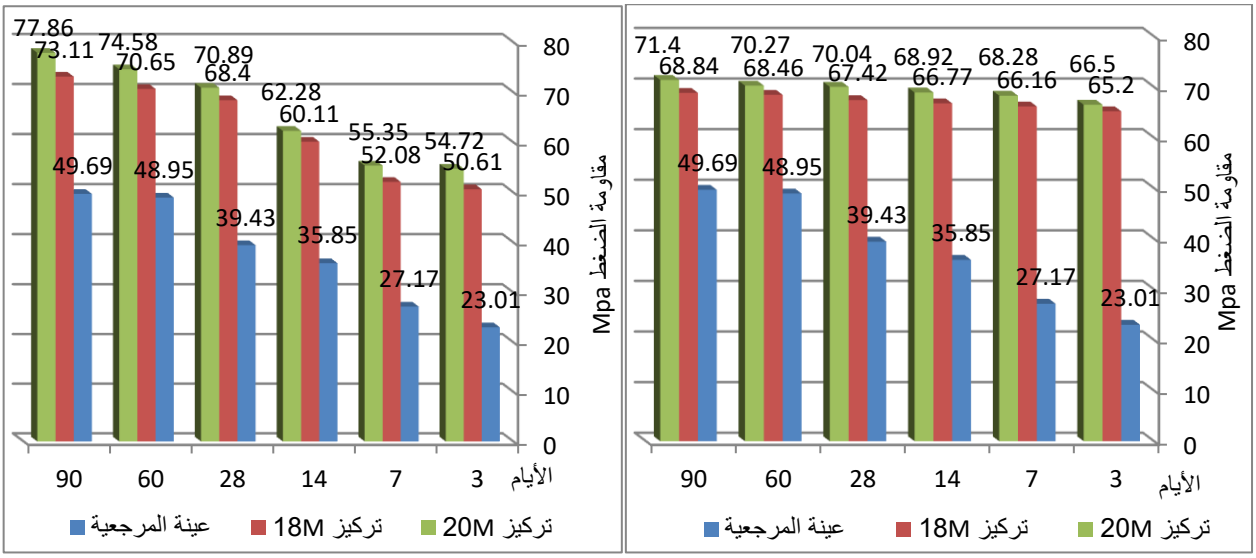
وبعد 28 يوم من الصب كانت اعلى نتيجة لعينات الجيوبوليمرية التي تم معالجتها عند درجه حرارة الغرفة والتي تصل الى 42.3 Map حيث كانت اكبر من العينات التي تم علاجها عند درجة حرارة (80 c° ,100 c° ,120 c°) بنسبة (1.4%,7.4% , 26.6%)على التوالي و اعلى من العينات المرجعية بنسبه 42.3% .

وعنده 60 يوم سجلة نتائج اختبار الضغط اعلى مقاومه عند العينات التي تم علاجها في درجه حرارة الغرفة والتي اتصل الى 70.65 Mpa والتي تتفوق على العينات الجيوبوليمرية التي تم علاجها عند درجة (80°C , 100°C ,120°C) بنسبة (3% , 10.8% ,28%) علي التوالي وتتفوق على العينات المرجعية بنسبة 30.7% .

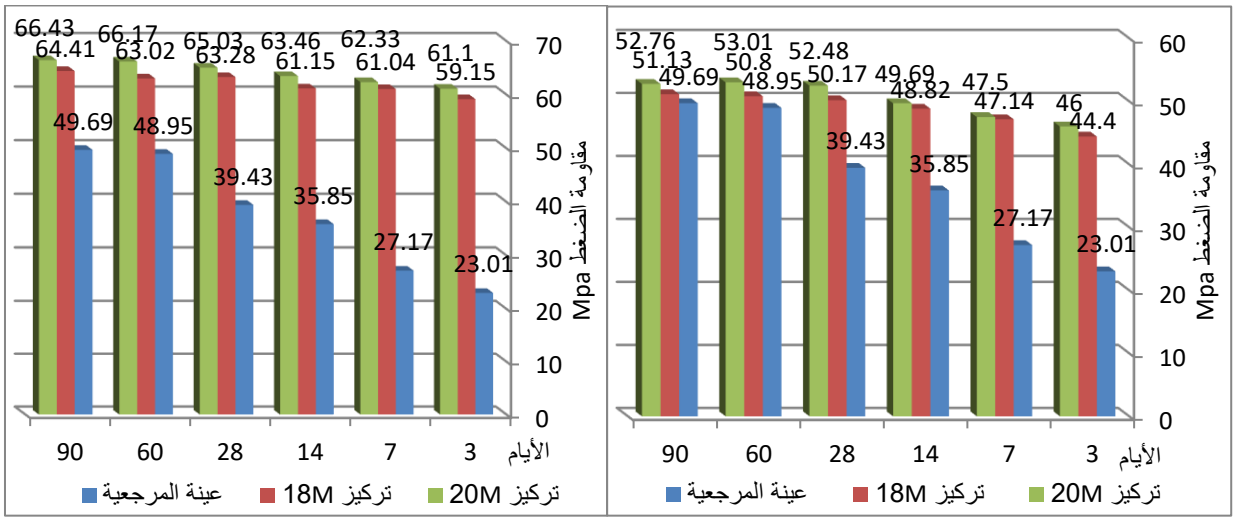
وعند 90 يوم أوضحت نتائج مقاومه الضغط اعلى قيمه تحصل عليها عينات الجيوبوليمرية التي معالجتها عند درجه حرارة الغرفة والتي تصل الى 73.11 Map والتي كانت مقاومتها اكبر من العينات التي تم علاجها عند (80 c° 100c°,120c) بنسبة (5.5% , 11.9% , 30%) علي توالي واكبر من العينات المرجعية بنسبة 32% .



شكل (7) يوضح مقاومة الضغط لتركيز 18M



الشكل (8) يوضح عينات المعالجة في درجة حرارة الغرفة الشكل (9) يوضح عينات المعالجة في درجة حرارة80C°



الشكل (10) يوضح عينات المعالجة في درجة حرارة 100C° الشكل (11) يوضح عينات المعالجة في درجة حرارة120C°

8. الخلاصة:

تمت في هذه الدراسة معرفة مدى تأثير درجة حرارة المعالجة على مقاومة الضغط للمونة الجيوبوليمرية باستخدام البوزلانا المحلية من موقع سبها.

1. ان مقاومة الضغط لعينات المونة الجيوبوليمرية باختلاف درجات حرارة المعالجة واختلاف تركيز المنشط القلوي أظهرت نتائج أفضل مقارنة بالمونة الأسمنتية في كل الأيام.
2. الزيادة في درجات حرارة المعالجة أكبر من 100C° تؤثر سلباً على مقاومة الضغط للمونة الجيوبوليمرية وذلك لفقدان الماء قبل اتمام التفاعل مما يترك مسامات وضعف في الترابط بين الجزيئات وكذلك تنتج إجهادات حرارية داخلية تؤدي إلى التمدد والانكماش ما يسبب في شروخ دقيقة وكذلك تحلل بعض الجسور الكيميائية.
3. سجلت النتائج أفضل مقاومة ضغط في الأعمار المبكرة (3، 7)أيام لجميع التركيزات كانت عند درجة حرارة معالجة 80C°
4. سجلت أفضل مقاومة للعينات الجيوبوليمرية في الأعمار المتقدمة(28، 60 ، 90) يوم ولجميع التركيزات كانت عند المعالجة في درجات حرارة الغرفة والتي تجاوزت 70Mpa
5. الزيادة في تركيز المنشط القلوي (هيدروكسيد الصوديوم) بتركيز 20M يظهر تفوقاً في مقاومة الضغط عن التركيز 18M
6. امكانيه استخدام البوزلانا الطبيعية المحلية بعد معالجة حرارياً كبديل للأسمنت البرتلندي

9. التوصيات

1. الاستمرار في العمل على أنواع أخرى من البوزلانا المحلية لاستخدامها كبديل للأسمنت البرتلندي.

2. العمل على درجات حرارة أخرى للحصول على أفضل مقاومة في وقت مبكر من عمر الخرسانة.
3. استخدام تركيزات مختلفة لمعرفة مدى تأثيرها على مقاومة الضغط والمتانة في الخرسانة.
4. استخدام أنواع أخرى من المنشطات القلوية ودراسة مدى تأثيرها على جودة والمتانة الخرسانة مع مراعاة الجانب الاقتصادي.

10. المراجع

1. أ.د عبد السلام المبروك عكاشة، الطبعة الأولى، تكنولوجيا الخرسانة، سنة النشر 2013 ، منشورات جامعة سبها ليبيا.
2. Davidovits, J. (2013). Geopolymer cement. A review. Geopolymer Institute, Technical papers, 21, 1-11
3. Hadi, M.NS.; Zhang, H.; Parkinson, S. Optimum mix design of geopolymer pastes and concretes cured in ambient condition based on compressive strength, setting time and workability. J. Buid. Eng. 2019, 23, 301-313. [Cross Ref]
4. Palomo A., Grutzeck M. W., and Blanco M.T., "Alkali-Activated Fly Ashes, A Cement for the Future", Cement and Concrete Research, 1329, (1999).
5. Temuujin J., Williams R. P., and Van Riessen A., "Effect of Mechanical Activation of Fly Ash on the Properties of Geopolymer Cured at Ambient Temperature", Journal of Materials Processing Technology, August 2009. Journal of Materials Processing Technology. 209(12-13):5276-5280
6. Hardjito D., Chung Cheak C. and Ho Lee Ing C., "Strength and Setting Times of Low Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Mortar," Modern Applied Science, (2008).
7. Bing-hui M., Zhu H., Xue-min C., Yan H., Si-yu G., Effect of curing temperature on geopolymerization of metakaolin-based geopolymers, Applied Clay Science 99/2014, 144-148.
8. Yewale VV, Shirsath MN, and Hake SL (2016). Evaluation of efficient type of curing for Geopolymer concrete. Evaluation, 3(8): 10-14.
9. Kumaravel S (2014). Development of various curing effect of nominal strength Geopolymer concrete. Journal of Engineering Science and Technology Review.
10. Ekaputri J.J., Junaedi S., Wijaya, Effect of curing temperature and fiber on metakaolin-based geopolymer, Procedia Engineering 171/2017, 572-583.
11. Rovnanik P., Effect of curing temperature on the development of hard structure of metakaolin--based geopolymer, Constraction and Building Materials 24/2010,

12. Perera DS, Uchida O, Vance E, and Finnie K (2007). Influence of curing schedule on the integrity of Geopolymers. Journal of materials science, 42(9): 3099-3106
13. Kani EN and Allahverdi A (2009). Effects of curing time and temperature on strength development of inorganic polymeric binder based on natural Pozzolan. Journal of Materials Science, 44(12): 3088-3097.
14. Rovnanik P (2010). Effect of curing temperature on the development of hard structure of Metakaolin-based geopolymer. Construction and Building Materials.
15. Heah CY, Kamarudin H, Al Bakri AM, Binhussain M, Luqman M, Nizar IK, and Liew YM (2011). Effect of curing profile on kaolin-based geopolymers. Physics Procedia, 22: 305-311.
16. Singh B, Ishwarya G, Gupta M, and Bhattacharyya SK (2015). Geopolymer concrete: A review of some recent developments. Construction and Building Materials, 85: 78-90.
17. Nuruddin MN, Kusbiantoro AK, Qazi SQ, Darmawan MD, and Husin NH (2011). Development of geopolymer concrete with different curing conditions.
18. Swanepoel J.C., Strydom C.A., Utilisation of fly ash in a geopolymeric material, Applied Geochemistry

تصنيف المادة الرابطة الاسفلتية بنظام درجة الاداء حسب درجات الحرارة في ليبيا

إسماعيل قودان علي نايل[1] جعفر عمر الناجم ديرة[2]
1- استاذ مشارك قسم الهندسة المدنية والمعمارية الاكاديمية الليبية للدراسات العليا
2- طالب دراسات عليا قسم الهندسة المدنية والمعمارية الاكاديمية الليبية للدراسات العليا
jaafir.mizda89@gmail.com
asmaiel.naiel@academy.edu.ly

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم مدى كفاءة نظام تصنيف الأداء Superpave Performance Grade (PG) في اختيار المواد الرابطة الإسفلتية المناسبة للرصف في ليبيا، مقارنة بالنظام التقليدي القائم على اختبار الاختراق تم تحليل درجات الحرارة العليا والدنيا لسطح الرصف في عدد من المناطق الليبية، بالاعتماد على بيانات مناخية موثوقة للفترة 2013–2023، وتطبيق نماذج برنامج SHRP وLTPP أظهرت النتائج أن النظام التقليدي لا يعكس الأداء الحقيقي للمادة الرابطة تحت الظروف المناخية المتباينة في ليبيا، مما يؤدي إلى مشكلات مثل التشققات والتخدد المبكر في المقابل، أظهر نظام Superpave PGقدرة أكبر على تحديد نوع المادة الرابطة وفقًا للظروف المناخية المحلية، مما يُسهم في تحسين أداء الرصف وإطالة عمره وتقليل تكاليف الصيانة، كذلك تم إعداد خريطة تصنيف وطنية تعتمد على درجات الحرارة، تُقسم ليبيا إلى ثلاث مناطق مناخية رئيسية: ساحلية، جبلية، وصحراوية، مع توصيات باعتماد هذا النظام في المواصفات الفنية الوطنية.

الكلمات الدالة: *Superpave، تصنيفPG ، المادة الرابطة، الإسفلت، ليبيا، SHRP، LTPP،.*

Abstract

This study aims to evaluate the efficiency of the Superpave Performance Grade (PG) system in selecting appropriate asphalt binders for paving in Libya, compared to the traditional system based on the penetration test. High and low pavement surface temperatures were analyzed in several Libyan regions, relying on reliable climatic data for the period 2013–2023 and applying SHRP and LTPP program models. The results showed that the traditional system does not reflect the true performance of the binder material under the varying climatic conditions in Libya, leading to problems such as cracking and premature rutting. In contrast, the Superpave PG system demonstrated a greater ability to determine the type of binder material according to local climatic conditions, which contributes to improving pavement performance, extending its service life, and reducing maintenance costs. A national classification map based on temperatures was prepared, dividing Libya into three main climatic zones: coastal, mountainous, and desert, with recommendations to adopt this system in national technical specifications.

Keywords: *Superpave, PG classification, binder, asphalt, Libya, SHRP, LTPP.*

1. المقدمة:

تُعد البنية التحتية للطرق من المكونات الأساسية للتنمية الاقتصادية والاجتماعية، إذ تلعب دورًا محوريًا في دعم حركة النقل والتجارة وتيسير التواصل بين المناطق. ومع اعتماد ليبيا بشكل كبير على شبكات الطرق المعبدة بالإسفلت، تصبح جودة تصميم وتنفيذ الرصف أمرًا حيويًا لضمان الاستدامة وتقليل تكاليف التشغيل والصيانة .تواجه ليبيا تحديات مناخية متباينة تمتد من مناخ البحر الأبيض المتوسط على الساحل إلى مناخ شبه صحراوي وجاف في الداخل، ما يستوجب استخدام نظم تصنيف دقيقة للمواد الإنشائية، وعلى وجه الخصوص المادة الرابطة الإسفلتية، التي تشكل أحد المكونات الحيوية في خلطة الرصف الأسفلتي ولعدة عقود، اعتمدت المؤسسات الليبية في تصميم الرصف على نظام تصنيف الاختراق (Penetration Grade)، الذي يُصنف المادة الرابطة بناءً على درجة اختراق إبرة في عينة إسفلتية عند 25 درجة مئوية، ورغم سهولة هذا النظام، إلا أنه لا يأخذ في الاعتبار الأداء الحقيقي للمادة تحت درجات الحرارة القصوى أو الدنيا التي تتعرض لها الطرق فعليًا.[1]

استجابة لهذه التحديات، تم تطوير نظام Superpave ضمن برنامج البحث الإستراتيجي للطرق (SHRP) في الولايات المتحدة، والذي يُعرف باسم .Performance Grade (PG) يهدف هذا النظام إلى تصنيف المادة الرابطة الإسفلتية بناءً على أدائها عند درجات حرارة تصميمية محددة تمثل الظروف المناخية الفعلية لكل منطقة. ويتم التعبير عن تصنيف SuperpaveبصيغةPG XX–YY ، حيث تشير XX إلى أعلى درجة حرارة تصميمية و YYإلى أدنى درجة حرارة تصميمية تتحملها المادة دون فشل.

تسعى هذه الدراسة إلى تقييم مدى فاعلية نظام Superpave PG في بيئة مناخية مثل ليبيا، من خلال تحليل بيانات درجات الحرارة لسطح الرصف لعدة مناطق مختلفة جغرافيًا، كما تهدف إلى إعداد خريطة تصنيف حراري وطنية تساعد في توجيه اختيار المادة الرابطة المناسبة، ودعم تحديث المواصفات الفنية المستخدمة في تصميم وإنشاء شبكات الطرق في ليبيا.

2. مشكلة الدراسة وأهدافها

2.1 مشكلة الدراسة

تعتمد ليبيا في الوقت الراهن على نظام تصنيف تقليدي للمادة الرابطة الإسفلتية يُعرف بنظام الاختراق (Penetration Grade)، والذي يُقيّم خصائص الإسفلت عند درجة حرارة واحدة فقط (25°م) هذا النظام لا يأخذ في الاعتبار الأداء الحراري للمادة الرابطة تحت ظروف التشغيل الفعلية، سواء في درجات الحرارة المرتفعة التي تؤدي إلى التخدد، أو في درجات الحرارة المنخفضة التي تسبب التشققات الحرارية، ونتيجة لذلك تواجه مشاريع الرصف في ليبيا مشاكل متكررة في الأداء، مثل التشققات المبكرة، التموج، وفقدان التماسك، مما يؤدي إلى تقليل عمر الخدمة للطريق وزيادة تكاليف الصيانة الدورية.

2.2 أهداف الدراسة

تهدف هذه الورقة إلى معالجة أوجه القصور في النظام التقليدي من خلال ما يلي:

1. تصنيف المادة الرابطة الإسفلتية باستخدام نظام.Superpave Performance Grade (PG)
2. إعداد خريطة تصنيف وطنية تُظهر متطلبات الأداء المناخي لكل إقليم جغرافي في ليبيا.

3. مقارنة نتائج التصنيف بنظام Superpave مع النظام التقليدي لتحديد مدى الفارق في الكفاءة والدقة.

4. نظام الاختراق التقليدي

يعتمد نظام الاختراق (Penetration Grade) على قياس مدى تغلغل إبرة قياسية في عينة من الإسفلت عند درجة حرارة ثابتة (25°م) وتحت حمل ووقت معينين. يُستخدم هذا المعيار لتقدير ليونة الإسفلت، وغالبًا ما يُصنف الإسفلت المستخدم في ليبيا إلى درجات مثل 70/60 أو 100/80، وهو تصنيف يُستخدم في العديد من الدول النامية.

إلا أن هذا النظام لا يأخذ بعين الاعتبار الأداء الفعلي للمادة الرابطة في ظل درجات الحرارة المتغيرة التي تتعرض لها الطبقات السطحية للرصف، ولا يوفر مؤشرات دقيقة على مقاومة التشققات أو التخدد.

5. نظام(Superpave Performance Grade (PG

تم تطوير نظام Superpave ضمن برنامج (Strategic Highway Research Program) SHRP في الولايات المتحدة بهدف تحسين أداء الرصف الإسفلتي من خلال تطوير معايير تصميم قائمة على الأداء. يعتمد تصنيف PG على درجة حرارة سطح الرصف المتوقعة خلال فترة خدمة الطريق، ويأخذ في الحسبان كلًّا من:

- الحد الأعلى لدرجة الحرارة لتقييم مقاومة التخدد
- الحد الأدنى لدرجة الحرارة لتقييم مقاومة التشقق الحراري.[2]

5.1 أهمية نظام PG في تصميم الرصف

يُوفّر نظام Superpave PG مرونة كبيرة في اختيار المادة الرابطة المناسبة لكل منطقة مناخية، مما يؤدي إلى:

- تقليل فرص فشل الرصف بسبب التشققات أو التخدد.
- إطالة عمر الخدمة للطريق.
- تحسين كفاءة الصيانة وخفض التكاليف على المدى الطويل.
- توحيد المعايير الفنية وفق ظروف بيئية واقعية، بدلًا من اعتماد تصنيفات عامة غير ملائمة.

6. الدراسات السابقة

شهدت السنوات الأخيرة اهتمامًا متزايدًا بتطبيق نظام Superpave Performance Grade (PG) في عدد من الدول ذات المناخات المتنوعة، وقد أظهرت العديد من الدراسات فاعليته مقارنة بالأنظمة التقليدية.

6.1 تطبيقات إقليمية لنظامSuperpave

في مصر، أظهرت دراسة أجرتها الهيئة العامة للطرق والكباري أن استخدام نظام PG ساهم في تقليل مشاكل التخدد في المناطق الحضرية ذات الكثافة المرورية العالية. وفي الأردن، تم اعتماد نظام Superpave في مشاريع تجريبية على الطرق السريعة، حيث أظهرت النتائج تحسنًا في مقاومة الرصف للحرارة والانكماش.[3]

في باكستان، قارنت دراسة حديثة بين الإسفلت المصنف بنظام الاختراق ونظامPG ، وتوصلت إلى أن نظام Superpave كان أكثر دقة في تحديد المادة الرابطة المناسبة للبيئات الصحراوية والجبلية أما في غانا، فقد تم تطبيق النظام بنجاح في المشاريع الممولة من البنك الدولي، وأثبت فعاليته في الحد من التشققات الحرارية.

6.2 الوضع في ليبيا

رغم محدودية الدراسات المحلية، أظهرت نتائج أولية لبعض التجارب، مثل دراسة سالم (2014)، أن استخدام النظام التقليدي أدى إلى تدهور سريع في الرصف، خاصة في المناطق الجنوبية كما أشارت تلك الدراسة إلى أن درجات الحرارة القصوى في بعض المدن الليبية تتجاوز بكثير ما يسمح به نظام الاختراق، مما يجعل الحاجة ملحة لتبني أنظمة أكثر تطورًا مثل Superpave.[4]

بشكل عام، تعزز الدراسات السابقة من جدوى تطبيق نظام PG في ليبيا، لا سيما مع التنوع المناخي الواسع، وغياب تصنيف وطني دقيق للمادة الرابطة يأخذ في الاعتبار الظروف المناخية لكل منطقة.

7. المنهجية

7.1 البيانات المناخية

تم الاعتماد على بيانات مناخية موثوقة تم جمعها من قاعدة بيانات NASA POWER التابعة لوكالة الفضاء الأمريكية، والتي توفر بيانات دقيقة لدرجات حرارة سطح الأرض على مدى زمني طويل، كما تم استخراج بيانات درجات الحرارة القصوى والدنيا لسطح الرصف من عام 2013 حتى عام 2023، بما يغطي فترة كافية لتحليل الاتجاهات المناخية السائدة في ليبيا.[5]

شملت الدراسة عدة مواقع تم اختيارها بعناية لتمثل التنوع المناخي والجغرافي في البلاد، منها: طرابلس، بنغازي، سبها، الكفرة، الجبل الأخضر، سرت، وغات.

7.2 أدوات التحليل

تم استخدام النماذج المعتمدة في برنامج SHRP وبيانات LTPP لتحليل درجات الحرارة التصميمية للمادة الرابطة، وقد تم تنفيذ الخطوات التالية:

1. حساب درجة الحرارة القصوى لسطح الرصف (High PG Temp) باستخدام بيانات درجات الحرارة اليومية وتحويلها إلى درجة حرارة تصميمية لمدة 7 أيام متتالية، تمثل أسوأ سيناريو حراري.
2. حساب درجة الحرارة الدنيا (Low PG Temp) بناءً على التحليل الإحصائي لأدنى درجات الحرارة خلال العقد الماضي باستخدام مستوى موثوقية معين.
3. تحديد مستويات الأداء (PG) للمادة الرابطة المناسبة لكل منطقة، عند مستويين من الموثوقية:
    - 50%للتصميم العادي
    - 98%للتصميم عالي الموثوقية في المشاريع الحيوية

7.3 مناطق الدراسة الجغرافية

تم تقسيم ليبيا إلى ثلاث مناطق مناخية رئيسية بناءً على التحليل المناخي:

- المنطقة الساحلية :تشمل طرابلس، بنغازي، ومصراته.
- المنطقة الجبلية :تشمل الجبل الأخضر، غريان، نالوت.
- المنطقة الصحراوية :تشمل سبها، الكفرة، غات، مرزق.

هذه المناطق تمثل التفاوت في درجات الحرارة، مما يساعد في تحديد متطلبات الأداء للمادة الرابطة الإسفلتية بدقة.

8. تحليل وتصنيف PG للمناطق الليبية

8.1 نتائج تصنيف PG عند موثوقية 50%

تم تصنيف المادة الرابطة لكل منطقة اعتمادًا على بيانات درجات الحرارة التصميمية بمستوى موثوقية 50%، والتي تعبر عن الاحتمال المتوسط لحدوث درجات الحرارة القصوى والدنيا. وجاءت النتائج كما يلي:

- طرابلس: PG 64-16
- بنغازي: PG 64-10
- سبها والكفرة: PG 70-10

هذا التصنيف يعكس التنوع المناخي بين المناطق الساحلية والداخلية، حيث تظهر المناطق الصحراوية تصنيفًا أعلى لمقاومة درجات الحرارة المرتفعة.

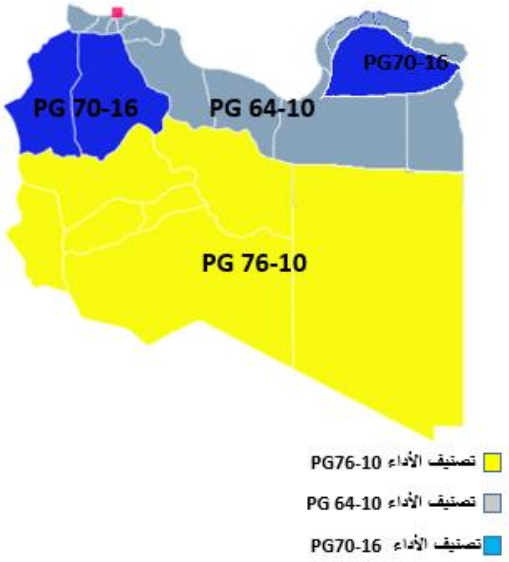
8.2 نتائج تصنيف PG عند موثوقية 98%

لضمان مستوى أعلى من الموثوقية، تم حساب درجات الحرارة التصميمية عند مستوى موثوقية 98%، والذي يمثل حالات الطقس القصوى النادرة لكنه مهم للمشاريع الحيوية ذات متطلبات عالية للأداء، حيث أظهرت النتائج:

- زيادة في درجة تصنيف المادة الرابطة في معظم المناطق.
- المناطق الصحراوية تصل إلى تصنيف PG 76-10 ، مما يشير إلى الحاجة إلى مواد رابطة تتحمل درجات حرارة مرتفعة جدًا مع مقاومة للتشققات في درجات الحرارة المنخفضة.

8.3 التوزيع الجغرافي لتصنيفPG

استنادًا إلى التصنيفات السابقة، تم إعداد خريطة تصنيف حراري شاملة لليبيا، تُقسم البلاد إلى ثلاثة أقاليم مناخية رئيسية مع تصنيفات المادة الرابطة المناسبة كما موضح علي الخريطة في الشكل 1.



الشكل 1. تقسيم أداء المادة الرابطة الاسفلتية بليبيا

توضح هذه الخريطة أهمية اعتماد نظام تصنيف مرن ودقيق يتناسب مع الاختلافات المناخية في ليبيا، وهو ما يضمن أداء أفضل للرصف. وكما نلاحظ ان خريطة ليبيا ثلاثة مناطق من ناحية الأداء للمادة الرابطة الاسفلتية والجدول 1 يوضح تقسيم أداء المادة الرابطة الاسفلتية

الجدول 1. أداء المادة الرابطة الاسفلتية PG في ليبيا

الإقليم المناخي	تصنيف PG عند موثوقية 50%	تصنيف PG عند موثوقية 98%
الساحلي	PG 64-10	PG 64-16
الجبلي	PG 64-16	PG 70-16
الصحراوي	PG 70-10	PG 76-10

9. مقارنة بين النظام التقليدي ونظامSuperpave PG [6]

جدول 2. المقارنة بين نظام الاختراق ونظام السوبربيف

النظام	معيار التصنيف	مراعاة درجات الحرارة	الأداء الفعلي
النظام التقليدي (الاختراق)	اختبار اختراق الإبرة عند 25°م فقط	لا	ضعيف (تشققات مبكرة وتخدد)
نظامSuperpave PG	PG XX-YYأعلى وأدنى درجة حرارة تصميمية	نعم	مرتفع (مقاومة أفضل للتشققات والتخدد)

9.1 نقاط القوة والضعف للنظامين

- **النظام التقليدي:**
  - **سهولة التطبيق** والتكلفة المنخفضة.
  - عدم مراعاة تغيرات درجات الحرارة القصوى والدنيا الفعلية.
  - يؤدي إلى مشاكل تشققات مبكرة وتخدد، خاصة في المناطق ذات المناخ القاسي.
- **نظام:Superpave PG** [7]
  - يعتمد على أداء المادة الرابطة الحقيقي تحت ظروف مناخية محددة.
  - يسمح بتصميم خلطة إسفلتية مناسبة للمناطق المختلفة.
  - يقلل من الحاجة للصيانة ويوفر عمرًا أطول للرصف.
  - قد يحتاج إلى تدريب فني ومعدات متقدمة.

9.2 الآثار الاقتصادية والفنية

استخدام نظام Superpave يقلل من تكاليف الصيانة المستمرة ويطيل عمر الطرق، ما ينعكس إيجابيًا على اقتصاديات المشاريع والجهات المسؤولة عن صيانة الطرق، كما يضمن تحسين جودة الطرق وزيادة السلامة المرورية.

10. النتائج والمناقشة

أظهرت نتائج الدراسة أن نظام Superpave Performance Grade (PG) يوفر تصنيفًا أدق وأكثر ملاءمة لدرجات الحرارة التصميمية التي تتعرض لها الطرق في ليبيا مقارنة بالنظام التقليدي المعتمد على اختبار الاختراق.

10.1 دقة تصنيف المادة الرابطة

- يعكس نظام PG الأداء الفعلي للمادة الرابطة في الظروف المناخية المتغيرة، مما يؤدي إلى اختيار مواد رابطة تلائم بيئات العمل الحقيقية.
- ساعد تصنيف PG في تحديد الفروقات بين المناطق الساحلية والجبال والمناطق الصحراوية، وهو أمر غائب في النظام التقليدي.

10.2 تحسين أداء الرصف

- اعتماد نظام PG يقلل من احتمالية حدوث تشققات وتخدد في طبقات الرصف، خصوصًا في المناطق ذات درجات الحرارة العالية والصفرية.
- يساهم النظام في تقليل تكاليف الصيانة على المدى الطويل من خلال تحسين مقاومة الخلطة الإسفلتية للأحمال والظروف المناخية القاسية.

10.3 التحديات والفرص

- على الرغم من الفوائد الكبيرة، يحتاج تطبيق نظام Superpave إلى تحديث المواصفات الفنية الوطنية، وتدريب الكوادر الهندسية.
- يجب الاستثمار في تحديث قواعد البيانات المناخية وتوفير أدوات تحليل دقيقة لضمان استمرارية الأداء الجيد.

10.4 الأهمية الوطنية

- إن اعتماد نظام PG يعزز من جودة البنية التحتية للطرق، ويسهم في التنمية الاقتصادية والاجتماعية، خاصة في ظل التنوع الجغرافي والمناخي لليبيا.
- يوفر النظام إطارًا علميًا متينًا لتصميم الخلطات الإسفلتية، مما يفتح المجال لتطوير أبحاث مستقبلية محلية تستهدف تحسين الأداء وتوفير الموارد.

11. الاستنتاجات

1. عدم كفاءة النظام التقليدي :أظهرت الدراسة أن نظام تصنيف المادة الرابطة المعتمد على اختبار الاختراق عند 25 درجة مئوية لا يعكس الظروف المناخية المتغيرة في ليبيا، مما يؤدي إلى ضعف أداء الرصف.
2. جدوى نظام Superpave PG: يعد نظام تصنيف Superpave Performance Grade (PG) أكثر دقة وموثوقية في تحديد المادة الرابطة المناسبة لكل منطقة مناخية في ليبيا، بناءً على درجات الحرارة التصميمية الحقيقية.

3. تحسين عمر الرصف :يساهم اعتماد نظام PG في تحسين مقاومة الرصف للتشققات الحرارية والتخدد، مما يزيد من عمر الطرق ويقلل من تكاليف الصيانة.
4. ضرورة التحديث والتطوير :هناك حاجة ملحة لتحديث المواصفات الفنية الوطنية لاعتماد نظامPG ، بالإضافة إلى إعداد خرائط تصنيف وطنية مبنية على بيانات مناخية حديثة.
5. التدريب وتطوير الكوادر :يجب توفير برامج تدريبية للمهندسين والفنيين لتعزيز فهم تطبيقات نظام Superpave وضمان استخدامه الفعال في تصميم وتنفيذ شبكات الطرق.

12.التوصيات

1. **تحديث المواصفات الفنية الوطنية**

على الجهات المختصة في ليبيا العمل على مراجعة وتحديث المواصفات الفنية المعتمدة لتصنيف المواد الرابطة الإسفلتية، بحيث تعتمد رسميًا نظام Superpave PG كمعيار تصميمي أساسي.

2. **تدريب الكوادر الهندسية والفنية**

ينبغي تنظيم دورات وورش عمل لتدريب المهندسين والفنيين على استخدام نظامSuperpave ، بما في ذلك فهم معايير التصنيف وتحليل البيانات المناخية وتطبيقاتها في تصميم الخلطات الإسفلتية.

3. **إنشاء قاعدة بيانات مناخية محدثة**

تطوير وصيانة قاعدة بيانات مناخية شاملة ودقيقة تغطي كافة مناطق ليبيا، مع تحديثها دوريًا لتوفير معلومات حديثة تساعد في تحسين دقة تصنيف المادة الرابطة.

4. **تشجيع البحوث التطبيقية**

الدعم المستمر لإجراء دراسات وبحوث تطبيقية محلية تركز على تقييم أداء المواد الرابطة تحت الظروف المناخية الليبية، وتطوير حلول تقنية مناسبة تسهم في تحسين عمر وكفاءة الرصف.

5. **اعتماد خريطة تصنيف وطنية**

تعميم استخدام خريطة تصنيف PG التي تم إعدادها في هذه الدراسة كمرجع وطني يساعد في توحيد معايير التصميم وتوجيه الاختيارات الهندسية.

6. **ضرورة اجراء دراسات حقلية**

لتحديد مدى ملائمة وصلاحية المعادلات المستخدمة في هذا البحث للاستخدام في إيجاد معدل الأداء المناخي واعداد خريطة لأداء المادة الرابطة الاسفلتية

13.المراجع

[1] A. H. Huang, *Pavement Analysis and Design*, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2004.

[2] P. S. Kandhal and F. B. Nicks, "Superpave mix design and analysis," *National Center for Asphalt Technology*, Tech. Rep. FHWA/NC-2000-016, 2000.

[3] J. A. Hajj and S. B. Melhem, "Performance grading of asphalt binders in hot climates: A review," *Construction and Building Materials*, vol. 23, no. 1, pp. 361–366, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2007.08.006.

[4] M. Salem, "Evaluation of asphalt binder performance grading in Libyan climates," *Libyan Journal of Engineering Studies*, vol. 8, no. 2, pp. 45–52, 2014.

[5] Federal Highway Administration, "SHRP Superpave asphalt binder specifications," *FHWA-SA-96-069*, 1996.

[6] NASA POWER Project, "NASA Prediction of Worldwide Energy Resource," [Online]. Available: https://power.larc.nasa.gov, accessed: June 2025.

[7] D. R. Jones, "Climate data analysis for asphalt pavement design," *Transportation Research Record*, no. 1962, pp. 124–132, 2006.

المحور الرابع

المشاكل والحلول في البيئة الصحراوية

- زحف الرمـــــال
- العزل الحـــــراري
- التأثيرات المناخية

استخدام الخلايا الشمسية كوسيلة مزدوجة لحماية طريق سبها – براك من زحف الرمال وإنتاج الطاقة

د .محمد عبد السلام أبو بكر السبهاوي
قسم الهندسة المدنية والبيئية / كليه الهندسه / جامعه سبها
sbhawy212@gmail.com

الملخص

مع تزايد التحديات البيئية والتنموية في المناطق الصحراوية، تبرز أهمية الاستفادة من الموارد الطبيعية المتجددة للتغلب على هذه التحديات. تهدف هذه الورقة البحثية إلى دراسة إمكانية استخدام الخلايا الشمسية كوسيلة مزدوجة الغرض لحماية طريق سبها – براك من زحف الرمال والذي يعاني من مشاكل متزايدة بسبب التغيرات المناخية مع الاستفادة من الطاقة النظيفة المنتجة المتجددة.

النهج المقترح يتضمن دراسة إمكانية تطبيق وتركيب خلايا شمسية على جانبي الطريق لتوفير حماية فعالة من تراكم الرمال وتقليل الحاجة إلى صيانة الطرق بشكل دوري. بالإضافة إلى ذلك، ستُستخدم هذه الخلايا الشمسية لتوليد الطاقة الكهربائية، مما يوفر مصدراً مستداماً للطاقة يمكن استغلاله في إنارة الطريق،أو دعم البنية التحتية المحلية. عبر استعراض الأنظمة العالمية للخلايا الشمسية ، يتم التركيز على وضع تصميم يعتمد على إنشاء صفوف من الألواح الشمسية مع دراسة أنواعها، وأشكالها،وارتفاعها، وأبعادها المناسبة وتحليل كيفية توزيعها على جانبي الطريق، لضمان فعالية الحماية لصد الرمال، بعيداً عن الطريق. تتضمن الدراسة مقارنة اقتصادية بين هذه التقنية ووسائل أخرى مثل استخدام تقنيات تقليدية لحمايته.

أظهرت النتائج الأولية للدراسة أن تركيب الخلايا الشمسية يوفر حلاً اقتصادياً وبيئياً مستداماً. فمن خلال دمج تقنيات الطاقة المتجددة مع تدابير الحماية البيئية، يمكن تقليل التكاليف المرتبطة بصيانة الطرق وزيادة الاعتماد على مصادر الطاقة النظيفة. كما يوفر المشروع فرصاً اقتصادية جديدة من خلال خلق وظائف متعلقة بتركيب وصيانة الخلايا الشمسية.

هذه الورقة تقدم نموذجاً عملياً يمكن تكراره في مناطق صحراوية أخرى تواجه تحديات مشابهة، مما يعزز من أهمية البحث والتطوير في مجال استغلال الطاقة المتجددة في التنمية المستدامة.إلى تقديم حل مستدام يوازن بين حماية الطريق وتحقيق فوائد بيئية واقتصادية .

الكلمات الدالة: زحف الرمال، الطاقة الشمسية ، التنمية المستدامة، الطرق الصحراوية ، الحماية البيئية

Abstract

With the increasing environmental and development challenges in desert areas, the importance of utilizing renewable natural resources to overcome these challenges is highlighted. This research paper aims to comprehensively study the potential of using solar cells as a dual-purpose method to protect the Sabha-Brak road from sand encroachment while utilizing clean, renewable energy. This road is facing increasing challenges due to climate change. The proposed approach includes studying the feasibility of installing solar

cells on both sides of the road to provide effective protection against sand accumulation and reduce the need for periodic road maintenance. Furthermore, these solar cells will be used to generate electricity, providing a sustainable energy source that can be used for road lighting or supporting local infrastructure. By reviewing global solar cell systems, the focus is on developing a design based on the construction of rows of solar panels, studying their types, shapes, heights, and appropriate dimensions, and analyzing their distribution on both sides of the road to ensure effective protection against sand encroachment. The study includes an economic comparison between this technology and other methods, such as the use of traditional road protection techniques. The preliminary results of the study show that installing solar cells provides an economically and environmentally sustainable solution. By combining renewable energy technologies with environmental protection measures, the costs associated with road maintenance can be reduced and reliance on clean energy sources increased. The project also provides new economic opportunities by creating jobs related to the installation and maintenance of solar cells.

This paper presents a practical model that can be replicated in other desert areas facing similar challenges, reinforcing the importance of research and development in the field of utilizing renewable energy for sustainable development. This approach aims to provide a sustainable solution that balances road protection with environmental and economic benefits.

***Keywords**: sand encroachment, solar energy, sustainable development, desert roads, environmental protection*

1. المقدمة:

تعد الطاقة الشمسية واحدة من أهم مصادر الطاقة المتجددة في العالم، خاصة في المناطق الصحراوية التي تتميز بسطوع شمسي عالٍ طوال العام. يعتبر استغلال الطاقة الشمسية في حماية الطرق وإنتاج الطاقة النظيفة خطوة استراتيجية نحو تعزيز الاستدامة البيئية. وتقليل التكاليف المرتبطة بالصيانة والحفاظ على البنية التحتية[1] مما يتيح إمكانية توليد كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية بشكل مستدام وبأقل تأثير بيئي.

1.1 مزايا استغلال الطاقة الشمسية في المناطق الصحراوية

- وفرة الإشعاع الشمسي وملاءمته لإنتاج الطاقة :تتمتع الصحاري بإشعاع شمسي يتجاوز 300 يوم مشمس في السنة، مما يضمن استمرارية إنتاج الطاقة.

- الاستفادة من المساحات الواسعة:يمكن تركيب محطات طاقة شمسية كبيرة في الأراضي الصحراوية دون التأثير على المساحات الزراعية أو المناطق السكنية.
- تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري:إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية يقلل من استهلاك الوقود الأحفوري، مما يساهم في تقليل الانبعاثات الكربونية الضارة.
- خفض التكاليف التشغيلية في المناطق النائية:يمكن استخدام الطاقة الشمسية لتوليد الكهرباء في المناطق المعزولة، مما يقلل من تكاليف نقل الوقود أو ربط الشبكات الكهربائية.
- إمكانية ربطها بمشاريع حماية الطرق:يمكن دمج أنظمة الطاقة الشمسية في مشاريع حماية الطرق من العواصف الرملية وتآكل الأسفلت، كما هو الحال في دراسة حالة طريق سبها – براك الشاطئ وذلك من خلال تقنيات التظليل وتثبيت الألواح الشمسية على جوانب الطرق. كما يمكن استغلالها في إنتاج طاقة كهربائية نظيفة تستخدم في إنارة الطرق وتشغيل محطات شحن المركبات الكهربائية.

1.2 تعريف بالمشكلة: زحف الرمال وأثره على البنية التحتية للطريق

تعد مشكلة زحف الرمال من الظواهر الطبيعية التي تؤثر بشكل مباشر على البنية التحتية للطرق، خصوصًا في المناطق الصحراوية. تحدث هذه الظاهرة نتيجة لحركة الرياح التي تنقل كميات كبيرة من الرمال عبر المسطحات المكشوفة، مما يؤدي إلى تراكمها على الطرق وانسدادها [1]. يؤثر زحف الرمال سلبًا على السلامة المرورية، إذ يؤدي إلى انخفاض الرؤية للسائقين، وزيادة خطر وقوع الحوادث، فضلًا عن التأثير على كفاءة شبكات النقل والبنية التحتية الحيوية .[2].

في ليبيا، يُعتبر طريق سبها – براك الشاطئ أحد الطرق الرئيسية التي تعاني من هذه الظاهرة، حيث يتم إغلاق أجزاء كبيرة من الطريق بشكل دوري بسبب تراكم الرمال، مما يتسبب في ارتفاع تكاليف الصيانة الدورية وإعاقة التنقل بين المدن. أشارت دراسة حديثة إلى أن إزالة الرمال المتراكمة على الطرق الصحراوية في شمال أفريقيا تكلف الحكومات ملايين الدولارات سنويًا [8]. بناءً على ذلك، فإن البحث عن حلول مستدامة لمواجهة هذه المشكلة يعد أمرًا ضروريًا للحفاظ على كفاءة الطرق الصحراوية وضمان استمرار الحركة المرورية بأمان.

