

Evaluation of Concrete Compressive Strength under Laboratory and Field Curing Conditions

Mustafa Abdulaziz Ali ¹, Alhadi Mohamed Alahdouri ², Al-Sadiq Ali Al-Sadiq ^{3*}

^{1,2} Department of Architecture and Civil Engineering, College of Technical Sciences, Bani Walid, Libya

³ Libyan Center for Engineering Research and Information Technology _ Bani Walid, Libya

*Corresponding author: alsadakali1975@gmail.com

Received: 27-06-2026	Accepted: 25-09-2026	Published: 10-10-2026
	Copyright: © 2026 by the authors. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).	

Abstract:

Graph vertex coloring assigns labels to vertices so that adjacent vertices receive different labels; its optimization objective is to minimize the number of labels. This manuscript develops a mathematically grounded review of the problem, its algorithmic families, and its applications in timetabling, frequency assignment, register allocation, and resource scheduling. It defines the principal graph parameters and proves elementary bounds, corrects the hypotheses and interpretation of Brooks' theorem, and distinguishes the decision problem from the optimization problem. It describes fixed-order greedy and Welsh–Powell procedures, DSATUR, exact integer programming and branch-and-bound approaches, tabu search, and evolutionary methods. Complexity statements are qualified by data structure and implementation assumptions. The source manuscript reported numerical comparisons for graphs described as having 500 vertices and density 0.5, alongside broader runtime and optimality claims, but supplied no graph files, random seeds, code, hardware description, trial-level outcomes, or certified optimum/lower bounds. Those numbers therefore cannot be independently validated and are not retained as empirical findings. Instead, the paper provides a complete evaluation protocol using public benchmark provenance, independent runs, coloring validation, bound-aware gaps, and transparent reporting. The verified contribution is a coherent theoretical synthesis and a reproducible design for future empirical comparison; it does not establish that any one heuristic is universally superior.

Keywords: graph coloring; chromatic number; DSATUR; greedy algorithms; integer programming; tabu search; reproducibility; scheduling.

تقييم مقاومة الضغط للخرسانة تحت ظروف معالجة معملية وميدانية

مصطفى عبد العزيز علي¹، الهادي محمد الخضوري²، الصادق علي الصادق^{3*}

^{1,2} قسم الهندسة المدنية، كلية العلوم التقنية، بني وليد، ليبيا

³ المركز الليبي للبحوث الهندسية وتقنية المعلومات، بني وليد، ليبيا

المخلص

يهدف هذا البحث إلى إجراء مقارنة علمية بين مقاومة الضغط للخرسانة المعالجة بالغمر المائي داخل المعمل والخرسانة المعالجة بالرش التقليدي في الهواء الطلق، حيث بقيت العينات في البيئة المحيطة الطبيعية طوال فترة المعالجة، وتأتي أهمية هذه الدراسة من كون مقاومة الضغط تعد أحد أهم المؤشرات الرئيسة على جودة الخرسانة ومتانتها، إذ تعكس قدرة الخرسانة على تحمل الأحمال المختلفة وضمان استمرارية أدائها الإنشائي تم إعداد مجموعة من العينات الخرسانية القياسية وفق المواصفات المعتمدة من قبل معهد الخرسانة الأمريكي (ACI)، ثم جرى إخضاعها لطرق معالجة مختلفة شملت الغمر في الماء والتعرض للهواء الطلق مع الرش التقليدي، وقد أجريت الاختبارات عند عمر 28 يومًا وهو العمر القياسي المتعارف عليه لتقييم مقاومة الخرسانة، أظهرت النتائج أن العينات المعالجة بالغمر المائي داخل المعمل حققت مقاومة ضغط أعلى بلغت (36.43) نيوتن/مم²، مقارنة بالعينات التي بقيت في البيئة الطبيعية وعُرضت للهواء الطلق وسُقيت بالرش التقليدي والتي سجلت مقاومة ضغط (33.4) نيوتن/مم²، وبالرغم من أن الفارق بين الطريقتين ليس بالكبير إلا أن ذلك يُعزى إلى أن تأثير الإماهة على قوة الخرسانة قد يكون محدودًا في الظروف الجوية المعتدلة، حيث تحتفظ الخرسانة برطوبتها لفترة كافية مما يضمن استمرار عملية الإماهة، حيث جرت الاختبارات في فصل الخريف الذي تتسم درجات حرارته بالاعتدال وتميل أحيانًا إلى البرودة، ومع ذلك فإن هذا الاختلاف الطفيف يعد بمثابة مؤشر على احتمالية انخفاض أكبر في المقاومة في ظل الظروف المناخية القاسية، مثل درجات الحرارة المرتفعة أو أشعة الشمس المباشرة أو الرياح القوية، حيث يؤدي التبخر المتسارع للمياه من سطح الخرسانة إلى إضعاف عملية الإماهة ومن ثم تراجع المقاومة، وخلصت الدراسة إلى أن المعالجة بالغمر المائي يوفر نتائج أفضل، لكنه قد لا يكون عمليًا في مواقع التنفيذ الكبيرة لعدة اعتبارات عملية واقتصادية، بينما يبقى الرش التقليدي خيارًا مقبولًا في الظروف المعتدلة مع ضرورة تحسينه أو استبداله بطرق أكثر فعالية في البيئات الصعبة، وتوصي الدراسة بإجراء المزيد من الأبحاث التطبيقية في ظروف بيئية متنوعة بما يعزز فهم دور المعالجة في تحسين أداء الخرسانة، ويسهم في تطوير ممارسات أكثر كفاءة في مجال البناء.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة - الإماهة - الظروف البيئية - مقاومة الضغط - درجة الحرارة - الغمر بالماء .