1.3 أهمية الدراسة وأسباب اختيار تقنية الألواح الشمسية لحماية الطريق

مع التطورات التقنية الحديثة، أصبحت الطاقة الشمسية واحدة من أكثر المصادر الواعدة للطاقة المتجددة في العالم، إذ تتميز بتكلفتها المنخفضة على المدى الطويل وقلة تأثيرها البيئي السلبي [4]. إضافة إلى دورها في توليد الكهرباء، يمكن استخدام الألواح الشمسية كحاجز فعّال لمنع زحف الرمال على الطرق الصحراوية، حيث تعمل على تقليل حركة الرمال ومنع تراكمها على الطرق، مما يقلل من الحاجة إلى الصيانة المتكررة .[5].

.

1.4 الألواح الشمسية كمصدر للطاقة

الألواح الشمسية هي أجهزة تحول ضوء الشمس إلى كهرباء باستخدام تأثير كهروضوئي. في السنوات الأخيرة، شهدت تقنيات الطاقة الشمسية تطورًا كبيرًا من حيث الكفاءة والسعر وسهولة التركيب، وأصبحت خيارًا استراتيجيًا في البيئات الصحراوية

التي تتمتع بشدة إشعاع شمسي عالية [14]. كما أن ليبيا تتمتع بأحد أعلى معدلات الإشعاع الشمسي عالميًا، مما يجعل من الطاقة الشمسية خيارًا اقتصاديًا وبيئيًا مثاليًا.[9]

أظهرت تجارب عدة في دول الخليج العربي، مثل المملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة، أن تركيب الألواح الشمسية على جانبي الطرق يمكن أن يقلل من تأثير زحف الرمال بنسبة تصل إلى 60% [12]. إضافة إلى ذلك، يمكن استخدام الطاقة المتولدة من الألواح الشمسية في تشغيل إنارة الطرق ومحطات شحن المركبات الكهربائية، مما يسهم في تحقيق فوائد بيئية واقتصادية متكاملة. تُستخدم أنظمة الطاقة الشمسية كوسيلة فعّالة للحد من زحف الرمال على الطرق، خاصة في المناطق الصحراوية. تُسهم هذه الأنظمة في تقليل سرعة الرياح الأرضية، مما يقلل من حركة الرمال. بالإضافة إلى ذلك، يؤدي تركيب الألواح الشمسية إلى خفض درجة حرارة الأرض تحتها، مما يزيد من رطوبة التربة ويُسهم في تثبيتها. من هذا المنطلق، تسعى هذه الدراسة إلى تقييم مدى إمكانية تنفيذ هذا الحل على طريق سبها – براك الشاطئ، ودراسة تأثيره على الحد من زحف الرمال وتحسين استدامة البنية التحتية .

1.4.1 أمثلة على المشاريع المنفذة عالميًا:

- مشروع صحراء كابوتشي – الصين

يُعد مشروع كوبوتشي في منغوليا الداخلية واحدًا من أنجح التطبيقات العالمية لاستخدام الطاقة الشمسية في تثبيت التربة ومنع زحف الرمال. في هذا المشروع، تم تركيب أكثر من 196,000 لوح شمسي على مساحة واسعة، مما ساهم في خفض سرعة الرياح بنسبة 30% وتقليل حركة الرمال بنسبة 42% [11]. علاوة على ذلك، ساعدت الألواح الشمسية في إنتاج 2 ميجاوات من الكهرباء سنويًا، مما عزز التنمية المستدامة في المنطقة .[7]

- محطة شمس 1 – الإمارات العربية المتحدة

في دولة الإمارات، واجهت محطة شمس 1 تحديًا كبيرًا بسبب العواصف الرملية التي أثرت على كفاءة عمل الألواح الشمسية. وللحد من هذه المشكلة، تم تصميم حاجز رملي صناعي بارتفاع 7 أمتار حول المحطة، مما أدى إلى تقليل تراكم الرمال على الألواح الشمسية بنسبة 60% [6]. يُظهر هذا المثال أن استخدام الألواح الشمسية، مع بعض التعديلات الهندسية، يمكن أن يوفر حماية فعالة للطرق والبنية التحتية في المناطق الصحراوية.

- مشروع الطاقة الشمسية في كاليفورنيا – الولايات المتحدة

نفذت ولاية كاليفورنيا مشروعًا مشابهًا لحماية الطرق السريعة في المناطق القاحلة، حيث تم تركيب ألواح شمسية مزودة بآليات ذاتية التنظيف لضمان كفاءتها التشغيلية [13]. أدى هذا المشروع إلى تقليل الحاجة إلى عمليات الصيانة اليدوية وزيادة إنتاج الطاقة بنسبة 15% مقارنة بالأنظمة التقليدية.

1.5 الخلاصة :

بناءً على التجارب العالمية، يُمكن أن يكون استخدام ألواح الطاقة الشمسية كحاجز للرياح حلًا مستدامًا وفعالًا لمشكلة زحف الرمال في ليبيا. بالإضافة إلى حماية الطرق، يمكن لهذه التقنية توفير مصدر طاقة نظيف يعزز البنية التحتية للطاقة في البلاد. لذا، فإن تطبيق مشروع تجريبي في طريق سبها – براك الشاطئ قد يكون خطوة مهمة نحو مستقبل أكثر استدامة.

1.6 استعراض سريع للحلول التقليدية المستخدمة سابقًا ولماذا قد لا تكون كافية.

على مر العقود، تم استخدام مجموعة متنوعة من الحلول لمحاولة الحد من زحف الرمال على الطرق، لكن العديد منها لم يكن كافيًا بسبب التكاليف المرتفعة أو الحاجة إلى صيانة دورية مستمرة. تشمل الحلول التقليدية ما يلي:

- التشجير على جانبي الطريق: شكل (1) يُعتبر استخدام الأشجار والنباتات إحدى الطرق التقليدية لمنع زحف الرمال،[20] حيث تعمل الجذور على تثبيت التربة والرمال في أماكنها. إلا أن هذه الطريقة غير فعالة في المناطق الصحراوية القاحلة التي تعاني من نقص في مصادر المياه، كما أن نمو الأشجار يتطلب سنوات عديدة قبل أن تحقق التأثير المطلوب [10]
- بناء الحواجز الرملية:شكل (2) تعتمد هذه الطريقة على إنشاء حواجز خرسانية أو خشبية لمنع انتقال الرمال إلى الطرق.[19] ورغم أنها تُعد حلاً فعالًا على المدى القصير، إلا أنها تتطلب صيانة دورية وقد تتسبب في تراكم الرمال بجوار الحواجز مما يجعلها غير عملية على المدى الطويل .[3]
- استخدام آلات إزالة الرمال: يتم اللجوء إلى إزالة الرمال المتراكمة على الطرق باستخدام معدات ميكانيكية، إلا أن هذا الحل يعد مكلفًا وغير مستدام، حيث يتطلب تشغيل المعدات بشكل دوري، مما يؤدي إلى استهلاك موارد مالية وبشرية كبيرة [8]. بالمقارنة مع هذه الحلول، فإن استخدام الألواح الشمسية كحاجز لحماية الطرق يمثل حلاً مستدامًا يجمع بين الوقاية من زحف الرمال وإنتاج الطاقة المتجددة، مما يعزز من الجدوى الاقتصادية والبيئية لهذه التقنية.

شكل (1) استخدام الأشجار والنباتات إحدى الطرق التقليدية لمنع زحف الرمال

شكل (2) الحلول التقليدية:بناء الحواجز الرملية: تعتمد هذه الطريقة على إنشاء حواجز خشبية لمنع انتقال الرمال إلى الطرق.

2. أهداف الورقة البحثية :

تهدف هذه الورقة إلى تحقيق الأهداف التالية:

1. تحليل مدى تأثير زحف الرمال على طريق سبها – براك الشاطئ ودراسة العوامل المناخية التي تساهم في تسريع هذه الظاهرة.
2. تقييم فعالية الألواح الشمسية في الحد من زحف الرمال من خلال مراجعة التجارب الدولية وإجراء تحليلات محلية.
3. تحديد أفضل تصميم وتوزيع للألواح الشمسية لضمان تحقيق أقصى حماية للطريق.
4. تحليل الجدوى الاقتصادية لهذا الحل ,
5. اقتراح حلول تطبيقية تعتمد على الطاقة الشمسية يمكن تبنيها في مناطق أخرى ذات ظروف بيئية مشابهة.

2. منهجية البحث:

تعتمد هذه الدراسة على منهج بحثي يجمع بين التحليل الميداني، والاستبيانات، ومراجعة الدراسات السابقة. تتضمن الخطوات التالية:

- زيارة ميدانية لتقييم المناطق الأكثر تضررًا من زحف الرمال على الطريق، وقياس سرعة الرياح كميات الرمال المتراكمة.
- إجراء استبيانات لسائقي المركبات والعاملين في صيانة الطرق لفهم مدى تأثير زحف الرمال على المرور والبنية التحتية.
- تحليل أنواع الألواح الشمسية المناسبة للبيئة الصحراوية، من حيث المتانة والقدرة على مقاومة الرمال ودرجات الحرارة المرتفعة.
- المقارنة بين تكلفة الألواح الشمسية وحلول الحماية التقليدية.

3. نبذة عن الطريق وأهميته الاستراتيجية

تقع منطقة سبها – براك الشاطئ في جنوب ليبيا، وهي من بين أكثر المناطق إشعاعًا شمسيًا في العالم، حيث يبلغ متوسط الإشعاع الشمسي السنوي نحو 2,200 إلى 2,500 ك.و.س/م²/سنة. يمتد طريق سبها – براك الشاطئ لمسافة تقارب 70 كيلومترًا، وهو طريق حيوي يربط عاصمة الجنوب سبها ببلدية الشاطئ، وتمر عليه مئات المركبات يوميًا، لا سيما لنقل البضائع والركاب.اعتمادًا على متوسط عرض جانبي للطريق حوالي 10 أمتار، يمكن أستغلال حواف الطريق أو إنشاء مظلات شمسية تغطي مقاطع معينة (مثلاً: 5 كيلومترات) لتركيب الألواح الشمسية دون التأثير على حركة المرور.تعتمد هذه الدراسة على تحليل جغرافي ومناخي لمنطقة طريق سبها – براك الشاطئ، بالإضافة إلى دراسة بيانات الإشعاع الشمسي السنوي ومعدلات درجات الحرارة

3.1 التحديات التي يواجهها الطريق

- العواصف الرملية المتكررة.
- درجات الحرارة المرتفعة التي تؤدي إلى تآكل الأسفلت.

- ضعف الإنارة وقلة محطات الشحن الكهربائية.

3.2 تحليل العوامل المناخية والجغرافية المؤثرة على زحف الرمال. على طريق سبها براك.:-

3.2.1 التحليل البيئي

تبين أن الأنماط المناخية، مثل الرياح الشمالية القوية والجافة، هي السبب الرئيسي لزحف الرمال في هذه المنطقة. كما أظهرت التحليلات الجغرافية أن المناطق الأكثر عرضة للزحف هي المناطق ذات التضاريس المنخفضة.

3.2.2 التحليل الميداني لمنطقة طريق سبها براك الصحراوية

جدول (1) يعرض التحليل الميداني لعشرة مواقع لمنطقة طريق سبها براك الصحراوي ويوضح أسباب زحف الرمال في كل موقع. تم تحديد المشاكل الرئيسة مثل قلة الغطاء النباتي، اتجاه الرياح، وحركة المركبات الثقيلة كأسباب رئيسية لتراكم الرمال على الطريق. النتائج تشير إلى الحاجة إلى تحسين الغطاء النباتي، استخدام مصدات الرياح الصناعية، وتثبيت التربة كيميائيًا للحد من هذه الظاهرة. جدول (1) وضح أن بعض المواقع مثل الكيلومترات 20، 40، و45 تعاني من أعلى مستويات تأثير زحف الرمال، مما يستدعي اتخاذ إجراءات فورية لحماية الطريق في تلك المنطقة.

3.3 الخلاصة

يعد زحف الرمال على طريق سبها براك مشكلة بيئية وهندسية تتطلب استراتيجيات مستدامة للحماية. من خلال التحليل الميداني والاستبيانات، تم تحديد أن الحواجز الطبيعية، مثل زراعة الأشجار والشجيرات، يمكن أن تكون حلاً فعالاً .تبين أن الأنماط المناخية، مثل الرياح الشمالية القوية والجافة، هي السبب الرئيسي لزحف الرمال في هذه المنطقة. كما أظهرت التحليلات الجغرافية أن المناطق الأكثر عرضة للزحف هي المناطق ذات التضاريس المنخفضة,

4. التصميم والتطبيق

4.1 الفكرة الأساسية: – إنشاء حواجز ذكية تعمل بالطاقة الشمسية

يمكن تصميم حواجز أو ألواح تعمل بالطاقة الشمسية جدول (2).دمج الألواح الشمسية في هيكل هندسي يعمل كمصد للرياح لحماية الطريق من زحف الرمال وتقوم بوظيفتين رئيسيتين:

4.1.1 كحواجز رياح لمنع زحف الرمال

- تُثبت الألواح الشمسية على قواعد مائلة ومتباعدة على جانبي الطريق.
- تعمل هذه الألواح كحواجز للرياح، مما يقلل سرعة الرياح القريبة من سطح الأرض ويمنع نقل الرمال.

4.1.2 إنتاج الكهرباء لتغذية مشروعات بيئية

- الكهرباء المنتجة تُستخدم لتشغيل:
  - مضخات ري لمزارع أو أحزمة خضراء (نباتات مقاومة للجفاف) تزرع بمحاذاة الطريق وتثبت الرمال.
  - أنظمة إنارة للطريق تعمل بالطاقة الشمسية، خاصة في المناطق غير المخدومة بالكهرباء.

جدول (1) التحليل الميداني لمنطقة طريق سبها براك الصحراوية

الرقم	الموقع	أسباب زحف الرمال	الملاحظات الميدانية	النتائج المتوقعة
1	الكيلومتر 5	قلة الغطاء النباتي	الرمال تتراكم بسهولة بسبب الرياح القوية	زيادة تراكم الرمال خلال فترة العواصف الرملية
2	الكيلومتر 10	اتجاه الرياح الشرقية	الرمال تنتقل من الكثبان القريبة نحو الطريق	الطريق يتعرض للتغطية السريعة بالرمال
3	الكيلومتر 15	نقص الحواجز الطبيعية مثل الأشجار	لا توجد أحزمة خضراء لحماية الطريق	الحاجة إلى زراعة الأشجار لتثبيت الرمال
4	الكيلومتر 20	الرياح الموسمية القوية	تجمع كبير للرمال في الزوايا والمناطق المنخفضة	صعوبة الحفاظ على نظافة الطريق
5	الكيلومتر 25	حركة المركبات الثقيلة	الرمال تتحرك بسهولة إلى الطريق مع اهتزاز الأرض	زيادة تآكل الطريق وتراكم الرمال بشكل متزايد
6	الكيلومتر 30	عدم وجود حماية صناعية (مصدات الرياح)	كثافة الرياح في هذه المنطقة عالية	الحاجة إلى تركيب مصدات رياح صناعية
7	الكيلومتر 35	عدم استقرار التربة في المنطقة	الرمال تنقل بسبب التربة غير المثبتة	الحاجة إلى تثبيت التربة كيميائيًا
8	الكيلومتر 40	وجود كثبان رملية قريبة من الطريق	الكثبان تتحرك باتجاه الطريق	تراكم كثيف للرمال على الطريق في فصل الصيف
9	الكيلومتر 45	تآكل الأرض الطبيعية بفعل الرياح	تضخم مشكلة الرمال المتحركة	الحاجة إلى حلول طويلة الأمد لحماية الطريق
10	الكيلومتر 50	قرب الطريق من مسار الوادي	الرياح تنقل الرمال من الوادي إلى الطريق	الحاجة إلى إنشاء حاجز مائي لتقليل تدفق الرمال

4.1.3 اختيار نوعية الألواح الشمسية المناسبة

تعتبر الألواح الشمسية ثنائية الوجه (Bifacial Solar Panels) أكثر كفاءة في المناطق الصحراوية، حيث يمكنها امتصاص الضوء من الجانبين، مما يزيد من إنتاجية الطاقة بنسبة تصل إلى 25% مقارنة بالألواح التقليدية [15]كما تتميز الألواح ذات الطلاء النانوي بمقاومتها العالية للرمال، مما يقلل من الحاجة إلى عمليات التنظيف المستمرة [16].

4.1.4 تحديد أفضل مواقع لتركيب الألواح الشمسية على جانبي الطريق.

تُثبت الألواح الشمسية على طول جوانب الطريق بشكل هندسي يساهم في حماية حواف الطريق من تراكم الرمال المتنقلة بسبب العواصف الصحراوية. تعمل هذه الألواح أيضًا على إنتاج الطاقة الكهربائية النظيفة التي يمكن استخدامها في إنارة الطريق أو تشغيل محطات شحن المركبات الكهربائية.

4.1.5 الفوائد وآلية التركيب:

تُثبت الألواح على قواعد متينة تتحمل العوامل المناخية، وتُصمم بزاوية ميلان مناسبة لزيادة كفاءة امتصاص الإشعاع الشمسي.مزايا هذا الحل:-

- ثنائي الغرض: تقني وبيئي في آن واحد.
- صديق للبيئة: يقلل الاعتماد على الوقود الأحفوري.
- تحسين السلامة المرورية: تقليل تراكم الرمال على الطريق.
- خلق فرص عمل: من خلال صيانة النظام وتشغيل المشروعات الزراعية المرتبطة.
- تقليل تكاليف الصيانة: حماية الطرق والمرافق العامة من التآكل الناتج عن الرمال المتحركة.
- دعم الاستدامة البيئية: بتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة غير المتجددة
- الحد من زحف الرمال: عبر تركيب حواجز تعمل ككاسرات للرياح وتقلل من سرعة الرياح القريبة من سطح الأرض.
- إنتاج طاقة نظيفة بشكل مستدام.: من خلال الألواح الشمسية المركبة على الحواجز، لتغذية مشروعات بيئية وبنية تحتية محلية.
- تطبيقات الطاقة الشمسية في إنارة الطريق وتشغيل محطات الشحن

تُعتبر إنارة الطرق بالطاقة الشمسية بديلاً مستدامًا لأنظمة الإضاءة التقليدية، حيث تعتمد على ألواح شمسية مستقلة تُخزن الطاقة خلال النهار وتستخدمها للإضاءة ليلًا. يمكن أيضًا استغلال هذه الطاقة في تشغيل محطات شحن كهربائية على طول الطريق

شكل (3) تحديد نموذج يوضح الارتفاعات والمسافات المثلى بين الألواح الشمسية كمصدات رياح

4.2 التصميم الهندسي للألواح كمصدات رياح

- يبين الشكل 3 نموذج لمقترح الألواح الشمسية [18] وتحديد الارتفاع والمسافات المثلى بين الألواح لضمان فعالية الحماية.
- اقتراح نظام تجميع الرمال بعيدًا عن الطريق باستخدام حواجز أو حواف مائلة.

- دراسة كيفية الاستفادة من الطاقة المنتجة (إنارة الطريق، شحن المركبات الكهربائية، دعم المجتمعات القريبة).

4.2.1 مكونات تصميم المشروع

4.2.1.1 المفهوم العام {الألواح الشمسية } للحواجز الذكية

الحواجز الذكية هي هياكل مكونة من ألواح شمسية مركّبة بطريقة هندسية لتؤدي وظيفتين:

- توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية.
- تقليل زحف الرمال من خلال العمل كحواجز رياح وتقنيات بيئية ذكية.

4.2.1.2 المواصفات الفنية المقترحة: مكونات الحواجز الذكية وآلية العمل.

يوضح الجدول 2 توصيات حول نظام الألواح الشمسية المقترح لمنطقة الدراسة والتي تم الخلوص إليها من خلال العمل .

- ألواح شمسية مائلة

تُركّب على قواعد مائلة بزاوية مناسبة (30–45 درجة). مصممة لتحمل الظروف الصحراوية (حرارة عالية، غبار، رياح).مزودة بتقنية تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء.

- هيكل داعم مقاوم للعوامل المناخية

مصنوع من الفولاذ المجلفن أو الألمنيوم المقاوم للتآكل. تثبيت الألواح الشمسية على جانبي الطرق والمناطق المستهدفة.و تثبيت في الأرض بعمق لمنع تحريكها بواسطة الرياح.

- مستشعرات ذكية حساسات قياس

تقيس سرعة الرياح، حركة الرمال، كمية التراكم. ترسل بيانات إلى وحدة تحكم مركزية لمراقبة الكفاءة. ومراقبة مستوى العواصف الرملية وتعديل زاوية الألواح إذا لزم الأمر

- أنظمة ري ذكية مدمجة

تستخدم الكهرباء الناتجة لري نباتات محلية (مثل الغضا أو الأرطى) عبر تقطير دقيق.النباتات تزرع بين الحواجز لزيادة تثبيت الرمال.

- وحدة طاقة وبطاريات تخزين

تخزن الطاقة الفائضة لاستخدامها ليلاً أو في الطقس الغائم. تغذي الإضاءة الليلية أو أجهزة استشعار إضافية. وشبكة نقل الطاقة لربط الحواجز بالشبكة الكهربائية أو بالمشروعات البيئية المستفيدة.

4.2.1.3 طريقة العمل

- تقوم الألواح المائلة بتقليل سرعة الرياح القريبة من سطح الأرض.
- هذا يحدّ من قدرة الرياح على حمل الرمال إلى الطريق.
- النباتات المزروعة بين الحواجز تزيد من فعالية التثبيت على المدى الطويل.
- يتم رصد كفاءة النظام عبر المستشعرات وإجراء الصيانة عند الحاجة.

جدول (2) المواصفات الفنية المقترحة: مكونات الحواجز الذكية. تصميم الهندسي للألواح كمصدات رياح

العنصر	التفاصيل
نوع الألواح	ألواح شمسية مائلة (Tilted PV Panels) ثنائية الوجه (Bifacial)
الهيكل	قاعدة معدنية مقاومة للتآكل (مغلقة أو من الفولاذ المجلفن)
الارتفاع	2 – 2.5 متر لصد الرمال المتدرجة بارتفاع منخفض
الميل	مائل بزاوية 25–30 درجة باتجاه الجنوب
التوضيع	على جانب الطريق المواجه للرياح السائدة (أو على الجانبين إذا لزم الأمر)
المسافة بين الهياكل	كل 5–10 أمتار حسب كثافة الرمال
نظام التثبيت	قواعد غاطسة أو مثبتة بالخرسانة مسبقة الصب لضمان الثبات في الرمال
خدمات مرافقة	نظام تنظيف ذاتي باستخدام فرش آلية أو مياه معاد تدويرها

يمثل مشروع الحواجز الذكية التي تعمل بالطاقة الشمسية خطوة متقدمة نحو حلول بيئية مستدامة تجمع بين حماية البيئة وتوليد الطاقة النظيفة، مما يسهم في تطوير البنية التحتية بشكل صديق للبيئة ويحد من التأثيرات السلبية للعواصف الرملية في المناطق الصحراوية.يوضح الجدول (3) مقارنة بين الحل المقترح لحماية طريق سبها براك من زحف الرمال بينما يوضح الجدول (4) بعض التحديات التي قد تواجه الألواح الشمسية واستراتيجية التخفيف منها.

جدول (3) مقارنة بين الحل التقليدي والحل المقترح لحماية طريق سبها – براك من زحف الرمال

العنصر	الحل التقليدي: مصدات رياح ترابية أو نباتية	الحل المقترح: ألواح شمسية كمصدات
الفعالية	متوسطة وتحتاج لصيانة مستمرة	عالية تؤدي وظيفتين (حماية + إنتاج طاقة)
العائد الاقتصادي	لا يوجد عائد مادي	توليد كهرباء يمكن بيعها أو استخدامها
الاستدامة	محدودة، تتدهور مع الزمن	مستدامة ومربحة بيئياً واقتصادياً
التكلفة الأولية	منخفضة	عالية نسبياً
الصيانة	مستمرة (بسبب التآكل الطبيعي)	دورية (لنظافة الألواح وصيانة تقنية)
الاعتماد على الموارد المحلية	متوسط (زريعة، نباتات)	عالي (شمس، مساعدات مفتوحة)

جدول (4) يوضح المخاطر التي تواجه الألواح الشمسية واستراتيجية التخفيف

المخاطر	مستوى الخطورة	استراتيجية التخفيف
تراكم الرمال على الألواح	متوسط	استخدام تقنيات تنظيف ذاتي ومنع تراكم الرمل عبر تصميم مائل للألواح
كفاءة الألواح بسبب الغبار	عالي	تطبيق تقنيات تنظيف آلي ودوري وإضافة طبقة مضادة للغبار
الرياح العاتية والعواصف الرملية	عالي	تعزيز الدعامات وتصميم الألواح بشكل ديناميكي لتقليل المقاومة
ارتفاع درجات الحرارة	متوسط	استخدام الألواح مصممة لتحمل درجات الحرارة العالية
الصيانة غير المنتظمة	منخفض	وضع جدول صيانة دوري باستخدام أنظمة مراقبة ذكية

5. النتائج:

- أظهرت الدراسات الأولية أن استخدام الألواح الشمسية كحواجز يمكن أن يقلل من زحف الرمال المتراكمة على الطريق بنسبة تصل إلى 40% مقارنة بالطرق التقليدية جدول(3) . وتقليل تكاليف الصيانة الدورية للطريق.
- انخفاض كميات الرمال المتراكمة على الطريق.
- خفض الانبعاثات الكربونية.
- تقليل الحوادث الناتجة عن العوامل البيئية.
- إمكانية تنفيذ مشروع تجريبي بطول عدة كيلومترات.
- تقليل معدل تدهور الطريق بنسبة كبيرة.
- دعم جهود الدولة في التحول نحو الطاقة المستدامة
- إنتاج طاقة كهربائية يمكن استخدامها في انتاج كهرباء نظيفة يمكن توظيفها محليًا في إنارة الطريق, تغذية شبكات محلية, و دعم محطات شحن المركبات الكهربائية مستقبلًا.

5.1 التحديات المحتملة

- التكلفة الأولية العالية.
- الصيانة الدورية للألواح في بيئة رملية قاسية.
- حماية الألواح من السرقة أو التخريب.

5.2 التوصيات

1. إجراء دراسة ميدانية تفصيلية للتربة والرياح في المنطقة.
2. يُنصح باستخدام ألواح شمسية مزدوجة الوجه (Bifacial Solar Panels) التي تستفيد من انعكاس أشعة الشمس من الرمال، مما يزيد من كفاءة توليد الطاقة.
3. البدء بمشروع تجريبي صغير على جزء من الطريق. كمشروع تجريبي محدود النطاق لرصد الفعالية التقنية والاقتصادية.
4. إشراك البلديات والجهات المختصة في التخطيط والتنفيذ.
   - تشجيع الشراكات بين القطاعين العام والخاص لتمويل المشروع.
   - تطوير تشريعات تدعم الطاقة المتجددة في مشاريع البنية التحتية.
   - توعية المجتمع المحلي بأهمية المشروع وفوائده.

يبين الشكل 4 نموذج لمقترح استخدام الألواح الشمسية في الحد من زحف الرمال وتوليد الطاقة تم تنفيذه في دولة الصين من صحراء كوبوتشي في منغوليا الداخلية.[17]

شكل (4)عرض مشروع الألواح الشمسية كوسيلة مزدوجة الفائدة.

6. الخاتمة:

يعد استخدام الألواح الشمسية كحواجز لمكافحة زحف الرمال على طريق سبها – براك الشاطئ فكرة مبتكرة تجمع بين الحلول البيئية والاستفادة من الطاقة المتجددة. تشير النتائج إلى أن هذه التقنية يمكن أن تقلل من تراكم الرمال وتحسن من كفاءة استخدام البنية التحتية، مما يستدعي إجراء مزيد من الدراسات العملية لتحديد الجدوى الاقتصادية والتطبيق الفعلي لهذا الحل في المناطق الصحراوية الأخرى .

7. قائمة المراجع:

1. Bagnold, R. A. (1941). *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. Methuen, London.
2. Al-Harthi, A., & El-Sayed, M. (2009). *Aeolian sand movement and its impact on road maintenance in arid regions*. Journal of Arid Environments, 73(2), 223–230.
3. Wiggs, G. F. S. (2011). *Desert dune dynamics and infrastructure protection: The role of barriers and engineering*. Geomorphology, 134(3), 256–267.
4. Kazmerski, L. L. (2012). *Photovoltaics: Clean power for the 21st century*. IEEE Journal of Photovoltaics, 2(1), 2–10.
5. Al-Karaghouli, A., & Kazmerski, L. L. (2013). *Renewable energy opportunities in North Africa: Solar electric technologies and potential*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(5), 2921–2935..
6. Masdar. (2017). *Shams 1 Project Overview and Environmental Strategy*. Abu Dhabi Future Energy Company.

7. Liu, Y., Zhang, D., & Wang, L. (2019). *Sustainable land use through solar photovoltaic deployment in arid regions: A case study in Inner Mongolia*. Renewable Energy, 134, 555–562.
8. Elhadi, M., Ben Salem, F., & Abdusalam, A. (2020). *Challenges of desertification and sand encroachment on road infrastructure in North Africa*. International Journal of Desert Studies, 5(1), 45–53.
9. Hamdan, H., Abughres, S., & Eltriki, A. (2020). *Assessment of solar energy potential in Libya: Current trends and future prospects*. Renewable Energy Reports, 2, 12–20.
10. Thomas, D. S. G., & Bourke, M. C. (2020). *Desertification and its solutions: Planting trees and beyond*. Environmental Management, 66(4), 467–480.
11. Wang, S., Liu, Z., & Chen, Q. (2021). *Combining solar power and sand control in desert areas: Evidence from the Kubuqi Desert project*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 139, 110558.
12. Ouda, O. K. M., Al-Waked, R., & Al-Asad, H. (2021). *Utilizing solar energy for mitigating sand encroachment in arid areas: The Saudi Arabian experience*. Energy Reports, 7, 1445–1453.
13. Smith, R., Lopez, C., & Greene, A. (2022). *Smart PV installations for highway protection and power generation in dry climates: A Californian case study*. Journal of Clean Energy Technologies, 10(2), 89–96.
14. IEA – International Energy Agency. (2023). *World Energy Outlook 2023*. Retrieved from https://www.iea.org
15. C Zhang, H Shen, H Liu - Energies, (2023) - mdpi.com The influence of the installation condition and performance of bifacial solar modules on energy yield.
16. D Hameed, A Ditta, MW Bajwa, S Ullah, MA Mujtaba - PloS one,(2024) - journals.plos.orgEvaluation of self-cleaning mechanisms for improving performance of roof-mounted solar PV panels: A comparative study.
17. Solar Panels Revitalize the Flora and Life in the Kubuqi Desert https://digitalpower.huawei.com/en/success-stories/solar-panels-in-the-kubuqi-desert.html
18. .Powering Precision: Exploring the Growth of the Solar PV Tracker Market https://www.linkedin.com/pulse/powering-precision-exploring-growth-solar-pv-tracker-market-wankhede-1gntf

19. Green Climate Fund: Yes and No The Durbanator reports https://www.downtoearth.org.in/climate-change/green-climate-fund-yes-and-no-68200
20. If the entire Taklamakan Desert were transformed into a forest through afforestation, what would it mean to the world? https://zhuanlan.zhihu.com/p/20354909653

تأثير دورات الجفاف والرطوبه على تلف الخرسانة المعرضة لكبريتات الصوديوم

أ.د.نوري محمد الباشا م. صفاء الطاهر عبدالسميع
قسم الهندسة المدنية،كلية الهندسة صبراتة،ليبيا
nuri.elbasha@sabu.edu.ly

الملخص

تُعد مشكلة تلف الخرسانة بفعل تفاعلها مع كبريتات الصوديوم من أبرز التحديات في الهندسة الإنشائية، خاصة في المناطق ذات التقلبات المناخية الحادة. تسهم دورات الجفاف والرطوبة في تفاقم هذه المشكلة، إذ تؤدي التغيرات المتكررة في حجم الخرسانة إلى تشققات دقيقة تسهّل اختراق الكبريتات، التي تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم لتكوين مركبات مثل الإترنجايت والجبس، مسببة تمددًا داخليًا وتفتتًا تدريجيًا. تهدف الدراسة إلى فهم تأثير هذه العوامل البيئية على متانة الخرسانة، مع التركيز على آليات التدهور وسبل الحد منه. وقد أظهرت الأبحاث أن الاستبدال الجزئي للأسمنت بالرماد المتطاير وخفض نسبة ماء الخلط يعززان مقاومة الخرسانة لهجوم الكبريتات، بينما تؤدي زيادة مدة دورات الجفاف والرطوبة إلى تعميق الأضرار، مما يستدعي أخذ هذه الظروف في الاعتبار عند تصميم الهياكل في البيئات المعرضة للكميات العالية من الكبريتات.

الكلمات الدالة: *كبريتات الصوديوم،دورات الجفاف،الرطوبة،التأكل،هجوم الكبريتات.*

Abstract

The problem of concrete damage due to its reaction with sodium sulfate is one of the most significant challenges in structural engineering, especially in areas with severe climate fluctuations. Dry and wet cycles exacerbate this problem. Frequent changes in concrete volume create microscopic cracks that facilitate penetration by sulfates, which react with calcium hydroxide to form compounds such as ettringite and gypsum, causing internal expansion and gradual disintegration. The study aims to understand the impact of these environmental factors on concrete durability, with a focus on deterioration mechanisms and ways to mitigate them. Research has shown that partial replacement of cement with fly ash and reduced water content enhance concrete's resistance to sulfate attack. While the increased duration of dry and wet cycles deepens the damage, these conditions must be taken into account when designing structures in environments exposed to high amounts of sulfates.

Key Words: *sodium sulphate, Dry–wet cycles, Corrosion, sulfate attack.*

1. المقدمة:

في البيئات التي تشهد دورات جافة ورطبة، مثل تلك المعرضة للرذاذ والمد والجزر، يكون هجوم الكبريتات على الخرسانة معقدًا للغاية. حيث حازت دورات الجفاف والرطوبة على اهتمام البحاث نظرا؛لأنها تسبب في وصول كبريتات الصوديوم الى السطح الخرساني، أثناء العملية الرطبة يخترق ايون الكبريتات (SO_4^{2-})الخرسانة تدريجيًا من خلال الشقوق الدقيقة والمسام. أثناء العملية الجافة يتبخر الماء بسرعة ويزداد تركيز أيونات كبريتات الصوديوم(SO_4^{2-}) في المسام الخرسانية تدريجيًا وعلى السطح الخرساني، بينما تتبلور كبريتات الصوديوم (Na2SO4) على السطح الخرساني [1]. يتفاعل(SO_4^{2-}) مع منتجات ترطيب الأسمنت مما يزيد من معدل التمدد والشقوق،ويؤدي ذلك في النهاية إلى تسريع تدهور الخرسانة [2].

من المهم أن تُعتبر فترات الدورة الجافة والرطبة كعامل أساسي في تطوير طريقة فعّالة لتطبيق هذه الدورات، وهذا سيسهم في تسهيل الدراسات التجريبية المنهجية التي تركز على تأثير تدهور أداء الخرسانة نتيجة لهجوم الكبريتات في أنظمة الدورة الجافة والرطبة المتنوعة بالإضافة إلى فهم الآلية التي تكمن وراء ذلك باستخدام فترات زمنية مختلفة لهذه الدورات[3, 2].

2. الدراسات السابقة

Jun.et.al, (2021)

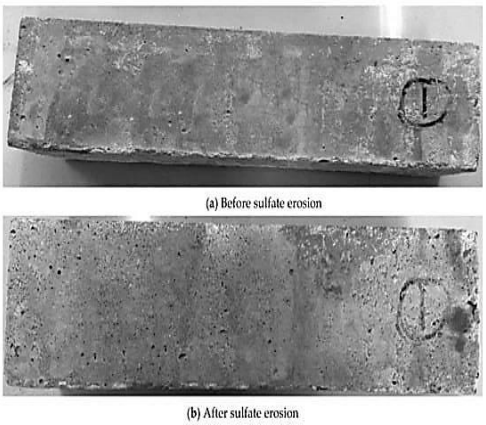
تم دراسة تأثير فترات الدورة الجافة والترطيب على تآكل الخرسانة المعرضة لهجوم كبريتات الصوديوم. تم اختبار العينات الخرسانية حيث كانت نسبة الماء للإسمنت 0.54. تم استخدام مواد رابطة تشمل الأسمنت البورتلاندي العادي PO42.5، والرماد المتطاير (FA). بالإضافة إلى الأسمنت البورتلاندي العادي (OPC) مع إضافة 20% من الرماد المتطاير. تم إعداد العينات بأبعاد 100 × 100 × 100 مم و 400 × 100 × 100 مم تمت أولاً إضافة المادة الأسمنتية والركام الناعم إلى الخلاط بشكل منفصل وخلطهما لمدة دقيقتين تقريبًا؛ ثم يضاف الماء ويخلط بالتساوي. تم صب هذه العينات ومعالجتها في ظروف قياسية لمدة 28 يومًا في غرفة رطبة مع رطوبة نسبية تبلغ 95% ودرجة حرارة ثابتة قدرها 20 درجة مئوية.

تم غمر العينات في صندوق يحتوي على محلول كبريتات الصوديوم 5% كمحلول لإختبار التآكل، في درجة حرارة الغرفة، وأثناء عملية التجفيف تم وضع العينات عموديًا لأعلى في الخارج لتجف بشكل طبيعي، مع الحفاظ على تهوية جيدة كما موضح في الشكل(1) ،استخدمت هذه الدراسة أربع فترات مختلفة من الدورات الجافة والرطبة (3 و7 و14 و21 يومًا)،وثلاث عينات لكل فترة وتم تصنيف العينات على أنها T3 وT7 وT14 وT21. يتم تحديث محلول Na2SO4 كل 30 يومًا للحفاظ على تركيز المحلول ثابتًا.

(a) Wetting process (b) Drying process

الشكل(1): (a) عملية الترطيب(b) عملية التجفيف[4]

لاحظو أن أثناء عملية الترطيب، تدخل الكبريتات إلى العينة، وفي عملية التجفيف، تظهر بلورات كبريتات الصوديوم في مسام العينة وسطحها كما موضح في الشكل (2) و(3).أيضا وجدو أن زيادة فترة الدورة الجافة والرطبة تؤدي تدريجياً إلى زيادة عمق تأثير هجوم الكبريتات داخل الخرسانة . ومع ذلك، خلال فترة معينة من الدورة الجافة والرطبة، انخفض محتوى منتجات التآكل تدريجيًا مع زيادة العمق[4].



(a) Before sulfate erosion

(b) After sulfate erosion

الشكل(2): الفحص البصري للخرسانة بالدورات الجافة والرطبة العينة [4]

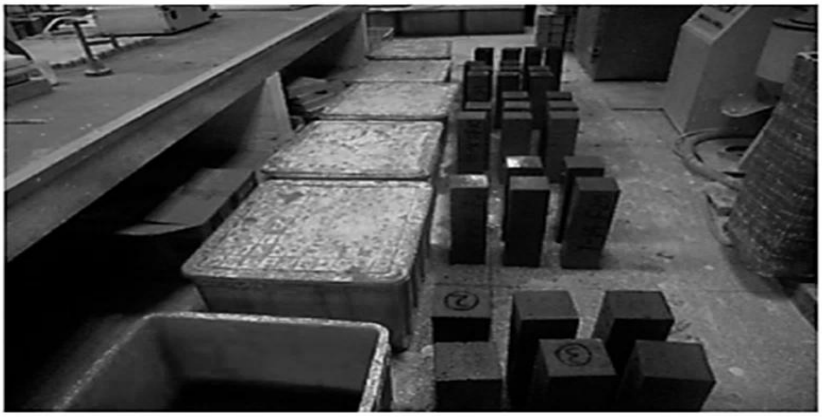
الشكل(3): بلورات كبريتات الصوديوم في مسام العينات وسطحها[4]

Fang.et.al.(2021)

قامو بدراسة تأثير هجوم كبريتات الصوديوم على الخرسانة في ظل دورات التجفيف والترطيب،تم اختبار ثلاث مجموعات من الخلطات الخرسانية حيث كانت نسبة الماء للإسمنت كالتالي(0.45,0.40,0.35),في كل مجموعة تم استخدام ثلاثة أنـــواع مـن المـواد الـــرابطة: الأسمنت البورتلاندي العادي,OPC مع 30% رماد المتطاير نوع F, OPC مع 50% رماد المتطاير نوعF ,واستخدمو كبريتات الصوديوم بتركيز5% و10%، وتم تحضير عينات منشورية بحجم 100 مم × 100 مم ×400 مم للاختبار.

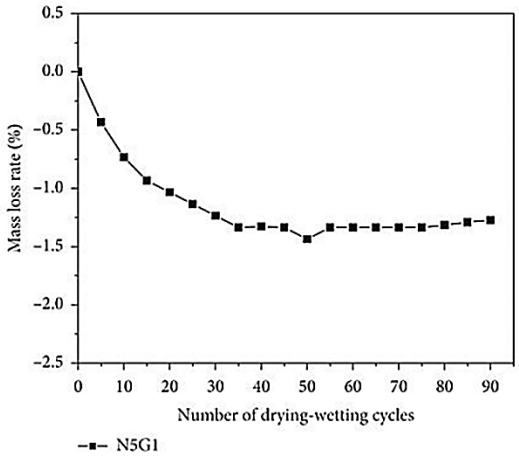
تم تجفيف العينات التي قامو بتحضيرها عند درجة حرارة 60 درجة مئوية لمدة 24 ساعة قبل إجراء الاختبار وفقًا لنظام دورة التجفيف والترطيب حيث تم استخدام نظامين لدورة التجفيف والترطيب يختلف كل نظام عن الآخر في مدة الغمر ومدة التجفيف،حيث يرمز للنظام الأول برمز G1:والذي تم فيه غمر العينات المجففة في محلول كبريتات الصوديوم لمدة 10 ساعات تليها التجفيف لمدة ساعة واحدة في درجة حرارة الغرفة, ثم تُوضع في الفرن على درجة حرارة 60 درجة مئوية لمدة 36 ساعة, وأخيرًا يتم تبريده لمدة ساعة واحدة في الهواء.

أما النظام الثاني ويرمز له بالرمز G2: فتم فيه غمر العينات المجففة في محلول كبريتات الصوديوم لمدة 23 ساعة, تليها التجفيف لمدة ساعة واحدة في درجة حرارة الغرفة, ثم تُوضع في الفرن على حرارة 60 درجة مئوية لمدة 23 ساعة, وأخيرًا يتم تبريده لمدة ساعة واحدة في الهواء،مع تجديد محلول كبريتات الصوديوم داخل الحاويات المعدة للاختبار كل 20 يوم كما في الشكل(4).

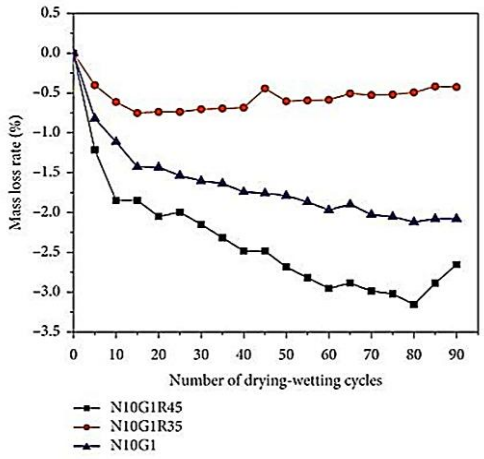


الشكل(4):العينات التي سيتم غمرها داخل الحاويات المحتوية على كبريتات الصوديوم[5]

وجدو أن الخرسانة التي تحتوي على نسبة عالية من الماء تعمل على تسريع انتشار أيونات الكبريتات في الحالة الرطبة. في الحالة الجافة، نظرًا للتوصيل الأفضل بين المسام، يكون تحقيق ظروف التبلور أسهل، مما يسرع عملية تلف الخرسانة وتدهورها كما هو موضح في الشكل(5). وتحت تأثير Na2SO4 عالي التركيز مما يدل على أن المحلول عالي التركيز يسرع التفاعل الكيميائي بين أيونات الكبريتات ومنتجات ترطيب الأسمنت مع زيادة دورات الجفاف والترطيب كما هو موضح في الشكل(6).وإن دمج كمية مناسبة من الرماد المتطاير يمكن أن يحسن بشكل فعال من مقاومة الخرسانة لهجوم الكبريتات في ظل دورات التجفيف والترطيب[6],[7].



الشكل(5): تباين الضرر للخرسانة مع نسب مختلفة من رابط الماء وتركيز 10% [5]



الشكل(6):نسبة الضرر عند تركيز 5٪من (كبريتات الصوديوم) [5]

تشير هذه الدراسة إلى نموذج توزيع ويبل متعدد المتغيرات للتنبؤ بعمر الخرسانة الذي وضعه [6] وفقًا للوضع الفعلي لتلف الخرسانة. يتم استخدام المعادلة التالية لتناسب البيانات التجريبية:

$$E(D) = N^{\{-2\}} \sum_{\{i=0\}}^{\left\{\left(\frac{N}{2}\right)-1\right\}} 4(N-2i-1)\left\{1-\exp\left[-\left(\lambda_i\left(0.001m-k_0\lambda_i^{\{-1\}}\right)^{\{+\}}\right)^{\{\alpha\}}\right]\right\} \quad (1)$$

حيث N هو الكسر المتساوي المحسوب على كل جانب من القسم ويتم أخذه كرقم زوجي,m هو عدد دورات التجفيف والترطيب المرتبطة بالمقياس الزمني,k_0 هو الثابت النسبي غير المحدد، و α وλ_i هما عامل الشكل وعامل الحجم لتوزيع Weibull، على التوالي. المنخفض "+" تعني أنه عندما تكون القيمة بين القوسين سالبة، يتم أخذ القيمة على أنها 0; خلاف ذلك, القيمة لم تتغير بافتراض أن عامل القياس يتغير بشكل غير خطي على طول المقطع العرضي، يظهر عامل مقياس الطبقةλ_i كما يلي:

$$\lambda_i = \lambda_0 + \nu(i+0.5)^{\{-1\}} \quad (2)$$

حيث λ_0هي عوامل القياس الموحده التي سيتم تحديدها,ν هو عامل التدرج الذي سيتم تحديده, و$i = 0,1,\ (N/2-1)$.

(1) عامل الشكل α: يعكس خصائص الفشل لكل نقطة داخل الخرسانة. على الرغم من أنه يختلف في ظل ظروف الخدمة المختلفة، الفرق صغير. يتراوح عامل الشكل α من 1.06390 إلى 2.99746، مما يدل على أن شكل منحنى الفشل عند كل نقطة في الخرسانة هو نفسه تقريبًا.

(2) عامل القياسλ_0 : يعكس مقاومة الخرسانة للظروف المعاكسة. كلما زاد λ_0، قلت مقاومة المادة والعكس صحيح. كما يتبين من الجدول (1)، فإن الفرق في عوامل قياس الخرسانة مع نسب رابطة الماء المختلفة يكون أكثر وضوحًا. عامل المقياس λ_0 لنموذج الضرر للعينة N10G1R35 هو 4.23766، وعامل المقياس λ_0 لنموذج الضرر للعينة N10G1

هو 6.29821. ومع ذلك، فإن عامل مقياس نموذج الضرر للعينة N10G1R45 أكبر، وقيمته 11.87140. ويبين أن مقاومة الخرسانة تقل بشكل ملحوظ مع زيادة نسبة الماء الرابط، وهو ما يتماشى مع الوضع الفعلي. عامل المقياس λ_0 لنموذج الضرر للعينة N10G1Y90 هو 1.81140، وعامل المقياس λ_0لنموذج الضرر للعينة N10G1Y300 هو 1.21212. كلما زاد وقت المعالجة المبكرة، كلما زادت مقاومة المادة وصغرت λ_0.

(3) عامل التدرج ν: يعكس الفرق في تطور الضرر بين الأجزاء المختلفة من الخرسانة. كلما زاد عامل التدرج، كلما زاد الفرق في تطور الضرر في مواقع مختلفة داخل الخرسانة وضعف تزامن الضرر. عامل التدرج ν لنموذج الضرر للعينة N10G1R35 هو 0.98944، وعامل التدرج ν لنموذج الضرر للعينة N10G1 هو 0.77155. ومع ذلك، فإن عامل التدرج ν لنموذج الضرر للعينة N10G1R45 هو 0.01000 فقط. كلما زادت نسبة رابط الماء، قل تدرج الضرر وزادت سرعة تقدم الضرر المتزامن. عامل التدرج ν لنموذج الضرر للعينة N10G1Y90 هو 1.41338، وعامل التدرج ν لنموذج الضرر للعينة N10G1Y300 هو 3.62692. كلما زاد وقت المعالجة المبكر، زاد تدرج الضرر وبطأت سرعة تقدم الضرر المتزامن.

يمكن أن نرى من الجدول (1) أن قانون التغيير للقيمة العمرية المتوقعة للخرسانة يتوافق مع تطور الضرر للخرسانة. بالإضافة إلى ذلك، R^2 للعينة N10G1F30 بعد التركيب هو 0.93117، R^2 للعينات الخرسانية الأخرى بعد التركيب بين 0.95000 و 0.99921، ودقة التركيب عالية نسبيًا. في التجربة، درجة الضرر للعينة N10G1R45 هي 0.4046 بعد 90 دورة تجفيف وترطيب، أي يتم الوصول إلى قيمة عمر الخدمة. العمر المتوقع للنموذج هو 90.5 مرة، وهو قريب جدًا من قيمة الاختبار. يوضح أن نموذج توزيع Weibull يمكنه التنبؤ بدقة بقيمة عمر الخدمة للخرسانة في ظل دورات التجفيف والترطيب وهجوم كبريتات الصوديوم.

الجدول 1: العوامل والعمر المتوقع لنموذج التنبوء لتوزيع Weibull لكل عينة في ظل دورات التجفيف والترطيب وهجوم كبريتات الصوديوم.

Specimen code	α	λ_0	ν	R^2	SM
N10G1	2.15919	6.29821	0.77155	0.98299	120.4
N5G1	1.16598	3.85001	0.83759	0.97449	168.8
N10G1R35	2.62586	4.23766	0.98944	0.95	197.9
N10G1R45	2.07062	11.8714	0.01	0.99083	90.5
N10G1F30	2.45974	2.80916	1.07924	0.93117	223.3
N10G1F50	2.99746	2.57182	3.00708	0.95732	211.4
N10G1Y90	1.0639	1.8114	1.41338	0.99921	235
N10G1Y300	2.79334	1.21212	3.62692	0.99351	284.5
N10G2	1.18816	4.38595	1.19739	0.97769	159.5

Cheng.et.al. (2020)

تستعرض هذه الدراسة بشكل منهجي تأثير الأيونات الموجودة في مياه البحر على تحلل عجينة الأسمنت البورتلاندي تحت تأثير دورات التجفيف والترطيب. تم تحضير العينات باستخدام خلطة بنسبة ماء إلى أسمنت 0.5 ورمل إلى مادة رابطة وفقًا للمواصفة الأوروبية EN 196–1 .

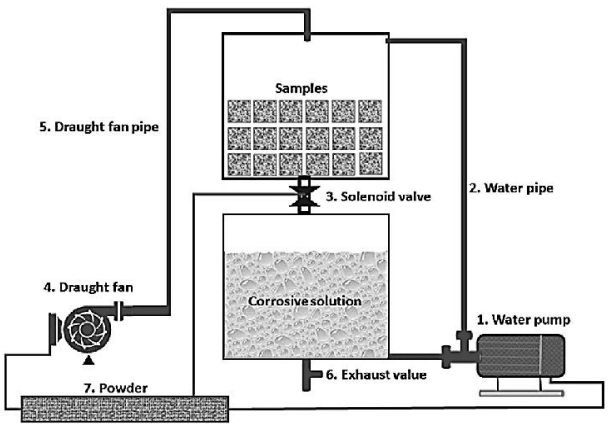
تم تحضير عجينة أسمنتية بأبعاد 40 مم × 40 مم × 40 مم باستخدام نفس نسبة الماء إلى الأسمنت، ثم صُبّت في قوالب. بعد مرور يوم على الصب، تمت إزالة القوالب وعُولِجَت العينات في ظروف درجة حرارة 20 درجة مئوية ورطوبة نسبية 98٪ لمدة 28 يومًا. بعدها، تم تجفيف العينات عند درجة حرارة 60 درجة مئوية لمدة يومين، ثم تم تغليفها براتنج الإيبوكسي مع ترك الأسطح 40 مم × 40 مم مكشوفة. تم بعد ذلك نقل العينات إلى حاويات بلاستيكية محكمة الغلق وغمـرها في محاليل التـعرض لمـدة 30، 60، 90، و120 يومًا، بالإضافة إلى تعرض العينات لمحلول يحتوي على أيونات متعددة.

تم تصميم أربع غرف اختبار لدورات التجفيف والترطيب، وتم ضبط الدورة كما يلي: غمر العينات في محلول التآكل لمدة 18 ساعة، تليها فترة تجفيف لمدة نصف ساعة في الهواء، ثم تجفيف العينات لمدة 5 ساعات عند درجة حرارة 60 درجة مئوية، وأخيرًا تبريدها إلى درجة حرارة الغرفة لمدة نصف ساعة. ويمثل كل دورة تجفيف وترطيب 24 ساعة، وهو ما يشابه الظروف البحرية الحقيقية.

للحفاظ على ثبات تركيز الأيونات في المحاليل، تم تجديد المحاليل المكشوفة كل أسبوعين. ومع مرور الوقت قد تزيد تركيزات الأيونات المتعددة نتيجة لدورات التجفيف والترطيب، كما يظهر في الشكل(7)

خلصت الدراسة إلى أن تكوّن أيونات كبريتات الصوديوم داخل المصفوفة يسبب تشكل الشقوق والمسامات؛ مما يؤدي إلى تفاعلات تؤدي إلى تكوّن منتجات توسعية مثل الجبس والاترنجيت.

$$+ Ca(OH)_2 + 2H_2O \longrightarrow CaSO_4.2H_2O + 2NaOH \quad {}_4Na_2SO \qquad (3)$$



الشكل(7): مخطط الإعداد لتحديد عينات الخلط المعرضة لمحاليل التآكل.[6]

هذه المنتجات تسبب زيادة في عدد المسامات والشقوق داخل المادة، ويعتقد أن حجم المسام الكبير والمسامية العالية يعززان من تسريع هجمات الأيونات المسببة للتآكل. كما تم التأكيد على أن العوامل الرئيسية التي يجب أخذها في الاعتبار عند اختبار الدورات الجافة والرطبة هي مدة التجفيف والترطيب، بالإضافة إلى تركيز المحلول المستخدم.

1.2 مناقشة الدراسات السابقة

عند النظر في الدراسات السابقة، نلاحظ وجود اتفاق واسع على الأثر الضار لـدورات الجفاف والترطيب، ولكن مع تباينات واضحة في تفسير آليات التلف والعوامل المؤثرة.

أكدا [26],[32] أن زيادة عدد الدورات يرتبط طرديًا بتفاقم الأضرار. حيث لاحظ [32] انخفاضًا بنسبة 30% في مقاومة الضغط بعد 50 دورة، بينما بيّن [26] أن المناطق المعرضة للهواء خلال هذه الدورات تعاني من تلف أكبر مقارنة بالمناطق المغمورة، مشيرًا إلى أهمية نسبة الجفاف إلى الرطوبة.

من ناحية أخرى، ناقش [24]أن الخرسانة عالية المقاومة تُظهر أداءً أفضل مبدئيًا. لكنهم أشاروا إلى أن تكرار دورات الجفاف يزيد النفاذية ويضعف الأداء، وهو ما يتفق مع [54] الذين أوضحوا أن إعادة تبلور الأطوار الصلبة يسهم في استمرار التلف.

أما [27] فقد أضافوا بعدًا جديدًا بتجربة الإضافات المعدنية مثل الميتاكاولين، حيث وجدوا أن هذه الإضافات تحدّ من التلف حتى بعد 50 دورة، مسجلين انخفاضًا لا يتجاوز 10%، بخلاف ما أشار إليه [13] الذي رأى أن نمو التبلور المتكرر يجعل الهجوم الكبريتي عملية مستمرة يصعب وقفها.

الأبحاث مثل [53]أظهرت أن مدة دورة الجفاف/الرطوبة تؤثر بشكل غير خطي على معدل التدهور، حيث وجدوا أن زيادة مدة الدورة تزيد التلف حتى نقطة حرجة، بعدها يبدأ معدل التدهور بالتراجع.

كما أوضحت دراسة [15]أن نسبة الجفاف إلى الرطوبة تمثل عاملًا حساسًا، حيث سجلوا معدلات تدهور أعلى عند زيادة فترات الجفاف مقارنة بالترطيب، مما يعزز فرضية [26] حول أهمية نسبة التعرض.

بدورهم أظهروا [1] أن التدهور يتسارع بزيادة مدة الدورة الزمنية، مشيرين إلى أن الخرسانة تدخل مرحلة تلف حرجة أسرع كلما طالت الفترات الزمنية للجفاف والترطيب، وهو ما ينسجم مع نتائج.[31]

أخيرًا، استعرضت الأبحاث الأحدث [51]التحديات القائمة في تطوير نماذج تنبؤية دقيقة،مؤكدين الحاجة إلى توحيد منهجيات الاختبار بسبب التباين الكبير بين نتائج الدراسات المختلفة، بينما قدم [52] محاكاة رقمية سلطت الضوء على التفاعل المعقد بين الأحمال الخارجية وهجمات الكبريتات خلال هذه الدورات.

الجدول(2) يوضح تنوع الدراسات من حيث عدد الدورات، نسبة الجفاف إلى الرطوبة، نوع الخرسانة، والإضافات المستخدمة. كما يسلط الضوء على النتائج الرئيسية لكل دراسة، مما يساعد في فهم العوامل المؤثرة على تدهور الخرسانة تحت تأثير دورات الجفاف والرطوبة وهجوم الكبريتات.

جدول 2. ملخص للدراسات السابقة

الدراسة	السنة	عدد الدورات	نسبة الجفاف/الرطوبة	نوع الخرسانة	الإضافات	النتائج الرئيسية
[31]	2019	4دورات (3، 7، 14، 21 يومًا)	غير محددة	عادية	لا يوجد	التدهور يزداد مع زيادة مدة الدورة حتى نقطة معينة ثم ينخفض
[27]	2020	50	غير محددة	معدلة بميتاكاولين	ميتاكاولين	انخفاض 10% فقط بفضل الإضافات
[53]	2021	50	غير محددة	عادية	لا يوجد	انخفاض 20%، التأثير غير خطي
[26]	2018	30	غير محددة	عادية	لا يوجد	تلف أكبر في المناطق المعرضة للهواء
[24]	2016	40	غير محددة	عالية المقاومة	لا يوجد	زيادة النفاذية مع الدورات
[51]	2024	مراجعة	غير محددة	متنوعة	لا ينطبق	الحاجة لتوحيد طرق الاختبار
[15]	2020	غير محددة	1:3إلى 10:1	عادية	لا يوجد	نسبة الجفاف/الرطوبة تؤثر بشكل كبير على التدهور
[1]	2020	غير محددة	غير محددة	عادية	لا يوجد	التدهور يتسارع مع زيادة مدة الدورة
[12]	2020	50	غير محددة	عادية	لا يوجد	انخفاض 30% في مقاومة الضغط بعد 50 دورة

3. الخـلاصة

أظهرت العديد من الدراسات أن تدهور الخرسانة نتيجة التعرض للأملاح الكبريتية يُعد من أبرز أسباب فشل المنشآت في البيئات العدوانية، لا سيما في المناطق الجافة وشبه الجافة. من بين هذه الأملاح، تُعد كبريتات الصوديوم (Na_2SO_4) ذات تأثير بالغ الخطورة بسبب قابليتها للذوبان العالي وسرعة تفاعلها مع مكونات الخرسانة.

تشير الدراسات السابقة إلى أن آلية التدهور الكبريتي لا تقتصر على التفاعل الكيميائي فقط، بل تتفاقم بشكل ملحوظ عند تكرار دورات الجفاف والرطوبة، حيث تؤدي هذه الدورات إلى تعزيز تغلغل الأيونات داخل المسام الدقيقة للخرسانة، وتوفر ظروفًا ملائمة لتكوين مركبات تمددية كالإترنجيت والجبس، مما يؤدي إلى تشققات سطحية وداخلية وتقليل متانة الخرسانة.

كما وجدت أبحاث حديثة أن شدة التدهور تتأثر بعوامل متداخلة تشمل تركيز الكبريتات، مدة وعدد دورات التجفيف والترطيب، نوع الأسمنت المستخدم، ومدى احتواء الخلطة الخرسانية على مواد بوزولانية. وأثبتت الدراسات أن استخدام خبث الأفران العالية والرماد المتطاير يساهم في تحسين مقاومة الخرسانة للكبريتات عن طريق تقليل النفاذية وتحسين بنية العجينة الأسمنتية.

بناءً على هذه الخلفية، تبرز الحاجة إلى مراجعة منهجية لأثر دورات الجفاف والرطوبة على الخرسانة في وجود كبريتات الصوديوم، مع التركيز على فهم الآليات المتسببة في التدهور وتحديد المعايير التصميمية والتقنية المناسبة للحد من هذا التأثير.

من جهة أخرى، يمكن أن يساهم الاستبدال الجزئي للأسمنت البورتلاندي بالرماد المتطاير في تقليل تأثير تآكل الكبريتات بشكل فعال. رغم ذلك، لا يعني بالضرورة أن زيادة كمية الرماد المتطاير تؤدي دائمًا إلى تحسين أكبر في مقاومة الخرسانة لهجوم الكبريتات، بل الأهم هو استخدام الكمية المناسبة التي يمكن أن تحسن البنية الداخلية للخرسانة وتقلل من تأثير الكبريتات. كما أن خفض نسبة ماء الخلط في الخلطة الأسمنتية يمكن أن يساهم بشكل كبير في تعزيز مقاومة الخرسانة لهجوم كبريتات الصوديوم خلال دورات الجفاف والترطيب.

أخيرا، تمديد دورات التجفيف والترطيب لفترات طويلة لا يؤدي بالضرورة إلى زيادة التدهور بشكل ملحوظ بعد نقطة معينة. بناءً على ذلك، يوصى بضبط مدة الدورة بين 7 و14 يومًا عند اختبار مقاومة الخرسانة لهجوم كبريتات الصوديوم في ظروف الجفاف الطبيعية،حيث توفر هذه الفترات توازنًا مناسبًا بين محاكاة البيئة الحقيقية وتقييم أداء الخرسانة.

4. النتـــائج

- زيادة مدة المرحلة الجافة في دورة الجفاف والرطوبة تؤدي إلى زيادة تركيز كبريتات الصوديوم داخل المسام،مما يرفع معدل التبلور الداخلي والسطحي.
- التبلور الداخلي للأملاح الكبريتية يسبب ضغطًا داخليًا أكبر من التبلور السطحي، وبالتالي تدهورًا أسرع للبنية الخرسانية.
- الخرسانة ذات النفاذية العالية تتأثر أسرع بهجوم الكبريتات مقارنة بالخرسانة الكثيفة منخفضة المسامية.
- استخدام الأسمنت المقاوم للكبريتات يقلل من سرعة تكوين مركبات الإترنجايت والجبس، لكنه لا يمنع التدهور بالكامل عند تعرض الخرسانة لدورات جفاف ورطوبة متكررة.
- تأثير الكبريتات يزداد بشكل ملحوظ في الخرسانة التي تعرضت مسبقًا للتشقق أو الضرر الميكانيكي.
- دورات الجفاف والرطوبة تؤدي إلى فتح وغلق المسام الدقيقة بشكل متكرر، مما يزيد من سرعة تغلغل الأملاح وتعمقها داخل الخرسانة.
- تفاعل الكبريتات مع مكونات الخرسانة يسبب انخفاضًا تدريجيًا في مقاومة الضغط ومقاومة الانحناء بمرور الزمن.
- هناك حاجة إلى دراسات منهجية أوسع لتحديد المعايير التصميمية والتقنية التي تقلل من تأثير الكبريتات على الخرسانة في هذه الظروف.

5. المـــراجـع

[1]. Liao, K.X.; Zhang, Y.P.; Zhang, W.P.; Wang, Y.; Zhang, R.L. (Modeling constitutive relationship of sulfate-attacked concrete). Constr. Build. Mater،260. (2020).

[2]. He, R.; Zheng, S.N.; Vincent, J.L.; Wang, Z.D.; Fang, J.H.; Shao, Y.(Damage mechanism and interfacial transition zone characteristics of concrete under sulfate erosion and Dry-Wet cycles). Constr. Build. Mater. 255. (2020).

[3]. Alyami, M.H.; Alrashidi, R.S.; Mosavi, H.; Almarshoud, M.A.; Riding, K.A. (Potential accelerated test methods for physical sulfate attack on concrete). Constr. Build. Mater. (2019), 229.

[4]. Rajamma, R.; Ball, R.J.; Tarelho, L.A.C.; Allen, G.C.; Labrincha, J.A.; Ferreira, V.M. (Characterisation and use of biomass fly ash in cement-based materials). J. Hazard. Mater., 172, 1049–1060. (2009)

[5]. M.T. Bassuoni et al.(Response of concrete to accelerated physical salt attack exposure) Cem. Concr. Res.(2016)

[6]. Cheng, S.K.; Shui, Z.H.; Gao, X.; Yu, R.; Sun, T.; Guo, C.; Huang, Y. (Degradation mechanisms of Portland cement mortar under seawater attack and drying-wetting cycles). Constr. Build. Mater. (2020)

[7]. Fang Liu, Zhanping You, Rui Xiong, Xu Yang, (Effects of Sodium Sulfate Attack on Concrete Incorporated with Drying-Wetting Cycles),(2021)

[8]. Chen, Y.; Liu, P.; Zhang, R.L.; Hu, Y.; Yu, Z.W. (Chemical kinetic analysis of the activation energy of diffusion coefficient of sulfate ion in concrete). Chem. Phys. Lett753,.(2020),.

[9]. Guan Y., Sun W., and Miao C., (One service-life prediction model for the concrete based on the reliability and damage theories I: narration and establishment of the model), Journal of the Chinese Ceramic Society29, no. 6, 509–513. (2001)

[10]. Cheng, Y.Z.; Dong, Y.; Diao, J.K.; Zhang, G.Y.; Chen, C.; Wu, D.X. MSWI (Bottom Ash Application to Resist Sulfate Attack on Concrete). Appl. Sci. 9, 5091 (2019).

[11]. Nehdi, M.L.; Suleiman, A.R.; Soliman, A.M. (Investigation of concrete exposed to dual sulfate attack). Cem. Concr. Res64, 42–53.(2014).

[12]. Cheng, S.K.; Shui, Z.H.; Gao, X.; Lu, J.X.; Sun, T.; Yu, R. (Degradation progress of Portland cement mortar under the coupled effects of multiple corrosive ions and drying-wetting cycles). Cem. Concr. Compos, 111.(2020).

[13]. Neville, A. (The confused world of sulfate attack on concrete). Cem. Concr. Res. 34, 1275–1296. (2004)

[14]. Chen, H.C.; Huang, H.L.; Qian, C.X. (Study on the deterioration process of cement-based materials under sulfate attack and drying–wetting cycles). Struct. Concr. 19, 1225–1234.(2018).

[15]. Wang, K.; Guo, J.J.; Wu, H.; Yang, L.(Influence of dry–wet ratio on properties and microstructure of concrete under sulfate attack). Constr. Build. Mater,263. (2020).

[16]. Ma, H.Y.; Gong, W.; Yu, H.F.; Sun, W. (Durability of concrete subjected to dry–wet cycles in various types of salt lake brines). Constr. Build. Mater 193, 286–294, (2018).

[17]. Sahmaran, M.; Erdem, T.K.; Yaman, I.O. (Sulfate resistance of plain and blended cements exposed to wetting–drying and heating–cooling environments). Constr. Build. Mater., 21, 1771–1778. (2006)

[18]. Guo, J.J.; Yang, M.; Chen, H.L.; Han, J.H. (Experimental study on fracture properties of modified concrete attacked by sulfate corrosion under dry–wet circulation). J. Hydraul. Eng. ASCE, 49, 419–427. (2018)

[19]. Ganjian, E.; Pouya, H.S. (The effect of Persian Gulf tidal zone exposure on durability of mixes containing silica fume and blast furnace slag). Constr. Build. Mater., 23, 644–652. (2008)

[20]. Yang, K.H.; Lim, H.S.; Kwon, S.J.(Effective Bio-Slime Coating Technique for Concrete Surfaces under Sulfate Attack). Materials , 13, 1512. (2020)

[21]. Liu, F.; You, Z.P.; Diab, A.; Liu, Z.Z.; Zhang, C.; Guo, S.C.(External sulfate attack on concrete under combined effects of flexural fatigue loading and drying–wetting cycles). Constr. Build. Mater. 249. (2020).

[22]. Pang, C.M.; Xu, J.; Wang, J.; Wang, L.; Qin, H.G.; Sun, W. (Investigation of the Process and Regime of Drying and Wetting of Concrete). Build. Mater. 16, 315–320,(2013).

[23]. Sutrisno, W.; Suprobo, P.; Wahyuni, E.; Iranata, D. (Experimental Test of Chloride Penetration in Reinforced Concrete Subjected to Wetting and Drying Cycle). Appl. Mech. Mater, 851, 846–851.(2016)

[24]. Sobhan, K.; Gonzalez, L.; Reddy, D.V. (Durability of a pavement foundation made from recycled aggregate concrete subjected to cyclic wet dry exposure and fatigue loading). Mater. Struct., 49, 2271–2284. (2016)

[25]. Liu, R.D.; Zhang, J.W.; Liu, S.W.; Li, K.; Zhang, C.Y. (Effect of sulfate dry–wet circulation environment on concrete performance). Concrete, 4, 16. (2018)

[26]. Liu, Q.D.; Liu, R.G.; Jiang, H.; Teng, B.; Lu, C.H. (Artificial climate simulation acceleration test design of concrete structure in wet–dry cycling zone). Concrete, 11, 55–57. (2018)

[27]. Liu, J.Y.; Huang, Z.Y.; Zhu, J.H.; Liu, W.; Zhang, W.(Effect of Fly Ash as Cement Replacement on Chloride Diffusion, Chloride Binding Capacity, and Micro-Properties of Concrete in a Water Soaking Environment). Appl. Sci., 10, 6271, (2020)

[28]. GB/T 50082-2019. Standard for Test Method of Long-Term Performance and Durability of Ordinary Concrete; Chinese Standard Institution Press: Beijing, China, (2019).

[29]. ASTM C1012. Standard Test Method for Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, (2010).

[30]. Scherer, G.W. (Stress from crystallization of salt). Cem. Concr. Res., 34, 1613–1624. (2004)

[31]. Guo, J.J.; Wang, K.; Guo, T.; Yang, Z.Y.; Zhang, P. (Effect of Dry-Wet Ratio on Properties of Concrete under Sulfate Attack. Materials), 12, 2755. (2019)

[32]. Zhang, H.; She, W. (A Modulus Variation Model of Concrete under External Sulfate Attack: New Perspective from Statistical Evolution of Microcracks). J. Wuhan Univ. Technol. Mater. Sci. Ed. , 33, 1465–1471. (2018)

[33]. Golewski, G.L. (Estimation of the optimum content of fly ash in concrete composite based on the analysis of fracture toughness tests using various measuring systems). Constr. Build. Mater, 213, 142–155.(2019)

[34]. Jin-Jun Guo ,Peng-Qiang Liu, Cun-Liang Wu,Kun Wang, (Effect of Dry–Wet Cycle Periods on Properties of Concrete under Sulfate Attack),(2021).

[35]. S. Zhutovsky .(Accelerated testing of cementitious materials for resistance to physical sulfate attack) Constr. Build. Mater.(2017)

[36]. G. Massaad .(Advanced testing and performance specifications for the cementitious materials under external sulfate attacks)Constr. Build. Mater.(2016)

[37]. R.J. Flatt (Salt damage in porous materials: how high supersaturations are generated) J. Cryst. Growth(2002)

[38]. B.Y. Lee .(Effect of pore structure on salt crystallization damage of cement-based materials): Consideration of w/b and nanoparticle useCem. Concr. Res.(2017)

[39]. T. Stryszewska .(The effects of salt crystallization in ceramic bricks in terms of line deformations Procedia Eng).(2017)

[40]. Z. Liu .Does (concrete suffer sulfate salt weathering) Constr. Build. Mater.(2014)

[41]. Z. Liu .The role of Ca(OH) 2 in sulfate salt weathering of ordinary concreteConstr. Build. Mater.(2016)

[42]. Z. Lafhaj .Correlation between porosity, permeability and ultrasonic parameters of mortar with variable water/cement ratio and water contentCem. Concr. Res.(2006)

[43]. M.T. Bassuoni .(Durability of self-consolidating concrete to sulfate attack under combined cyclic environments and flexural loading) Cem. Concr. Res.(2009)

[44]. L. Josserand .(Bleeding of concrete as an ageing consolidation process)Cem. Concr. Res.(2006)

[45]. İ.B. Topçu .(Influence of concrete properties on bleeding and evaporation) Cem. Concr. Res.(2004)

[46]. ACI Committee 201, Guide to durable concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills.

[47]. R.J. Flatt .(A commented translation of the paper by C.W. Correns and W. Steinborn on crystallization pressureEnviron). Geol.(2006)

[48]. T.P. Dolen .(Effects of Concrete Deterioration on Safety of Dams), Department of the Interior Bureau of Reclamation(2003)

[49]. Ragoug, R.; Metalssi, O.O.; Barberon, F.; Torrenti, J.M.; Roussel, N.; Divet, L.; de Lacaillerie, J.B.D. (Durability of cement pastes exposed to external sulfate attack and leaching: Physical and chemical aspects). Cem. Concr. Res, 116, 134–145, (2019).

[50]. Suleiman, A.R.; Soliman, A.M.; Nehdi, M.L. (Effect of surface treatment on durability of concrete exposed to physical sulfate attack). Constr. Build. Mater., 73, 674–681. (2014)

[51]. A Hu,H Xu,J Ye,M Yan,L Zhang,B Zhang,C li,(mplug-docowl 1.5;unified structure learning for ocr-free document understanding),2024.

[52]. S Yan,Z Yang,H Li,C Song,L Guan,H Kang,G Hua,(implicit autoencoder for point-cloud self-supervised representation learning),2023.

[53]. Jin jun Guo,peng,cun,wang,(Effect of dry-wet cycle Periods on properties of concret under sulfat attack),2021.

[54]. Santhanam,(proposed mechanism of sodium sulphate attack),2002

تقييم كفاءة المونة المطاطية كمادة عازلة حرارية للمباني باستخدام برنامج eQUEST

أشرف أحمد محمود فضيل[1*]، تقوى عبد الله [2]، مودة عبد السلام [2]، أمل عبد العزيز [2]، رتاج على [2]
[1] أستاذ مساعد – قسم الهندسة المدنية – كلية الهندسة – جامعة عمر المختار– البيضاء
[2] طلبة بكالوريوس – قسم الهندسة المدنية – كلية الهندسة – جامعة عمر المختار– البيضاء.
ashraf.fadiel@omu.edu.ly*

الملخص

تلعب المقاومة الحرارية للحوائط دورًا حاسمًا في كفاءة العزل الحراري للمباني السكنية والخدمية، حيث إنه كلما كانت الحوائط وخاصة الخارجية منها ذات مقاومة حرارية فعالة فإن ذلك سوف يسهم في تقليل انتقال الحرارة من والى المبنى، وهذا يعني أن الحرارة ستبقى داخل المبنى في الشتاء وخارجه في الصيف بشكل أفضل، مما يؤدي إلى توفير الطاقة وتقليل تكاليف التدفئة والتبريد. تهدف هذه الدراسة الى تقييم استخدام فتات المطاط المستخرج من الإطارات التالفة والمنتهية العمر لتحسين العزل الحراري للمونة الاسمنتية وكذلك استخدام المادة المُنتجة كجزء من مكون الغلاف الخارجي للمباني (الحوائط الخارجية) ومقارنة أنظمة مختلفة من الحوائط الخارجية على الفاعلية الحرارية للمباني باستخدام برنامج eQUEST. في الجزء الأول تم تقييم المونة الاسمنتية الحاوية على فتات المطاط حيث تم استبدال الركام الناعم بنسب تتراوح من 10 الى 40% حجمياً ودراسة تأثير هذا الاستبدال على خصائص المونة في حالتها الرطبة والصلبة كما تم تقييم الموصلية الحرارية للخلطات المختلفة ومقارنتها بالخلطة المرجعية. في الجزء الثاني من الدراسة تم استخدام النتائج المعملية للمونة المطاطية التي تم دراستها مسبقاً لدراسة تأثير استخدام هذه المونة كبياض للحوائط الخارجية على العزل الحراري لمبنى حكومي يقع في مدينة البيضاء. كما اشتملت الدراسة على مقارنة نوعين من أنظمة الحوائط الخارجية المعروفة في دولة ليبيا (حائط مفرد وحائط مزدوج من الطابوق الاسمنتي المفرغ) على استهلاك الطاقة للمبنى موضوع الدراسة. أظهرت نتائج الموصلية الحرارية انخفاضاً بمقدار 28% للخلطة الحاوية على 40% مطاط مقارنة بالخلطة المرجعية وهذا مؤشر على زيادة العزل الحراري للخلطات الحاوية على مطاط. كما بينت النتائج ان الحوائط المزدوجة المفرغة لها تأثير أكبر على حفظ الطاقة من الحوائط المفردة بغض النظر على الخصائص الحرارية للمواد المكونة للحائط.

الكلمات الدالة: فتات المطاط، الموصلية الحرارية، الفاعلية الحرارية، الحوائط الخارجية، eQUEST.

1. المقدمة:

في وقتنا الحالي، أصبح الاستهلاك الرشيد للكهرباء، وخاصة الإضاءة وتوفيرها في المباني باستخدام استراتيجيات مختلفة، موضوعًا مهمًا مع زيادة الوعي بالتنمية المستدامة في السنوات الأخيرة. يُنظر إلى ضوء النهار على أنه وسيلة فعالة لتوفير الطاقة وتقليل الضغوط الكبيرة على البنية التحتية للطاقة الحالية وتقليل التأثير البيئي لإنتاج الطاقة بمختلف انواعها. حيث يساهم تطبيق استخدام العزل الحراري في تخفيض الطاقة الكهربائية المستهلكة في أجهزة التكييف بمعدلات كبيرة تتراوح ما بين 30–40% إذا طبق على أساس علمي وتقني سليم، حيث يعمل العزل الحراري على الحد من تسرب الحرارة عبر الجدران، والأسقف والتي تمثل حوالي 65% من الحمل الحراري للمبنى المراد إزاحته بأجهزة التكييف مما يؤدي إلى تقليل فترات تشغيل الضاغط بالمكيف وبالتالي تقليل الاستهلاك، كما ينتج عن ذلك إطالة عمر أجهزة التكييف وتقليل نفقات الصيانة. كما ان المباني الغير معزولة تتأثر سريعا ومباشرَة بدرجات الحرارة الخارجية مما يجعل الحرارة داخل المبنى غير ثابتة الامر الذي يؤثر على راحة مستخدمي المبنى[1 – 3] .

تمثل المباني حوالي 40٪ من استهلاك الطاقة في المناطق الحضرية و33٪ من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. يشكل هذا الاستهلاك المرتفع للطاقة في المباني وما يصاحبه من ملوثات تحديًا كبيرًا في معالجة تغير المناخ وتقليل الانبعاثات المؤدية الاحتباس الحراري. ظهرت الحاجة في يومنا هذا إلى إيجاد الحلول والبدائل الناتجة عن ازدياد الطلب على الطاقة المستخدمة في تدفئة وتبريد المباني وذلك عن طريق إيجاد مواد تقوم بالعزل الحراري للبيئة الخارجية لتكون الأكفأ في الأداء الحراري، حيث أن تقييم الأداء الحراري للمبنى هو مدى انتقال الطاقة الحرارية من المناطق المحيطة بالمبني إلى داخل المبنى كما يشير إلى مدى عزل المبنى عن ظروف الطقس الخارجية لتحقيق درجة حرارة مريحة داخلية، وهذا يعني الحفاظ على درجة الحرارة الداخلية في مستوى الراحة. مما لا شك أن نوعية مواد البناء وشكلها وتركيبتها بالإضافة إلى لونها لها تأثير على خلق بيئة داخلية مريحة بالمباني. حيث يفضل استخدام مواد للإنشاءات الخارجية (التشطيب الخارجي) تزيد من تحسين الكفاءة الحرارية التي يمكن الحصول عليه عن طريق المواد المضافة إلى الاسمنت مثل استخدام جزيئات المطاط إلى عجينة الاسمنت بسبب كثرة تواجد المطاط الصناعي المستهلك وعدم القدرة على إعادة تدويره وتراكمه وكثرت الأضرار البيئية الناجمة عن طريق التخلص منه بالدفن وبذلك يستغرق وقت كبير لتحلله أو بالحرق وهذا ينتج غازات سامة مُضرة [1 – 3].

تعتبر تكلفة مادة العزل الحراري من الاعتبارات الهامة، حيث يجب أن تتناسب مع ميزانية المشروع، بالإضافة إلى ذلك، يجب أن تتمتع المادة المستخدمة بكفاءة وقوة بحيث تتحمل الوزن والضغط الذي قد يتم وضعه عليها أثناء البناء والاستخدام، علاوة على ذلك، يجب أن تحتوي المادة على امتصاص منخفض للبخار لمنع تراكم الرطوبة والضرر المحتمل لهيكل المبنى. من حيث العزال الحراري تعتبر قيمة k – value للمادة الانشاء هي العامل الرئيسي الذي يجب مراعاته وتشير قيمة k إلى الموصلية الحرارية للمادة ، مما يشير إلى مدى قدرتها على توصيل الحرارة بشكل جيد ؛ تتمتع مواد العزل الحراري بقيم موصلية حرارية منخفضة والذي يعني مقاومة أعلى لنقل الحرارة، مما يعني أنها أكثر فاعلية في تقليل تدفق الحرارة عبر المبنى ؛ يمكن أن يكون لتطبيق مواد العزل الحراري في المباني تأثير كبير على كفاءة الطاقة في المنشأ ، حيث إن هذه المواد لا تقلل من فقدان الحرارة من خلال الجدران فحسب ، بل إنها تزيد ايضاً من كمية الحرارة المخزنة داخل المبنى ، حيث يتم تقليل انتقال الحرارة من خلال التوصيل والإشعاع ، وبالتالي تحافظ مواد العزل الحراري بشكل فعال على الجزء الداخلي من المبنى عند درجة الحرارة المرغوبة، مما يقلل من الاعتماد على أنظمة التدفئة والتبريد [1] .

يشهد مجال إعادة تدوير المخلفات الصلبة اهتمام واسع النطاق ومستمر ومن بينها إعادة تدوير مخلفات المطاط وتطوير تقنيات إعادة تدوير مثل هذه المخلفات. ومع ذلك، لا يزال التخلص من الإطارات التالفة ومنتهية العمر وإعادة استخدامها مصدر قلق بيئي خطير حيث يتم التخلص منها عن طريق استخلاص المطاط باستخدام المحاليل القلوية المائية، لكن بسبب مخاطر التلوث البيئي المصاحب لهذه الطريقة، يُنصب تركيز الأبحاث الحديثة على تطبيق عمليات التي لا تولد مخاطر اثناء عمليات التخلص من النفايات والتي يمكن تنفيذها مباشرة في مصنع الشركة المصنعة للمنتج بحيث تتمثل العملية الرئيسية في الوقت الحالي في استخدام مخلفات المطاط كفتات مطحون ناعم للغاية. حيث يتم إنتاج الفتات إما عن طريق الطحن الميكانيكي في درجة الحرارة المحيطة أو عن طريق التكسير المبرد بشكل عام، يتم دمج فتات المطاط مع مركبات المطاط المستخدم في صناعة المنتجات المطاطية. ومع ذلك، فإن المنتجات لا تكون بنفس الجودة من حيث الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والأداء وقد حفز هذا العامل البحث عن استخدامات أكثر فعالية للمخلفات المطاط المختلفة [4 – 5]. وقد تم استخدام المطاط المُعاد تدويره كجزء من مكونات الخرسانة كوسيلة للحد من الأثر البيئي لهذه

المواد، حيث أظهرت الدراسات أن هذا الاستبدال يمكن أن يُحسّن بعض جوانب الأداء ويُقلل جوانب أخرى بسبب انخفاض كثافة المطاط، وتشمل بعض هذه التأثيرات انخفاضا في محتوى الماء وقابلية التشغيل، بالإضافة إلى تغييرات محتملة في الخواص الميكانيكية. علاوة على ذلك، أظهرت الأبحاث أن إضافة المطاط المعاد تدويره يمكن أن يعزز بعض من خصائص الخرسانة، مثل المرونة، مقاومة التجمد والذوبان، ومقاومة الصدمات. بالإضافة إلى ذلك، تتميز الخلطات الخرسانية المطاطية بكثافة أقل، وزيادة في الصلابة، والليونة، بالإضافة إلى عزل صوتي وحراري أكثر كفاءة. بشكل عام، يوفر دمج المطاط المعاد تدويره في الخرسانة حلاً مستدامًا لإعادة تدوير الإطارات المتكدسة في المقالب العمومية مع مراعاة توفير الخصائص المرغوبة لتطبيقات الهندسة المدنية [6 – 14].

أصبح استخدام برامج تحليل الطاقة في تصميم المباني وتشغيلها ذا أهمية متزايدة في السنوات الأخيرة، حيث يمكن تقييم الأداء الحراري للمبنى باستخدام محاكاة الكمبيوتر فقد أصبحت أدوات المحاكاة الحاسوبية الأكثر أهمية في التنبؤ بالأداء المستقبلي للطاقة والأداء البيئي للبناء، فضلا عن الراحة لشاغلي المكان. يعد برنامج eQUEST (The Quick Energy Simulation Tool) أحد البرامج المستخدمة على نطاق واسع في هذا المجال، وهو أداة متطورة لتحليل استهلاك الطاقة في المباني. تم تطوير هذا البرنامج بواسطة وزارة الطاقة الأمريكية، هو برنامج شامل يمكّن محترفي تصميم المباني من تقييم كفاءة استخدام الطاقة واتخاذ قرارات مستنيرة تتعلق بتصميم المباني وأنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC) وبالتالي الحفاظ على الطاقة وتوظيفها بكفاءة. يعتبر eQUEST أداة مجانية وسهلة الاستخدام يمكنها التنبؤ باستخدام الطاقة ومتطلبات التدفئة والتهوية وتكييف الهواء وبيانات الطقس كل ساعة وتكلفة الطاقة [15 – 16]. يوفر برنامج eQUEST للمستخدمين مجموعة من الميزات والإمكانيات التي تجعله مصدرًا قيمًا لتحليل استهلاك الطاقة، تتضمن هذه الميزات معالج إنشاء المبنى حيث يقدم eQUEST معالج إنشاء مبنى بديهيًا يعمل على تبسيط عملية إنشاء نموذج افتراضي للمبنى؛ فهو يسمح للمستخدمين بإدخال وتعديل بيانات المبنى مثل الأبعاد والاتجاه وخصائص الغلاف وأنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC) [16 – 17].

2. منهجية البحث:

تشتمل هذه الدراسة على مرحلتين المرحلة الأولى تشمل عمل مونة اسمنتية تحتوي على مخلفات المطاط ضمن محتوياتها، وفي المرحلة الثانية يتم استخدام المونة الاسمنتية كجزء من مكونات الحوائط الخارجية لمبنى حكومي ويتم دراسة استهلاكه للطاقة في سيناريوهات مختلفة باستخدام برنامج eQUEST. لإنتاج المونة المطاطية تم استخدام أربع نسب إضافة مختلفة من المطاط المُستبدل حجميا بالركام الناعم تراوحت من 10 – 40 % ، حبيبات المطاط المستخدم في الدراسة تم انتاجها من إعادة تدوير مخلفات الإطارات حيث يتراوح مقاس هذه الحبيبات ما بين (0.15 – 2.36 مم). تم اجراء اختبار الكثافة الرطبة واختبار الانسياب على الخلطات في حالتها الطرية ومن ثم اجراء اختبارات مقاومة الانضغاط، مقاومة الانحناء، الكثافة الجافة، الموجات فوق الصوتية، الموصلية الحرارية وذلك للتأكد من مطابقاتها للحدود المنصوص عليها في المواصفات ذات العلاقة مثل (ASTM C348) و (ASTM C187-11) و (ASTM C109-C109M). لجميع الاختبارات تم مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من النسب المختلفة لإضافات المطاط مع النتائج التي تم الحصول عليها من الخلطة المرجعية (مونة اسمنتية بدون أي إضافات) الجدول 1 يوضح مكونات الخلطات لنسب استبدال مطاط مختلفة. وفي النهاية تم استخدام 6 أنواع من الحوائط الخارجية ودراسة تأثيرها على كفاءة الحرارية المبنى باستخدام برنامج eQUEST جدول (2) يوضح وصف الحوائط المستخدمة في الدراسة.