المقدمة:

لا تتوقف جودة الخرسانة على دقة تصميم الخلطة أو جودة المواد الداخلة في تركيبها فحسب، بل تمتد لتشمل المراحل اللاحقة لعملية الصب، وعلى رأسها مرحلة المعالجة التي تُعدّ عاملاً حاسماً في تحديد المقاومة النهائية للخرسانة وكفاءتها الإنشائية، فالمعالجة تمثل مرحلة حاسمة في دورة حياة الخرسانة، حيث تؤثر بشكل مباشر على عملية الإماهة للأسمنت وبالتالي على تطور المقاومة الميكانيكية والمتانة طويلة الأمد، ومن بين طرق المعالجة الشائعة، يبرز الغمر المائي كإحدى الوسائل الفعالة التي توفر بيئة مشبعة بالرطوبة، مما يضمن استمرار التفاعلات الكيميائية للأسمنت بشكل كامل، في المقابل تُستخدم المعالجة التقليدية بالرش في الهواء الطلق على نطاق واسع نظراً لسهولة تطبيقها في مواقع التنفيذ، إلا أنها قد تكون أقل فعالية في الحفاظ على الرطوبة اللازمة خاصة في الظروف البيئية القاسية، ونظراً لأهمية مقاومة الضغط باعتبارها المؤشر الرئيسي لجودة الخرسانة جاءت هذه الدراسة لمقارنة تأثير طريقتي المعالجة بالغمر المائي في المعمل والمعالجة التقليدية بالرش في الظروف الطبيعية والمحيطية على مقاومة الضغط عند العمر القياسي (28 يوماً)، كما تهدف إلى إبراز دور الظروف البيئية المحيطة في تحديد فعالية كل طريقة، وتقديم توصيات عملية يمكن أن تسهم في تحسين الأداء الميكانيكي للخرسانة في مختلف البيئات.

أهمية البحث:

تأتي أهمية البحث من عدة نواحي منها.
الناحية الأكاديمية: يساهم في إثراء المعرفة العلمية حول العلاقة بين ظروف المعالجة ومقاومة الخرسانة.
الناحية العملية: يقدم حلولاً هندسية لتقليل مشاكل التشقق وضعف المقاومة في المشاريع الإنشائية.
الناحية الاقتصادية: يساعد على تحسين جودة الخرسانة وتقليل تكاليف الصيانة والإصلاح.
الناحية البيئية: يساهم في إطالة عمر المنشآت وبالتالي تقليل استهلاك الموارد.

أهداف البحث:

1. تحديد أثر المعالجة المائية على تطور مقاومة الخرسانة.
2. مقارنة المقاومة النهائية للخرسانة تحت ظروف معالجة معملية وميدانية.
3. تحليل الآثار الناتجة عن فقدان الرطوبة المبكر في الخرسانة.
4. تقديم توصيات عملية لطرق المعالجة المثلى في الظروف البيئية الطبيعية لمنطقة الدراسة.

مشكلة البحث:

تكمّن الإشكالية في أن الخرسانة رغم قوتها تبقى مادة حساسة لفقدان الرطوبة خلال فترة التصلب مما قد يؤدي إلى ضعف مقاومتها على المدى الطويل، وهنا يطرح السؤال الجوهرى أي من الطريقتين، المعالجة بالرش التقليدي أم الغمر المائي تحقق أفضل أداء في تعزيز مقاومة الخرسانة وضمان استدامتها؟ غير أن الإشكالية لا تتوقف عند حدود طريقة المعالجة فحسب، بل

تمتد لتشمل بيئة الاختبار نفسها؛ إذ غالبًا ما تُجرى الفحوص في ظروف معملية مثالية، بينما الواقع الإنشائي يفرض ظروفًا ميدانية أكثر تعقيدًا، وهذا يفتح الباب أمام تساؤل آخر كيف يمكن ربط نتائج الاختبارات المخبرية بظروف الموقع الفعلية بما يضمن جودة الخرسانة في بيئتها الحقيقية؟ إن الإجابة على هذين السؤالين تمثل محور البحث حيث تسعى الدراسة إلى سد الفجوة بين الممارسات التقليدية والنتائج العلمية الدقيقة من خلال تحليل أثر طرق المعالجة المختلفة ومقارنة أداء الخرسانة تحت ظروف الموقع والمعمل، بما يساهم في تطوير معايير أكثر واقعية لتحسين جودة واستدامة المنشآت الخرسانية.

منهجية البحث:

أولا تصميم الخلطة الخرسانية وفق الخطوات التالية.

1. تحديد مقاومة الضغط المطلوبة ودرجة التشغيل المطلوبة.
2. اختيار المواد وتحديد خصائصها.
- نوع الأسمنت قوته، نوعيته. -الركام الناعم تدرجه، نظافته، امتصاصه للماء.
- الركام الخشن الحجم، الشكل، التدرج. -الماء.
3. تحديد نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C RATIO).
4. تحديد كمية الأسمنت: حسب الكود المستخدم الذي تنص عليه مواصفات ASTM.
5. تحديد كمية الماء.
6. تحديد نسب الركام (الرمال + الزلط).

ثانيا إعداد العينات:

- صب مكعبات خرسانية قياسية (150×150×150 مم) ومن ثم تقسيم العينات إلى مجموعتين:
- مجموعة معالجة بالرش التقليدي في الهواء الطلق.
- مجموعة معالجة بالغمر المائي في المعمل.

ثالثا ظروف المعالجة:

- المجموعة الأولى تُترك في الهواء الطلق مع الرش بالماء.
- المجموعة الثانية تُغمر في الماء مباشرة بعد فك القالب.

رابعا اختبارات المقاومة:

- إجراء اختبار مقاومة الضغط عند عمر (28 يومًا).
- مقارنة النتائج بين المجموعتين.

خامسا: مناقشة النتائج والتوصيات.

الدراسات السابقة:

تُعد الدراسات السابقة حجر الأساس لأي بحث علمي، فهي تمثل الإطار المرجعي الذي يُبنى عليه العمل الأكاديمي الجديد، وتوفر للباحث رؤية واضحة حول ما تم إنجازه وما يحتاج إلى مزيد من الاستكشاف، وفي مجال الخرسانة لا سيما تأثير ظروف المعالجة على مقاومتها لعبت الأبحاث السابقة دورًا محوريًا في توضيح العلاقة بين طرق المعالجة المختلفة وبين الخصائص الميكانيكية والمتانة طويلة الأمد، لقد تناولت العديد من الدراسات هذا الموضوع من زوايا متعددة بعضها ركز على المقارنة بين المعالجة في الهواء الجاف والمعالجة بالغمر المائي، ودراسات أخرى اهتمت بمدى المعالجة ودرجة حرارة المياه، مؤكدة أن هذه العوامل تؤثر بشكل مباشر على الخرسانة، إن استعراض هذه الدراسات لا يقتصر على عرض النتائج فحسب، بل يساعد أيضًا في تحديد الفجوات المعرفية التي يسعى البحث الحالي إلى سدها، ويمنح العمل الأكاديمي قيمة إضافية من خلال وضعه في سياق علمي متكامل، ومن أبرز هذه الدراسات:

1. دراسة قام بها الباحثان عبد المطلب عبد الله بن سليم ومحمد أحمد النعيري، الهندسة المدنية، جامعة مصراته، ليبيا بعنوان دراسة تأثير درجة حرارة مياه المعالجة على مقاومة للضغط للخرسانة، منشورة في المجلة الدولية للعلوم والتقنية، العدد الخامس والثلاثون أكتوبر 2024، أقيم هذا البحث لغرض دراسة تأثير اختلاف درجات حرارة مياه المعالجة على مقاومة الضغط للخرسانة.

نفذت الدراسة على عدد (72) عينة خرسانية باستخدام المكعبات الخاصة بالاختبارات باستخدام ثلاث خلطات (C25، C30، C35) تم تقسيمها على عدد ثلاث أحواض يحوي كل منها على مياه بدرجات حرارة مختلفة (30، 50، 70) م بالإضافة إلى حوض يحتوي على ماء معالجة عند درجة حرارة الغرفة والتي تتراوح ما بين (21 – 25) م في فترة الدراسة التي أجريت بين شهري أبريل ويوليو لسنة 2024 بإجمالي أربعة أحواض ماء معالجة، حددت (24) عينة لكل مقاومة مقسمة إلى (6) عينات لكل درجة حرارة مياه معالجة، (3) منها تم اختبارها بعمر (7) أيام والعينات (3) الأخرى تم اختبارها بعمر (28) يوم بالإضافة إلى العينات المعالجة عند درجة الحرارة في الظروف المحيطة (درجة حرارة الغرفة) لمقارنتها مع مقاومة الضغط عند درجات الحرارة الأخرى موضوع البحث. توصلت الدراسة إلى أنه كلما زادت درجة حرارة مياه المعالجة تزداد مقاومة الضغط للخرسانة في عمرها المبكر (7 أيام) وتقل في الأعمار المتأخرة (28 يوم) مقارنة بالعينات التي غمرت في مياه معالجة عند درجة حرارة الغرفة لجميع العينات المدروسة.

2. دراسة قام بها الباحثون حمزة محمد المدني، عبد الرؤوف ابودينة، عبد المطلب يخلف، جامعة الزيتونة كلية الهندسة، ترونة، ليبيا منشورة في المجلة ليبيا للعلوم التطبيقية والتقنية، في ديسمبر 2024، بعنوان دراسة تأثير درجة حرارة الماء على خواص المونة الاسمنتية الطرية والصلبة في المناطق ذات المناخ الحار تم في هذا البحث تقييم تأثير درجة حرارة الماء على المونة الطازجة والمتصلبة في المناطق ذات المناخ الحار، ومن أجل تحقيق ذلك، تم إعداد أربع خلطات مختلفة من المونة باستخدام أربع درجات حرارة لمياه الخلط وهي (30°م، 42°م، 49°م، و67.2°م)، أجريت اختبارات على المونة الطازجة شملت قياس درجة حرارة الخليط وتحديد القوام باستخدام جهاز الريولوجيا، وكذلك قياس مقاومة الضغط لمكعبات المونة المتصلبة (50 مم) بعد 7 و28 يوماً من المعالجة بالماء، أظهرت النتائج وجود تأثير ملحوظ لدرجة حرارة الماء على أداء المونة الطازجة، حيث تأثر القوام بشكل واضح بزيادة درجة حرارة الماء كما لوحظت تقلبات في مقاومة الضغط للمونة المتصلبة مع ارتفاع درجة حرارة الخليط.

3. دراسة قام بها محمد إبراهيم العبود، جامعة المرقب، الخمس، قسم الهندسة المدنية، ليبيا- عبد الخالق عبد الهادي محمد - الحسين فرج عليوان، جامعة بنغازي، قسم الهندسة المدنية، ليبيا، بعنوان تأثير طريقة المعالجة على خواص الخرسانة، تم في هذه الورقة البحثية دراسة تجريبية لفحص تأثير طرق المعالجة المختلفة ونسبة الماء إلى الأسمنت على مقاومة الضغط، مقاومة الشد، مقاومة الانحناء والانكماش.