جـــدول (1): مكونات الخلطة لنسب الاستبدال والاختبارات المختلفة

الخلطة	الاختبار	الوزن (جـــم)			
		مـــــاء	الاسمنت	الرمـــل	فتـــات المطاط
CM	مقـــاومة الانضغاط	242	500	1375.00	---
10AR		242	500	1237.50	58.71
20AR		242	500	1100.00	117.43
30AR		242	500	962.50	176.14
40AR		242	500	825.00	234.85
CM	مقاومة الانحنـــاء	605	1250	3437.50	---
10AR		605	1250	3093.75	146.78
20AR		605	1250	2750.00	293.57
30AR		605	1250	2406.25	440.35
40AR		605	1250	2062.50	587.14

جـــدول (2): رموز أنواع الحوائط المستخدمة في الدراسة

رمـــز الحائط	الوصف
W1	حائط مكون من طوب اسمنتي ومونة خالية من المطاط
W2	حائط مكون من طوب اسمنتي ومونة تحتوي على 10% من فتات المطاط.
W3	حائط مكون من طوب اسمنتي ومونة تحتوي على 40% من فتات المطاط.
W4	حائط مزدوج مكون من طبقتين من الطوب مفصول بهواء ومونة خالية من المطاط
W5	حائط مزدوج مكون من طبقتين من الطوب الاسمنتي مفصول بهواء ومونة تحتوي على 10% من فتات المطاط
W6	حائط مزدوج مكون من طبقتين من الطوب الاسمنتي مفصول بهواء ومونة تحتوي على 40% من فتات المطاط

2.1 برنامج eQUEST:

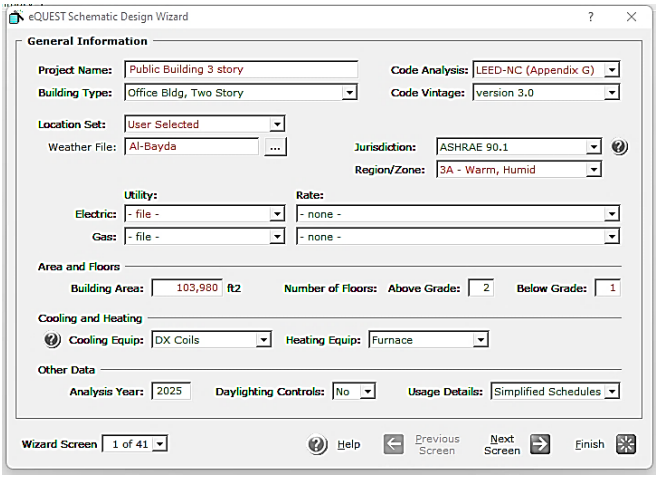
برنامج eQUEST هو أداة متقدمة لتحليل ومحاكاة أداء الطاقة في المباني، تتيح للمصممين والمهندسين تقييم خيارات التصميم وتحسين كفاءة أنظمة البناء. تم تطويره في أوائل الثمانينيات من قبل James Hirsch وفريقه، وأصبح أداة موثوقة في نمذجة الطاقة وتصميم المباني الحديثة، يعتمد البرنامج على بيانات الطقس واستراتيجيات المحاكاة المتقدمة لدعم أنظمة إدارة الطاقة، مما يسهم في تقليل الاستهلاك وتحقيق الراحة الحرارية. يمكن استخدامه مع أدوات أخرى مثل BIM وخوارزميات التحكم في الإضاءة لتعزيز كفاءة الطاقة، يُستخدم eQUEST في مختلف مراحل التصميم، ويوفر منصة مشتركة لجميع أعضاء فريق العمل بغض النظر عن تخصصهم، كما يتيح إدخال بيانات تفصيلية عن المبنى لمحاكاة أنظمة مثل HVAC، الإضاءة، والطاقة المتجددة. يوفر البرنامج أدوات تحليل ومرئيات تساعد على تقييم الأداء وتحديد فرص التحسين بشكل عام، يهدف eQUEST لتصميم مباني مستدامة وفعالة، من خلال دمج تحليل الطاقة ويعزز التعاون واتخاذ قرارات مستنيرة ضمن عملية التصميم.

2.2 خطوات البرنامج:

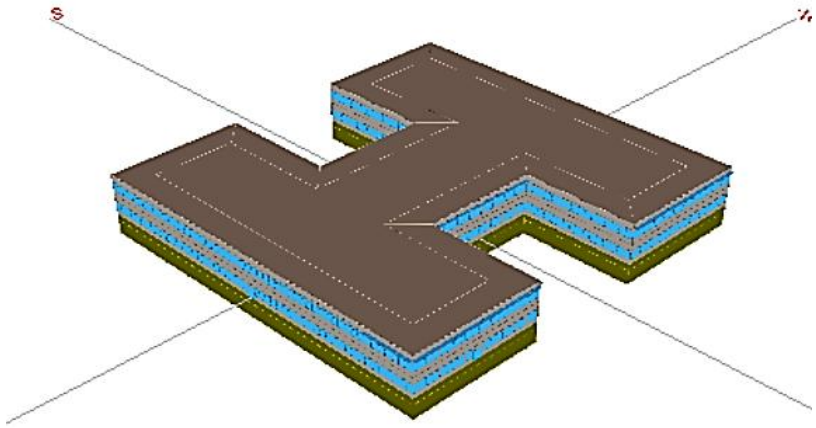
تبدأ العملية بإنشاء مشروع جديد وتحديد بيانات المبنى الأساسية مثل الموقع والمواد والأنظمة الميكانيكية، ثم يتم تصميم نموذج يحاكي هيكل المبنى وأنظمته الداخلية كالتكييف والتهوية، بعد ذلك يُجرى تحليل لاستهلاك الطاقة لتقدير الاحتياجات المختلفة، تليه مرحلة تحسين الأداء من خلال تعديل التصميم والأنظمة لرفع الكفاءة، من ثم تُراجع النتائج للتأكد من تحقيق الأهداف، وتُستخدم هذه البيانات لتوجيه تحسينات مستقبلية في التصميم أخيرًا، يمكن تصدير النتائج لاستخدامها في تقارير أو تطبيقات أخرى.

2.3 بناء النموذج في برنامج eQUEST:

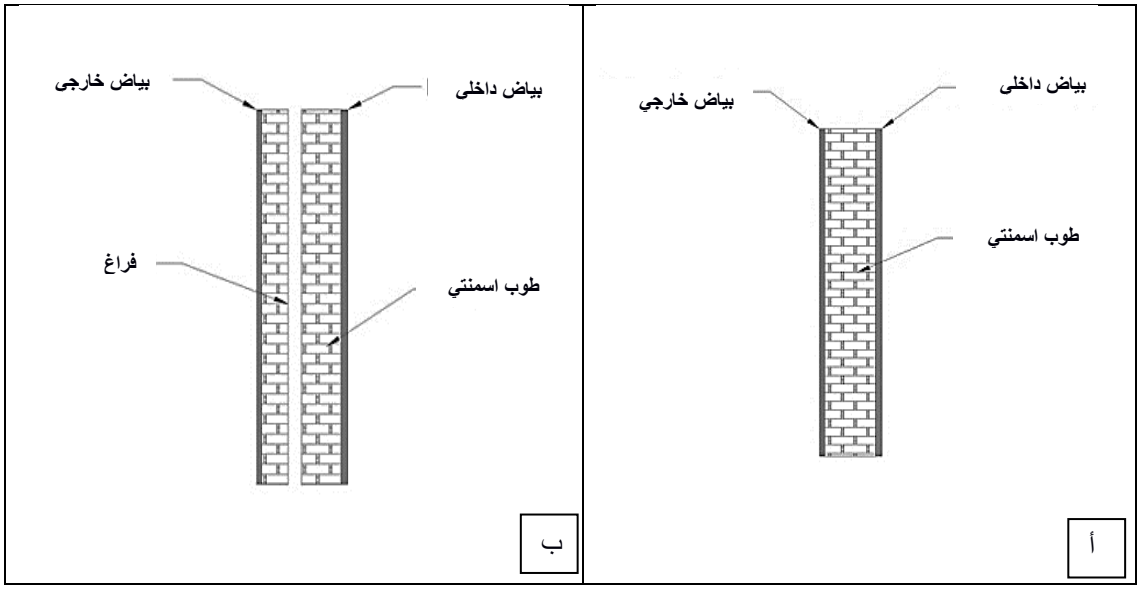
أثناء عملية المحاكاة، يتم إدخال مدخلات مختلفة مثل هندسة المبنى وأنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC) وجداول الإشغال وبيانات الطقس في برنامج eQUEST (الشكل 1 يوضح النافذة الابتدائية للبرنامج). يقوم البرنامج بعد ذلك بإجراء الحسابات والمحاكاة لتقدير استهلاك الطاقة والراحة الحرارية ومقاييس الأداء الأخرى للمبنى. يتم إجراء عملية المحاكاة من خلال تشغيل تكرارات متعددة مع مدخلات مختلفة لتقييم تأثير خيارات التصميم المختلفة والاستراتيجيات التشغيلية على أداء الطاقة في المبنى. بمجرد اكتمال عملية المحاكاة، يقوم eQUEST بعرض نتائج توفر رؤية حول أداء الطاقة في المبنى. تتضمن هذه النتائج استهلاك الطاقة، وأحمال التدفئة والتبريد، وملفات درجة الحرارة الداخلية، وأداء نظام التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC)، والمقاييس الأخرى ذات الصلة. في هذه الدراسة تم إنشاء مبنى حكومي كما هو موضح في الشكل (2) مبنى متكون من ثلاث طوابق (طابق تحت الأرض وطابقين اعلى الأرض) بمساحة اجمالية 9660 متر مربع يقع بمدينة البيضاء، ليبيا. اتجاه المبنى الى الشمال الشرقي، حيث تم دراسة استهلاك الكهرباء والطاقة فيه لمدة عام باستخدام برنامج eQUEST. بالرغم من وجود عناصر أخرى يمكن تحسينها في المبنى إلا أن استراتيجية البحث تمثلت في التركيز على تقييم تأثير الحوائط الخارجية على استهلاك المبنى للطاقة وذلك لأهمية دورها في الحفاظ على درجة حرارة مستقرة داخل المبنى وتقليل استهلاك الكهرباء والطاقة، حيث تم تحليل تأثيرات الحوائط باختيار مواد العزل الحراري والواجهات بعناية لتقليل فقد الطاقة وزيادة كفاءة العزل. حيث تم تغيير المقاومة الحرارية للمبنى بتغيير المواد المستخدمة في الحوائط، وتم تقييم الحالات المختلفة لاستهلاك الكهرباء بناء على تركيب الحوائط الخارجية فقط، الشكل (3) يوضح نموذج للحوائط المستخدمة في الدراسة.



شكـــل1: النافذة الابتدائية للبرنامج



شكـل2: نموذج للمبنى المستخدم في البرنامج.



شكـل3: أنواع الحوائط المستخدمة: (أ) حائط مفـرد؛ (ب) حـائط مزدوج

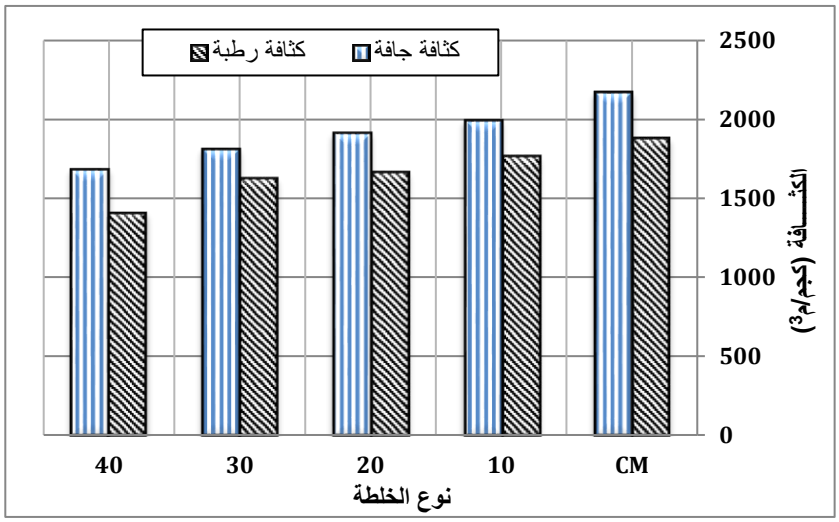
3. مناقشة النتائج:

في هذا الجزء سوف يتم عرض نتائج الاختبارات التي تم إجرائها في هذه الدراسة ومناقشتها. وكذلك نتائج المحاكاة للمبنى ومقدار استهلاك الطاقة لنماذج الحوائط المختلفة.

3.1 تأثير إضافة حبيبات المطاط على الكثافة الرطبة والجافة للمونة الاسمنتية:

أظهرت نتائج اختبار الكثافة الرطبة والجافة للخلطة المرجعية والخلطات المختلفة التي تحتوي على حبيبات المطاط انخفاضا في قيم الكثافة مع زيادة نسبة المطاط، حيث كانت الكثافة الرطبة للخلطة المرجعية 1879 كجم/م^3، بينما تراوحت الكثافة الرطبة للخلطات الحاوية على حبيبات المطاط ما بين 1765 –1407.1 كجم/م^3. حيث تراوحت نسب

الانخفاض من 6.1 الى 25.1% للخلطات الحاوية على فتات المطاط بنسب 10 – 40%. بعمر 28 يوم، سجلت الخلطة المرجعية كثافة جافة قدرها 2169.6 كجم/م^3، بينما تراوحت الكثافة الجافة للخلطات الحاوية على مطاط ما بين 1683.2 – 1991كجم/م^3 بنسب انخفاض تراوحت من 8.2 % إلى 22.4 %. يرجع السبب في انخفاض الكثافة مع زيادة نسبة المطاط الى ان المطاط أخف وزنا من الركام الناعم الطبيعي، بالإضافة الى انه تم ملاحظة تكون فقاعات هوائية في الخلطات الحاوية على حبيبات المطاط وازدادت هذه الفقاعات مع زيادة كمية المطاط المضاف هذه النتائج تتوافق مع دراسات سابقة والتي توصلت لنفس النتائج [8, 14] الشكل (4) يوضح نتائج الكثافة الرطبة والكثافة الجافة بعمر 28 يوم للخلطات المختلفة.



شكـل4: يوضح نتائج الكثافة الرطبة والكثافة الجافة للخلطات المختلفة.

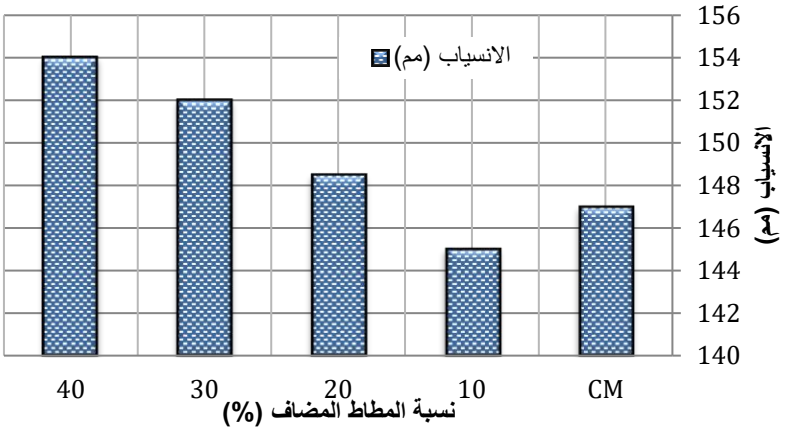
3.2 تأثير إضافة حبيبات المطاط على تشغيلية المونة الاسمنتية:

تم اختبار تشغيلية المونة الاسمنتية بإجراء اختبار الانسياب باستخدام Flow table test. الشكل 5 يوضح نتائج اختبار الانسياب للخلطات الحاوية على مطاط والخلطة المرجعية. جميع الخلطات سجلت تشغيلية أكثر من الخلطة المرجعية باستثناء الخلطة الحاوية على 10% مطاط والتي سجلت انخفاضا عن الخلطة المرجعية بمقدار 1.4% حيث سجلت الخلطة المرجعية انسياب مقداره 147 مم بينما سجلت باقي الخلطات زيادة في التشغيلية بنسب 1، 3.4، 4.8 % للخلطات الحاوية على حبيبات المطاط بنسب 20، 30، 40% على التوالي. يمكن ان يفسر زيادة قابلية التشغيل للخلطات الحاوية على مطاط الى شكل حبيبات المطاط ونعومة سطحها وعدم قدرتها على امتصاص الماء الامر الذي يساعد على زيادة قابلية التشغيل ولاسيما ان الحبيبات الركام المدورة تحسن من قابلية التشغيل مقارنة بالحبيبات التي تكون حوافها زاوية [7 –11].

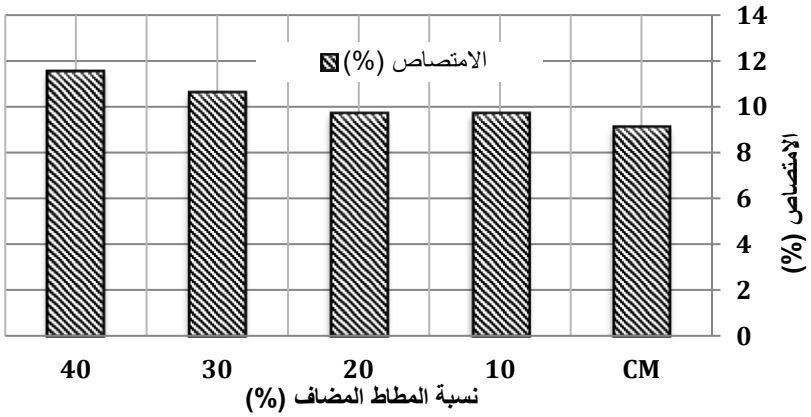
3.3 تأثير إضافة حبيبات المطاط على الامتصاص للمونة الاسمنتية:

تم إجراء اختبار الامتصاص على مجموعة مختلفة من الخلطات بعمر 28 يوم، وتم مقارنة النتائج مع الخلطة المرجعية. يوضح الشكل 6 قيم الامتصاص للخلطات المختلفة مقارنة بالخلطة المرجعية. أظهرت نتائج فحص الامتصاص لجميع الخلطات أنه مع زيادة نسبة المطاط المضاف، زادت نسبة الامتصاص مقارنة بالخلطة المرجعية. حيث كان معدل الزيادة بمقدار تقريبا 6.5% للخلطات الحاوية على نسب مطاط 10 – 20. بينما كانت نسبة الزيادة في الامتصاص

16.5، 26.4% للخلطات الحاوية على 30، 40% من حبيبات المطاط مقارنة بالخلطة المرجعية. بشكل عام، يمكن القول إنه مع زيادة نسبة المطاط في الخلطات، تزداد نسبة الامتصاص. هذه النتائج تتوافق مع الدراسات السابقة التي أظهرت ان زيادة كميات المطاط المستبدل تؤدي الى زيادة الامتصاص وذلك يرجع الى ما تم الإشارة اليه سابقا من تكون فجوات هوائية نتيجة لوجود المطاط الامر الذي يزيد من قابلية المونة الحاوية على مطاط على امتصاص الماء. يمكن التغلب على ذلك باستخدام إضافات تحسن من مقاومة الخرسانة لنفاذية الماء او باستخدام نسب مطاط لا تتجاوز 20% [14, 8].



الشكل5: نتائج اختبار الانسياب للخلطات المختلفة

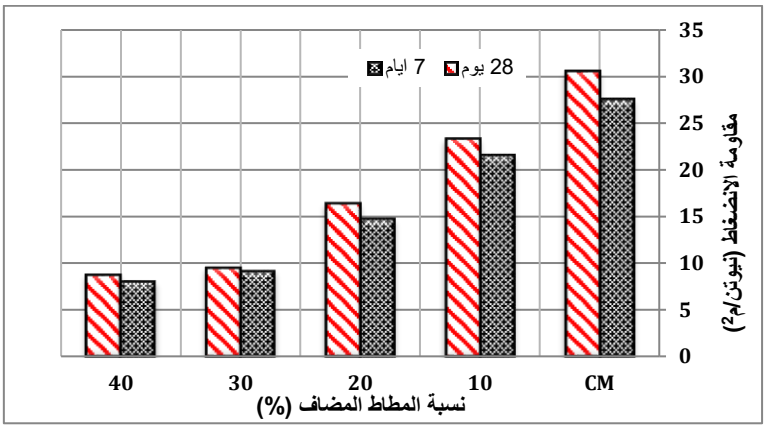


شكـل6: يوضح نتائج الامتصاص للخلطات المختلفة.

3.4 تأثير إضافة حبيبات المطاط على مقاومة الانضغاط للمونة الاسمنتية:

تم إجراء اختبار مقاومة الانضغاط للخلطات المختلفة بعمر 7 و28 يوم. الشكل (7) يوضح نتائج مقاومة الانضغاط للخلطات المختلفة. أظهرت النتائج انخفاضًا في قيم مقاومة الانضغاط لجميع الخلطات مع زيادة نسبة المطاط مقارنة بالخلطة المرجعية. في عمر 7 أيام، كانت قيم مقاومة الانضغاط للخلطات التي تحتوي على المطاط تتراوح بين 8.02 – 21.5 نيوتن/مم^2، بينما سجلت الخلطة المرجعية مقاومة انضغاط مقدارها 27.5 نيوتن/مم^2. عند عمر 28 يوم، تراوحت قيم مقاومة الانضغاط بين 8.75 – 23.3 نيوتن/مم^2، بينما سجلت الخلطة المرجعية مقاومة مقدارها 30.5 نيوتن/مم^2. تراوحت نسب الانخفاض في المقاومة مقارنة بالخلطة المرجعية بعمر 7 أيام، ما بين 21.8 – 70.8% بينما تراوحت قيم الانخفاض

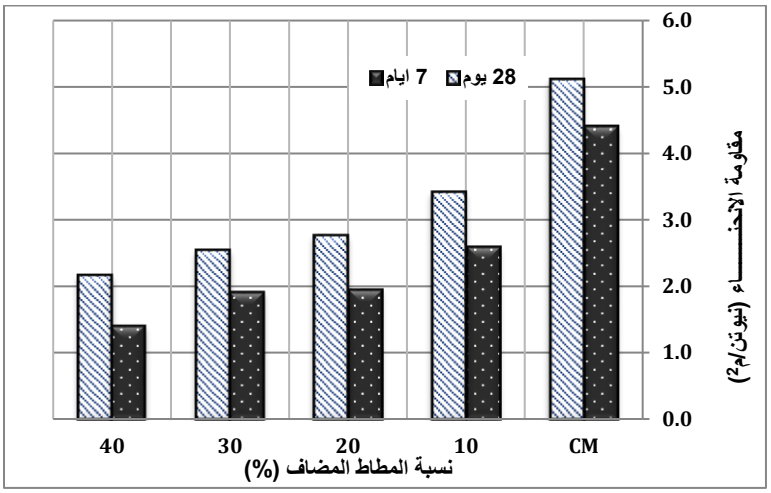
للخلطات بعمر 28 يوم ما بين 23.6 – 71.3 %. الانخفاض في مقاومة الانضغاط للخلطات الحاوية على المطاط يرجع الى ان قومة التماسك بين الخلطة والمطاط اقل منها بين الاسمنت والركام الطبيعي نظرا لنعومة سطح المطاط، بالإضافة إلى ان قابلية المطاط للتشوه تحت اجهادات التحميل يؤدي الى تولد شقوق تؤدي الى فشل العينات الحاوية على مطاط تحت اجهادات تحميل اقل من الخلطات التي لا تحتوي على أي إضافات مطاطية. توصلت العديد من الدراسات السابقة الى نفس الاستنتاجات الحالية [19 , 18, 14,12].



شكـل7: مقاومة الانضغاط للخلطات المختلفة بعمر 7 و28 يوم

3.5 تأثير إضافة حبيبات المطاط على مقاومة الانحنـاء للمونة الاسمنتية:

تم إجراء اختبار مقاومة الانحناء للمونة الاسمنتية المرجعية والمونة الاسمنتية التي تحتوي على نسب مختلفة من حبيبات المطاط بإعمار 7 و28 يومًا. الشكل (8) يوضح نتائج مقاومة الانحناء للخلطات الحاوية على مطاط والخلطة المرجعية بأعمار 7 و28 يوم. لوحظ أن إضافة المطاط أدت إلى انخفاض مقاومة الانحناء مقارنة بالخلطة المرجعية وازدادت نسبة الانخفاض مع زيادة نسبة المطاط. في عمر 7 أيام، كانت قيم مقاومة الانحناء للخلطات المختلفة التي تحتوي على المطاط تتراوح بين 1.4 – 2.59 نيوتن/ مم^2، بينما سجلت الخلطة المرجعية مقاومة انحناء مقدارها 4.4 نيوتن/مم^2. بعمر 28 يوم، كانت قيم مقاومة الانحناء 2.16، 2.54، 2.76، 3.41 نيوتن/ مم^2 للخلطات الحاوية على مطاط بنسب من 10، 20، 30، 40% على التوالي، في حين كانت مقاومة الانحناء للخلطة المرجعية 5.1 نيوتن/ مم^2. أوضحت النتائج ان نسب الانخفاض في مقاومة الانحناء بعمر 7 أيام، تراوحت من 41.1 – 68.1 % للخلطات الحاوية على مطاط بنسب تراوحت من 10 – 40% وفي عمر 28 يوم تراوحت نسب الانخفاض من 33.1 الى 57.6% مقاومة بالخلطة المرجعية. في جميع الاعمار المختبرة، يُلاحظ أن قيم مقاومة الانحناء للخلطات الحاوية على حبيبات المطاط أقل منها للخلطة المرجعية، حيث إن الانخفاض يزداد بزيادة نسبة المطاط المضاف ولكن بعمر 28 يوم كانت نسب الانخفاض اقل منها للخلطات بأعمار 7 أيام. يمكن ان نعزو انخفاض مقاومة الانحناء للخلطات الحاوية على مطاط الى فقدان الترابط بين حبيبات المطاط وعجينة الاسمنت وكذلك نتيجة لتشوه حبيبات المطاط تحت تأثير الاجهادات المسلطة الامر الذي يؤدي الى حدوث فرغات تساهم في انتشار التشققات التي تؤدي الى حدوث فشل تحت اجهادات اقل من الخلطة المرجعية. كما تم ملاحظة ان العينات التي تحتوي على حبيبات مطاط اتخذت سلوكا مطيليا أكثر من العينات التي لا تحتوي على مطاط وهذا يرجع الى ان المطاط له خصائص مطيليه وقدرة اعلى على امتصاص الطاقة المُسلطة. الملاحظات والنتائج المتحصل عليها تتوافق مع النتائج التي توصلت اليها العديد من الدراسات السابقة [18,14,9].



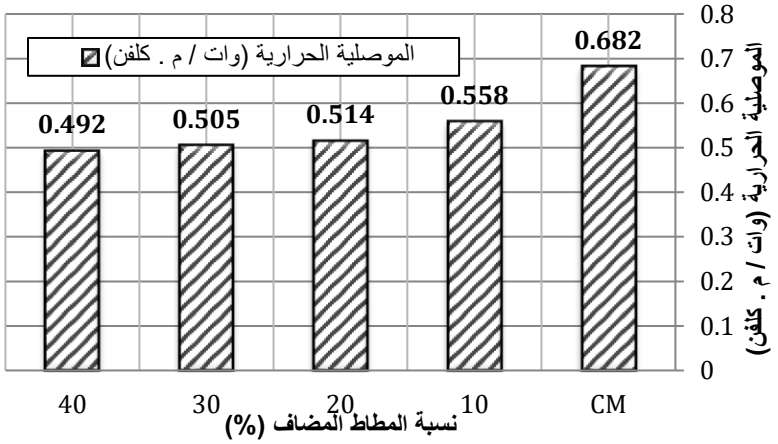
شكـل8: مقاومة الانحناء للخلطات المختلفة بعمر 7 و28 يوم

3.6 تأثير إضافة حبيبات المطاط على الموصلية الحرارية للمونة الاسمنتية:

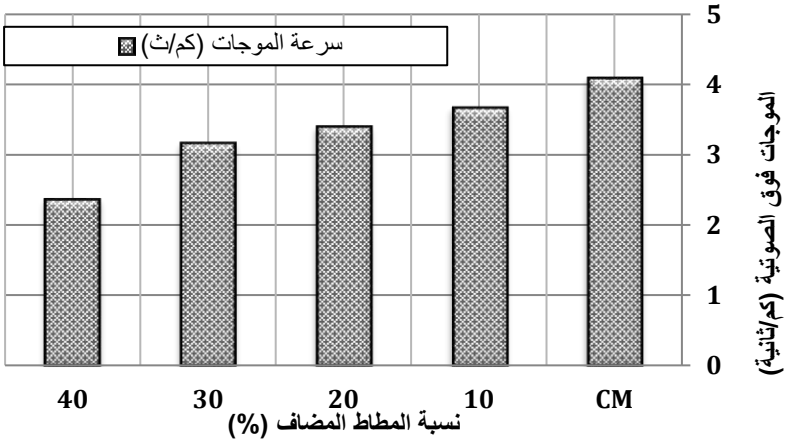
تعتمد الفكرة الرئيسية الاختبار الموصلية على قياس الفرق في درجات الحرارة بين سطحي المادة المراد قياس الموصلية الحرارية لها وبمعرفة مقدار الحرارة المتدفقة خلال سمك العينة باستخدام معادلة فوريير (Fourier's law) لنقل الحرارة ، حيث يمكن حساب الموصلية الحرارية عند الحالة التي يستقر عندها سريان او تدفق الحرارة. بعد اجراء اختبار الموصلية الحرارية للخلطة المرجعية والخلطات المختلفة الحاوية على مطاط بنسب تتراوح من 10 – 40% لوحظ أن وجود الحبيبات المطاطية أدى الى تقليل الموصلية الحرارية مقارنة بالخلطة المرجعية حيث تراوحت نسبة الانخفاض في الموصلية الحرارية ما بين 18.2 الى 27.9 %. الشكل (9) يوضح نتائج الموصلية الحرارية للخلطات المختلفة. انخفاض الموصلية الحرارية للخلطات الحاوية على مطاط يرجع الى ان الموصلية الحرارية للمطاط اقل منها للركام الطبيعي وكذلك بسبب تكون فجوات هوائية نتيجة لوجود المطاط الامر الذي يزيد من مقاومة المادة لمرور الحرارة فيها كون الموصلية الحرارية للهواء قليلة جدا. العديد من الدراسات توصلت الى نتائج مشابه [10,8,6]. انخفاض الموصلية الحرارية مؤشر على تحسن خصائص العزل الحراري للخلطات الحاوية على مطاط الامر الذي يجعل منها خيارا للاستخدام كمادة انشاء تتميز بخصائص عزل حراري جيدة.

3.7 تأثير إضافة حبيبات المطاط على سرعة الموجات فوق الصوتية للمونة الاسمنتية:

عند اجراء اختبار الموجات الفوق صوتية لوحظ ان سرعة الموجات تقل كلما زادت نسبة المطاط في الخلطة مقارنة بالخلطة المرجعية. الشكل (10) يوضح نتائج الموجات فوق الصوتية للخلطات المختلفة. حيث أظهرت النتائج ان نسب الانخفاض في سرعة الموجات فوق الصوتية تراوحت من 10.3 الى 42.2%. ان انخفاض سرعة الموجات يرجع الى ان حبيبات المطاط والفجوات الهوائية المتكونة داخل المونة المطاطية تعمل كعائق يقلل من سرعة الموجات فوق الصوتية. سرعة الموجات فوق الصوتية تعتبر مؤشرا لجودة الخرسانة فكلما زادت سرعة الموجات فوق الصوتية كلما كانت جودة الخرسانة أفضل مقارنة بالخرسانات التي تكون فيها سرعة الموجات قليلة، وذلك لكونها خالية من العيوب والفجوات التي تعيث انتقال الموجات خلال المادة.



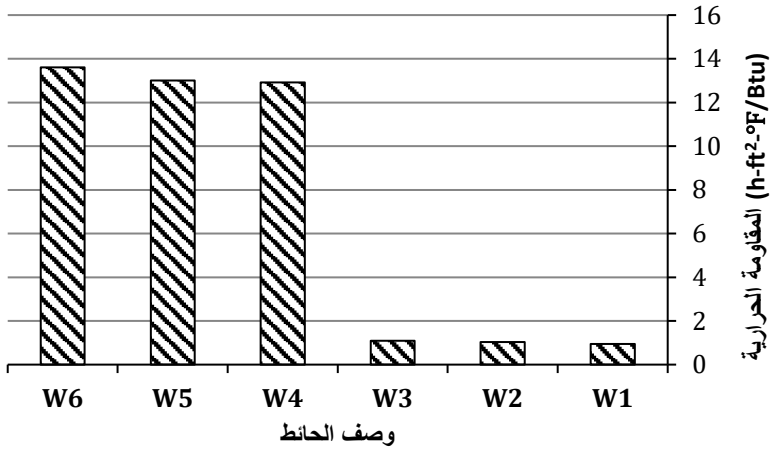
شكـل9: نتائج الموصلية الحرارية للخلطات المختلفة



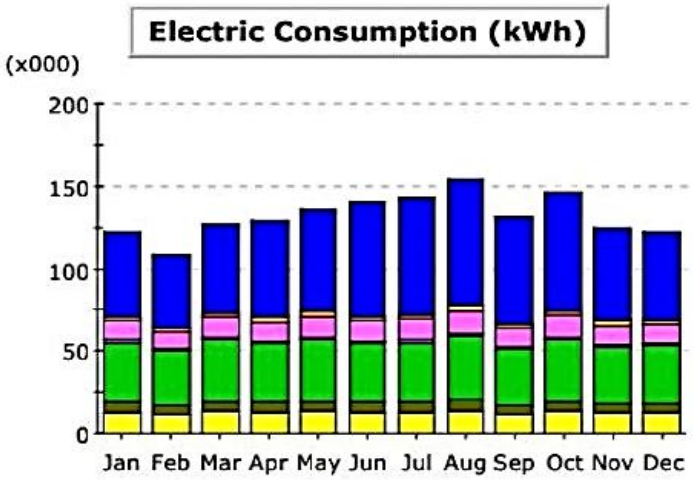
شكـل10: نتائج اختبار الموجات فوق الصوتية للخلطات المختلفة

3.8 تأثير الحوائط والمونة المحتوية على المطاط على الفاعلية الحرارية للمبنى باستخدام برنامج eQUEST:

تمت مقارنة استهلاك الكهرباء والطاقة باستخدام الحوائط الموضح توصيفها في جدول 1. حيث يمثل الشكل 11 قيم المقاومة الحرارية للحوائط المختلفة، حيث أظهرت النتائج أن الحائط المزدوج كان له أداء أفضل (قيمة R-VALUE اعلى) في استهلاك الكهرباء والطاقة مقارنةً بالحائط التقليدي. الشكل 12 يوضح قيم الاستهلاك الحراري للمبنى باستخدام الحائط W1 ، كما يمثل الشكل 13 قيم استهلاك الكهرباء والطاقة للحوائط المختلفة. يعود ذلك إلى وجود طبقتين من المونة وفاصل هوائي في الحائط المزدوج، مما يؤدي إلى تحسين عزل الحرارة بشكل أفضل. بفضل هذه الخصائص، يمكن للحائط المزدوج تقليل تسرب الحرارة والتيارات الهوائية، مما يقلل من الحاجة إلى استخدام أنظمة التدفئة والتبريد ويقلل بشكل كبير من استهلاك الكهرباء. أما بالنسبة للحائط المزدوج المكون من المونة الاسمنتية المحتوية على المطاط، فقد أظهرت نتائج إيجابية أيضًا في تقليل استهلاك الكهرباء والطاقة. وعندما يتم إضافة فتات المطاط بنسب (10 – 40%) إلى المونة الاسمنتية فإن ذلك يحسن من خاصية العزل الحراري للمادة وبالتالي يؤدي إلى تقليل فقد الحرارة وتوفير الطاقة اللازمة لعمليات التدفئة والتبريد والتهوية [17,16].



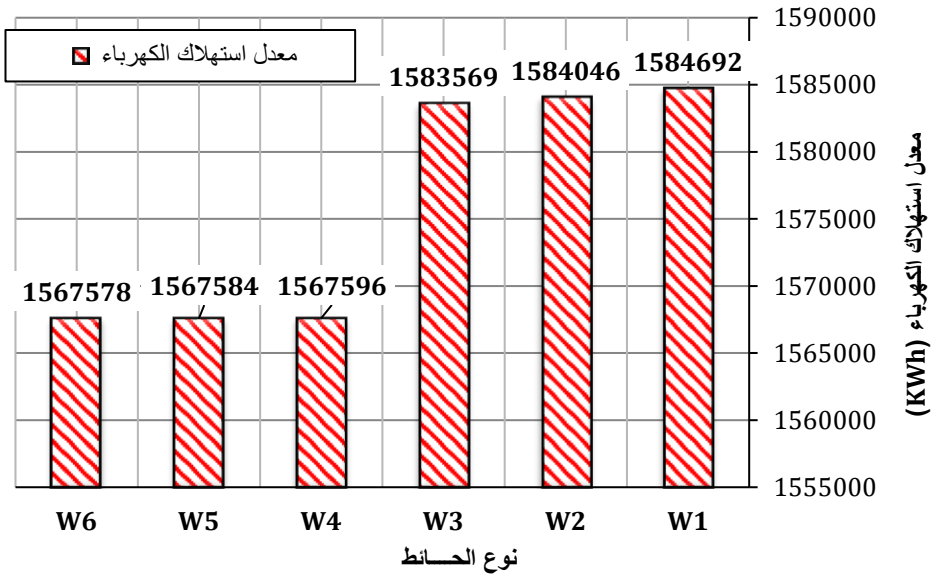
شكـل11: قيم المقاومة الحرارية للحوائط المختلفة



Electric Consumption (kWh x000)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	50.8	43.8	53.7	58.3	62.1	69.9	70.4	76.9	65.1	71.7	56.8	53.4	733.0
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	3.0	2.7	3.2	3.0	3.1	2.9	2.9	3.1	2.6	3.0	2.8	2.8	35.1
Vent. Fans	11.3	10.2	11.7	11.5	12.2	12.0	12.6	13.5	11.3	12.8	11.2	11.0	141.3
Pumps & Aux.	1.5	1.3	1.6	1.5	1.6	1.5	1.5	1.6	1.3	1.6	1.4	1.4	17.8
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	36.2	32.7	37.2	35.7	37.2	35.7	36.2	38.2	33.6	37.2	34.7	35.1	429.7
Task Lights	6.1	5.5	6.3	6.1	6.3	6.1	6.1	6.6	5.5	6.3	5.8	5.8	72.3
Area Lights	13.0	11.8	13.6	13.0	13.6	13.0	13.0	14.2	11.9	13.6	12.4	12.5	155.5
Total	121.9	108.0	127.3	129.1	136.1	141.0	142.6	154.2	131.3	146.2	125.0	121.9	**1,584.692**

شكـل12: يوضح نتائج استهلاك الكهرباء للمبنى باستخدام الحائط W1 باستخدام برنامج eQUEST



شكـل13: نتـائج تحليـل برنامج eQUEST للحوائط المختلفة

4. الخـلاصة:

1. أدت إضافة المطاط بنسب مختلفة إلى المونة الاسمنتية الى انخفاض الكثافة الرطبة والكثافة الجافة وازدياد نسبة الامتصاص مقارنة بالخلطة المرجعية.
2. ساهم إضافة المطاط الى المونة الاسمنتية الى انخفاض مقاومة الانضغاط ومقاومة الانحناء عند اعمار 7 و28 يوم. تراوحت نسب الانخفاض في مقاومة الانضغاط ين 23.6 – 71.3% مقارنة بالخلطة المرجعية والتي سجلت الخلطة المرجعية 30.5 نيوتن/م^2 بينما سجلت الخلطة الحاوية على 10% مطاط مقاومة انضغاط مقدارها 23.3 نيوتن/مم^2. بعمر 28 يوم انخفضت مقاومة الانحناء بنسب تراوحت بين 33.1 – 57.6% مقارنة بالخلطة المرجعية والتي سجلت الخلطة المرجعية 5.1 نيوتن/م^2.
3. أدى اضافت المطاط الى المونة الى زيادة قابليتها للتشغيل حيث تراوح قطر الانسياب ما بين 145 – 154مم بمقدار، بزيادة تتراوح من 5% الى 14.4% مقارنة بالخلطة المرجعية والتي سجلت 147مم.
4. أظهرت نتائج فحص الموصلية الحرارية للخلطات الحاوية على مطاط انخفاض في معامل التوصيل الحراري من 0.558 الى 0.492 وات/م. كلفين بنسب انخفاض 18.2–27.9% مقارنة بالخلطة المرجعية فيما سجلت الخلطة المرجعية 0.682 وات/م. كلفين، هذا الانخفاض يدل على تحسن العزل الحراري للمونة الحاوية على مطاط.
5. أدى إضافة المطاط في المونة الاسمنتية الى انخفاض سرعة الموجات فوق الصوتية مع زيادة نسبة المطاط حيث تراوحت من 3.66 الى 2.38 كم/ث مقارنة بالخلطة المرجعية والتي سجلت 4.08 كم/ث.
6. باستخدام برنامج eQUEST لتقييم الأداء الحراري للمبنى، أظهرت النتائج انخفاض الاستهلاك الطاقة للمبنى مع زيادة نسبة المطاط المضاف الى المونة الا ان نظام الحائط كان له تأثير أكبر من حيث تقليل استهلاك الطاقة اللازمة للمبنى.

5. المراجع

1. Yu, Y. (2023). Analysis of the Performances of a New Type of Alumina Nanocomposite Structural Material Designed for the Thermal Insulation of High-Rise Buildings. Fluid Dynamics & Materials Processing, 19.(3)
2. Iştoan, R., Tămaş-Gavrea, D. R., & Manea, D. L. (2020). Experimental investigations on the performances of composite building materials based on industrial crops and volcanic rocks. Crystals, 10(2), 102.
3. Zhang, Q., Lin, X., Chen, W., Zhang, H., & Han, D. (2020). Modification of rigid polyurethane foams with the addition of nano-SiO2 or lignocellulosic biomass. Polymers, 12(1), 107.
4. Retuerto, M. G., Espinoza, D. Y., & Andrade-Arenas, L. (2021). System Dynamics Modeling for Solid Waste Management in Lima Peru. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 12. (7)
5. Aiello, M. A., & Leuzzi, F. (2010). Waste tyre rubberized concrete: Properties at fresh and hardened state. Waste management, 30(8-9), 1696-1704.
6. Benazzouk, A., Douzane, O., Langlet, T., Mezreb, K., Roucoult, J. M., & Quéneudec, M. (2007). Physico-mechanical properties and water absorption of cement composite containing shredded rubber wastes. Cement and Concrete Composites, 29(10), 732-740.
7. Eldin, N. N., & Senouci, A. B. (1993). Rubber-tire particles as concrete aggregate. Journal of materials in civil engineering, 5(4), 478-496.
8. Fadiel, A. (2013). Use of crumb rubber to improve thermal efficiency of construction materials (Doctoral dissertation, North Carolina Agricultural and Technical State University).
9. Fadiel, A. A., Mohammed, N. S., Abu-Lebdeh, T., Munteanu, I. S., Niculae, E., & Petrescu, F. I. T. (2023). A Comprehensive Evaluation of the Mechanical Properties of Rubberized Concrete. Journal of Composites Science, 7(3), 129.
10. Fadiel, A., Al Rifaie, F., Abu-Lebdeh, T., & Fini, E. (2014). Use of crumb rubber to improve thermal efficiency of cement-based materials. Am. J. Eng. Appl. Sci, 7.(11)
11. Fattuhi, N. I., & Clark, L. A. (1996). Cement-based materials containing shredded scrap truck tyre rubber. Construction and building materials, 10(4), 229-236.
12. Ganjian, E., Khorami, M., & Maghsoudi, A. A. (2009). Scrap-tyre-rubber replacement for aggregate and filler in concrete. Construction and building materials, 23(5), 1828-1836.