تم اختبار أربع طرق معالجة مختلفة وهي المعالجة بالماء (المعيارية)، المعالجة بمياه البحر، المعالجة بالهواء والمعالجة باستخدام الأكياس البلاستيكية، تمت دراسة تأثير نسب ماء إلى أسمنت (0.4، 0.5، 0.6) على الخصائص السابقة للخرسانة تحت طرق المعالجة المختلفة، أظهرت النتائج أن المعالجة بمياه البحر أعطت نتائج قريبة جداً من المعالجة المعيارية وأفضل من المعالجة بالهواء، في حين أن المعالجة باستخدام الأكياس البلاستيكية أظهرت أقل الخصائص مقارنة بالطرق الأخرى، وأيضاً فإن تقليل نسبة الماء إلى الأسمنت يؤدي إلى زيادة خصائص الخرسانة في جميع أنواع المعالجة.

4. دراسة قام بها الباحثون عمار أنور، حمزة طارق، شاهر يار عادل، ومحمد أحسن افتخار جامعة الهندسة والتكنولوجيا، لاهور، منشورة في مجلة العالم للأبحاث والمراجعات المتقدمة، 2022، المجلد 16 العدد 03 بعنوان تأثير تقنيات المعالجة على مقاومة الضغط للخرسانة (EFFECT OF CURING TECHNIQUES ON COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE) حيث قدم هذا البحث نتائج لدراسة تجريبية حول كيفية تطور مقاومة الضغط لخرسانة الأسمنت البورتلاندي العادي في لاهور باكستان، تم إعداد عشرة مكعبات خرسانية بنسبة خلط (1:1.5:3) ونسبة ماء إلى أسمنت (0.5) لكل من أربع طرق معالجة مختلفة (المعالجة بالهواء، المعالجة بالغمر في الماء، المعالجة باستخدام غشاء بولي إيثيلين، والمعالجة بالغليان) حتى أعمار اختبار بلغت 3، 7، 14، 21، و28 يوماً، وتم تحديد مقاومة الضغط لها، أظهرت النتائج أن العينات الخرسانية التي تمت معالجتها بطريقة الغمر في الماء حققت أعلى مقاومة ضغط عند عمر 28 يوماً بلغت 41.42 ميجا باسكال، وتشير النتائج إلى ضرورة تجنب المعالجة بالغليان والحد من استخدام طرق المعالجة الأخرى ضمن إطار زمني لا يتجاوز 28 يوماً، وقد تبين وجود علاقة إيجابية بين طريقة المعالجة ومدة المعالجة ومقاومة الضغط، كما تقدم الدراسة تفاصيل حول أهمية المعالجة وطرقها المختلفة التي يمكن تنفيذها في الموقع.

5. دراسة أخرى أجريت بواسطة مجموعة من الباحثين، وهم م. نادري، أستاذ مشارك، رئيس قسم الهندسة المدنية بجامعة آزاد في تكستان، إيران. ر. شيباني طالب دراسات عليا، جامعة آزاد تكستان، إيران. وأيضاً م. أ. شايانفر كلية الهندسة المدنية، جامعة العلوم والتكنولوجيا الإيرانية، طهران إيران. وكانت بعنوان

COMPARISON OF DIFFERENT CURING EFFECTS ON CONCRETE STRENGTH الهدف من هذه الدراسة إجراء برنامج اختبار معلمي لمعرفة مدى تأثير ظروف المعالجة المختلفة على مقاومة الخرسانة.

تم صب مكعبات خرسانية بأبعاد (150 × 150 × 150) ملم باستخدام ثمانية خلطات خرسانية مختلفة، ثم جرى تعريضها لمجموعة أنظمة معالجة (الغمر في مياه الشرب، التغطية بالخيش المبلل وغطاء بولي إيثيلين الحفظ في ظروف جافة داخل المختبر، الحفظ في الهواء الطلق، استخدام مركب المعالجة بالبخار) تم اختيار ثلاثة مكعبات لكل نظام معالجة باستثناء المعالجة بالبخار التي تم اختبار عيناتها عند عمر ثلاثة أيام فقط وأجريت اختبارات الضغط لبقية العينات عند عمر 28 يوماً وهو العمر القياسي لتقييم مقاومة الخرسانة بالشكل النهائي، أظهرت النتائج أن نظام المعالجة له تأثير كبير على مقاومة الخرسانة، حيث سجلت أعلى مقاومة ضغط في العينات المغطاة بالخيش المبلل وغطاء البولي إيثيلين، بينما كانت الأقل للعينات المعالجة بالبخار.

الجانب العملي:

نستعرض في هذا الجانب أهم الاختبارات التي تم إجراؤها على المواد المستخدمة في الخلطة الخرسانية.

1-الاسمنت: تم استخدام الاسمنت البورتلاندي العادي من نوع (42.5N) المنتج محلياً بمصنع زليتن يبين الجدول (1) بعض الخواص الفيزيائية وقيمة الوزن النوعي للأسمنت المستخدم والتي تم الحصول عليها من معمل مراقبة الجودة بالمصنع.

جدول (1) يوضح الخواص الفيزيائية للإسمنت

النتائج	الوزن النوعي	زمن الشك الابتدائي	زمن الشك النهائي	ثبات الحجم	النوعية	مقاومة الضغط بعد 3 أيام	مقاومة الضغط بعد 28 يوماً
حدود المواصفة BS12:1996	3.15	218 دقيقة	250 دقيقة	0.9 mm	3201	37.2 MPa	58.33 MPa
	—	≤ 45 دقيقة	≥ 10 ساعات	≤ 10 mm	≥ 2500	≥ 21 MPa	≥ 39 MPa

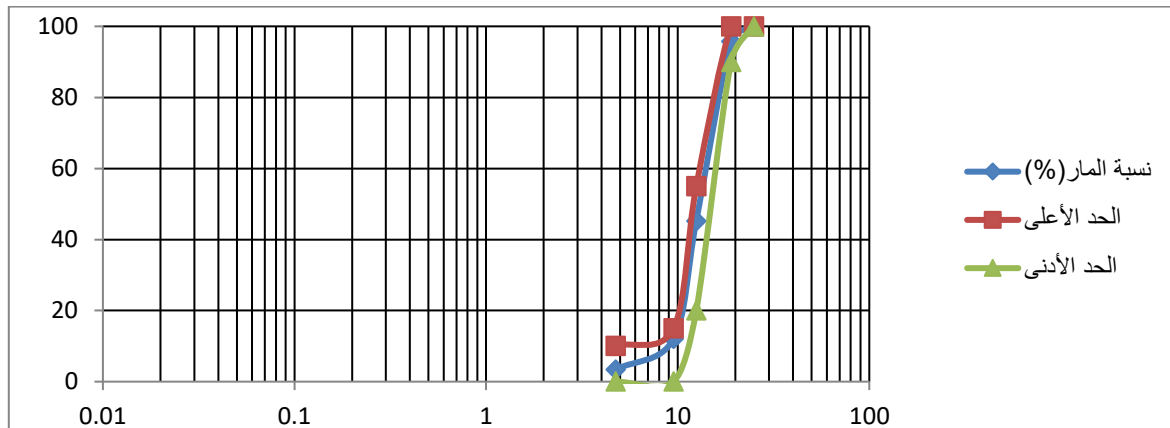
2-الركام الخشن: تم استخدام رُكام خشن مُتدرّج مقاسه الاعتباري الأكبر (19ملم) خالي من الشوائب والمواد العضوية يبين الجدول (2) نتائج الاختبارات للركام الخشن المستخدم طبقاً للمواصفة الأمريكية (ASTM-C127) وكذلك نسبة المواد الناعمة للركام طبقاً للمواصفة (ASTM-C117) بينما يوضح الجدول (3) والشكل (1) التحليل المنخلي والتدرج الحبيبي للركام الخشن وكذلك حدود المواصفة الأمريكية (ASTM - C33).