13. Idriss, L. K., & Gamal, Y. A. S. (2022). Properties of rubberized concrete prepared from different cement types. Recycling, 7(3), 39.
14. Fadiel, A. (2015). A review of properties of concrete containing crumb rubber from used tires. In Proceedings of the 13th Arab Structural Engineering Conference, Blida, Algeria, 13–15 December 2015 (In Arabic).
15. Alkhalaf, H., & Yan, W. (2018). Modeling of building energy consumption for accommodation buildings (lodging sector) in Japan—case study. Applied System Innovation, 1(4), 39.
16. Sharma, P., Salkuti, S. R., & Kim, S. C. (2021). Energy audit: types, scope, methodology and report structure. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 22(1), 45-52.
17. eQUEST (2024). The QUick Energy Simulation Tool 3.65. http://www.doe2.com/equest/.
18. Siddique, R., & Naik, T. R. (2004). Properties of concrete containing scrap-tire rubber–an overview. Waste management, 24(6), 563-569.
19. Zheng, L., Huo, X. S., & Yuan, Y. (2008). Strength, modulus of elasticity, and brittleness index of rubberized concrete. Journal of Materials in Civil Engineering, 20(11), 692-699.

دراسة العزل الحراري للطوب المستخدم في جنوب ليبيا

أ. د. فؤاد فروج فرج 1، م. محمد احمد المنصوري 2
كلية الهندسة – جامعة وادي الشاطئ، ليبيا – قسم الهندسة المدنية

الملخص

تنبع أهمية هذا البحث من التحديات التي تواجه المناطق ذات المناخ الصحراوي القاسي، والتي تتميز بارتفاع درجات الحرارة وانخفاض مستويات الرطوبة، مما يخلق بيئة معيشية صعبة داخل المباني السكنية. ويؤدي ذلك إلى زيادة كبيرة في استهلاك الطاقة الكهربائية نتيجة الاعتماد المفرط على أنظمة التبريد لمواجهة الحرارة المرتفعة. ونظرًا لصعوبة التحكم في الظروف المناخية الخارجية، تبرز الحاجة الملحة إلى إيجاد حلول فعالة من داخل المبنى لتحسين جودة المعيشة.

ومن بين الحلول المقترحة استخدام مواد بناء محلية تتمتع بخصائص عزل حراري جيدة، تساهم في الحد من انتقال الحرارة إلى داخل المباني. غير أن هناك حاجة ماسة لفهم مدى فعالية هذه المواد، كأنواع الطوب المحلي المستخدم في جنوب ليبيا، في تحسين كفاءة العزل الحراري، وتقليل استهلاك الكهرباء، وضمان استدامة الأداء الحراري للمباني.

يهدف هذا البحث إلى دراسة فعالية أنواع الطوب المحلي في العزل الحراري، وتحديد النوع الأمثل الذي يحقق توازنًا بين تقليل الحرارة الداخلية وخفض استهلاك الطاقة. كما يسعى إلى تقديم توصيات عملية تسهم في تحسين أداء مواد البناء في مواجهة الظروف المناخية الصحراوية، وتعزيز راحة السكان بأقل التكاليف التشغيلية الممكنة.

الكلمات الدالة: *(جامعة وادي الشاطئ، كلية الهندسة، النفاذية، العزل الحراري، جنوب ليبيا).*

Abstract

The significance of this research stems from the challenges faced by regions with harsh desert climates, characterized by high temperatures and low humidity levels, which create difficult living conditions within residential buildings. This results in a significant increase in electricity consumption due to heavy reliance on cooling systems to counter the extreme heat. Given the inability to control external climatic conditions, there is an urgent need to explore effective internal building solutions to enhance living quality.

One proposed solution is the use of local construction materials with good thermal insulation properties to reduce heat transfer into buildings. However, there remains a pressing need to understand the effectiveness of these materials—such as the locally produced bricks used in southern Libya—in improving thermal insulation efficiency, reducing electricity consumption, and ensuring sustainable thermal performance.

This study aims to evaluate the effectiveness of various types of local bricks in thermal insulation and to identify the most suitable type that balances indoor heat reduction and energy consumption. It also seeks to provide practical recommendations to improve the performance

of construction materials in coping with desert climate conditions and enhancing occupant comfort at minimal operational costs.

Keywords: *(University of Wadi Al-Shati, Faculty of Engineering, permeability, thermal insulation, southern Libya).*

1. المقدمة:

يُعد العزل الحراري أحد أهم الاعتبارات في تصميم المباني الحديثة، حيث يُسهم في تحقيق الراحة الحرارية لسكان المباني وتقليل استهلاك الطاقة اللازمة للتدفئة أو التبريد. الطوب المستخدم في البناء يلعب دورًا حيويًا في هذا السياق، إذ يمكن تحسين خواصه ليصبح أكثر كفاءة في تقليل انتقال الحرارة بين داخل وخارج المبنى. هذا التطور أصبح ضروريًا في ظل التحديات البيئية والاقتصادية المعاصرة، لا سيما مع تزايد الطلب على حلول بناء مستدامة.[1]

تظهر أهمية البحث في مناطق جنوب ليبيا مناطق حارة والحاجة ملحة لإيجاد حلول وبدائل، وبما ان العلم والتكنولوجيا في تقدم سريع وتحدث تغييرات عديدة في وقت قصير، فإن أحد الحلول الناجمة لعملية العزل الحراري هوا استخدام طوب جيد للعزل الحراري في المباني.

وحيث يثير الجو الحار العديد من المشاكل، إذ انه ليس بالإمكان العمل على تغيير الجو المحيط، ولكن يمكننا التحكم في صنع مباني ذات جودة عالية وبتصميم مناسب لتلك الأجواء.

ونظرا لقلة الدراسات الخاصة بالعزل الحراري للمباني في بلادنا، فقد رأينا أنه من الواجب دراسة حلول للعزل الحراري للمباني السكنية ودالك لترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية وملاحظة تأثير هذه الظروف على المباني السكنية.

شكل (1) يبين النموذج الكامل لغرف الاختبار

2. الهدف من البحث:

يهدف هذا البحث الى دراسة مدى تأثير العزل الحراري للطوب المستخدم في الجنوب الليبي حيث يوصف المناخ الصحراوي في ليبيا بدرجة حرارته العالية والتي تصل إلى 50 درجة مئوية في فصل الصيف ورطوبة منخفضة تصل أحياناً إلى 10%. وفي بعض الأحيان تصل حرارة السطح إلى 65 درجة مئوية عندما تكون درجة الحرارة الخارجية حوالي 30 درجة مئوية، وفي بعض الأحيان تصل حرارة السطح إلى 90 درجة مئوية.

وللتحقيق في تأثير زيادة درجة الحرارة وقلة الرطوبة، فقد رأينا في هذا البحث أن نترق إلى دراسة تأثير استخدام مواد البناء كعازل للحرارة في الحوائط الفاصلة بالمباني السكنية.

3. خلفية العزل الحراري:

أ. العزل الحراري:

العزل الحراري هو عملية تهدف إلى تقليل انتقال الحرارة بين المساحات الداخلية للمباني أو بينها وبين البيئة الخارجية، بهدف تحسين كفاءة الطاقة وتوفير بيئة مريحة للسكان. يعتمد العزل الحراري بشكل أساسي على مجموعة من الخصائص الفيزيائية للمادة المستخدمة، مثل معامل التوصيل الحراري والكثافة والقدرة الحرارية[3]. معامل التوصيل الحراري هو مؤشر يعبر عن قدرة المادة على نقل الحرارة عبرها؛ كلما كان هذا المعامل منخفضًا، زادت كفاءة المادة في العزل. تُعتبر الكثافة أيضًا عاملاً مهمًا، حيث أن المواد ذات الكثافة المتوازنة توفر تخزينًا حراريًا فعالًا دون التأثير السلبي على الوزن الإجمالي للمبنى. بالإضافة إلى ذلك، تلعب القدرة الحرارية دورًا حيويًا في تحسين الأداء الحراري للمادة من خلال تخزين الطاقة الحرارية وإطلاقها ببطيء.

تستخدم في العزل الحراري مواد متنوعة تتراوح بين الطبيعية، مثل الصوف المعدني والألياف النباتية، والصناعية، مثل البولسترين والبولي يوريثان. يمكن تحسين أداء المواد التقليدية باستخدام مواد مضافة مثل المخلفات الزراعية أو الصناعية، مما يقلل الكثافة ويزيد من استدامة المواد. يُساهم العزل الحراري في خفض استهلاك الطاقة من خلال تقليل الاعتماد على أنظمة التدفئة والتبريد، كما يُطيل عمر المباني ويحسن من جودة الهواء الداخلي. رغم وجود تحديات مثل التكلفة أو صعوبة التركيب في المباني القديمة، يمكن التغلب عليها من خلال استخدام تقنيات مبتكرة ومواد مستدامة، مما يجعل العزل الحراري خيارًا ضروريًا لتحقيق كفاءة الطاقة والحفاظ على البيئة[5] .

ب. النقل الحراري في الأبنية: مفهومه وأهميته:

النقل الحراري في الأبنية يُعبّر عن حركة الحرارة من الداخل إلى الخارج أو العكس نتيجة لاختلاف درجات الحرارة بين البيئتين. يمثل هذا المفهوم أحد الجوانب الأساسية التي تؤثر على راحة الإنسان في المباني وكفاءة استهلاك الطاقة فيها. تتجلى أهمية النقل الحراري في كونه العامل الرئيسي الذي يحدد مدى الحاجة إلى تدفئة المبنى في الشتاء أو تبريده في الصيف، مما ينعكس بشكل مباشر على فواتير الطاقة وكفاءة المباني[8, 10] .

النقل الحراري يتم عبر ثلاث طرق رئيسية. الأولى هي التوصيل الحراري، حيث تنتقل الحرارة عبر المواد الصلبة مثل جدران المباني أو الأسقف نتيجة تصادم جزيئات المادة. الثانية هي الحمل الحراري، وهو انتقال الحرارة عبر حركة الهواء داخل المبنى. وأخيرًا، الإشعاع الحراري، وهو انتقال الحرارة عبر الموجات الكهرومغناطيسية مثل أشعة الشمس التي تسخن الأسطح الخارجية.

ج. تطبيق على جنوب ليبيا:

في جنوب ليبيا، حيث المناخ الحار والجاف، يمكن العمل على سد الفجوة العلمية من خلال الاستفادة من الموارد المحلية لتطوير مواد عازلة. يمكن استخدام مواد طبيعية مثل الطين، الرمل الصحراوي، الجبس، والمخلفات الزراعية مثل النخالة والقش لتحسين كفاءة العزل الحراري. يمكن خلط الطين مع القش أو النخالة لصنع طوب خفيف الوزن وذي كفاءة حرارية عالية، كما يمكن استخدام الجبس المحلي لتحسين العزل الحراري للأسقف والجدران.

التصميم التقليدي للمباني الذي كان يُستخدم في الماضي يمكن أن يقدم حلولًا طبيعية للتعامل مع المناخ القاسي. بناء الجدران السميكة من الطين المجفف بالشمس يقلل من انتقال الحرارة، وتقليل حجم النوافذ ووضعها في الاتجاهات المناسبة يساعد في تحسين التهوية الطبيعية دون فقدان كبير للحرارة. تصميم الأسقف المقبب يقلل من تأثير أشعة الشمس المباشرة ويحسن التهوية داخل المباني. يمكن إجراء تجارب ميدانية لقياس الأداء الحراري للمواد المستخدمة دون الحاجة إلى برامج. يمكن قياس درجات الحرارة الداخلية والخارجية في المباني المختلفة ومقارنة أداء الطوب المحلي المحسن بالطوب العادي من حيث التخفيف من درجات الحرارة خلال النهار والليل. تُسجل النتائج بشكل دوري لتحليل كفاءة المواد في مختلف الفصول.

4. منهجية البحث:

اعتمد البحث:- على المنهج التجريبي لدراسة الخصائص الفيزيائية والحرارية لأنواع مختلفة من الطوب المحلي المستخدم في مناطق جنوب ليبيا. تم جمع عينات من الطوب بهدف تقييم أدائها كمواد عازلة حراريًا في ظل الظروف المناخية الصحراوية القاسية التي تتسم بدرجات حرارة مرتفعة ورطوبة منخفضة.

تم انشاء عدد أربعة غرف بأنواع طوب مختلفة كنموذج محاكات للواقع وتم رصد درجات الحرارة الخارجية للجو والداخلية للغرف على مدار النهار في الصيف.

تم إجراء سلسلة من الاختبارات المعملية في مختبر كلية الهندسة – جامعة وادي الشاطئ، وشملت الفحوصات ما يلي:

اختبار مقاومة الضغط لتحديد قدرة الطوب على تحمل الأحمال.

اختبار الامتصاص المائي والكثافة الجافة لتقييم النفاذية ومدى التماسك الداخلي.

قياسات الحرارة الداخلية والخارجية ونسبة الرطوبة لتقييم الأداء الحراري للعينات تحت ظروف تشغيل واقعية.

استخدمت في هذه التجارب أجهزة متخصصة مثل فرن المقاومة الحرارية، جهاز قياس الانكسار الحراري، جهاز التمدد الحراري، جهاز الكثافة، بالإضافة إلى مستشعرات حرارية دقيقة. وتم تحليل النتائج بناءً على الفروقات في الخصائص الفيزيائية وتأثيرها على كفاءة العزل الحراري، للوصول إلى النوع الأمثل من الطوب القادر على تحقيق أعلى درجات الراحة الحرارية بأقل استهلاك للطاقة.

جدول (1) يوضح خصائص الطوب

نوع الطوب	ابعاده	السعر تقريبا	الوزن جاف	الوزن بعد الغمر	نسبة الامتصاص	الكثافة
طوب جيري	36*13*13	0.5 د	11.52	13.34	1.82	1920
طوب جيري	36*13*20	0.7 د	14.6	16.94	2.34	1622
طوب ياجور	40*20*20	2 د	10.66	11.44	0.78	666.2
طوب عادي	40*20*20	2.5 د	16.5	17.56	1.06	1031
طوب معزول	40*20*20	7 د	20.4	21.6	1.2	1275

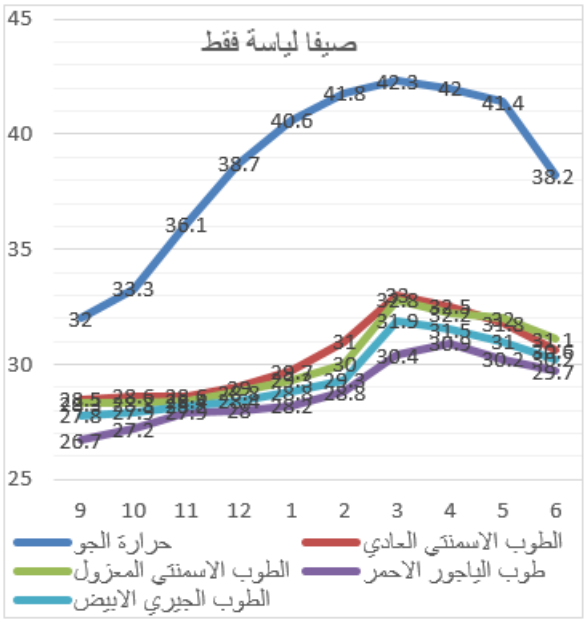
شكل (2) يبين نموذج الغرف بعد اللياسة وبعد الطلاء

جدول (2) يوضح قراءات الحرارة بعد الليلة والطلاء صيفا

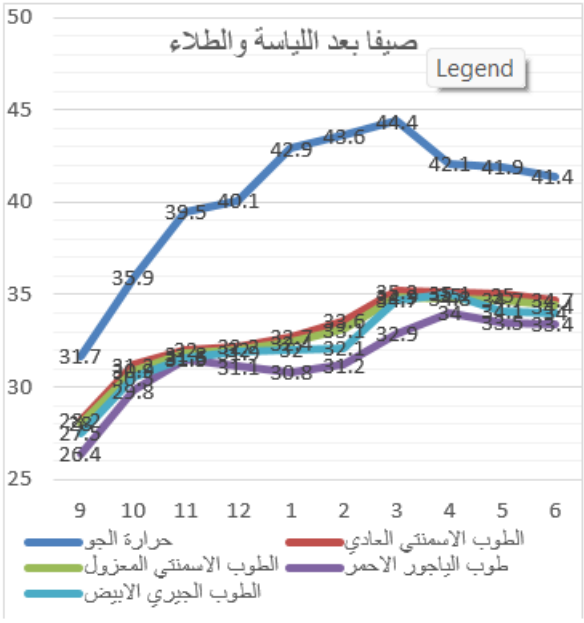
جدول (3) يوضح قراءات الحرارة بعد الليلة صيفا

20/5/1525	صيفا بعد الليلة والطلاء	الطوب الاسمنتي المعزول	طوب الياجور الاحمر	الطوب الجيري الابيض	الطوب الاسمنتي العادي
الساعة نهارا	حرارة الجو	الغرفة 1	الغرفة 2	الغرفة 3	الغرفة 4
9	31.7	28	26.4	27.5	28.2
10	35.9	30.9	29.8	30.5	31.2
11	39.5	31.8	31.5	31.6	32
12	40.1	32	31.1	31.9	32.2
1	42.9	32.4	30.8	32	32.7
2	43.6	33.1	31.2	32.1	33.6
3	44.4	34.9	32.9	34.7	35.2
4	42.1	34.8	34	35	35.1
5	41.9	34.7	33.5	34.1	35
6	41.4	34.4	33.4	34	34.7

01/05/2025	صيفا بعد الليلة	الطوب الاسمنتي المعزول	طوب الياجور الاحمر	الطوب الجيري الابيض	الطوب الاسمنتي العادي
الساعة نهارا	حرارة الجو	الغرفة 1	الغرفة 2	الغرفة 3	الغرفة 4
9	32	28.3	26.7	27.8	28.5
10	33.3	28.3	27.2	27.9	28.6
11	36.1	28.4	27.9	28.2	28.6
12	38.7	28.8	28	28.4	29
1	40.6	29.3	28.2	28.8	29.7
2	41.8	30	28.8	29.3	31
3	42.3	32.8	30.4	31.9	33
4	42	32.2	30.9	31.5	32.5
5	41.4	32	30.2	31	31.8
6	38.2	31.1	29.7	30.2	30.6



الشكل (3) يبين منحنيات درجات الحرارة صيفا بعد اللياسة



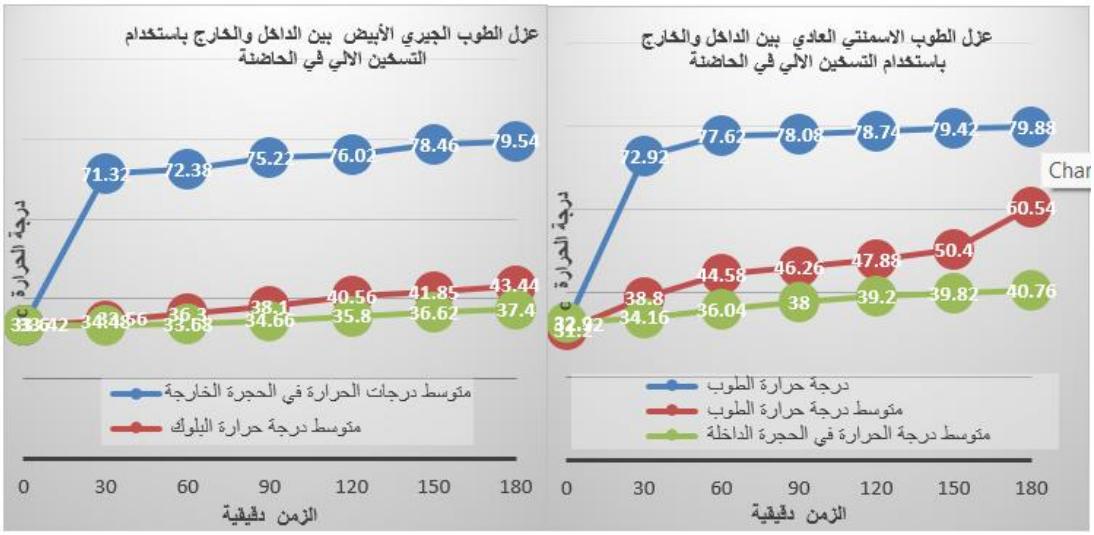
الشكل (4) يبين منحنيات درجات الحرارة صيفا بعد اللياسة والطلاء

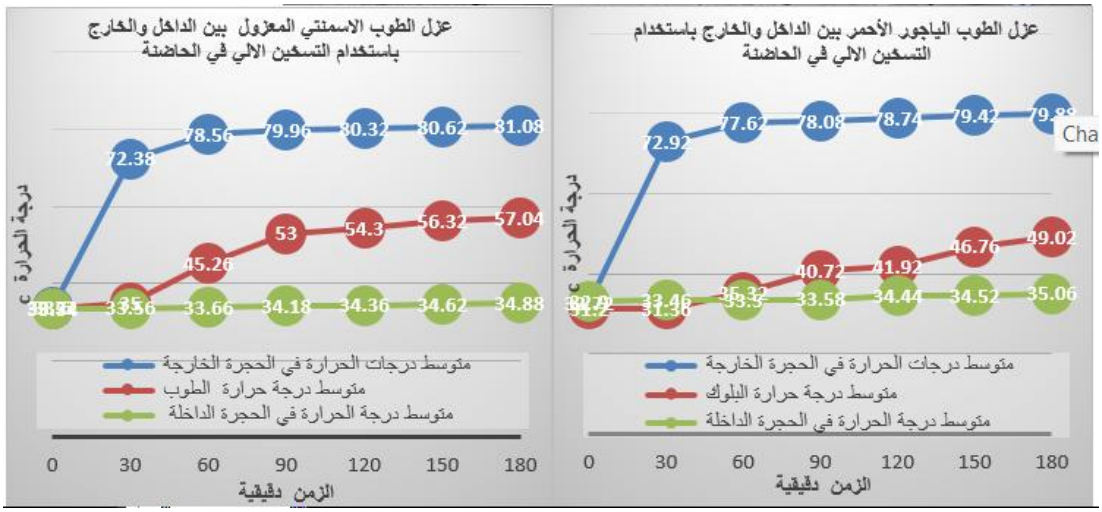
جدول (4) مقارنة بين أنواع الطوب من حيث الخصائص الفيزيائية والحرارية

	الطوب العادي	الطوب المعزول	طوب الياجور	الطوب الأبيض
العزل صيفًا	ضعيف	متوسط	جيد	متوسط
تأثير الطلاء	يحسن قليلا	جيد	ممتاز	جيد جداً
تأثير اللياسة	يحسّن قليلاً	يحسّن الأداء	تحسّن جيد	تحسّن متوسط
الوزن	ثقيل	ثقيل جدا	خفيف	متوسط
الجدوى الاقتصادية	منخفضة	مرتفعة جداً	متوسط	منخفضة
التوفر المحلي	متوفر بكثرة	محدود نسبياً	متوفر	متوفر

الخاصية	الطوب العادي	الطوب المعزول	طوب الياجور	الطوب الأبيض
قوة الضغط	مرتفعة	مرتفعة	متوسطة	متوسطة
الامتصاص المائي	مرتفع	متوسط	متوسط	مرتفع
الكثافة	عالية	عالية	متوسطة	عالية
المقاومة الحرارية	ضعيفة	متوسطة	جيدة	متوسطة
التمدد الحراري	مرتفع	مرتفع	متوسط	متوسط
مقاومة الانكسار	ضعيفة	ضعيفة	جيدة	متوسطة

شكل (5) يوضح اختبار حاضنات النقل الحراري للطوب المعملي





الشكل (6) يبين مخططات اختبار النقل الحراري المعملي لأنواع الطوب المختلفة

5. النتائج:

تم جمع البيانات في شهر مايو خلال فترات زمنية محددة من الساعة التاسعة صباحا وحتى الساعة السادسة مساءا بواقع قراءة كل ساعة. فيما يلي ملخص لأبرز النتائج:

5.1 درجات الحرارة الداخلية حسب نوع الطوب:

الطوب الإسمنتي العادي: 38–40°C ، الياجور الأحمر: 32–34°C، الطوب الاسمنتي المعزول: 34–36 °C، **الطوب** الجيري الأبيض: 35–37°C

5.2 تأثير اللياسة والطلاء:

انخفاض درجات الحرارة الداخلية بنسبة 15–20% بعد الطلاء العاكس. اللياسة حسّنت الأداء الحراري لجميع أنواع الطوب.

5.3 تحليل درجات الحرارة:

أظهرت نتائج الاختبارات الميدانية خلال فصل الصيف (مايو) أن الغرف المبنية بالطوب الأسمنتي العادي سجّلت أعلى درجات حرارة داخلية، مما يعكس ضعف قدرتها على الحد من انتقال الحرارة. في المقابل، سجّلت الغرف المبنية بالطوب الأسمنتي المعزول والياجور الأحمر درجات حرارة داخلية أقل، مما يشير إلى أداء حراري أفضل.

وعلى وجه الخصوص، أظهرت البيانات أن:

الطوب الإسمنتي العادي بلغ متوسط الحرارة فيه أكثر من 38 °Cفي فترة الذروة.

بينما لم تتجاوز درجات الحرارة في غرفة الياجور الأحمر حاجز 33 °Cفي نفس الظروف.

الطوب المعزول أظهر سلوكًا وسطًا بين النوعين، مما يجعله خيارًا مقبولًا في حال تعذر استخدام الياجور الأحمر.

6. الخلاصة:

أظهرت النتائج أن نوع الطوب المستخدم له تأثير كبير على الراحة الحرارية داخل المباني. كان طوب الياجور الأحمر هو الأفضل أداءً، يليه الجيري الابيض، ثم الطوب المعزول، وأخيرًا الطوب الإسمنتي العادي. التشطيبات الخارجية لعبت دورًا جوهريًا في تعزيز كفاءة العزل، خاصة في الطوب المعزول، حيث ساهمت في خفض درجات الحرارة بشكل ملحوظ. تتطابق هذه النتائج مع دراسات سابقة أكدت على أهمية استخدام المواد العازلة وتقنيات التشطيب السطحي. كما تُظهر النتائج أهمية استخدام مواد محلية معززة بخصائص عزليه.

7. ارتباط النتائج بالدراسات السابقة:

تتفق النتائج الحالية مع ما ورد في الدراسات السابقة (مثل دراسة سليمان 2006 والدقالي 2022) التي أكدت على تأثير الكثافة وتكوين الطوب على خصائصه الحرارية. كما تدعم نتائج الدراسة استخدام الطوب المعزول أو المزود بمواد طبيعية كالليف أو البيرلايت (كما في دراسات حكوم ودوندي)، وهو ما يعزز توجه البحث نحو تطوير طوب محلي عالي الكفاءة.

8. التوصيات:

1. اعتماد الطوب الياجور كخيار أول في المباني الجديدة في المناطق الصحراوية، نظرًا لأدائه العالي في العزل الحراري وكفاءته الطاقية.
2. الاهتمام بتطبيق اللياسة والطلاء العاكس الحراري كجزء أساسي من أعمال التشطيب، لتحسين العزل الحراري للمباني القديمة والجديدة.

3. عدم الاعتماد على الطوب الإسمنتي العادي في المباني السكنية دون تحسين خصائصه، سواء بإضافة عوازل داخلية أو باستخدام تشطيبات حرارية فعالة.
4. تشجيع استخدام الموارد المحلية مثل الطين المخلوط بالنخالة أو القش لإنتاج طوب خفيف الوزن وعازل، مما يعزز من الاستدامة البيئية والاقتصادية.
5. دمج أساليب البناء التقليدية مع التقنيات الحديثة، مثل تصميم الجدران السميكة واستخدام الأسقف المقببة والنوافذ الصغيرة لتحسين كفاءة المبنى الحرارية.

9. شكر وتقدير:

أتقدم بجزيل الشكر والامتنان إلى الأستاذ الدكتور **فؤاد فروج فرج** على إشرافه الأكاديمي وتوجيهاته القيمة خلال إعداد هذا البحث. كما اتوجه بالشكر إلى العاملين بمختبر كلية الهندسة – جامعة وادي الشاطئ، على تعاونهم وتوفير الإمكانات اللازمة لإجراء التجارب. ولا يفوتني أن أشكر زملائي الذين ساهموا في جمع العينات ومتابعة القياسات الميدانية.

10.قائمة المراجع:

1. Ahmed, N.W. and A.B.J.J.o.t.C.o.B.E. Mahmoud , التقنيات الحديثة للعزل الحراري وابعادها التأثيرية في تصاميم البيئة الداخلية. 2022. 28(117): p. 862-894.
2. Abide, S., et al., Impact of perlite, vermiculite and cement on the thermal conductivity of a plaster composite material: Experimental and numerical approaches. 2015. 68: p. 392-400.
3. Terzic, A., et al., Performances of vermiculite and perlite based thermal insulation lightweight concretes. 2020. 52(2): p. 149-162.
4. Ağbulut, Ü.J.J.o.T.E., MATHEMATICAL CALCULATION AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF EXPANDED PERLITE BASED HEAT INSULATION MATERIALS'THERMAL CONDUCTIVITY VALUES. 2018. 4(5): p. 2274-2286.
5. Tucci, P.L., et al., The materials and techniques of Greek and Roman architecture. 2015: p. 241-65.
6. Gomes, E. and I.J.E.f.S.D. Hossain, Transition from traditional brick manufacturing to more sustainable practices. 2003. 7(2): p. 66-76.
7. John, J.J.C.f.E. and Communication, Archaic technology, social relations and innovations in brick kilns. 2018.
8. Shu, C.X. From the blue to the red: changing technology in the brick industry of modern Shanghai. in Proceedings of the fifth international congress on construction history. 2015. The Construction History Society of America; Chicago.

9. He, P., Properties and microstructure of light-weight wood-magnesium oxychloride cement composites. 2020.

10. Soliman, M., M. Al-Eisawy, and R.R.M.J.F.U.J.o.E. Ahmed تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في المباني السكنية (دراسة حالة الإسكان الاجتماعي بمدينة الفيوم الجديدة). 2021. 4(2): p. 104-120.

دراسة هيدرولوجية لاحواض الاودية المتقاطعة مع الجزء الأول من طريق الشويرف تينيناي

عبدالباسط محمد سالم قجام
جامعة طرابلس – كلية الهندسة – قسم الهندسة المدنية
عنوان المكلف بالتواصل: aa.baset@yahoo.com

الملخص

نظرًا للأهمية الكبيرة لتصميم العبارات المائية في حماية الطرق من الانجراف وحماية الأفراد من الفيضانات وحوادث المرور، فإن معرفة حجم التصريف المائي المار عبر الأودية تُعدّ خطوة أساسية في تصميم المقطع المناسب للعبارة. ونظرًا للأهمية الحيوية لتمديد الطريق الرابط بين مدينة الشويرف ومدينة بني وليد (وتحديدًا قرية تينيناي)، فإن إجراء دراسة هيدرولوجية يُعد أمرًا ضروريًا. في هذه الدراسة، تم إجراء الحسابات الهيدرولوجية لمجموعة من أحواض التصريف المائي التي تقطع الجزء الأول من طريق الشويرف–بني وليد، ابتداءً من الشويرف وصولًا إلى قرية تينيناي. أظهرت دراسة مسار هذا الجزء من الطريق وجود خمسة أودية، معظمها صغيرة الحجم، تتقاطع مع الطريق في مواقع مختلفة. وتتباين مساحات هذه الأودية، حيث كانت مساحة الحوض رقم (2) هي الأكبر، مما استدعى تركيز الحسابات الهيدرولوجية عليه نظرًا لتأثيره الأكبر. وقد استُخدمت في هذه الدراسة عدة طرق لتحديد قيمة الجريان السطحي وتقدير تأثيره على تصميم الطريق وضرورة إنشاء العبارات، تمهيدًا للانتقال إلى المرحلة الثانية، وهي التصميم الهيدروليكي للعبارات. ومن بين الطرق المستخدمة: طريقة المعامل العقلاني (Rational Method)، نموذج سنايدر (Snyder Model)، والنموذج العددي HEC–HMS 3.5.

الكلمات المفتاحية: *العبارات، التصريف، الدراسات الهيدرولوجية، نموذج سنايدر*

Abstract

Because the design of culverts is of great importance in protecting the road from erosion and people from floods and traffic accidents, knowing the discharge passing through the wadi is essential for designing the appropriate section for the culvert, and since extending a road from the city of Al–Shwerf to the city of Bani Walid (the village of Tininai specifically) is vital, a hydrological study is necessary. In this study hydrological calculations are carried out for a group of catchment basins that cross the first part of the Al–Shwirf–Bani Walid Road which start from Al–Shwirf to Tininai village. It shows, by tracing the path of the first part of the road, the presence of five Wadies, most of them small, that cross the road at different locations. Its area are varies, and therefore area No. 2 was the largest area, and the hydrological calculations were focused on it as it is the most influential area. In this study, several methods were used to find the value of surface runoff to know its value and its impact on the road design and the need for culverts, and thus move to the second stage, which is the hydraulic

design of culverts. The methods used are the Rational method, the Snyder model, and the HEC-HMS 3.5 numerical model.

1. المقدمة:

الخصائص الهيدرولوجية للأحواض المائية تمكننا من معرفة والتنبؤ بالعمليات الهيدرولوجية للفيضانات، وعلى هذا الاساس اصبحت من اهم العلوم للباحثين بمجال المياه لما توفره من قياسات كمية لمختلف الخصائص المتعلقة بالأحواض وشبكاتها المائية والتي يمكن تعيينها من خلال مصادر البيانات متمثلة بالخرائط الطبوغرافية، والصور الجوية.

ولما لتصميم العبارات من أهمية كبرى في حماية الطريق من الانجراف والمارين من الفيضانات والحوادث المرورية فأن معرفة التصاريف المارة بالوديان امر أساسي لتصميم المقطع المناسب للعبارة.

تتناول هذه الدراسة الحسابات الهيدرولوجية لمجموعة من احواض التجميع التي تقطع طريق الشويرف بني وليد الموضح في الشكل رقم (1). تستقبل الاودية بمنطقة الدراسة تساقط للأمطار خلال فترات نادرة فينتج عنها جريان سطحي قد يتحول الى سيول.

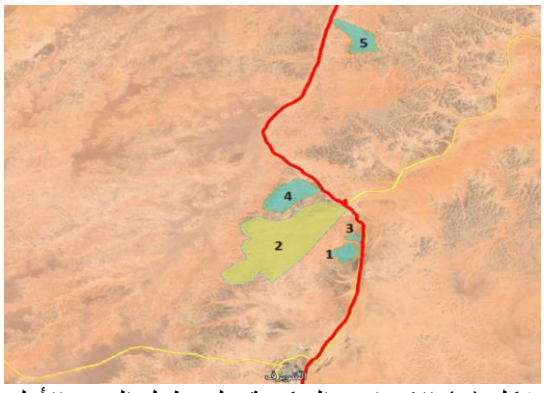
شكل رقم (1) مخطط قطاعات مساري الطريق الرابط بين الشويرف وقرية شميخ بمدينة بني وليد

تهدف هذه الدراسة الى الكشف عن الخصائص الهيدرولوجية لأحواض الاودية الموجودة على مسار الطريق باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، وذلك لتحديد خصائص شبكة الصرف المائي للحوض وخصائصه الشكلية ، بالإضافة الى إبراز خصائصه الهيدرولوجية من تدفق الذروة وزمن التركيز و حجم الجريان السطحي باستخدام نموذج سنايدر Snyder's Model، بالاعتماد على البيانات والمعلومات التي جمعت من الصور الفضائية لمنطقة الدراسة بواسطة برنامج Google Earthونماذج الارتفاعات الرقمية من(USGS (Earth Explorer ؛ تكمن اهمية الدراسة في اوجه الطرق الفعالة لحساب التصريف الذي يقطع الطريق .

2. موقع منطقة الدراسة:

تقع بداية مسار الطريق المزمع دراسته هيدرولوجيا شمال منطقة الشويرف كما هو موضح في الشكل رقم (2) عند دائرة عرض 57”0.89 –29 o، ودائرة طول15 14 22.11 ونهاية المسار عند دائرة عرض 23 30 82.56و دائرة طول 20 14 10.31 ويتأثر الحوض بالمناخ الصحراوي وبالنسبة للتركيب الجيولوجي للصخور بمنطقة الحوض فيرجع عمرها لعصر الميوسين الأوسط .

شكل رقم (2) موقع منطقة الدراسة



شكل (3) الاحواض المتكونة على طول الجزء الأول من المسار

بعد تسقيط مسار الربع الأول من الطريق على Google Earth تبين وجود خمسة أودية معظمها صغير تقطع الطريق عند مواقع مختلفة كما هو موضح بالشكل رقم(4). يبين الجدول رقم (1) الاحواض الواقعة على الجزء الأول من مسار الطريق.

جدول رقم (1): توزيع الاحواض الواقعة على طول منطقة الدراسة للمسار المقترح.

رقم الحوض	المحطة
حوض رقم 1	39+360
حوض رقم 2	35+800 35+360
حوض رقم 3	38+420 38+960
حوض رقم 4	30+800 30+340
حوض رقم 5	06+320

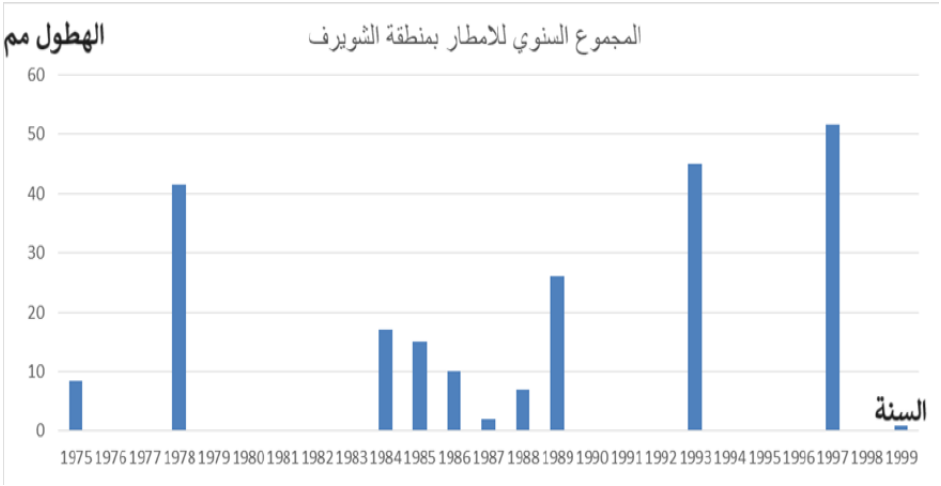
ويبين الشكل رقم (4) أكبر وادي من ضمن خمسة أودية واقعة على المسار وهو الوادي الواقع بمساحة التجميع رقم 2.

شكل (4) الوادي رقم 2 أكبر الاودية بالجزء الأول من المسار

3. البيانات المستخدمة بالدراسة:

في هذه الدراسة تم استخدام مرئية رادارية لعام 2014 لنموذج ارتفاعات رقمي لمدينة الشويرف وشمالها من خلال موقع هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية USGS؛ بالإضافة الى البيانات المناخية المتوفرة بهيئة الأرصاد الليبية الخاصة بمحطة الشويرف الواقعة عند دائرة عرض N 26 14 وخط طول E 98 29 بمنسوب عن سطح البحر 346 متر.

النطاق الزمني للبيانات التي استخدمت بالدراسة هي من الفترة 1975 الى 2000. تم عرض مجموع هطول المطر السنوي للفترة 1975 حتى 2000 بالشكل(5) تمثيل لهذه البيانات.



شكل (5) المجموع السنوي للأمطار بمنطقة الشويرف

النتائج بينت بأن أعلى قيمة للهطول سجلت سنة 1997 موزعة على أشهر يناير وسبتمبر وأكتوبر وكانت قيمة الهطول لهذه السنة 51.7 مم، فيما سجلت سنة 1978 هطولا مقداره 45 مم لكنه كان في شهر واحد وهذه القيمة تم اعتمادها كقيمة

تصميمية للهطول خلال يوم واحد. كما لوحظ ان الهطول معدوم لسنوات عديدة والسبب يعود لكون منطقة الدراسة منطقة تتأثر بالمناخ الصحراوي .

4. التحليل المورفمتري لأنظمة التصريف:

4.1 الخصائص المساحية والتضاريسية لأحواض التصريف

تستنبط الخصائص المساحية والتضاريسية لأحواض التصريف من برنامج QGIS وهي:

- مساحة حوض الوادي (A km^2)
- طول محيط الحوض (P Km)
- طول المجرى الرئيسي (L Km)
- عرض الحوض (W Km)
- اقل منسوب للأرض الطبيعية (Hmin m)
- اعلى منسوب للأرض الطبيعية (Hmax m)
- متوسط منسوب الأرض الطبيعية (Havr. m)
- طول المركز للحوض(Lc, Km)

4.2 خصائص شكل حوض التصريف

تم حسابها وفق العلاقات الرياضية التي الموضحة في الجدول رقم 2.

جدول رقم (2) خصائص شكل حوض التصريف

رقم المعادلة	المعامل	المعادلة	معنى الرموز
1	نسبة الاستدارة	$R_C = 4 \times \pi \times \left(\frac{A}{P^2}\right)$	A = مساحة الحوض Km^2. P = محيط الحوض Km. R_C= نسبة الاستدارة.
2	نسبة الاستطالة	$R_e = \frac{2}{L} \times \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0.5}$	A = مساحة الحوض Km^2. L = طول المجرى الرئيسي الحوض Km. R_e = نسبة الاستطالة.
3	نسبة التماسك	$R_f = \frac{1}{\sqrt{R_C}}$	RC = نسبة الاستدارة. R_f = نسبة التماسك.
4	معامل شكل الحوض	$S_f = \frac{A}{L^2}$	RC = نسبة الاستدارة. R_f = نسبة التماسك.
5	معامل التفلطح	$B_f = \frac{L}{A}$	A = مساحة الحوض Km^2. L = طول المجرى الرئيسي الحوض Km. B_f = معامل التفلطح 1/km.

5. الخصائص الهيدرولوجية لأحواض التصريف:

لتقدير حجم الجريان السطحي بحوض الوادي باستخدام نموذج سنايدر لحساب الخصائص، اعتمد سنايدر ببناء نموذجه على البيانات الخاصة بالأحواض الواقعة بالمناطق الجافة والتي تفتقر الى بينات مسجلة عن الجريان السطحي او العواصف المطيرة، على هذا الاساس تم اختياره لتقدير تدفق السيول للمناطق المستهدفة. لحساب المعاملات الهيدرولوجية وفق نموذج سنايدر Snyder's Modeيتم تطبيق العلاقات الرياضية بالجدول رقم 3

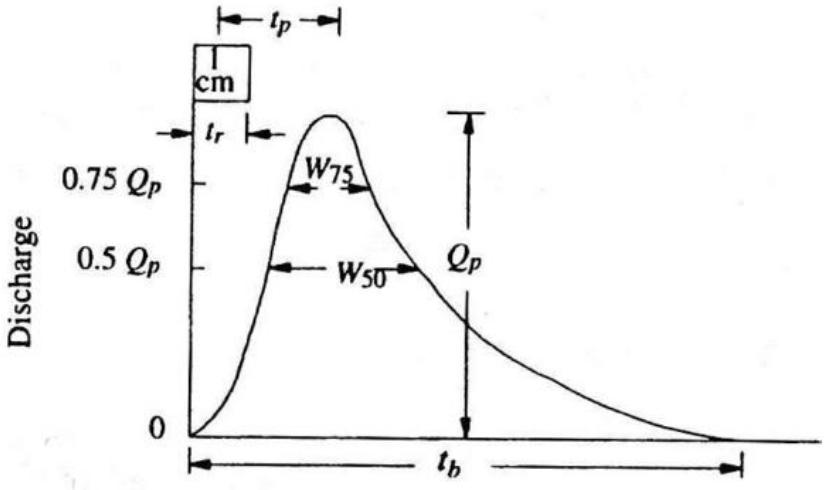
جدول رقم (3) الخصائص الهيدرولوجية لأحواض التصريف

تسلسل	اسم المعامل	المعادلة	وصف الرموز
1	أقصى تدفق	$Q_p = \frac{2.78 C_p A}{T_p}$	Q_P = اقصى تدفق m^3/sec. A = مساحة الحوض km^2. C_P = معامل تدفق الذروة و تتراوح قيمته بين(0.3– 0.93). T_P = زمن التباطؤ hr.
2	زمن التركيز	$T_C = \frac{4A^{0.5} + 1.5L}{0.8H^{0.5}}$	A = مساحة الحوض km^2. T_C = زمن التركيزhr. L = طول مجرى الحوض km. H = الفرق بين متوسط و اقل منسوب بالحوض m.
3	زمن التباطؤ	$T_P = 0.75 C_t (L L_c)^{0.3}$	T_p = زمن التباطؤhr. L = طول مجرى الحوض km. C_t = معامل زمن تدفق الذروة و تتراوح قيمته بين(1– 2.2). L_c = المسافة الفاصلة بين مصب الحوض ومركز ثقله km.
4	سرعة الجريان السطحي	$V = \frac{L}{3.6 T_c}$	T_C = زمن التركيزhr. L = طول مجرى الحوض km. V = سرعة الجريان السطحي، m/sec .

خصائص منحنى الوحدة تم حسابها وفق نموذج سنايدر كما هو موضح في الجدول رقم 4. والشكل رقم (6) يوضح الخصائص الهيدرولوجية وفق نموذج سنايدر بناء على الجدول أعلاه.

جدول رقم 4 خصائص منحنى الوحدة حسب نموذج سنايدر

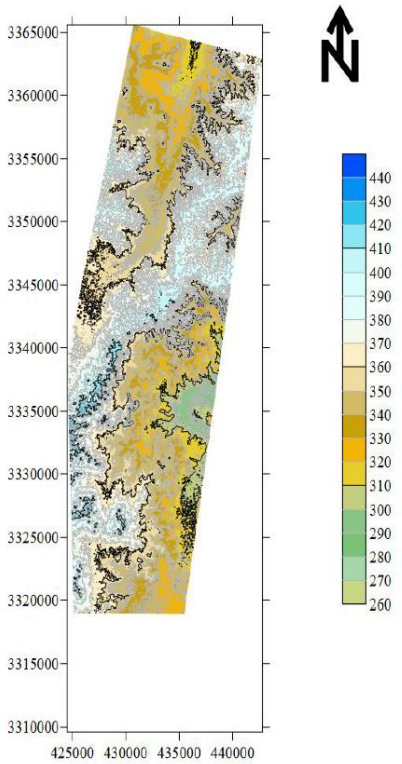
تسلسل	المعامل	المعادلة	وصف الرموز
1	التدفق الاقصى	$Q_p SUH = \frac{2.78 C_p A}{T_r`}$	Q_{PSUH} = اقصى تدفق لمنحنى الوحدة m^3/sec. A = مساحة الحوض km^2. C_P = معامل تدفق الذروة و تتراوح قيمته بين(0.93-0.3). $T`_r$ = الفترة الزمنية القياسية لمنحنى الوحدةhr .
2	الفترة الزمنية القياسية لمنحنى الوحدة	$T_r` = \frac{T_r}{2} + T_P$	T_p = زمن التباطؤ hr. $T`_r$ = الفترة الزمنية القياسية لمنحنى الوحدةhr . T_r = الفترة الزمنية القياسيةhr .
3	زمن الاساس.	$T = 5T_p$	T = زمن الأساس hr
4	اقصى تدفق نوعي	$q_p = \frac{Q_{P\ SUH}}{A}$	Q_{PSUH} = اقصى تدفق لمنحنى الوحدة m^3/sec. A = مساحة الحوض km^2. q_p = قيمة تدفق الذروة النوعي $m^3/sec/km^2$.
5	%75 & 50 من اقصى تدفق	$W_{50} = \frac{5.6}{(q_p)^{1.08}}$ $W_{75} = \frac{3.21}{(q_p)^{1.08}}$	W_{50}, W_{75} = الفترة الزمنة عند مستوى 50%و 75% من تدفق الذروة لمنحنى سيل الوحدة hr. q_p = قيمة تدفق الذروة النوعي $m^3/sec/km^2$.



شكل رقم (6) الخصائص الهيدرولوجية وفق نموذج سنايدر

6. الخصائص المساحية وطبغرافية منطقة الدراسة

الشكل (7) يبين مناسيب الجزء الأول من الطريق بطول 45كم باستخدام برنامج السيرفر Surfer اعتمادا على البيانات المتحصل عليها حقليا.



شكل رقم (7) مناسيب الجزء الأول من الطريق بطول 45 كم

اما بالنسبة لأحواض التجميع موضوع الدراسة الهيدرولوجية والبالغ عددها 5 احواض منها أربعة صغيرة يمكن إهمال احجام التصريف الصادرة عنها كما سيتم تبيانه في حسابات التصريف.

تم ترقيم هذه الاحواض من 1 الى 5 كما هو مبين في الشكل (3)، ويتبين من هذا الشكل ان الحوض رقم 2 هو أكبر هذه الاحواض بمساحة 50 كم2، ويبين الجدول (5) خصائص الوادي المتكون بمساحة التجميع رقم 2.

جدول رقم (5) الخصائص المساحية والطبوغرافية للوادي رقم 2 وفق نتائج برنامج.ArcGIS10.5

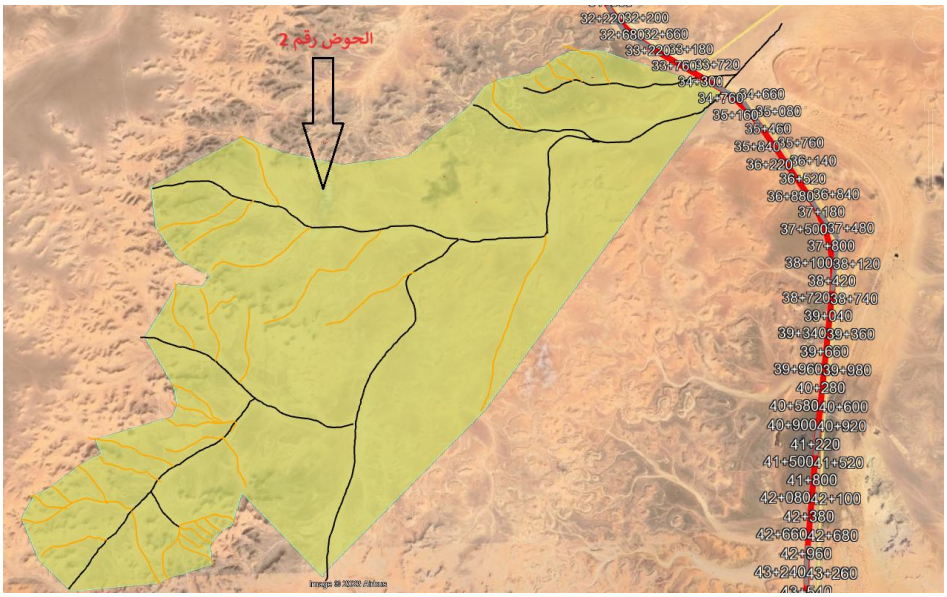
المعامل	القيمة	الوحدات
A مساحة الحوض	50	كم^2
P محيط الحوض	37	كم
L طول المجرى الرئيسي	15	كم
L_c طول المجرى لمركز الحوض	7.30	كم
H_{max} اعلى منسوب للأرض الطبيعية	405	متر
H_{min} اقل منسوب للأرض الطبيعية	299	متر

للحصول على الخصائص الشكلية لحوض الوادي رقم 2 نقوم بتطبيق المعادلات الخاصة بالتحليل المورفمتري التي تم تعريفها مسبقا بالجدول رقم 2.

جدول رقم 6 الخصائص الشكلية لحوض الوادي رقم 2 وفق نتائج المعادلات بجدول 2

المعامل	المعادلة	القيمة	الوحدات
نسبة الاستدارة	$R_C = 4 \times \pi \times \left(\frac{A}{P^2}\right)$	0.46	-
نسبة الاستطالة	$R_e = \frac{2}{L} \times \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0.5}$	0.53	-
نسبة التماسك	$R_f = \frac{1}{\sqrt{R_C}}$	1.47	-
معامل شكل الحوض	$S_f = \frac{A}{L^2}$	0.22	KM
معامل التفلطح	$B_f = \frac{L}{A}$	0.3	KM^{-1}

الشكل رقم (8) يبين كيفية تجمع المياه بالحوض رقم 2 وتكون المجاري الفرعية وبالتالي المجرى الرئيسي. الجدول رقم 7 يبين الخصائص الهيدرولوجية للمساحة رقم 2 وفق المعادلات بالجدول رقم 3. الجدول رقم 8 يبين خصائص منحنى الوحدة للمساحة رقم 2 وفق المعادلات بالجدول رقم 4.



شكل رقم (8) كيفية تجمع المياه بالحوض رقم 2

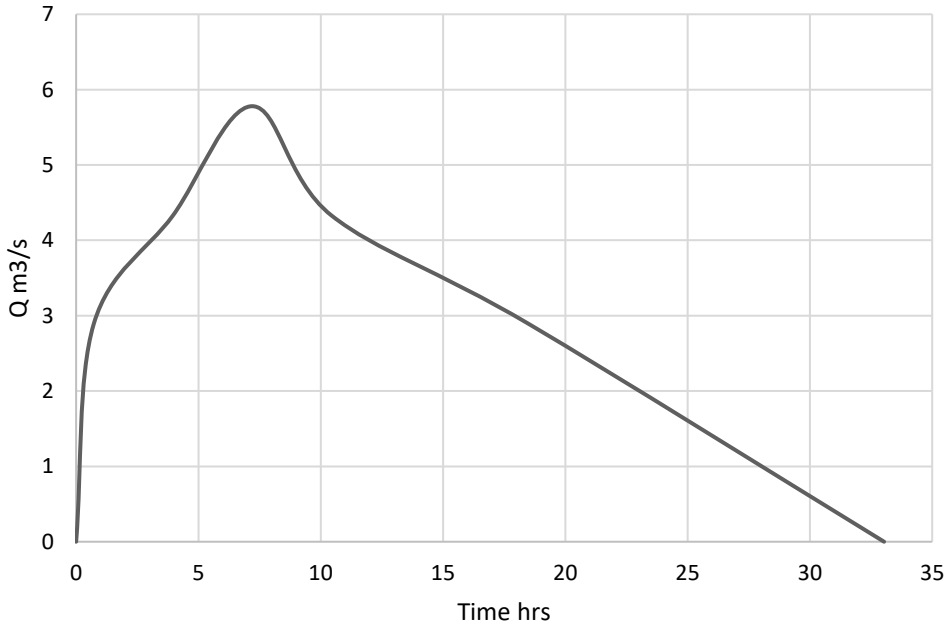
جدول رقم 7 الخصائص الهيدرولوجية للمساحة رقم 2

اسم المعامل	المعادلة	القيمة
أقصى تدفق	$Q_p = \frac{2.78 C_p A}{T_p}$	6.31 m^3/s
زمن التركيز	$T_C = \frac{4A^{0.5} + 1.5L}{0.8H^{0.5}}$	13.57 hr
زمن التباطؤ	$T_p = 0.75 C_t (L L_c)^{0.3}$	6.6 hr
سرعة الجريان السطحي	$V = \frac{L}{3.6 T_c}$	0.3 m/s

جدول رقم 8 خصائص منحنى الوحدة للمساحة رقم 2

5.78 m^3/s	$Q_p SUH = \frac{2.78 C_p A}{T_r`}$	التدفق الاقصى
7.207 hr	$T_r` = \frac{T_r}{2} + T_P$	الفترة الزمنية القياسية لمنحنى الوحدة
33.033	$T = 5T_p$	زمن الاساس.
0.115 $m^3/s/km^2$	$q_p = \frac{Q_{P\ SUH}}{A}$	اقصى تدفق نوعي
16.96 hr 9.72 hr	$W_{50} = \frac{5.6}{(q_p)^{1.08}}$ $W_{75} = \frac{3.21}{(q_p)^{1.08}}$	50 & 75% من اقصى تدفق

الشكل رقم (9) يبين منحنى الوحدة لمساحة التجميع رقم 2 من خلال الحسابات الهيدروليكية الناتجة من الجدول رقم 8.



شكل رقم (9) يبين منحنى الوحدة لمساحة التجميع رقم 2

7. حسابات أقصى تصريف

7.1 باستخدام نموذج سنايدر

الجدول رقم 9 يوضح الحسابات الهيدروليكية باستخدام نموذج سنايدر Snyder Model لقيم c_p و c_t المختلفة لمساحة التجميع رقم 2 باعتبارها اكثر المساحات مساحة واكبر قيمة للتصريف.

تم الاعتماد على قيمة المعاملين بحيث تكون c_p=0.3 و c_t=2.2 وبالتالي تكون قيمة تصريف الذروة للحوض رقم 2 هي 6.31 m^3/s.

جدول رقم 9 الحسابات الهيدروليكية باستخدام نموذج سنايدر Snyder Model

Qp							
Ct	Cp						
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
1.8	7.714508	10.28601	12.85751	15.42902	18.00052	20.57202	23.14352
1.9	7.308481	9.744641	12.1808	14.61696	17.05312	19.48928	21.92544
2	6.943057	9.257409	11.57176	13.88611	16.20047	18.51482	20.82917
2.1	6.612435	8.81658	11.02073	13.22487	15.42902	17.63316	19.83731
2.2	6.31187	8.415827	10.51978	12.62374	14.7277	16.83165	18.93561

7.2 باستخدام طريقة راشيونال Rational Method

أ. كانت قيمة التصريف لكل مساحة اعتمادا على قيمة معامل الجريان التي تتراوح بين 0.3 الى 0.55 للمساحات الصحراوية كما هي مبينة في الجدول رقم 10

ب. كانت قيمة التصريف لكل مساحة اعتمادا على قيمة معامل الجريان للمساحات المفتوحة التي تتراوح بين 0.05 الى 0.28 كما هي مبينة في الجدول رقم 11

جدول رقم 10 قيم تصريف الذروة للأحواض وفق طريقة راشيونال (معامل الجريان 0.3–0.55)

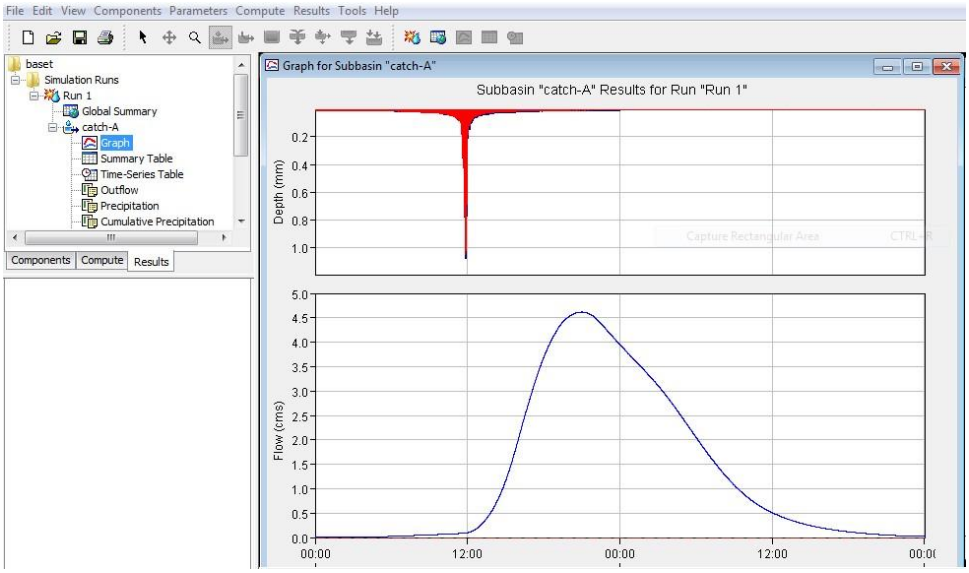
		Q_p m^3/s					
watershed No	Area	Cp					
		0.3	**0.35**	**0.4**	**0.45**	**0.5**	**0.55**
1	3.51	**0.473**	0.552	0.631	0.710	0.789	0.868
2	50	**6.75**	7.875	9	10.125	11.25	12.375
3	1	**0.135**	0.1575	0.18	0.2025	0.225	0.2475
4	11	**1.485**	1.7325	1.98	2.2275	2.475	2.7225
5	8.55	**1.154**	1.346	1.539	1.731	1.923	2.116

جدول رقم 11 قيم تصريف الذروة للأحواض وفق طريقة راشيونال (معامل الجريان 0.05–0.28)

		Q_p m^3/s				
watershed No		1	2	3	4	5
Area		3.51	50	1	11	8.55
Cp	0.05	0.078975	1.125	0.0225	0.2475	0.192375
	0.1	0.15795	2.25	0.045	0.495	0.38475
	0.15	0.236925	3.375	0.0675	0.7425	0.577125
	0.19	0.300105	4.275	0.0855	0.9405	0.731025
	0.24	0.37908	5.4	0.108	1.188	0.9234
	0.28	0.44226	6.3	0.126	1.386	1.0773

7.3 باستخدام النموذج العددي HEC–HMS 3.5

بعد ادخال مساحة الحوض رقم 2 (50 كم^2) ورقم المنحنى للمناطق الجافة والصحراوية (CN=70) وإدخال قيم التساقط (45 مم) كانت قيمة التصريف 4.6 م^3/ث، والشكل رقم 10 يوضح النتائج المتحصل عليها من النموذج. النتائج المتحصل عليها بطرق مختلفة موضحة في الجدول رقم 12



شكل رقم 10 النتائج المتحصل عليها من نموذج HEC-HMS

جدول رقم (12) ملخص نتيجة حسابات التصريف بالطرق الثلاثة

الطريقة	قيمة تصريف الذروة م^3/س
نموذج سنايدر	6.30
راشيونال	6.30-6.75
نموذج HEC-HMS	4.50

8. الخلاصة

هدفت الدراسة الى إجراء التحليل الهيدرولوجي للجزء الأول من مسار طريق الشويرف – بني وليد.

اعتمدنا في هذه الدراسة على نموذج ارتفاعات رقمي لمنطقة الحوض والادوات المتوفرة ببرنامج نظم المعلومات الجغرافية QGIS10.5 وبنموذج سنايدر Snyder Models ؛ وفق نتائج الدراسة نستنتج أن منطقة الدراسة تحوي خمسة مساحات لتجميع المياه مكونة مجاري مائية تقطع مسار الطريق المقترح تتراوح مساحتها من 1 كم^2 الى 50 كم^2 وبالتالي كانت المساحة رقم 2 هي اكبر المساحات وتم تركيز الحسابات الهيدرولوجية عليها كونها اكثر المساحات تأثيرا من ناحية الجريان السطحي الذي قد تحدثه.

مساحة الحوض رقم 2 بلغت 50 كم^2 بطول للمجرى الرئيسي 15كم و نسبة الاستدارة 0.46 بمعامل استطالة 0.53 و معامل شكل 0.22 و معامل التفلطح 0.3؛ زمن التركيز بحوض الوادي طويل يصل الى 13.57 ساعة بسبب المناخ الجاف و الشبة الجاف التابع له الحوض.

اقصى تدفق للسيل بحوض الوادي المزمع تجميعه 6.3 م^3/ث وبزمن ذروة 7.2 ساعة بسرعة تصل الى 0.3 م/ث باستخدام نموذج شنايدر فيما بلغ اقصى تدفق باستخدام طريقة راشيونال 6.3 الى 6.75 م^3/ث فيما بلغ باستخدام نموذج HEC– HMS 4.5 م^3/ث.

9. المراجع

1. https://civilweb-spreadsheets.com/drainage-design spreadsheets/runoff-and-/rainfall-intensity-calculator-spreadsheet/rational-method-runoff-coefficient
2. https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=Stormwater_runoff_coefficients/curve_numbers_for_different_land_uses
3. https://www.publications.qld.gov.au/dataset/e9116bae-b843-4b61-8050-433898222bd6/resource/74ff241c-8a97-40aa-a69d-52ab10219877/download/soilconguide3echapter4.pdf
4. United State Geological Survey, 2021, Digital Elevation model for North East Libya. https://www.earthexplorer.usgs.gov [Accessed October, 2021].
5. Chow , V.T., Handbook of Applied Hydrology., New York: McGraw Hill,1964.
6. https://en.wikipedia.org/wiki/Runoff_curve_number
7. ا.م. لبنى سليمان بن طاهر، التحليل الهيدرومورفومتري لحوض وادي القطارة بنغازي ليبيا، باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، بنغازي، ليبيا، نسخة الكترونية, 2022.
8. د. محمد إبراهيم محمد خطاب، أ. مها كمال سليم، النمذجة الهيدرولوجية للسيول في حوض وادي القرن شرق فقط بالصحراء الشرقية باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية.

دراسة عناصر الاستدامة في المدن الصحراوية (منطقة الدراسة مدينة غدامس القديمة)

[1]*سالم محمد سالم عمر , [2]د.منصور ابوهديمة بن مسكين, [3]أ.د. محمد الولي الشريف
طالب درسات عليا –قسم الهندسة المعمارية وتخطيط المدن –كلية الهندسة –جامعة وادي الشاطئ
رئيس قسم الهندسة المعمارية –كلية الهندسة –جامعة وادي الشاطئ
رئيس قسم الهندسة المعمارية –كلية الهندسة – جامعة وادي الشاطئ
*للمراسلة sal.omar@wau.edu.ly

الملخص

تعد مدينة غدامس القديمة مثالا فريدا للعمارة التقليدية التي اعتمدت على مبادئ الاستدامة بفضل البيئة الصحراوية القاسية التي تقع فيها، حيث ابتكر السكان الأصليون حلولا معمارية وهندسية تكيفت مع الظروف البيئية التي ساهمت في تحقيق استدامتها سواء كانت من الناحية الوظيفية أو الاجتماعية أو الثقافية ،حيث تتالى مميزات هذه المدينة بتصميمها التقليدي الذي يجمع بين الجمال والوظيفة وهو تصميم يعتمد بشكل كبير على مبادئ الاستدامة الطبيعية ، حيث في الوقت الذي يواجه فيه العالم تحديات بيئية متزايدة تبرز في الحاجة الى استلهام تقنيات البناء التقليدية مثل تلك المستخدمة في مدينة غدامس القديمة وتكيفها مع متطلبات العصر الحديث بالرغم من الاعتراف العالمي بأهمية مدينة غدامس القديمة كنموذج مميز للعمارة المستدامة في البيئات الصحراوية الا أن هناك نقصا في الدراسات التحليلية حيث أدى هذا النقص الى غياب فهم عميق للأليات التي اعتمدها سكان هذه المدينة لتحقيق التكيف مع البيئة الصحراوية القاسية وضمان استمرارية الحياة فيها ،حيث تكمن أهمية هذا البحث الى توثيق ممارسات البناء التقليدية التي استخدمت في غدامس مما يساهم في جهود الحفاظ على هدا الموقع التراثي العالمي و سد الفجوة المعرفية المتعلقة بعناصر الاستدامة الطبيعية في المدن التاريخية مما يدعم الأبحاث المستقبلية حول استدامة تلك المدن التاريخية أيضا و تقديم توصيات يمكن تطبيقها في تصميم المدن المستقبلية بحيث تكون اكثر تكيفا مع التغيرات البيئية واقل اعتمادا على الموارد غير المتجددة ، حيث تتناول هذه الدراسة عمارة مدينة غدامس القديمة والتعرف على نوع تخطيط الفراغات للمدينة والاشكال التصميمية للمباني والتعرف على الإدارة الحكيمة للموارد والمرافق التي أدت في استدامة هذا المجتمع الصحراوي حيث سيعتمد هذا البحث على تحليل كل عنصر معماري داخل مدينة غدامس وربط هذه العناصر ببعض لتكون نظام كون مجموعة أنظمة سميت بالأنظمة المتكاملة ولتحقيق هذا الهدف سوف نتبع المنهج الوصفي التحليلي الذي يعتمد على مراجعة الدراسات السابقة عن مدينة غدامس وجمع المعلومات الميدانية من مصادر موثوقة ثم بعد ذلك عمل مقارنة مع معايير الاستدامة الحديثة مثل أنظمة الاستدامة LEED (BREEAM.) والنظام الإماراتي ومن هذا المنطلق ندعو كافة المؤسسات والجهات دات العلاقة وكل من له دراية للوقوف على هدا الأرث الحضاري السائر الى الزوال للحفاظ علية وترميمه لتبقى وثيقة معمارية تاريخية ولوحة فنية ومتحفا مستقبليا لتاريخ المنطقة .

الكلمات الدالة: *مدينة غدامس القديمة _ الاستدامة _ البيئات الصحراوية _ التشييد في المناطق الصحراوية*

Abstract

The Old City of Ghadames is a unique example of traditional architecture based on the principles of sustainability, thanks to the harsh desert environment in which it is located. The

indigenous people created architectural and engineering solutions that adapted to the environmental conditions, contributing to its sustainability, whether functionally, socially, or culturally. The city's features are characterized by its traditional design, which combines beauty and function. This design relies heavily on the principles of natural sustainability. At a time when the world is facing increasing environmental challenges, the need to draw inspiration from traditional building techniques, such as those used in the Old City of Ghadames, and adapt them to the requirements of the modern era is highlighted. Despite global recognition of the importance of the Old City of Ghadames as a distinctive model of sustainable architecture in desert environments, there is a lack of analytical studies. This lack has led to an absence of a deep understanding of the mechanisms adopted by the inhabitants of this city to achieve adaptation to the harsh desert environment and ensure the continuity of life there. The importance of this research lies in documenting the traditional building practices used in Ghadames, which contributes to efforts to preserve this World Heritage site and bridges the knowledge gap related to the elements of natural sustainability in historic cities, which supports future research on the sustainability of these cities. This study also deals with the architecture of the ancient city of Ghadames, identifying the type of planning of the city's spaces, the design forms of buildings, and identifying the wise management of resources and facilities that led to the sustainability of this desert community. This research will depend on analyzing each architectural element within the city of Ghadames and linking these elements together to form a system that is a group of systems called integrated systems. To achieve this goal, we will follow the descriptive analytical approach, which relies on reviewing previous studies on the city of Ghadames and collecting field information from reliable sources. Then, we will compare it with modern sustainability standards such as LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) and the Emirati system. From this standpoint, we call on all relevant institutions and bodies, and all those with knowledge, to stand on this vanishing cultural art, to preserve and restore it so that it remains a historical architectural document, an artistic painting, and a future museum of the region's history.

Keywords: *Old City of Ghadames _ Sustainability _ Desert Environments _ Construction in Desert Areas*

1. المقدمة :

تمثل المدن الصحراوية القديمة نموذجاً فريداً يعكس قدرة الإنسان على التكيف مع بيئات قاسية وقليلة الموارد، حيث نجحت هذه المدن في بناء مجتمعات مستدامة عبر الزمن، رغم الظروف المناخية والتحديات الاقتصادية والاجتماعية. تعد مدينة غدامس القديمة واحدة من أبرز الأمثلة على المدن الصحراوية التي حافظت على هويتها العمرانية والثقافية، واستمرت لأكثر

من ألف عام، مما يجعلها موضوعاً حيوياً لدراسة عناصر الاستدامة في هذا السياق الفريد. تهدف هذه الدراسة إلى فهم وتحليل مكونات الاستدامة في المدن الصحراوية من خلال حالة غدامس، مع التركيز على الجوانب المعمارية، التخطيطية، البيئية، والاقتصادية والاجتماعية التي ساعدت على استمرار هذه المدينة وتطورها

2. مشكلة البحث

1. تحديات التكيف البيئي والفجوة بين تقنيات البناء التقليدية الحديثة في مواجهة المناخ الصحراوي القاسي
2. التدهور الحضري الناتج عن تراجع الاهتمام بالعمران التاريخي وتأثيره السلبي على الهوية الثقافية والاجتماعية لمدينة غدامس
3. نقص الأطر المنهجية والمتكاملة لتقييم الاستدامة في المدن الصحراوية التي تجمع بين الجوانب التقنية والأبعاد التاريخية والثقافية
4. الفجوة بين أنظمة الاستدامة العالمية والواقع المحلي في المدن الصحراوية القديمة، وعدم ملاءمتها بشكل كامل للحفاظ على التراث وتحقيق التنمية المستدامة

3. أهداف البحث

1. تحليل مكونات الاستدامة المتعددة البيئية، الاقتصادية، الاجتماعية، الثقافية، المعمارية، التخطيطية ذات الصلة بمدينة غدامس القديمة
2. تقييم فعالية عناصر الاستدامة التقليدية التي ساهمت في استمرارية مدينة غدامس عبر الزمن
3. مقارنة أنظمة تقييم الاستدامة العالمية بالواقع المحلي في غدامس لتحليل مدى تطبيقها وملاءمتها
4. تقديم توصيات تدعم تطوير مدن صحراوية مستدامة تستند إلى المعارف المكتسبة من دراسة غدامس، مع الحفاظ على الطابع الحضري الثقافي والتاريخي

4. أهمية البحث

1. من الناحية الأكاديمية: يسد هذا البحث فجوة معرفية في مجال الاستدامة المتكاملة للمدن الصحراوية التاريخية، ويضيف معرفة قيمة بخصوص تكامل الأبعاد البيئية والثقافية والاجتماعية والمعمارية في تقييم الاستدامة للمدن ذات الظروف المناخية الصعبة. كما يوفر إطاراً تحليلياً يمكن الاستناد إليه في الدراسات المستقبلية المتعلقة بالعمارة المستدامة في المناطق الصحراوية
2. من الناحية التطبيقية: يمكن للاستنتاجات والتوصيات التي ستتوصل إليها الدراسة أن تسهم في توجيه خطط التنمية والتخطيط الحضري للمدن الصحراوية المعاصرة والمستقبلية، بما يضمن تحقيق التوازن بين التطوير الاقتصادي والحفاظ على التراث الثقافي والبيئي، ويعزز من كفاءة استخدام الموارد وتقليل الأثر البيئي في هذه المناطق الحساسة

5. المنهجية البحثية

1. اتبعت الدراسة منهجية تحليلية وصفية تعتمد على جمع البيانات من مصادر متعددة تشمل المراجع العلمية والدراسات السابقة تم استخدام الأدوات التالية
2. تحليل معماري وتخطيطي لمكونات المدينة عبر مراجعة المخططات والوثائق التاريخية

3. المقارنة بين عناصر الاستدامة التقليدية لمدينة غدامس وأنظمة الاستدامة العالمية إضافة إلى النظام الإماراتي، باستخدام معايير محددة تشمل الكفاءة الطاقية، استخدام المواد، إدارة المياه، وجودة البيئة الاجتماعية
4. استخدام جداول تقييم معيارية تعكس أبعاد الاستدامة المتعددة لتبيان مدى تقارب أو اختلاف هذه الأنظمة مع الواقع المحلي
5. التحليل النوعي والكمّي للبيانات للوصول إلى استنتاجات موثوقة، مع التركيز على التحديات والفرص في تعزيز الاستدامة في المدن الصحراوية

6. الإطار النظري

6.1 مفهوم الاستدامة ومكوناتها

يُعتبر مفهوم الاستدامة من المفاهيم الحديثة والمتعددة الأبعاد [1] التي تسعى إلى تحقيق التوازن بين الاحتياجات الحالية والمتطلبات المستقبلية من خلال إدارة الموارد بشكل رشيد يضمن استمراريتها دون الإضرار بالبيئة أو المجتمع يُعرّف التقرير الشهير "تقارير برونتلاند" الاستدامة بأنها تلبية احتياجات الحاضر دون المساس بقدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتها

6.1.1. تتشكل الاستدامة من عدة مكونات مترابطة، تتمثل فيما يلي:

1. البعد البيئي: يركز على حماية البيئة والحفاظ على التنوع البيولوجي، وتقليل التلوث، وإدارة الموارد الطبيعية كالماء والطاقة والتربة. يعد هذا البعد جوهرياً في المدن الصحراوية التي تتميز بموارد محدودة وظروف مناخية قاسية
2. البعد الاقتصادي: يتعلق بضمان تحقيق تنمية اقتصادية مستدامة عن طريق تعزيز الإنتاجية المحلية، الحد من الفقر، وتعزيز الوظائف المستديمة التي لا تؤثر سلباً على البيئة أو المجتمع
3. البعد الاجتماعي: يعتني بتحقيق العدالة الاجتماعية، تحسين جودة الحياة، دعم التكافل الاجتماعي، وتمكين المجتمعات من المشاركة الفاعلة في صنع القرار الحضري
4. البعد الثقافي: يعترف بأهمية الحفاظ على هوية المكان والتراث الثقافي والتقاليد المحلية ضمن إطار التطوير الحضري، وخاصة في المدن التاريخية التي تتطلب موازنة دقيقة بين حماية التراث والتنمية
5. البعد المعماري: يشمل التصميم المعماري الفعال والمستدام الذي يأخذ بعين الاعتبار العوامل المناخية، المواد المحلية، وطرق البناء التقليدية التي تقلل من استهلاك الطاقة وتعزز الراحة الداخلية
6. البعد التخطيطي: يرتبط بالتخطيط الحضري التنظيمي الذي يدمج بين الاستخدام المستدام للأراضي، توفير الخدمات والبنية التحتية، ترشيد التنقل، وتحقيق التكامل بين الأبعاد المختلفة لضمان استمرارية وتطور المدن

6.2 دراسات سابقة حول الاستدامة في المدن التاريخية والصحراوية

تناولت العديد من الدراسات موضوع الاستدامة في السياقات الصحراوية والتاريخية، وأظهرت نتائج متباينة لكنها شاملة لأبعاد الاستدامة المختلفة، وأهم هذه الدراسات:

1. دراسة علي وآخرون 2018 ركزت على تحليل استراتيجيات المباني التقليدية في مدينة أبو ظبي القديمة، حيث أبرزت أهمية التهوية الطبيعية والعزل الحراري عبر الأساليب المعمارية التقليدية في تحسين الكفاءة الطاقية للمباني الصحراوية. استخدمت الدراسة منهجية مقارنة بين التقنيات الحديثة والموروثة لتقييم الاستدامة

2. بحث محمد 2020 تناول تقييم الاستدامة الاجتماعية والثقافية في مدينة مراكش]7[التاريخية، مع التركيز على الحفاظ على الهوية المجتمعية وترابط الأحياء القديمة، وبيّنت النتائج أن إشراك المجتمع المحلي كان شرطاً أساسياً لتعزيز الاستدامة الاجتماعية والثقافية
3. درس حسام 2017 ركز على استخدام الموارد المائية في المدن الصحراوية عبر تاريخها، مشيراً إلى أن الأنظمة التقليدية لجمع وتخزين المياه (مثل الأفلاج والآبار المحمية) كانت مفتاحاً للحفاظ على الحياة والاستقرار الاقتصادي، وقدم توصيات لتكييف هذه الأنظمة مع التقنيات الحديثة لتدبير المياه بفعالية
4. بحث أحمد وإليزابيث 2019 قدم مقارنة بين نظم تقييم الاستدامة العالمية]9 [مثل وتأثيرها على بناء المدن الصحراوية الحديثة، مبيناً أن هذه الأنظمة رغم متانتها تواجه صعوبات تطبيقية في المدن ذات الظروف المناخية والثقافية الفريدة، ودعت الدراسة إلى تعديلات تراعي الظروف المحلية

6.2.1 خلاصة تحليلية للدراسات السابقة

تشير الدراسات السابقة إلى عدة نقاط مشتركة تتمحور حول أهمية استيعاب السياق البيئي الثقافي والاجتماعي عند تطبيق معايير الاستدامة في المدن الصحراوية والتاريخية. وخلصت إلى أن الاستدامة الفعالة لا تتحقق فقط عبر اعتماد التقنيات الحديثة، وإنما تتطلب دمج المعرفة التقليدية الموروثة مع الابتكارات المكانية والتقنية، وهذا يبرز الحاجة المنهجية لفهم خصوصيات كل مدينة على حدة

على الرغم من أهمية النتائج، توضح هذه الدراسات وجود فجوات بحثية متعددة:

1. قلة الأبحاث التي تجمع بين الأبعاد المعمارية والتخطيطية والبيئية والاجتماعية بشكل متكامل لتقييم استدامة المدن الصحراوية تاريخياً وحديثاً
2. ضعف التكييف المحلي لأنظمة تقييم الاستدامة العالمية في البيئات الصحراوية، وعدم مراعاتها لعوامل كالتراث الثقافي وأسلوب الحياة التقليدي
3. عدم التركيز الكافي على البعد الثقافي والاجتماعي، والذي يعتبر عاملاً حاسماً في حماية الهوية والاستمرارية الحضارية للمدن القديمة
4. غياب دراسات تطبيقية مركزة على مدن صحراوية محددة كالعديد من المدن الليبية بما فيها غدامس، مما يجعل الحاجة ملحة لدراسات حالة تدرس خصوصية هذه المدن

فيما يتعلق بمدينة غدامس، يبرز نقص واضح في الأبحاث التي تجمع بين التحليل المعماري والتخطيطي مع تقييم شامل للاستدامة يشمل الجوانب البيئة والاقتصادية والثقافية والاجتماعية، مما يشكل دافعاً لتناول هذه المدينة كحالة دراسة نموذجية لتجاوز هذه الفجوات

7. دراسة حالة – مدينة غدامس القديمة

تُعد مدينة غدامس القديمة، الواقعة في الجنوب الغربي لليبيا [2]، نموذجاً استثنائياً للمدينة الصحراوية التاريخية التي نجحت في التكيف مع بيئتها القاسية عبر قرون من الزمن، مما يمنحها قيمة فريدة كحالة دراسية لتحليل عناصر الاستدامة التقليدية. يُسلط هذا الفصل الضوء على المكونات المعمارية والتخطيطية للمدينة، مع تحليل دورها في تحقيق الاستدامة، وتحديد أبرز العوامل التي أسهمت في بقائها، بالإضافة إلى تقديم شرح لأنظمة تقييم الاستدامة الحديثة التي ستُستخدم لاحقاً في مقارنة أدائها مع النموذج التقليدي لغدامس

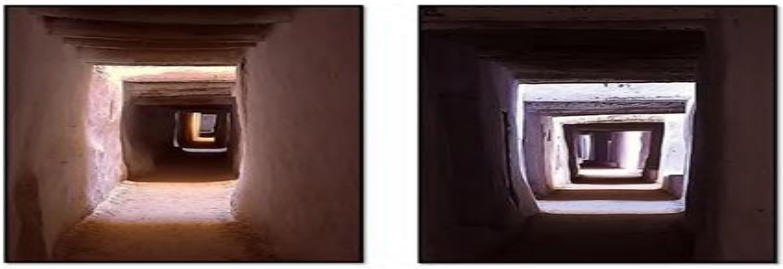
8. المكونات المعمارية والتخطيطية لمدينة غدامس القديمة ودورها في الاستدامة

تتميز مدينة غدامس القديمة بتركيبتها العمرانية الفريدة التي تعكس فهماً عميقاً للبيئة الصحراوية واحتياجات المجتمع المحلي. يمكن وصف المدينة بأنها "مكعب حراري" كبير، حيث تتراص المباني بشكل متقارب جداً، وتشكل شبكة معقدة من الأزقة والممرات المغطاة، مما يوفر حماية فعالة من الحرارة الشديدة صيفاً والبرودة ليلاً شتاءً تشمل المكونات الأساسية ما يلي:

1. **التركيب الطبقي للمباني:** تتكون المنازل عادة من ثلاثة مستويات. الدور الأرضي يُستخدم لتخزين المؤن والأغراض المنزلية ويُعد الأكثر برودة الدور الأول يُخصص للمعيشة اليومية والاستقبال، وهو معزول عن حرارة الشمس المباشرة أما الدور العلوي فهو عبارة عن أسطح متصلة تُستخدم كممرات للمشي والتنقل بين المنازل في الليل، وتوفر مساحات للتهوية في الأوقات الأقل حرارة، بالإضافة إلى استخدامها لبعض الأنشطة المنزلية هذا الترتيب الطبقي يقلل من تعرض الواجهات للحرارة المباشرة ويخلق بيئة داخلية أكثر استقراراً

[الشكل رقم (1) يوضح تركيب الطبقات للمساكن داخل مدينة غدامس المصدر: (يدر) مجلة شروس –2023 – ص (47)]

2. **الأزقة والممرات المغطاة:** تُشكل الشوارع الرئيسية والفرعية في المدينة شبكة من الممرات الضيقة والمغطاة بالكامل تقريباً باستخدام عناصر معمارية بسيطة هذه التغطية تُقلل بشكل كبير من أشعة الشمس المباشرة التي تصل إلى مستوى المشاة، وتحافظ على درجات حرارة منخفضة نسبياً مقارنة بالساحات المفتوحة كما تعمل على توجيه تيارات الهواء البارد ليلاً والمساهمة في تلطيف الجو نهاراً من خلال تأثير المدخنة الحرارية



[الصورة رقم (1) : توضح الازقة والممرات المغطاة داخل مدينة غدامس القديمة . المصدر :(يدر) مجلة شروس – 2023 :ص (47)]

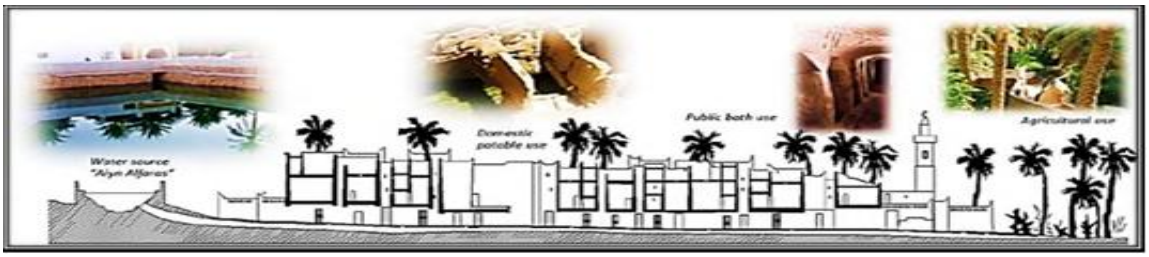
3. **الأفنية الداخلية الوسطية :** كل منزل في غدامس يضم فناءً داخلياً، وهو مساحة مفتوحة للسماء تُعد قلب المنزل. يوفر الفناء الإضاءة والتهوية الطبيعية لجميع الغرف المحيطة به يعمل الفناء أيضاً كمنظم حراري ففي الليل يبرد الهواء ويُخزن البرودة، وخلال النهار يسحب الهواء الساخن إلى الأعلى من خلال تأثير "المباني المبردة بالطاقة الشمسية غير النشطة"، مما يساعد على خفض درجة حرارة الفراغات الداخلية. غالباً ما تحتوي الأفنية على بئر أو خزان مياه، مما يزيد من تأثير التبريد التبخيري.