جدول (2): نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام الخشن

النتائج	الوزن النوعي			وزن وحدة الحجم (كغم/م ³)		نسبة الامتصاص (%)	محتوى الرطوبة (%)	معامل الصدم (%)	معامل الت هشيم (%)	نسبة المواد الناعمة (%)
	الوزن النوعي الكلي (OD)	الوزن النوعي المشبع جاف السطح (SSD)	الوزن الظاهري	سائب	مدموك					
	2.63	2.65	2.67	1436	1643	2.20	0.77	14.4	12.5	0.34
حدود المواصفة ASTM C33	2.30–2.90			1280–1920 كغم/م ³		0.5–4%	0–2%	≤ 30%	≤ 30%	≤ 1%

جدول (3) التحليل المنخلي للركام الخشن وحدود المواصفة (ASTM C33)

فتحة المنخل / مم	نسبة المار (%)	الحد الأعلى	الحد الأدنى
25	100	100	100
19	92	100	90
12.5	40.2	55	20
9.5	12	15	0
4.75	3.4	10	0



شكل (1) التدرج الحبيبي للركام الخشن وحدود مواصفة (ASTM C33).

3-الركام الناعم: تم استخدام ركام ناعم خالي من الشوائب مطابق للمواصفات القياسية ويوضح الجدول (4) نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام المستخدم، بينما يبين الجدول (5) والشكل (2) التحليل المنخلي والتدرج الحبيبي وحدود المواصفة (ASTM-C33).

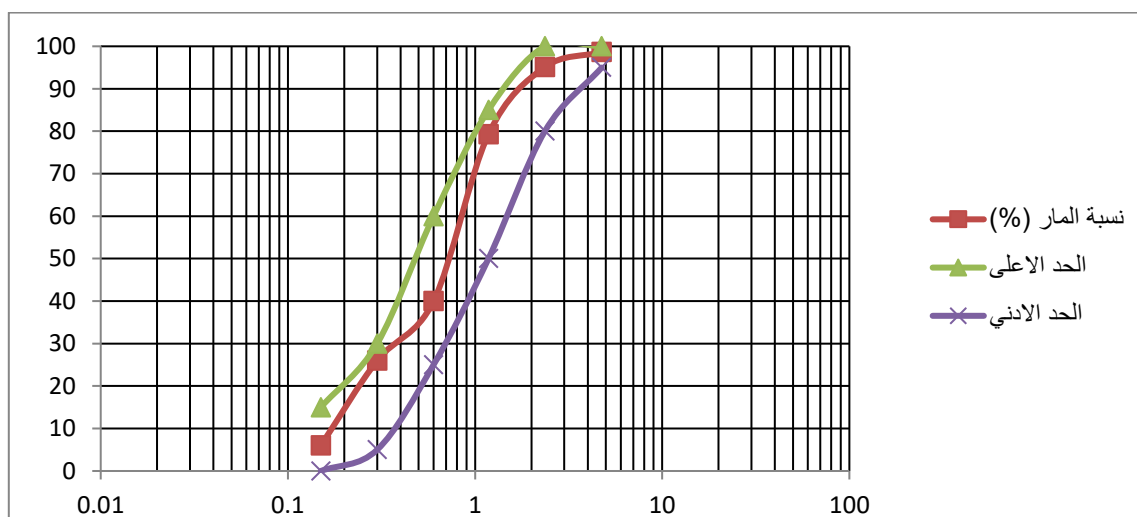
جدول (4): نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام الناعم.

النتائج	الوزن النوعي			وزن وحدة الحجم (كغم/م ³)		معامل النعومة	نسبة الامتصاص (%)	محتوى الرطوبة (%)	نسبة المواد الناعمة (%)
	الوزن النوعي الكلي (OD)	الوزن النوعي المشبع جاف السطح (SSD)	الوزن النوعي الظاهري	سانب	مدموك				
	2.64	2.68	2.70	1661	1772	52.2	0.644	0.46	3.22
حدود المواصفة ASTM C33	2.30-2.90			1280-1920 كغم/م ³		2-3.3	0.5-4%	0-10%	3-5%

جدول (5) التحليل المنخلي للركام الناعم طبقاً للمواصفة (ASTM C33)

تم إنشاء الجدول بنفس البيانات والألوان الموجودة في الصورة.

فتحة المنخل (مم)	نسبة المار (%)	الحد الأعلى	الحد الأدنى
4.75	98.62	100	95
2.36	95.1	100	80
1.18	79.3	85	50
0.6	40	60	25
0.3	26	30	5
0.15	6	15	0



شكل (2) التدرج الحبيبي للركام الناعم وحدود المواصفة (ASTM C33).