[الصورة رقم (2) : توضح الافنية الداخلية والوسطية لمدينة غدامس القديمة المصدر (يدر) مجلة شروس –2023: ص(48)]

4. **مواد البناء التقليدية:** اعتمد البناء بشكل أساسي على المواد المحلية المتاحة بكثرة في البيئة الصحراوية، مثل الطوب اللبن الطين المجفف بالشمس والحجر الجيري، وجذوع النخيل للأسقف والعناصر الإنشائية تتميز هذه المواد بقدرتها العالية على العزل الحراري والتخزين الحراري(Thermal Mass) ، مما يساعد على امتصاص الحرارة خلال النهار وإطلاقها ببطء ليلاً، والعكس صحيح، مما يقلل من التقلبات الحرارية داخل المباني

[الصورة رقم (3) توضح مواد البناء التقليدية المستخدمة داخل مدينة غدامس القديمة المصدر (يدر) شروس – 2023:ص(45)]

5. **أنظمة إدارة المياه التقليدية:** نظراً لندرة المياه في الصحراء، طورت غدامس أنظمة دقيقة لجمع وتوزيع وتخزين المياه الجوفية غالباً من العيون الطبيعية مثل عين الفرس تم تصميم قنوات مائية معقدة لتوزيع المياه بإنصاف بين سكان المدينة، بالإضافة إلى وجود آبار وخزانات داخل الأفنية هذه الأنظمة تعكس إدارة رشيدة للموارد المائية المحدودة



[الشكل رقم (2) : يوضح نمط إدارة المياه داخل مدينة غدامس القديمة المصدر: (يدر) شروس –2023 :ص (56)]

6. **التركيبة الاجتماعية والتنظيم المكاني:** لم تكن الاستدامة في غدامس مقتصرة على الجوانب المادية، بل شملت أيضاً الجوانب الاجتماعية والتنظيمية قُسمت المدينة إلى عدة أحياء حارات لكل منها مسجدها الخاص وساحتها العامة ومجلسها الاجتماعي. ساعد هذا التقسيم على تعزيز التكافل الاجتماعي، حل النزاعات محلياً، وضمان صيانة وحماية المكونات المشتركة مثل الأزقة وأنظمة المياه هذا التنظيم يعكس استدامة اجتماعية قوية.

الجدول رقم (1) يوضح العناصر المعمارية والتخطيطية الأساسية في غدامس ودورها في الاستدامة

العنصر	الوصف الموجز	الدور في الاستدامة
التركيب الطبقي للمباني	منازل من ثلاثة مستويات (تخزين، معيشة، أسطح متصلة)	تقليل التعرض لأشعة الشمس المباشرة، توفير تهوية ليلية، إدارة فعالة للمساحات
الأزقة والممرات المغطاة	شوارع ضيقة ومظللة بالكامل	تخفيض درجة الحرارة على مستوى المشاة، توفير الحماية من الشمس والرمال، توجيه تيارات الهواء
الأفنية الداخلية	مساحة مفتوحة للسماء داخل المنزل	توفير الإضاءة والتهوية الطبيعية، تنظيم حراري تبريد سلبي تجميع مياه الأمطار أحياناً مكان للتجمع العائلي
مواد البناء التقليدية	الطوب اللبن، الحجر، جذوع النخيل	عزل حراري عالي، تخزين حراري فعال، استخدام موارد محلية متجددة، تقليل الطاقة المجسدة
أنظمة إدارة المياه التقليدية	قنوات توزيع، آبار، خزانات	إدارة رشيدة لمورد شحيح، توزيع عادل للمياه، تقليل الفاقد، استدامة مورد حيوي
التركيبة الاجتماعية (الأحياء والمجالس)	تقسيم المدينة إلى أحياء ذات هياكل اجتماعية ومساحات مشتركة	تعزيز التكافل الاجتماعي، المشاركة المجتمعية في الصيانة والإدارة، الحفاظ على الهوية والتراث، الاستدامة الاجتماعية

9. أهم عناصر الاستدامة التي ساهمت في استمرارية المدينة

1. **التكيف البيئي العميق:** القدرة الفائقة للعمارة والتخطيط على التكيف مع المناخ الصحراوي القاسي، مما وفر بيئة معيشية مريحة دون الحاجة إلى تقنيات معقدة أو استهلاك عالٍ للطاقة هذا التكيف السلبي هو جوهر الاستدامة البيئية للمدينة

2. **الإدارة الفعالة للموارد الشحيحة:** خاصة الموارد المائية، حيث ضمنت الأنظمة التقليدية التوزيع العادل والاستخدام الأمثل للمياه المحدودة، مما كان حاسماً للبقاء والاستقرار الاقتصادي القائم على الزراعة المحدودة
3. **الاستدامة الاجتماعية والثقافية:** الدور الذي لعبته البنية الاجتماعية والمكانية في تعزيز التماسك المجتمعي، الحفاظ على الهوية الثقافية، وتناقل المعرفة التقليدية المتعلقة بالبناء وإدارة الموارد من جيل إلى جيل
4. **استخدام المواد المحلية والدائرية:** الاعتماد على مواد البناء المتوفرة محلياً والقابلة للتجديد أو إعادة الاستخدام، مما قلل من البصمة البيئية للبناء ودعم الاقتصاد المحلي

هذه العناصر عملت بشكل متكامل لضمان صمود المدينة في وجه التحديات البيئية والاقتصادية والاجتماعية عبر تاريخها الطويل

10.أنظمة تقييم الاستدامة المستخدمة في الدراسة

لإجراء مقارنة تحليلية بين نموذج غدامس التقليدي وأطر الاستدامة المعاصرة، سيتم الاستعانة بثلاثة أنظمة تقييم استدامة عالمية وإقليمية بارزة تهدف هذه المقارنة إلى تحديد مدى توافق أو اختلاف الممارسات التقليدية في غدامس مع المعايير الحديثة، وفهم كيفية تقييم استدامة مدينة تاريخية ضمن أطر مصممة للمشاريع الحديثة

1- نظام LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)

يُطبق بشكل أساسي على المباني الجديدة أو القائمة والمجتمعات عند تطبيقه على سياق مثل غدامس، يمكن تقييم عناصر معينة مثل استخدام المواد المحلية (ضمن فئة المواد والموارد) وكفاءة استخدام المياه التقليدية (ضمن فئة كفاءة استخدام المياه)، لكن العديد من المعايير الأخرى قد لا تكون قابلة للتطبيق مباشرة أو تتطلب تعديلاً كبيراً لتناسب السياق التاريخي والثقافي

2- نظام BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)

يُركز على المباني الحديثة يمكن لبعض معاييره أن تتناسب مع تقييم غدامس، مثل كفاءة استخدام المياه والمواد، أو حتى الصحة والرفاهية المرتبطة بجودة البيئة الداخلية التي توفرها العمارة التقليدية ومع ذلك، تبقى تحديات في تطبيق معايير مثل النقل أو النفايات التي قد تختلف جذرياً في السياقات التاريخية

3- نظام التقييم الإماراتي للاستدامة مثل نظام اللؤلؤة (Estidama Pearl Rating System)-

يُعتبر النظام الإماراتي أكثر ملاءمة للمقارنة مع حالة غدامس من النظامين السابقين نظراً لكونه مصمماً لبيئة صحراوية يمكن ملاحظة تقاطعات قوية في مجالات مثل إدارة المياه المياه الثمينة واستخدام المواد المحلية المواد المدارة وتصميم المباني الموفر للطاقة الطاقة الوفيرة ومع ذلك، لا يزال النظام يركز على التقنيات والمعايير الحديثة وقد يتطلب تكييفاً لتقييم الأداء ضمن السياق التاريخي والثقافي لمدينة مثل غدامس ستمكن مقارنة خصائص غدامس التقليدية مع معايير هذه الأنظمة من تحديد نقاط القوة والضعف، وإبراز الدروس المستفادة من العمارة التقليدية التي يمكن أن تُدمج في ممارسات البناء المستدام الحديثة في المناطق الصحراوية

4 تحليل النتائج

تم اعتماد منهجية تحليل نوعي مقارن لتقدير نسب التوافق بين عناصر العمارة التقليدية في مدينة غدامس القديمة ومعايير أنظمة الاستدامة العالمية الثلاثةLEED ، BREEAM، ونظام اللؤلؤة الإماراتي استند هذا التقييم إلى دراسة خصائص

المدينة في ضوء الأهداف الوظيفية لكل معيار من معايير الاستدامة، وليس فقط على أدواته التقنية، وقد تم تحديد نسب التوافق بشكل تقديري استدلالي مبني على توافق المفهوم والنتيجة، حتى في حال اختلاف الوسائل المستخدمة.

كما تم الأخذ في الاعتبار التكيف المناخي والمكاني للمدينة مع بيئتها الصحراوية، إذ أظهر تحليل الفئات توافقًا عاليًا في الجوانب المتعلقة بفهم النظام البيئي المحلي، والتكامل المجتمعي، والإدارة التقليدية الفعالة للموارد، وهي عناصر تتقاطع مع أهداف أنظمة الاستدامة المصممة خصيصًا للبيئات الجافة مثل النظام الإماراتي. وبذلك، تعكس النسب المدرجة في الجداول حكماً تحليلياً نوعياً على مدى التوافق البنيوي والوظيفي بين منظومة غدامس التاريخية والمعايير العالمية الحديثة، مع مراعاة السياق الزمني والتقني المختلفين.

11. التحليل الرياضي المقارن لعناصر الاستدامة في غدامس والأنظمة الحديثة

1-المنهج الرياضي المستخدم للتحليل

لأجل إجراء تقييم دقيق لعناصر الاستدامة، تم استخدام نموذج التحليل متعدد المعايير(MCDM) ، وبشكل خاص طريقة تحليل الأوزان المرجحة(Weighted Sum Model (WSM ، والتي تعتمد على [17]:

المعادلة العامة:

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} w_j \cdot x_{ij}$$

- S_i: التقييم النهائي للنظام أو المدينة (i)
- w_j: الوزن النسبي للعنصر j (بناءً على أهمية العنصر)
- x_{ij}: درجة تحقق العنصر j في النظام i (من 0 إلى 1)
- n: عدد عناصر الاستدامة

2-الأوزان المقترحة لعناصر الاستدامة

العنصر	الوزن
كفاءة الطاقة	0.25
إدارة المياه	0.20
المواد المستدامة	0.15
جودة البيئة الداخلية	0.10
التصميم المناخي السلبي	0.20
الحفاظ على الهوية الثقافية	0.10

11.1 مقارنة تحليلية: غدامس القديمة وأنظمة الاستدامة الحديثة

11.1.1 أولا نظام LEED : يُركز نظام ليد ((LEED على تقييم استدامة المباني والمجتمعات الحديثة بناءً على مجموعة من المعايير التي تتضمن تقنيات وممارسات معاصرة عند محاولة تقييم مدينة تاريخية مثل غدامس باستخدام إطار عمل تظهر التحديات والفروقات بوضوح ، من الجدول رقم والشكل تم الحصول على النتائج التالية

1- **في فئة المواقع المستدامة** قد تُظهر غدامس توافقاً جيداً في بعض الجوانب مثل كثافة البناء وتقليل البصمة العمرانية على الأرض معايير مثل تطوير المواقع عالية الكثافة الأزقة المغطاة توفر أيضاً بيئة مشاة مريحة. ومع ذلك، تفتقر المدينة لمعايير أخرى مثل البنية التحتية للنقل المستدام الحديثة نقاط الشحن للمركبات الكهربائية، قرب محطات النقل العام بمفهومها الحديث) أو إدارة مياه الأمطار بالطرق الحديثة. يمكن تقدير نسبة التوافق في هذه الفئة بحوالي 40-50%، مع الأخذ في الاعتبار الإيجابيات في الكثافة والتخطيط المريح للمشاة داخل النسيج القديم مقابل غياب التقنيات الحديث

2- **في فئة كفاءة استخدام المياه** : تُعد غدامس نموذجاً مثالياً للإدارة التقليدية الفعالة للمياه نظام توزيع المياه عبر القنوات واستخدام الآبار داخل الأفنية يمثل استخداماً رشيداً لمورد شحيح على الرغم من أن يقيس كفاءة استخدام المياه غالباً بتقنيات حديثة مثل تركيبات السباكة منخفضة التدفق فإن المبدأ الأساسي لكفاءة الاستخدام متجسد بقوة يمكن تقدير نسبة التوافق في المبدأ والنتيجة بحوالي 70-80%، رغم اختلاف الوسائل التقنية

3- **تعتبر فئة الطاقة والغلاف الجوي** هي النقطة التي تتفوق فيها غدامس بمنهجها السلبي. التصميم المعماري يوفر تبريداً وتدفئة طبيعيين بكفاءة عالية، مما يقلل الاستهلاك الفعلي للطاقة إلى ما يقارب الصفر لأغراض التكييف والتهوية داخل النسيج القديم. في حين أن يقيم كفاءة الطاقة بناءً على استهلاك المبنى والطاقة المتجددة المستخدمة، فإن الأداء الحراري السلبي لغدامس يحقق الهدف النهائي لكفاءة الطاقة. يمكن تقدير نسبة التوافق الوظيفي بحوالي 90-100% في تحقيق الراحة الحرارية بأقل استهلاك للطاقة، لكن التوافق مع معايير التقنية (مثل القياسات المعتمدة ونظم المباني) سيكون منخفضاً جداً.

4- **في فئة المواد والموارد** يُظهر استخدام المواد المحلية التقليدية توافقاً جيداً مع مبادئ LEED المتعلقة بالمواد الإقليمية والحد من النفايات الإنشائية (حيث كانت المواد تُعاد استخدامها أو تتحلل طبيعياً). ومع ذلك، فإن غياب التوثيق الحديث لسلاسل التوريد أو شهادات المحتوى المعاد تدويره/المحصود بشكل مستدام) وهي معايير رئيسية في (LEED يحد من التوافق الكامل. يمكن تقدير نسبة التوافق بحوالي 50-60%، بناءً على مبدأ استخدام المواد المحلية والمستدامة تقليدياً.

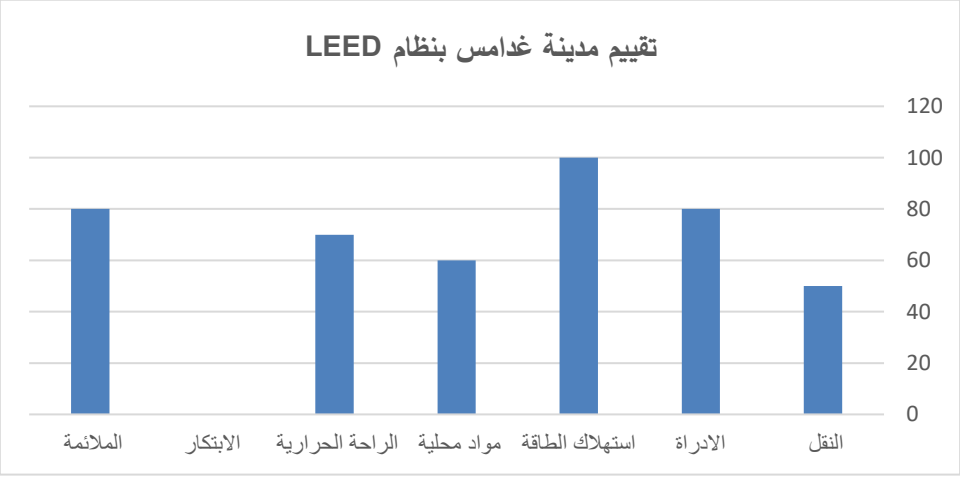
5- **فئة جودة البيئة الداخلية** تتوافق جزئياً مع غدامس. الأفنية وأنظمة التهوية الطبيعية توفر إضاءة وتهوية جيدة وتحافظ على درجات حرارة مريحة، مما يحسن جودة البيئة الداخلية. ومع ذلك، قد تفتقر المدينة للمعايير الأخرى مثل التحكم في الملوثات الداخلية المرتبطة بالمواد الحديثة أو أنظمة الفلترة، وهي أمور غير ذات صلة بالسياق التقليدي. يمكن تقدير نسبة التوافق بحوالي 60-70% بناءً على الراحة الحرارية والإضاءة/التهوية الطبيعية

بشكل عام، عند محاولة تطبيق LEED على غدامس، يظهر تناقض بين الأداء الاستدامي الفعلي للمدينة (الذي كان عالياً ضمن سياقها التاريخي) وبين المعايير التقنية والتوثيقية لنظام LEED المصمم للمشاريع الحديثة. النظام لا يلتقط بشكل كامل قيمة الاستدامة الثقافية والاجتماعية والتكيف العميق مع البيئة عبر الزمن.

[الجدول رقم (2) : يوضح المقارنة والنسب لعناصر الاستدامة لمدينة غدامس القديمة مع نظام الاستدامة العالمي LEED

]

سبب النسبة/ملاحظات	نسبة التوافق (تقريبية)	مدى التوافق مع غدامس القديمة	فئةLEED
إيجابية في التخطيط المدمج، سلبية في التقنيات الحديثة للنقل والموقع	40–50%	جزئي كثافة، مشاة	Sustainable Sites
كفاءة عالية في استخدام مورد شحيح، رغم اختلاف التقنيات	70–80%	عالي إدارة تقليدية فعالة	Water Efficiency
تحقيق الراحة الحرارية بأقل استهلاك، لكن لا توثيق أو تقنيات حديثة	90–100%	عالي وظيفياً تبريد/تدفئة سلبية	Energy and Atmosphere
استخدام مواد محلية ومستدامة تقليدياً، لكن لا شهادات حديثة أو توثيق	50–60%	متوسط مواد محلية، إعادة استخدام	Materials and Resources
بيئة داخلية مريحة سلبياً، لا تطبيق لمعايير التهوية الميكانيكية أو الملوثات الحديثة	60–70%	متوسط–عالي) راحة حرارية، تهوية طبيعية(	Indoor Environmental Quality
الابتكار في غدامس تاريخي وليس ضمن سياق LEED التقني	0%	لا ينطبق بشكل مباشر يُقاس بالابتكار الحديث	Innovation in Design
حلول مناسبة تماماً للبيئة الصحراوية، لكن التقييم يعتمد على نقاط محددة لكل منطقة	70–80%	إمكانية عالية للملائمة الإقليمية	Regional Priority



[الشكل رقم (3): يوضح النسب لعناصر الاستدامة لمدينة غدامس القديمة مع نظام الاستدامة العالمي LEED]

11.1.2 ثانيا : نظام BREEM

في كونه نظاماً شاملاً لتقييم المباني الحديثة والمجتمعات، مع فروقات منهجية وتصنيفية. عند المقارنة مع غدامس، تظهر تحديات مماثلة لتلك التي واجهناها :

1- **في فئة الصحة والرفاهية** يمكن اعتبار البيئة الداخلية لغدامس (إضاءة طبيعية، تهوية، راحة حرارية) متوافقة بشكل جيد مع جزء من هذه الفئة. نظام التخطيط الاجتماعي أيضاً يمكن أن يسهم في الرفاهية المجتمعية. نسبة التوافق قد تكون حوالي 60-75% في الجوانب المتعلقة بالبيئة الفيزيائية المباشرة للسكان

2- **فئة الطاقة** في تقيم كفاءة استخدام الطاقة والاعتماد على مصادر متجددة. كما في يتفوق تصميم غدامس السلبي في تحقيق هدف كفاءة الطاقة، لكن ليس بالوسائل التقنية التي يقيمها .BREEAM نسبة التوافق الوظيفي عالية جداً (90-100%)، بينما التوافق مع معايير القياس والتقنيات منخفض

3- **تتناول فئة النقل** قضايا مثل سهولة الوصول للنقل العام، استخدام الدراجات، والحد من الحاجة للسفر بالسيارة. غدامس كمدينة مشاة بامتياز داخل نسيجها القديم تتوافق مع مبدأ تقليل الاعتماد على النقل الآلي، لكنها تفتقر للبنية التحتية وأنظمة النقل الحديثة التي يقيمها نسبة التوافق يمكن تقديرها بحوالي 40-55%، بناءً على الجانب الإيجابي للمشي داخل المدينة

4- **في فئة المياه** يتشابه التقييم مع نظام غدامس لإدارة المياه كفء ومستدام ضمن سياقه نسبة التوافق عالية 75 - 85% في تحقيق هدف كفاءة استخدام المياه

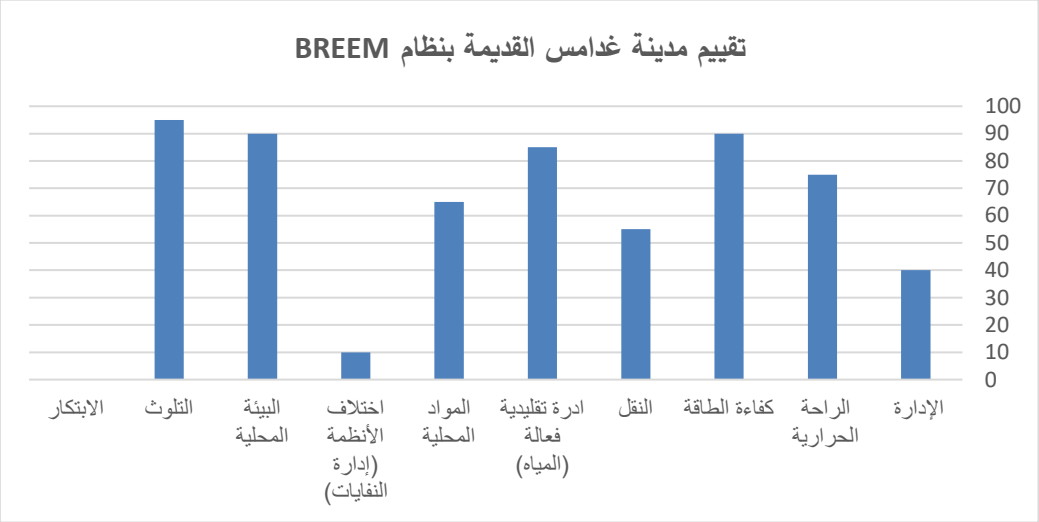
5- **فئة المواد** تقيم دورة حياة المواد والتوريد المسؤول. استخدام المواد المحلية المتجددة في غدامس يتوافق مع مبادئ المسؤولية البيئية، لكن الافتقار للتوثيق الحديث وسلاسل التوريد المعاصرة يحد من التوافق الكامل نسبة التوافق تقدر بحوالي 55-65%

6- **تُقيم فئة النفايات** استراتيجيات الحد من النفايات وإدارتها وإعادة تدويرها أثناء البناء والتشغيل في السياق التقليدي لغدامس، كانت النفايات عضوية وقابلة للتحلل أو يُعاد استخدامها محلياً، ولم تكن هناك أنظمة جمع ومعالجة نفايات بالمعنى الحديث نسبة التوافق مع معايير الحديثة منخفضة جداً أقل من 10%.

[الجدول رقم (3) :يوضح المقارنة والنسب لعناصر الاستدامة لمدينة غدامس القديمة مع نظام الاستدامة العالمي BREEM]

فئةBREEAM	مدى التوافق مع غدامس القديمة	نسبة التوافق (تقريبية)	سبب النسبة/ملاحظات
Management	جزئي إدارة مجتمعية تقليدية()	30-40%	إدارة مجتمعية فعالة محلياً، لا تطبيق لمعايير الإدارة الحديثة
Health and Wellbeing	عالي جزئياً بيئة داخلية مريحة	60-75%	راحة حرارية وإضاءة وتهوية طبيعية جيدة، لا تطبيق لمعايير حديثة أخرى
Energy	عالي وظيفياً تبريد/تدفئة سلبية	90-100%	كفاءة طاقية ممتازة بوسائل سلبية، لا قياس أو تقنيات حديثة.
Transport	متوسط مدينة مشاة	40-55%	تشجع على المشي داخل النسيج، لا بنية تحتية للنقل الحديث

فئةBREEAM	مدى التوافق مع غدامس القديمة	نسبة التوافق (تقريبية)	سبب النسبة/ملاحظات
Water	عالي إدارة تقليدية فعالة	75–85%	كفاءة عالية في استخدام المياه رغم اختلاف التقنيات
Materials	متوسط مواد محلية، دورة حياة تقليدية	55–65%	استخدام مواد مستدامة تقليدياً، لا توثيق أو شهادات حديثة.
Waste	منخفض جداً اختلاف الأنظمة كلياً	<10%	إدارة نفايات عضوية ومحلية تقليدية، لا نظام جمع/معالجة حديث
Land Use and Ecology	عالي بصمة صغيرة، تكيف بيئي	80–90%	التكيف العميق مع البيئة المحلية، استخدام أمثل للأراضي
Pollution	عالي تلوث منخفض	85–95%	غياب مصادر التلوث الصناعي أو الكبير، تلوث الهواء والماء منخفض تقليدياً
Innovation	لا ينطبق بشكل مباشر	0%	الابتكار تقليدي وليس ضمن إطار BREEAM



[الشكل رقم (4) :النسب لعناصر الاستدامة لمدينة غدامس القديمة مع نظام الاستدامة العالمي BREEM]

11.1.3 ثالثا نظام الاستدامة الإماراتي : خاصة نظام اللؤلؤة للمجتمعات والمباني، مصمم خصيصاً لبيئة صحراوية، مما يجعله الأكثر ملاءمة للمقارنة مع غدامس يتشارك النظام الإماراتي مع غدامس في مواجهة تحديات مناخية وبيئية متشابهة

1- **في مبدأ الأنظمة الطبيعية** الذي يركز على فهم البيئة المحلية والتكيف معها، تتوافق غدامس بشكل ممتاز تصميم المدينة يعكس فهماً عميقاً للنظام البيئي الصحراوي وقدرة على العيش ضمن حدوده نسبة التوافق عالية جداً، تقدر بحوالي 80-95%

2- **مبدأ المجتمعات الصالحة للعيش** الذي يشمل التخطيط العمراني المتكامل، توفير الخدمات، وتعزيز التفاعل الاجتماعي، يتوافق بشكل كبير مع بنية غدامس الاجتماعية والتخطيطية الأحياء، المجالس، والنسيج الحضري المدمج كلها تسهم في مجتمع متماسك وصالح للعيش ضمن سياقه نسبة التوافق مرتفعة، تقدر بحوالي 70-85%

3- **مبدأ المياه الثمينة** هو أحد أهم مبادئ الاستدامة في البيئات الصحراوية، وغدامس نموذج تاريخي لإدارة المياه الشحيحة بكفاءة. نظامها التقليدي لتجميع وتوزيع المياه يتوافق بشكل قوي مع هدف هذا المبدأ، وإن كان يختلف في التقنيات الحديثة (مثل تحلية المياه أو معالجة الصرف الصحي المتقدمة) التي قد يركز عليها النظام الإماراتي. نسبة التوافق عالية جداً، تقدر بحوالي 85-95% في تحقيق هدف كفاءة استخدام المياه

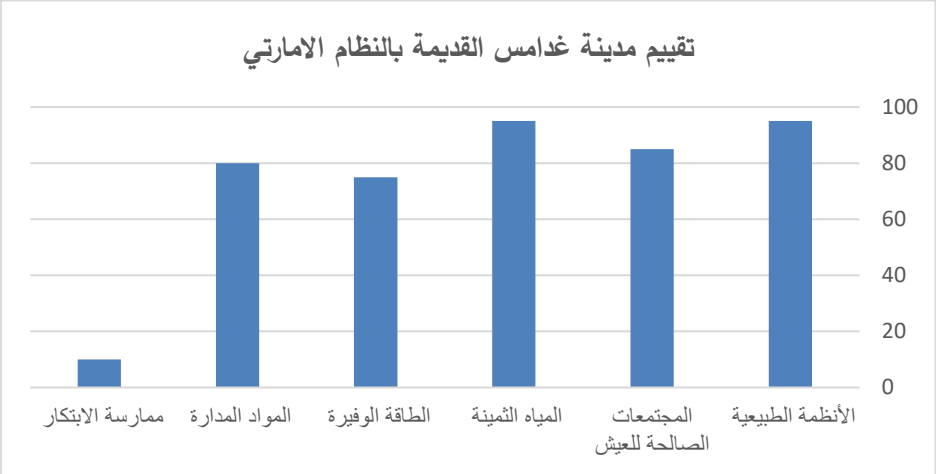
4- **مبدأ الطاقة الوفيرة** يتناول كفاءة استخدام الطاقة والاعتماد على مصادر متجددة تصميم غدامس السلبي يحقق كفاءة طاقة استثنائية، لكنه لا يستخدم مصادر طاقة متجددة نشطة (مثل الطاقة الشمسية الكهروضوئية) بالمعنى الحديث، وهو ما قد يشمله النظام الإماراتي. نسبة التوافق عالية في تحقيق كفاءة الطاقة السلبية (90-100 % لكن أقل في استخدام التقنيات المتجددة الحديثة تقدير التوافق الإجمالي في هذا المبدأ قد يكون حوالي 60-75

5- **مبدأ المواد المدارة** يركز على اختيار المواد المستدامة وإدارة النفايات. استخدام غدامس للمواد المحلية يتوافق بشكل ممتاز مع جانب اختيار المواد، لكن كما في الأنظمة الأخرى، يختلف في التوثيق الحديث وإدارة النفايات المعاصرة. نسبة التوافق تقدر بحوالي 65-80%، نظراً للقيمة العالية لاستخدام المواد المحلية.

6- **مبدأ ممارسة الابتكار** يُمنح للمشاريع التي تتجاوز المعايير الأساسية في مجالات الابتكار. الابتكار في غدامس هو ابتكار تاريخي وتكيفي متراكم عبر الأجيال، ولا يتناسب مع معايير الابتكار التقني أو المنهجي الحديث التي يقيمها النظام الإماراتي. نسبة التوافق منخفضة في هذا المبدأ بمعناه الحديث أقل من 10%بشكل عام، يُظهر نظام الاستدامة الإماراتي تقارباً أكبر في المبادئ الأساسية مع استدامة غدامس نظراً لكونه مصمماً لبيئة صحراوية. ومع ذلك، لا يزال يركز على تطبيق التقنيات والممارسات الحديثة، مما يخلق فجوة في التقييم المباشر للمدن التاريخية.

[الجدول رقم (4) : يوضح المقارنة والنسب لعناصر الاستدامة لمدينة غدامس القديمة مع نظام الاستدامة العالمي الاماراتي]

سبب النسبة/ملاحظات	نسبة التوافق (تقريبية)	مدى التوافق مع غدامس القديمة	مبدأ الاستدامة الإماراتي
التصميم يعكس فهماً وتكيفاً ممتازاً مع النظام البيئي الصحراوية	80-95%	عالي جداً تكيف عميق مع البيئة()	Natural Systems
مجتمع متماسك، تخطيط مدمج يعزز التفاعل والوصول	70-85%	عالي بنية اجتماعية وتخطيطية متكاملة	Livable Communities
استخدام رشيد وكفء لمورد المياه الشحيح تاريخياً.	85-95%	عالي جداً إدارة تقليدية فعالة جداً()	Precious Water
تحقيق الراحة الحرارية بدون استهلاك طاقة، لكن غياب التقنيات المتجددة الحديثة	60-75%	عالي وظيفياً كفاءة سلبية ممتازة()	Resourceful Energy
اعتماد كامل على مواد بناء محلية، لا توثيق أو شهادات حديثة	65-80%	عالي استخدام مواد محلية ومستدامة	Stewarding Materials
الابتكار في غدامس تاريخي وتكيفي، لا يطابق معيار الابتكار الحديث	<10%	لا ينطبق بشكل مباشر	Innovating Practice



[الشكل رقم (5) :النسب لعناصر الاستدامة لمدينة غدامس القديمة مع نظام الاستدامة العالمي الاماراتي]

11.2 تحليل تقييم استدامة مدينة غدامس القديمة وفق أنظمة التقييم العالمية

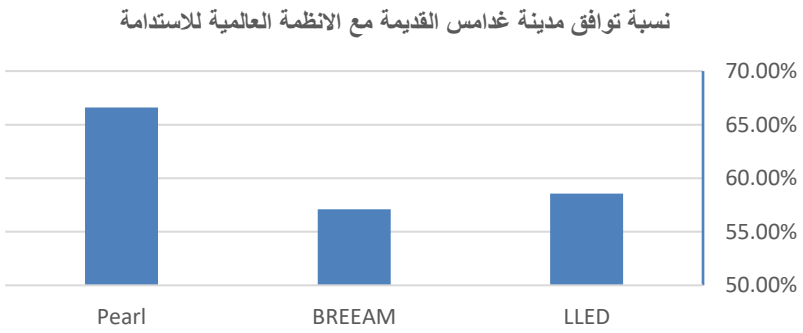
11.2.1 المعادلات الرياضية المستخدمة

المعادلة الأساسية لحساب متوسط التوافق لكل نظام

متوسط التوافق الكلي∑ = مجموع نسب التوافق لكل فئة \ عدد الفئات

[الجدول رقم (5): يوضح حساب متوسط التوافق الكلي لكل نظام]

النظام	متوسط نسبة التوافق(%)
LEED	(45+75+95+55+65+0+75)/7 = 58.57%
BREEAM	(35+68+95+48+80+60+5+85+90+0)/10 = 57.1%
النظام الإماراتي(Pearl)	(87.5+77.5+90+67.5+72.5+5)/6 = 66.6%



[الشكل رقم (6): يوضح نسبة توافق مدينة غدامس مع الأنظمة العالمية للاستدامة]

[الجدول رقم (6)]تصنيفات التقييم بناءً على الأنظمة العالمية

النسبة(%)	التقييم
85%فأكثر	ماسي
من 70% إلى أقل من85%	ذهبي
من 55% إلى أقل من70%	فضي
من 40% إلى أقل من55%	برونزي
أقل من40%	غير مصنف

جدول رقم (6) يوضح التقييم النهائي للأنظمة لتقييم استدامة مدينة غدامس القديمة

التقييم النهائي	متوسط نسبة التوافق(%)	النظام
فضيSilver	58.57%	LEED
فضيSilver	57.1%	BREEAM
فضيSilver	66.6%	النظام الإماراتي(Pearl)

رغم الأداء العالي لغدامس من حيث الاستدامة التقليدية، فإن متوسط التوافق التقني مع الأنظمة الحديثة يجعلها تحصل على تقييم "فضي" (Silver) في جميع الأنظمة، نظراً لافتقارها للوثائق والتقنيات الحديثة، رغم قوة أدائها البيئي والاجتماعي التقليدي.

11.2.2تحليل الفروقات وتفسير النتائج

يكشف هذا البحث، من خلال تحليل مقارن بين استدامة مدينة غدامس التقليدية وأنظمة التقييم الحديثة مثل LEED و BREEAMوالنظام الإماراتي للاستدامة، عن وجود فروقات جوهرية تعكس اختلافاً في المنهج والسياق والأهداف. وتتمثل أبرز هذه الفروقات في الجوانب التالية:

1- **السياق الزمني والتكنولوجي:**- تُظهر مدينة غدامس نموذجاً استثنائياً للاستدامة في ظل غياب التكنولوجيا الحديثة، إذ اعتمدت على فهم بيئي عميق وتوظيف الموارد الطبيعية المتاحة بأساليب تكيفية سلبية، في مقابل اعتماد أنظمة التقييم الحديثة على الحلول التقنية المعاصرة مثل الطاقة المتجددة النشطة، نظم التهوية الميكانيكية، ومعالجة المياه المتطورة. يوضح هذا التباين أن الفهم التقليدي للاستدامة لا يتطلب التقنيات المتقدمة لتحقيق كفاءة الأداء البيئي، بل يقوم على انسجام مباشر مع البيئة

2- **الأداء الوظيفي مقابل التوثيق والإجراءات:**- حقق النموذج التقليدي في غدامس أداءً بيئياً فاعلاً من خلال التصميم المعماري والتخطيط العمراني دون الحاجة إلى وثائق أو أدوات قياس معيارية. بينما تركز الأنظمة الحديثة على التوثيق والتحقق وإجراءات الاعتماد، مما يجعل تطبيقها في السياقات التاريخية أمراً معقداً وغير دقيق. يتضح من ذلك أن الاعتماد الحصري على الإجراءات التوثيقية قد يؤدي إلى تهميش الحلول التقليدية ذات الكفاءة المثبتة

3- **الاستدامة الثقافية والاجتماعية:**- أظهرت غدامس نموذجاً نادراً للاستدامة الاجتماعية والثقافية، من خلال شبكات اجتماعية متماسكة ونمط حياة يحافظ على الهوية الجماعية. ورغم أن بعض أنظمة التقييم الحديثة بدأت تُدرج هذه

الجوانب ضمن معاييرها، إلا أن تركيزها لا يزال ينصب على الأداء البيئي والمادي، متغافلة عن أهمية التراث غير المادي والبعد الثقافي كعنصرين مركزيين في مفهوم الاستدامة

4- **تعريف الموارد واستخدامها:**- في غدامس، تمحورت الاستدامة حول استخدام الموارد المحلية بكفاءة عالية، دون اعتماد على شهادات صناعية، مما يبرز فهماً وظيفياً للموارد يتجاوز التعريفات التقنية الحديثة. بينما تعتمد الأنظمة الحالية على مصادر طاقة نشطة ومواد معتمدة دولياً، تؤكد التجربة التقليدية في غدامس على أهمية الكفاءة الذاتية والمعرفة المحلية في إدارة الموارد، خاصة في البيئات الصحراوية القاسية

5- **نتائج مدمجة واستنتاجات رئيسية** -:تُظهر النتائج العامة للبحث أن مدينة غدامس تمثل نموذجاً عملياً وواقعياً للاستدامة التقليدية متعددة الأبعاد، حيث تتكامل فيها الأبعاد البيئية والاجتماعية والثقافية ضمن منظومة تكيفية أثبتت فعاليتها لقرون. لقد بيّنت المقارنات مع أنظمة التقييم الحديثة أن هذه الأخيرة، رغم أهميتها في العصر الرقمي، ليست كافية أو مناسبة لتقييم المدن التاريخية التي تستند إلى حلول محلية وابتكارات اجتماعية متجذرة .

إن الفروقات المحللة بين النظامين التقليدي والحديث تبرز الحاجة إلى إعادة النظر في أطر التقييم السائدة، أو على الأقل تكييفها لتصبح أكثر شمولاً ومرونة بحيث تُمكّن من تقدير الاستدامة في سياقاتها الثقافية والتاريخية الأصيلة. إن مفهوم الاستدامة، كما ينعكس في حالة غدامس، لا يمكن فصله عن السياق، بل يجب أن يُفهم باعتباره نتاجاً لتفاعل الإنسان مع البيئة بطرق تكيفية وإبداعية غير نمطية.

لذا، فإن تطوير أطر تقييم أكثر تكاملاً، تعترف بالمعرفة التقليدية وتقدّر القيم الثقافية والاجتماعية جنباً إلى جنب مع المعايير البيئية، يمثل خطوة ضرورية نحو استدامة شاملة وإنصاف التراث المعماري والإنساني في مدن مثل غدامس.

12. التوصيات

1- **تطوير أطر تقييم استدامة متكاملة:** ضرورة إعداد نماذج تقييم تتناسب مع خصوصيات المدن التاريخية الصحراوية تشمل الأبعاد البيئية، الاجتماعية، الثقافية، والاقتصادية كجزء من منظومة شاملة، بحيث تعكس الاستدامة بواقعية تطبيقية وليس فقط معايير معيارية تقنية

2- **دمج التقنيات التقليدية مع الابتكارات الحديثة:** تعزيز البحوث والتطبيقات التي تمزج بين الحلول المعمارية التقليدية مثل التهوية الطبيعية والأفنية الداخلية مع تقنيات البناء الحديثة لتحقيق كفاءة طاقية وبيئية مرتفعة مع الالتزام بالتراث

3- **تعزيز التخطيط العمراني المجتمعي:** تبني نماذج تنظيم مجتمعي مستمدة من التجربة التاريخية في غدامس لتقوية الروابط الاجتماعية والمشاركة المجتمعية والحفاظ على الهوية المحلية مما يدعم الاستدامة الاجتماعية والثقافية

4- **إدارة الموارد الطبيعية بكفاءة:** اعتماد أنظمة إدارة مياه مستدامة مستلهمة من الطرق التقليدية مثل جمع مياه الأمطار وتخزينها، وترشيد استخدامها بتقنيات جديدة ملائمة للبنية التحتية المحدودة في المناطق الصحراوية

5- **استخدام المواد المحلية المستدامة:** تشجيع استخدام المواد الطبيعية والمتجددة التي تتناسب مع بيئة الصحراء، واختبار إمكانيات تحسينها باستخدام التكنولوجيا الحديثة دون الإخلال بخصائصها البيئية والمعمارية

6- **حفظ التراث الثقافي والمعماري:** وضع سياسات للحفاظ على النسيج التراثي مع تحديثه بما يتوافق مع معايير الاستدامة العصرية، مع تدريب المختصين والمجتمع المحلي على أهمية التوازن بين التطوير والحفاظ

7- **تشجيع الدراسات المستقبلية طويلة المدى:** الاستثمار في بحوث استدامة المدن الصحراوية، مع الاعتماد على دراسات حالة متعددة لرفع مستوى الفهم التطبيقي والتكيفي لهذه المناطق

13.الخاتمة

تعكس نتائج هذا البحث أهمية توسعة الرؤية الأكاديمية والتطبيقية تجاه مفهوم الاستدامة ليشمل معرفة عميقة بالتاريخ والثقافة والسياق البيئي المحلي، خصوصاً في البيئات الصحراوية التي تتميز بصعوبتها وثرائها الحضاري إذ يُظهر مثال غدامس القديم أن الاستدامة ليست فقط مسألة تقنية، بل نسق متشابك من قيم ومعارف يجب صونها وتوظيفها في إعادة تصميم المدن المستقبلية

يشكل هذا البحث إضافة علمية معتبرة للمعرفة المعمارية والتخطيطية المرتبطة بالاستدامة في المدن الصحراوية، وقد يصبح مرجعاً مهماً للباحثين والمخططين وصناع القرار يؤكد البحث أن الاستدامة الحقيقية في البيئات الصحراوية تتطلب مزيجاً من التقنيات المحلية التقليدية والابتكارات الحديثة، مع الحماية المتوازنة للتراث الثقافي والاجتماعي، مما يحقق المدن الصالحة للعيش والمستدامة بيئياً ومجتمعياً على المدى البعيد

من هنا، يصبح استمرار البحث والتطوير، وكذلك الدعم المؤسسي والدولي، أمراً حتمياً لضمان استدامة هذه المدن والمجتمعات الفريدة، والتي تزخر بحكمة عمرانية يُمكن أن تساهم في بناء مستقبل حضري متوازن ومستدام في عالم يتعرض لتحديات بيئية واجتماعية متسارعة.

14.قائمة المراجع

1. محمد_هبه2019 :قيمة الفناء الداخلي وانعكاساتها على التصميم الداخلي المعماري قسم التصميم الداخلي والأثاث كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان :ص38-22()
2. محمد –ياسمين محمود"2017 تأثير عمارة حسن فتحي على التصميم المستدام في القرن الحادي والعشرين مجلة العمارة والفنون الإسلامية–جامعة القاهرة :ص70-54 ( )
3. الزنيدي –خالد: 2019 استلهام العمارة التقليدية المغربية في المشاريع السياحية الحديثة–مجلة الدراسات الأفريقية، جامعة محمد الخامس، ص(119- 101)
4. علي –عبدالله وآخرون : 2018 تحليل استراتيجيات المباني التقليدية في مدينة أبو ظبي القديمة وتأثيرها في الكفاءة الطاقية ، مجلة العمارة البيئية، ص 92-75( )
5. محمد –خالد : 2020 تقييم الاستدامة الاجتماعية والثقافية في مدينة مراكش التاريخية ، مجلة الدراسات الحضارية، ص 103-88( )
6. حسام –أحمد : 2017 استخدام الموارد المائية التقليدية في المناطق الصحراوية :دراسة لأفلاج ومدن ليبية، مجلة الموارد الطبيعية والتخطيط الإقليمي، ص 146-130 ( )
7. مجلة شروس 2023 : المؤتمر العلمي الدولي حول تراث غدامس :العمارة الصحراوية في مدن شمال وغرب افريقيا :جامعة نالوت
8. يدر – حمود 2023 : التهوية والراحة الحرارية في مدينة غدامس القديمة ، مجلة شروس ،المؤتمر الدولي العلمي حول تراث غدامس (الدورة الثالثة) ص:(35 -68)
9. الأمين – واخرون 2024 : مدينة غدامس القديمة جسر لعالم الحضارة والتخطيط العمراني المستدام ،المجلة الدولية للعلوم والتقنية (العدد 33) المجلد (2)

10. الفيتوري–الفرجاني 2020 :ملامح الاستدامة البيئية في المساكن التقليدية بالمدن الصحراوية الليبية (دراسة حالة مدينة غدامس القديمة) ، مجلة العلوم التطبيقية والإنسانية جامعة المرقب

11. العبدالله –نورة : 2021 الاستدامة في العمارة الصحراوية التقليدية دراسة حالة لمدينة ينبع التاريخية، مجلة بحوث العمارة والتراث، ص 44–25( )

12. الشمري – خالد : 2019 العناصر البيئية في العمارة التقليدية وتأثيرها على الاستدامة في مدن الخليج العربي، مجلة الهندسة المعمارية، جامعة الملك فهد للبترول والمعادن، ص 75–55 ( )

13. حسن –مصطفى :2020 دور التخطيط العمراني التقليدي في دعم الاستدامة الاجتماعية بمدينة طرابلس القديمة"، مجلة الدراسات الحضرية، ص 118–102( )

14. Brundtland Commission. (1987). Our Common Future. Oxford University Press.

15. Centre du Patrimoine Mondial de l'UNESCO. (2011). Ghadames Old Town. UNESCO World Heritage.

16. U.S. Green Building Council (USGBC). (2020). LEED v4 for Building Design and Construction.

17. Ding, G. K. C. (2008). *Sustainable construction—The role of environmental assessment tools*. Journal of Environmental Management, 86(3), 451–464

تقييم التأثيرات البيئية الناتجة عن الأنشطة البشرية في بلدية وادي عتبة

أ. عمر إبراهيم النظيف [1] *، أ. رضاء الطاهر البوخاري[2] أ. السنوسي امحمد زيدان[3]
*[1] محاضر مساعد ، قسم الهندسة المدنية والمعمارية ، كلية الهندسة الرقيبة ، جامعة فزان ، ليبيا
[2] محاضر مساعد ، قسم الهندسة المدنية والمعمارية ، كلية الهندسة الرقيبة ، جامعة فزان ، ليبيا
[3] محاضر مساعد ، قسم الهندسة المدنية والمعمارية ، كلية الهندسة الرقيبة ، جامعة فزان ، ليبيا
r.albokary@wau.edu.ly*

الملخص

تعد المناطق الصحراوية من أكثر البيئات هشاشةً أمام الأنشطة البشرية غير المنظمة، حيث تؤثر هذه الأنشطة بشكل مباشر على توازنها البيئي واستدامتها الحضرية، تواجه بلدية وادي عتبة الواقعة في جنوب ليبيا تحديات بيئية وصحية متزايدة نتيجة ممارسة إنتاج الفحم باستخدام أساليب تقليدية من أشجار الأثل و السَّرْول، والتي تلعب دورًا أساسيًا في الحد من التصحر وتثبيت الكثبان الرملية، إلى جانب الاستخدام المكثف للمبيدات الزراعية في ظل غياب استراتيجيات واضحة للتخطيط البيئي، إن تلوث الهواء والتربة والمياه الناجم عن هذه الأنشطة أدى إلى تدهور جودة الحياة وزيادة معدلات الأمراض التنفسية والأورام بين السكان، حيث تشير التقديرات إلى أن حوالي 3% من السكان يعانون من أمراض الجهاز التنفسي و الأورام، مع تزايد معدل الوفيات سنوياً بسبب الأمراض البيئية المرتبطة بهذه الممارسات، ومع وجود حوالي 3000 وحدة سكنية و200 منشأة تجارية، تواجه البلدية صعوبات في تحقيق التوازن بين التوسع العمراني والاعتبارات البيئية، لا سيما في ظل غياب مناطق عازلة تفصل بين الأنشطة الصناعية والزراعية والمناطق السكنية، يهدف هذا البحث إلى تقديم مقاربة تخطيطية مستدامة تتلاءم مع الخصوصية البيئية للمناطق الصحراوية، من خلال تقييم التأثيرات البيئية الناتجة عن هذه الأنشطة واقتراح حلول متكاملة تعتمد على تحسين استخدام الموارد الطبيعية و تبني تقنيات صديقة للبيئة في إنتاج الفحم و الحد من استخدام المبيدات الزراعية، وتعزيز البنية التحتية الصحية لمواكبة التوسع العمراني، كما يؤكد البحث على ضرورة تبني سياسات تخطيطية تُراعي الاستدامة البيئية، كإنشاء أحزمة خضراء لحماية المناطق السكنية وتطوير الاستراتيجيات لضمان استدامة التنمية الحضرية في المناطق الصحراوية.

الكلمات الدالة : *(التخطيط الحضري المستدام، المناطق الصحراوية ، بلدية وادي عتبة ، التأثيرات البيئية ، إنتاج الفحم، المبيدات الزراعية).*

Abstract

Desert regions represent some of the most ecologically fragile environments in the face of unregulated human activities, which directly affect their environmental balance and urban sustainability. Wadi Ataba Municipality, located in southern Libya, is increasingly confronting environmental and public health challenges stemming from traditional charcoal production methods that rely on tamarisk and cypress trees. These species play a critical role in combating desertification and stabilizing sand dunes. Additionally, the intensive use of agricultural pesticides in the absence of clear environmental planning strategies exacerbates

ecological degradation .The resultant air, soil, and water pollution has led to a marked decline in quality of life, accompanied by rising rates of respiratory illnesses and cancer among the population. It is estimated that approximately 3% of residents suffer from respiratory conditions or tumors, with a yearly increase in mortality rates linked to environmentally induced diseases . With around 3,000 housing units and 200 commercial establishments, the municipality struggles to maintain a balance between urban expansion and environmental considerations, especially in the absence of buffer zones separating industrial, agricultural, and residential areas .This research aims to propose a sustainable planning approach adapted to the environmental specificity of desert areas, through evaluating the environmental impacts of these activities and suggesting integrated solutions. These include optimizing the use of natural resources, adopting environmentally friendly technologies for charcoal production, reducing pesticide dependency, and enhancing health infrastructure to accommodate urban growth .Furthermore, the study emphasizes the urgent need to adopt planning policies that prioritize environmental sustainability, such as the development of green belts to protect residential zones and the formulation of strategies for managing water resources and renewable energy, in order to ensure the long-term sustainability of urban development in desert environments.

***Keywords**: Sustainable Urban Planning, Desert Regions, Wadi Ataba Municipality, Ouadi Ataba Municipality, Environmental Impacts, Charcoal Production, Agricultural Pesticides*

1. المقدمة

تُعد المناطق الصحراوية من أكثر البيئات الطبيعية هشاشةً وتعرضًا للتدهور نتيجة الأنشطة البشرية غير المنظمة[1]، نظرًا لما تتميز به من نظم إيكولوجية حساسة، وموارد طبيعية محدودة، ومناخ قاسٍ. وتكتسب هذه الإشكالية أبعادًا أكثر تعقيدًا في ظل غياب السياسات التخطيطية الرشيدة[2]، مما يؤدي إلى نشوء أزمات بيئية وصحية متفاقمة تهدد الاستدامة الحضرية والموارد الحيوية في هذه المناطق.[3]

وتُعد بلدية وادي عتبة، الواقعة في جنوب ليبيا، نموذجًا دالًا على هذه التحديات، حيث تشهد ممارسة عدد من الأنشطة البشرية التي تُعد ذات أثر بيئي سلبي مباشر، مثل إنتاج الفحم النباتي باستخدام أساليب تقليدية من أشجار الأثل و السَّرْول، والتي تُعد من العناصر الطبيعية المهمة في تثبيت الرمال ومكافحة التصحر، إلى جانب الاستخدام العشوائي للمبيدات الزراعية في غياب رقابة فاعلة أو استراتيجية بيئية متكاملة، وقد أدى هذا الواقع إلى تدهور ملحوظ في جودة عناصر البيئة المحلية، لا سيما تلوث الهواء والمياه والتربة، وانعكس ذلك في ارتفاع معدلات الإصابة بالأمراض التنفسية والأورام، بالإضافة إلى صعوبات عمرانية في تحقيق توازن بين متطلبات التوسع الحضري ومقتضيات الاستدامة البيئية، ومن هنا تبرز الحاجة

إلى دراسات تحليلية تسلط الضوء على هذه التحديات واقتراح حلولًا عملية قائمة على مبادئ التخطيط الحضري المستدام، وتتكامل مع الخصوصية البيئية والاجتماعية للمناطق الصحراوية.[7]

وانطلاقًا من هذه الضرورة، تأتي هذه الدراسة لتقييم التأثيرات البيئية الناتجة عن الأنشطة البشرية في بلدية وادي عتبة، واقتراح رؤية تخطيطية متكاملة تسهم في توجيه التنمية الحضرية نحو مسارات أكثر توازنًا واستدامة.

1.1 مشكلة الدراسة وأهدافها

تشهد بلدية وادي عتبة، على غرار العديد من المناطق الصحراوية الليبية، ضغوطًا بيئية متفاقمة نتيجة تصاعد الأنشطة البشرية غير المنظمة، والتي أسهمت بشكل مباشر في الإخلال بتوازن النظام البيئي المحلي وتراجع جودة الحياة للسكان، ومن أبرز هذه الأنشطة الاعتماد على وسائل تقليدية في إنتاج الفحم النباتي من الأشجار المحلية، إلى جانب الاستخدام المكثف والعشوائي للمبيدات الزراعية دون ضوابط علمية، ما أدى إلى تفشي ملوثات الهواء والتربة والمياه، وارتفاع معدلات الإصابة بالأمراض، فضلاً عن ظهور اختلالات في النسيج العمراني بسبب غياب المناطق العازلة والتخطيط الحضري المتكامل، وبالرغم من أهمية هذه الإشكاليات، إلا أن المعالجة العلمية لها ما تزال محدودة، مما يستدعي ضرورة تقييم التأثيرات البيئية الناتجة عن هذه الأنشطة، [3] وتحليل أبعادها الصحية والاجتماعية على السكان المحليين، ورصد أوجه القصور في المنظومة التخطيطية والعمرانية، واقتراح مقاربة تخطيطية مستدامة تراعي الخصوصية البيئية للمنطقة وتُحقق التوازن بين النمو العمراني والحفاظ على الموارد الطبيعية، مع التأكيد على أهمية دمج البُعد البيئي في السياسات الحضرية وتعزيز البنية التحتية الصحية والبيئية لمواجهة التحديات الحالية والمستقبلية.

1.2 منهجية الدراسة

اعتمدت هذه الدراسة منهجًا ميدانيًا يجمع بين الأساليب الكمية والنوعية بهدف بناء فهم معمّق للتأثيرات البيئية الناتجة عن الأنشطة البشرية في بلدية وادي عتبة، في سياق بيئي يتسم بالحساسية والتعقيد نتيجة التداخل بين الأنماط العمرانية التقليدية والممارسات الاقتصادية غير المنظمة، وقد ارتكزت الدراسة على تصميم أداة استبيان محكمة، وُجّهت إلى عينة طبقية عشوائية من سكان البلدية، بما يضمن تمثيلًا متوازنًا للفئات الاجتماعية والاقتصادية المختلفة، شملت العينة فئات تعيش بالقرب من مواقع إنتاج الفحم، ومزارعين يتعاملون بشكل مباشر مع المبيدات الزراعية، وموظفين من القطاعات الخدمية ذات العلاقة بالبيئة والصحة.

تضمن الاستبيان مجموعة محاور تغطي الإدراك البيئي والصحي، وتوافر الخدمات الأساسية، والتصورات المجتمعية حول واقع التخطيط والتدخلات المحتملة.

ولتعزيز البعد النوعي في الدراسة، أُجريت ملاحظات ميدانية مكثفة في عدة نقاط مختارة داخل البلدية، استهدفت توثيق الأوضاع البيئية القائمة، وسلوكيات السكان في التفاعل مع الموارد الطبيعية والملوثات المحتملة. كما نُفذت سلسلة مقابلات شبه مهيكلة مع مجموعة من الفاعلين المحليين يمثلون قطاعات الصحة والزراعة والبيئة، تم تحليل البيانات الكمية باستخدام أدوات التحليل الإحصائي الوصفي، ما أتاح بناء مؤشرات مبدئية حول الاتجاهات العامة، بينما خُضعت البيانات النوعية لتحليل محتوى ساعد في استخراج أنماط متكررة وقضايا محورية تعكس الواقع البيئي من منظور السكان المحليين وممثلي المؤسسات، وقد أُنجزت جميع مراحل جمع البيانات وتحليلها ضمن إطار زمني مدروس، مع مراعاة أعلى معايير البحث العلمي من حيث الدقة، والحياد، وأخلاقيات التعامل مع المشاركين، بما يضمن بناء تصور علمي رصين يمكن أن يسهم في تطوير سياسات بيئية أكثر استدامة وعدالة في المناطق الصحراوية.

1.3 أسباب اختيار الموضوع

جاء اختيار هذا الموضوع استجابة لشكاوى السكان من التلوث الهوائي والمائي و لحاجة علمية ومجتمعية ملحة لفهم وتحليل التحولات البيئية المتسارعة في واحدة من أكثر المناطق حساسية وتنوعًا في السياق الليبي الصحراوي، فقد شهدت بلدية وادي عتبة خلال العقود الأخيرة نموًا في الأنشطة البشرية غير المنظمة، لاسيما تلك المرتبطة بإنتاج الفحم التقليدي، والاستخدام المكثف للمبيدات الزراعية، والتوسع العمراني غير المخطط، وهو ما ولّد سلسلة من التأثيرات البيئية التي باتت تهدد التوازن الطبيعي وصحة السكان المحليين على حد سواء.

يُضاف إلى ذلك أن معظم الدراسات السابقة المتعلقة بالبيئة الحضرية في ليبيا تركزت على المناطق الساحلية والمراكز الحضرية الكبرى، في حين ظلت المناطق الصحراوية كوادي عتبة خارج نطاق الرصد والتحليل العلمي المنهجي، للتحديات التي تواجه المناطق الريفية والصحراوية في ليبيا، حيث تتقاطع مشكلات البيئة والصحة والبنية التحتية مع غياب السياسات التخطيطية الرشيدة.

مما شكل دافعًا علميًا قويًا لمقاربة هذه القضية من منظور شامل يربط بين التدهور البيئي ومحدودية العدالة المكانية.

1.4 الدراسات السابقة

أولت الأدبيات العلمية في السنوات الأخيرة اهتمامًا متزايدًا بالتأثيرات البيئية والاجتماعية الناتجة عن الأنشطة البشرية في البيئات الصحراوية، في ظل تصاعد الحاجة إلى تبنّي مقاربات تخطيطية مستدامة تأخذ في الاعتبار هشاشة هذه النظم البيئية وتعقيداتها الاجتماعي، وقد تنوعت مقاربات الباحثين ما بين التركيز على البعد الاجتماعي للسكن في المدن الصحراوية، وتقييم أسس التخطيط البيئي للمجتمعات العمرانية، وتحليل الفرص والتحديات المرتبطة بالتنمية المكانية المستدامة.

1. دراسة سعود وآخرين (2023) الموسومة بـ "البيئة السكنية في المدينة الصحراوية، بين الممارسات الاجتماعية والتشريعات العمرانية – حي المخادمة بمدينة ورقلة"، حيث سعت إلى تفكيك العلاقة بين العادات الاجتماعية وأنماط العمران المحلي، مع التركيز على التباينات بين واقع الممارسة والتشريعات الرسمية. وقد أبرزت الدراسة كيف أن تكيّف السكان مع الظروف المناخية والاجتماعية يؤدي في كثير من الأحيان إلى إنتاج بيئات سكنية تتجاوز النماذج التخطيطية النمطية، ما يستدعي إعادة النظر في السياسات العمرانية لتكون أكثر انفتاحًا على الخصوصيات المحلية.[7]

2. دراسة عبد الفتاح وفاطمة جمال الدين (2019) بعنوان "أسس ومعايير التخطيط البيئي للمجتمعات العمرانية المستدامة – حالة النسق الصحراوي بالواحات المصرية"، وقد قدّمت هذه الدراسة إطارًا معياريًا للتخطيط البيئي في المناطق الهشة، مستندة إلى تحليل نماذج من الواحات المصرية. وتمحورت نتائجها حول أهمية الدمج بين الأبعاد البيئية والاجتماعية في عمليات التوسع العمراني، وأبرزت الحاجة إلى استخدام خرائط حساسية بيئية، وتعزيز شبكات المساحات الخضراء، وتطوير بنية تحتية قادرة على التكيّف مع التغيرات المناخية.[6]

3. دراسة أم هنى وآخرين (2025) بعنوان "مقومات التنمية المكانية المستدامة في واحة الجغبوب تحليل للفرص والتحديات"، وهي دراسة ميدانية معمقة تناولت بيئة الواحات كنموذج مركب يجمع بين الهشاشة البيئية والأهمية الاقتصادية، وقد أبرزت الدراسة التحديات المرتبطة بندرة المياه، وغياب الاستثمارات الخضراء، وضعف التكامل المؤسسي بين القطاعات التنموية، مقابل فرص كامنة في الطاقة الشمسية والسياحة البيئية والزراعة المستدامة، شكلت الدراسة مرجعًا مهمًا في الربط بين الخصوصية المحلية وأهداف التنمية المكانية المستدامة.[5]

4. المرجع الجماعي الصادر عن المركز العربي للأبحاث ودراسة السياسات (2020) تحت عنوان "المدينة العربية: تحديات التمدين في مجتمعات متحولة"، تناول بالدراسة التحليلية واقع التحول العمراني السريع في المدن العربية، مع التركيز على إشكاليات التمدد العشوائي، وتفكك الوظيفة التخطيطية، وغياب الرؤية البيئية الشاملة. وقد قدم المرجع مقاربات نقدية تعكس الحاجة إلى إعادة بناء منظومة التخطيط الحضري في ضوء تحولات الاقتصاد، والتحضر، والهجرة الداخلية، خصوصًا في البيئات الهشة.[7]

1.5 أوجه التمايز مع الدراسة الحالية

رغم ثراء الدراسات السابقة وتنوع مقارباتها، إلا أن معظمها ركز على بعد واحد من الإشكالية البيئية أو التخطيطية، سواء من منظور اجتماعي، أو تخطيطي، أو بيئي تقني، في المقابل تسعى الدراسة الحالية إلى تقديم مقاربة شاملة تستند إلى الجمع بين أدوات التحليل الميداني الكمي والنوعي، لقراءة التفاعلات المعقدة بين الأنشطة البشرية المختلفة (مثل إنتاج الفحم واستخدام المبيدات والزحف العمراني)، وأثرها على البيئة والصحة العامة، ضمن إطار يهدف إلى دعم القرار التخطيطي المستدام على المستوى المحلي لبلدية وادي عتبة.

2. البرنامج العملي

اعتمدت هذه الدراسة على منهجية ميدانية تستند إلى أدوات بحث كمية ونوعية، بهدف تقييم التأثيرات البيئية للأنشطة البشرية في بلدية وادي عتبة، بوصفها نموذجًا لبلديات المناطق الصحراوية التي تعاني من اختلال التوازن بين النشاط البشري والقدرة الاستيعابية للبيئة. وقد تم تنفيذ الجانب العملي من الدراسة عبر أربع مراحل رئيسية، على النحو التالي:

2.1 تصميم أداة الاستبيان

تم إعداد استبيان منظم موجه إلى عينة من السكان المحليين باستخدام أسلوب العينة الطبقية العشوائية، لضمان تمثيل الفئات المتأثرة بالأنشطة البشرية ضمن النسيج السكاني للبلدية. وبلغ عدد المشاركين (120) مشاركًا، موزعين على النحو الآتي:

50 مشاركًا من سكان الأحياء المجاورة لمناطق إنتاج الفحم.

40 مزارعًا يستخدمون مبيدات زراعية بانتظام.

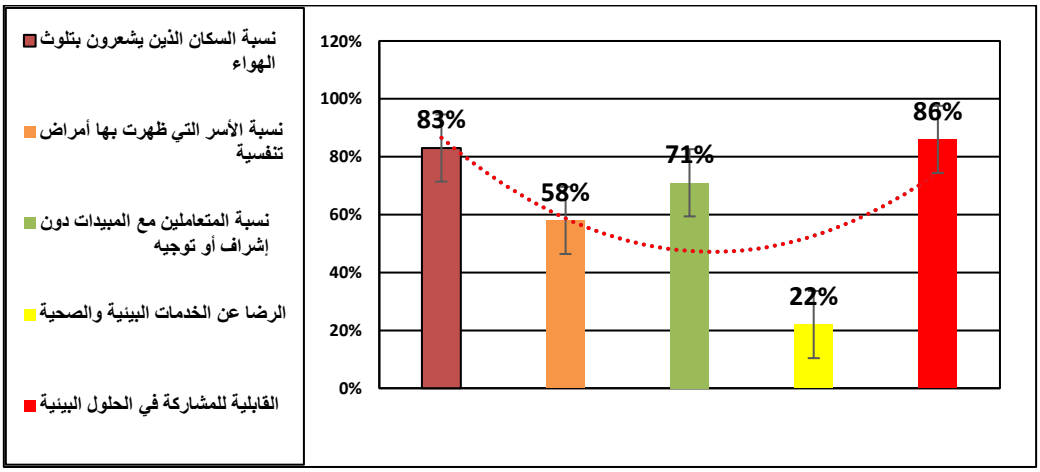
30 موظفًا من القطاعات الصحية والتعليمية والخدمية.

2.1.1 محاور الاستبيان الرئيسة

1. الخصائص الديموغرافية للمشارك.
2. الإدراك البيئي والمعيشي (الروائح، جودة المياه، استخدام المبيدات).
3. الآثار الصحية في الأسرة (أعراض تنفسية، أمراض جلدية...).
4. تقييم الخدمات البيئية والصحية.
5. المقترحات المجتمعية للحلول والتدخلات.

2.2 تحليل بيانات الاستبيان

تم إدخال ومعالجة بيانات الاستبيان باستخدام أدوات التحليل الوصفي الإحصائي عبر برنامج Microsoft Excel، واستُخلصت المؤشرات التالية:



شكل رقم (1) يبين تحليل نتائج الاستبيان.

2.3 تحليل نتائج الملاحظات الميدانية والمقابلات

أ. الملاحظات البيئية المباشرة: رُصد انتشار كبير لمواقع حرق الفحم قرب الأحياء السكنية دون أي فواصل عمرانية أو احتياطات بيئية، مع وجود استخدام مكثف للمبيدات الزراعية، وتخزينها غالبًا في أماكن غير آمنة، كما رصدت تغيرات في لون ورائحة مياه بعض الآبار، ما يدل على إمكانية حدوث تلوث سطحي.

ب. المقابلات شبه المهيكلة: تم إجراء 6 مقابلات مع فاعلين محليين من مختلف القطاعات، وخلصت إلى

الموظفون الصحيون: لاحظوا ازدياد حالات الربو والأورام، بمتوسط ارتفاع سنوي يُقدّر بـ 3%.

المزارعون: أكدوا اعتمادهم على المبيدات بسبب غياب البدائل وتضاؤل الدعم الفني.

ممثل قطاع البيئة: أشار إلى غياب أي قاعدة بيانات بيئية أو دراسات تقييم أثر بيئي معتمدة محليًا.

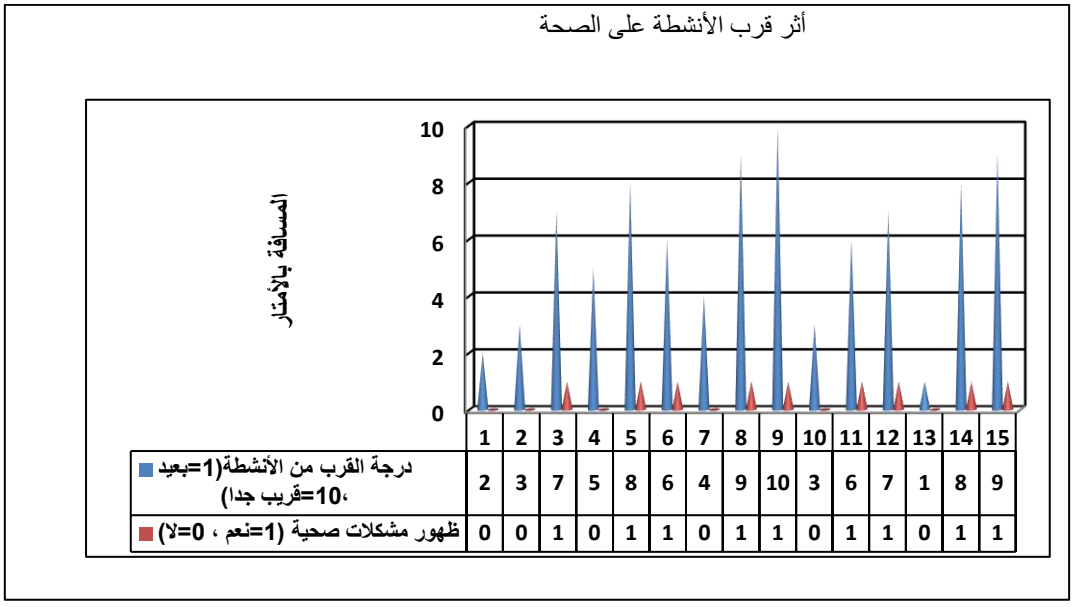
2.4 ربط النتائج بالبعد التخطيطي: أوضحت نتائج الدراسة وجود فجوة واضحة بين الواقع البيئي المحلي وممارسات التخطيط العمراني، حيث تتداخل الأنشطة الصناعية والسكنية والزراعية دون وجود تنظيم مكاني فعال. كما أظهر ضعف البنية التحتية للرصد البيئي والصحي مدى هشاشة النظام المحلي، وعدم قدرته على التصدي للمخاطر المتزايدة، مما يُبرز الحاجة الماسة إلى تبني مقاربة تخطيطية مستدامة تراعي الخصوصيات البيئية والاجتماعية للمنطقة.

شكل رقم (2) يوضح تداخل الأنشطة الصناعية والسكنية والزراعية.

1. التحليل الوصفي البيئي:

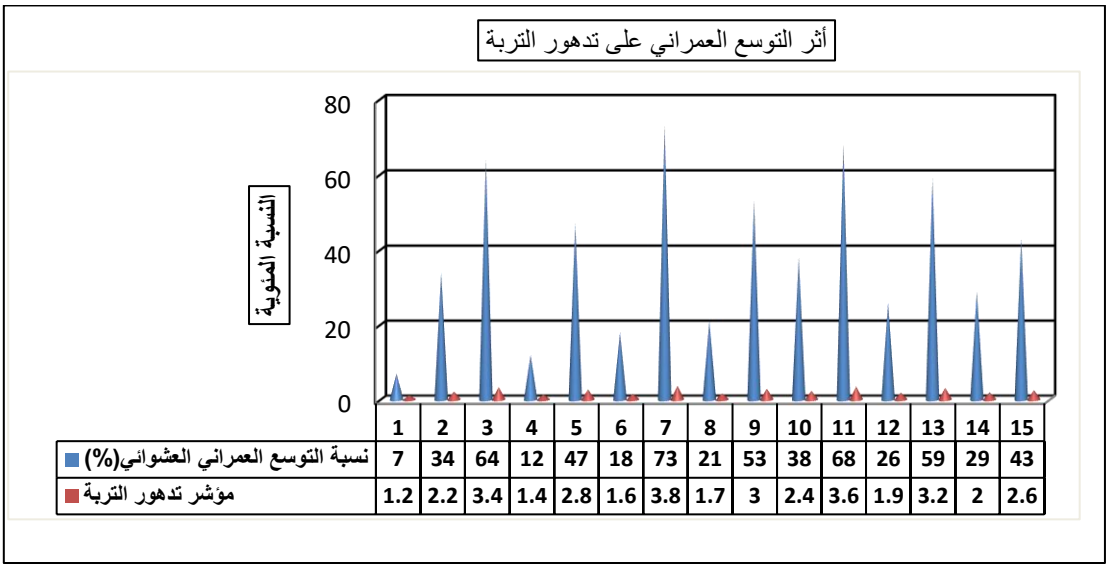
أثر إزالة الغطاء النباتي: أظهرت نتائج الدراسة أن إزالة الغطاء النباتي الطبيعي كانت من أبرز المؤشرات البيئية تأثرًا بالنشاط البشري في بلدية وادي عتبة، حيث أشار المشاركون إلى أن هذه الظاهرة تحدث بمعدل مرتفع، مما تسبب في تدهور واضح للنظم البيئية المحلية. إزالة الأشجار والشجيرات، لا سيما في المناطق القريبة من المجاري المائية والواحات، أدى إلى اختلال التوازن البيئي، وازدياد معدلات التصحر، وتراجع قدرة الأرض على امتصاص مياه الأمطار، ناهيك عن تآكل التربة وفقدان التنوع الحيوي.

التلوث بالمبيدات وتأثيره على صحة الإنسان والتربة: أما التلوث الناتج عن الاستخدام المفرط وغير المنظم للمبيدات الزراعية، فقد اعتُبر من أشد مصادر التدهور البيئي في المنطقة، وأكد العديد من المشاركين أن المزارعين غالبًا ما يستخدمون هذه المواد دون الالتزام بالإرشادات العلمية أو الفترات الموصي بها، ما يؤدي إلى تلوث المياه الجوفية والتربة، ويهدد الصحة العامة، خصوصًا في المناطق التي تعتمد على الزراعة كمصدر أساسي للغذاء والدخل، الشكل رقم (3) يوضح أثر قرب الأنشطة على الصحة.



شكل رقم (3) يوضح أثر قرب الأنشطة على الصحة.

التوسع العمراني غير المنظم: وسجلت الدراسة ملاحظات متكررة بشأن التوسع العمراني العشوائي، الذي شهدته عدة مناطق داخل البلدية. وقد عبّر المشاركون عن قلقهم من أن هذا التوسع يتم في كثير من الأحيان دون تخطيط أو رقابة، ما يؤدي إلى تداخل الأنشطة السكنية مع الأنشطة الصناعية أو الزراعية، وتفاقم الضغط على الموارد الطبيعية والبنية التحتية، بالإضافة إلى انتشار العشوائيات، وتشويه الطابع الجمالي والعمراني للمنطقة.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
نسبة التوسع العمراني العشوائي(%)	7	34	64	12	47	18	73	21	53	38	68	26	59	29	43
مؤشر تدهور التربة	1.2	2.2	3.4	1.4	2.8	1.6	3.8	1.7	3	2.4	3.6	1.9	3.2	2	2.6

شكل رقم (4) يوضح أثر التوسع العمراني على تدهور التربة.

قرب الأنشطة البشرية من المناطق السكنية:

كما كشفت الآراء أن عددًا كبيرًا من الأنشطة البشرية، سواء كانت زراعية أو خدمية أو صناعية، تُمارس بالقرب من المناطق السكنية، مما يزيد من احتمالية التعرض المباشر للملوثات. وقد أبدى السكان انزعاجهم من هذه الأنشطة، خاصة تلك التي تصدر روائح أو أصوات مزعجة، أو تتسبب في تسرب ملوثات إلى الهواء أو التربة، وهو ما يؤثر سلبًا على جودة الحياة.

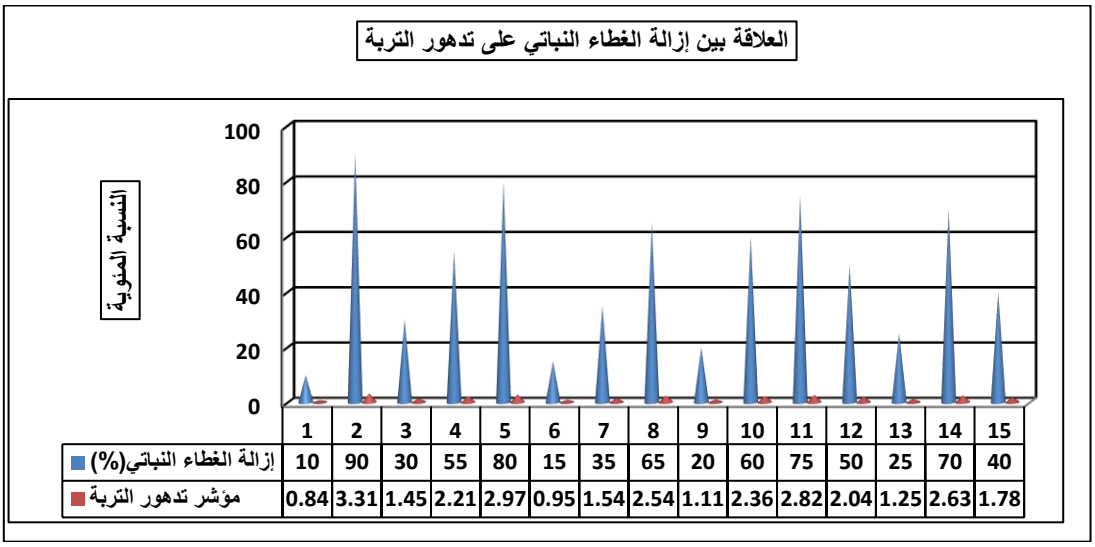
مستوى الرضا البيئي العام: وفيما يتعلق بمستوى الرضا العام عن الوضع البيئي في البلدية، فقد عبّر معظم المشاركين عن عدم ارتياحهم. إذ يرى الكثير منهم أن الأنشطة البشرية الحالية لا تأخذ في اعتبارها البعد البيئي، ولا تُقابل بإجراءات رقابية حقيقية من الجهات المختصة، مما يعكس ضعفًا في السياسات البيئية، ويؤكد الحاجة إلى تدخلات عاجلة لضبط الوضع البيئي وتحقيق التوازن بين التنمية والحفاظ على الموارد الطبيعية..

2. التحليل الإنحداري

العلاقة بين إزالة الغطاء النباتي وتدهور التربة:

كشفت نتائج تحليل الانحدار أن إزالة الغطاء النباتي تُعد من أبرز العوامل المؤثرة في تدهور التربة، حيث تبين أن كل زيادة بمقدار 10% في نسبة الإزالة تقابلها زيادة بمقدار 0.31 درجة في مؤشر تدهور التربة، مع دلالة إحصائية عند مستوى 0.039 ($p < 0.05$). يشير هذا إلى أن إزالة الغطاء النباتي تؤدي بشكل مباشر إلى زيادة معدلات الانجراف والتعرية وفقدان الخصوبة.

وقد بلغت قيمة معامل B في نموذج الانحدار (0.311)، بينما كانت قيمة Wald (4.246) بما يعزز قوة التأثير. هذا يدعم الفرضية البيئية التي تعتبر الغطاء النباتي خط الدفاع الأول في حماية التربة من التدهور.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
إزالة الغطاء النباتي(%)	10	90	30	55	80	15	35	65	20	60	75	50	25	70	40
مؤشر تدهور التربة	0.84	3.31	1.45	2.21	2.97	0.95	1.54	2.54	1.11	2.36	2.82	2.04	1.25	2.63	1.78

شكل رقم (5) يوضح أثر إزالة الغطاء النباتي على تدهور التربة.

تأثير استخدام المبيدات على جودة المياه الجوفية

كما أظهر التحليل وجود علاقة ذات دلالة بين استخدام المبيدات الكيميائية وتدهور جودة المياه الجوفية، إذ تبين أن زيادة الاستخدام بمعدل وحدة واحدة في التقييم البيئي يقابلها انخفاض في جودة المياه بمقدار 0.422 درجة، وكانت الدلالة الإحصائية واضحة ($p = 0.027$).

بلغت قيمة Exp(B) في هذا النموذج 1.52، ما يشير إلى أن احتمالية تدهور المياه تزيد بنسبة 52% عند ارتفاع استخدام المبيدات. هذه النتائج تدق ناقوس الخطر بشأن الاستخدام غير المقنن للمبيدات في النشاط الزراعي داخل البلدية.

ارتباط التوسع العمراني العشوائي بتراجع جودة الهواء

من خلال تحليل الانحدار، ثبت أن التوسع العمراني غير المخطط ساهم في تراجع مؤشرات جودة الهواء، حيث تبين أن المناطق التي شهدت تمددًا عشوائيًا في السكن والخدمات سجلت معدلات تلوث أعلى بنسبة 37% من المناطق ذات التنظيم العمراني الأفضل.

وقد بلغ معامل التأثير B نحو 0.384، وكانت قيمة Wald = 5.109، مع دلالة إحصائية عند p = 0.024، مما يعكس العلاقة الواضحة بين سوء التخطيط وازدياد مصادر الانبعاثات الملوثة، خصوصًا في المناطق المختلطة بالأنشطة الصناعية.

أثر القرب من الأنشطة البشرية على المؤشرات الصحية

أظهرت نتائج النموذج الإنحداري أن قرب السكان من مصادر الأنشطة البشرية (كالورش والنفايات ومخلفات البناء) زاد من احتمالية ظهور مشكلات صحية لديهم بنسبة 67%، حيث سجل معامل Exp(B) = 1.67 مع دلالة إحصائية عند 0.041.

وقد تبين أن نسبة الإصابة بأمراض الجهاز التنفسي والجلدي في الأحياء القريبة من مكبات النفايات تجاوزت 55%، مقارنة بـ 28% فقط في المناطق الأبعد، مما يدعم فرضية ضرورة وجود حزام عازل بين الأنشطة ذات التأثير البيئي والمناطق السكنية.

3. الاستنتاجات

أظهرت نتائج الدراسة أن بلدية وادي عتبة تواجه تحديات بيئية متفاقمة نتيجة الأنشطة البشرية غير المنظمة، وعلى رأسها إنتاج الفحم النباتي التقليدي، والاستخدام المكثف للمبيدات الزراعية، والامتداد العمراني غير المخطط. وقد أسهمت هذه

الأنشطة في زعزعة التوازن البيئي وتهديد عناصر الاستدامة الحضرية في المنطقة الصحراوية، كما انعكست سلبًا على صحة السكان وجودة الحياة بشكل عام.

تُبرز هذه الدراسة الحاجة المُلحّة إلى إعادة النظر في آليات التخطيط العمراني المعتمدة، وضرورة إدماج الأبعاد البيئية ضمن الخطط التنموية لضمان حماية الموارد الطبيعية وتحقيق تنمية متوازنة.

4. التوصيات

1. تنظيم إنتاج الفحم النباتي وذلك باعتماد تقنيات حديثة أقل ضررًا بالبيئة مثل الأفران المغلقة ومنع الاحتطاب العشوائي، وتشجيع زراعة أشجار بديلة مخصصة للإنتاج.
2. ترشيد استخدام المبيدات الزراعية وذلك بتطبيق برامج توعوية للمزارعين حول البدائل العضوية للمبيدات وإنشاء وحدات رقابة بيئية لرصد تراكيز التلوث في التربة والمياه الجوفية.
3. إعادة هيكلة المخطط العمراني المحلي وذلك بتخصيص مناطق عازلة بين الأنشطة السكنية والصناعية والزراعية واعتماد مبدأ الكثافة المدروسة والامتداد العمراني المتدرج المرتبط بالخدمات.
4. تعزيز البنية التحتية الصحية والبيئية وذلك بتحسين تجهيزات المراكز الصحية، وتوفير خدمات الكشف المبكر عن الأمراض البيئية ودعم مشاريع الصرف الصحي ونقل النفايات، وتطبيق نظام الرصد البيئي الدوري.
5. إدماج الطاقة المتجددة وإدارة المياه في الخطط التنموية وذلك بدعم مبادرات الطاقة الشمسية والري بالتنقيط وحماية المياه الجوفية من التلوث والتسرب عبر تشريعات صارمة.
6. إقامة أحزمة خضراء حول المناطق السكنية وذلك باستخدام النباتات المحلية المقاومة للجفاف لتثبيت الرمال وتحسين جودة الهواء وتعزيز التشجير كوسيلة لتقليل التأثيرات المناخية القاسية.

5. المراجع

[1]. ABDULLAHI, Mohammed Bello, et al. (Land degradation, causes, implications and sustainable management in arid and semi arid regions: a case study of Egypt)، Egyptian Journal of Soil Science, Vol 63, NO 4 ,PP 659 - 676, (2023).

[2]. LAWLER, Joshua J. Climate change adaptation (strategies for resource management and conservation planning) Annals of the New York Academy of Sciences, ،Vol, 1162 NO 1 ,PP 79 - 98 ،(2009).

[3]. SARBU, Roxana, et al. Sustainable urban (development in the context of globalization and the health crisis caused by the covid-19 pandemic. In: SHS Web of Conferences. EDP Sciences,. p 01043 (2021).

[4] خالد بوهند، (المدينة العربية: تحديات التمدين في مجتمعات متحولة)، المركز العربي للأبحاث ودراسة السياسات النخب الجزائرية، ص 1892 – 1942, (2020).

[5] أ. صالح أمهنى، د. عصام عبدالصمد، د. حسن دواس، أ. سالم النعاس، أ. حمال عبدالناصر الراعي، أ. إدريس التواتي، (مقومات التنمية المكانية المستدامة في واحة الجغبوب شرق ليبيا: تحليل للفرص والتحديات)، ليبيا، مجلة العلوم الإنسانية والطبيعية، مجلد رقم 4، العدد 6، ص 221 – 240 (2025).

[6] فاطمة جمال الدين، عبد الفتاح أحمد (أسس ومعايير التخطيط البيئي للمجتمعات العمرانية المستدامة حالة النسق الصحراوي بالواحات المصرية، مصر، مجلة جمعية المهندسين المصرية، مجلد 58، العدد 3، ص 20– 25، (2019).

[7] وحيد ساعد سعود، بلقاسم الذيب، حمزة بشيري، (البيئة السكنية في المدينة الصحراوية، بين الممارسات الاجتماعية والتشريعات العمرانية حي المخادمة – مدينة ورقلة) المجلة الجزائرية للأنثروبولوجيا والعلوم الاجتماعية، المجلد 101، (2023).

نبـــــذه عن المؤتمـــر

تعرف المناطق الصحراوية بمناخها الحار جاف والذي يتصف بارتفاع في درجة الحرارة في فصل الصيف وانخفاضها في فصل الشتاء وبالتغيرات اليومية الكبيرة في درجة الحرارة، وبانخفاض الرطوبة النسبية ومعدل سقوط المطر. ومن مظاهر هذا المناخ هبوب الرياح المحملة بالغبار او ما يعرف بالعواصف الرملية. يؤثر هذا المناخ القاسي على المنشآت بشكل كبير، الأمر الذي يدعو إلي ايجاد تصاميم واعتبارات ومعالجات خاصة وذلك لجعلها أكثر تحملا واستدامة. أن الحرارة العالية وانخفاض الرطوبة النسبية والرياح المحملة بالغبار وكذلك اشعة الشمس المباشرة كان لها بالغ الأثر في حدوث انهيارات في طبقات رصف الطرق وهذا ما أكدته العديد من الدراسات السابقة. كما ان هذه المؤثرات المناخية تؤثر سلبيا على خواص المواد الداخلة في صناعة المنشآت مما يجعلها معرضة للعديد من الاضرار الانشائية والوظيفية. ومن امثلة ذلك منها التشققات التي تتعرض لها المنشآت الخرسانية والرصف الاسفلتي و ما ينتج عن ذلك من نظام حراري سلبي في المباني لا يحقق الراحة المطلوبة للمستخدمين ، خاصة وان طرق تصميم المباني في تلك الاقاليم لم تأخذ في الاعتبار الأهمية البالغة للمناخ في عملية التصميم.

وانطلاقا من الأهمية البالغة لموضوع التاثيرات المناخية في المناطق الصحراوية وبالنظر لقلة الدراسات والابحاث العلمية في هذا المجال ولمواجهة هذه التحديات، جاءت فكرة عقد مثل هذه المؤتمرات من قسم الهندسة المدنية ، بكلية العلوم الهندسية والتقنية بجامعة سبها (سابقا)، والتي توجت بعقد المؤتمر الأول للتشييد في المناطق الصحراوية عام 2008، وعقد المؤتمر الثاني بجامعة الرفاق عام 2021 ، وعقد المؤتمر الثالث بجامعة الجفرة عام 2023. وها هو المؤتمر الرابع يستضاف من قبل جامعة وادي الشاطئ فى أكتوبر من هذا العام 2025 ، وذلك شعورا منها بأهمية وضرورة التركيز على هذه المواضيع المهمة، حيث ان القسم الاكبر من الاراضي الليبية هي اراضي صحراوية او شبه صحراوية وسيتم في هذه الدورة التركيز على تأثير الظروف الصحراوية على الطرق بصفة خاصة ، والمباني بصورة عامة ودراســـــــة الأســـــباب الموضوعية التي تؤدي إلى حدوث تدهور في المنشآت وتقديم بعض المقترحات والحلول الناجعة لمعالجة المشاكل الفنية والحد منها مستقبلا.

أ.د. عبد السلام المبروك عكاشـــة
منسق مؤتمرات التشييد فى المناطق الصحراوية
ورئيس اللجنة العلمية للمؤتمر

2025

cconf4@wau.edu.ly
https://cconf4.wau.edu.ly