4-ماء الخلط: تم استخدام ماء صالح للشرب، نظيف وخال من الأملاح والزيوت والمواد العضوية بحيث يبقى صالحاً لعمل الخلطات الخرسانية ومعالجتها.

تصميم الخلطات الخرسانية:

تم في هذا البحث الاعتماد على طريقة الحجم المطلق في تصميم الخلطات الخرسانية، حيث تعد هذه الطريقة واحدة من أكثر الطرق دقة التي أوصى بها معهد الخرسانة الأمريكي وفق المواصفة القياسية (ACI211.1-9) تقوم هذه الطريقة على مبدأ

أساسي يتمثل في أن الحجم الكلي للمتر المكعب الواحد من الخرسانة يساوي مجموع الحجوم المطلقة لجميع مكوناتها (الإسمنت، الركام الناعم، الركام الخشن، والماء) وبناءً على ذلك، يتم حساب الكميات الوزنية لكل مادة اعتماداً على كثافتها النوعية، لضمان تحقيق التوازن المطلوب بين المكونات والحصول على خلطة متجانسة ذات خصائص ميكانيكية جيدة، تتميز هذه الطريقة عن الطرق التقليدية الأخرى بأنها أكثر دقة وواقعية، إذ تعتمد على جداول ومعايير مستخلصة من خبرات واسعة وتجارب عملية موثوقة، مما يجعلها قادرة على إعطاء نتائج أقرب إلى الأداء الفعلي للخرسانة في الموقع، كما تراعي مجموعة من العوامل المؤثرة في جودة الخرسانة مثل المقياس الاعتباري الأكبر للركام الخشن، التدرج الحبيبي للركام، محتوى الإسمنت، ونسبة الرمل إلى الركام الخشن، إضافة إلى كمية الماء اللازمة التي تُحدد وفقاً لمحتوى الإسمنت وحجم الركام بالاستعانة بالجدول المعتمدة، وبالمقارنة مع الطرق الأخرى في تصميم الخلطات فإن طريقة الحجم المطلق توفر دقة أكبر في تحديد نسب المواد، وتقلل من احتمالية حدوث انحرافات في الخلطة، مما ينعكس إيجاباً على مقاومة الخرسانة واستدامتها لذلك تُعتبر هذه الطريقة الأساس العلمي الأكثر اعتماداً في تصميم الخلطات الخرسانية الحديثة، خاصة في المشاريع التي تتطلب جودة عالية وضبطاً صارماً للخصائص الإنشائية.

المعادلات المستخدمة في تصميم الخلطة:

تعتمد طريقة الحجم المطلق على حساب مجموع الحجوم المطلقة لمكونات الخرسانة، حسب المعادلة:

$$\text{Absolute volume} = C/G_c + S/G_s + G/G_g + W/1.0 = 1000 \text{ Liters} \dots (1)$$

حيث: C وزن الأسمنت S- وزن الرمل G- وزن الحصى W- وزن الماء

Gg، Gs، Gc الكثافات النوعية للأسمنت والرمل والحصى

تم تصميم الخلطة على مقاومة ضغط بعد 28 يوماً (25 نيوتن/مم²)، ونسب الركام المستخدمة في الخلطة رمل 0.4 م³ وحصى 0.6 م³، على أساس أن الماء أقل ما يمكن لجعل الخلطة ذات قوام مناسب لتكون لدنة والتي تتراوح كنسبة من الإسمنت من (0.4-0.7) بالوزن، أما كمية الإسمنت فيحددها مقاومة الضغط المصمم عليها ونوع العمل اللازم له فيما إذا كانت غنية أو فقيرة حيث تتراوح كمية الإسمنت من 200 إلى 400 كيلو غرام للمتر المكعب الواحد من الخرسانة، ويحدد كمية الإسمنت وكمية الماء المهندس المسئول عن المواصفات العملية تبعاً لطبيعتها، ويبين الجدول (6) كمية الماء اللازم ومحتوى الإسمنت والمقياس الاعتباري الأكبر للركام كما يوضح الجدول (7) كمية المواد المستخدمة في الخلطة.

جدول (6) يوضح كمية الماء اللازم ومحتوى الإسمنت والمقياس الاعتباري الأكبر للركام

قيمة (م/س) لمحتوى الإسمنت (كغم) لكل متر مكعب خرسانة					المقياس الاعتباري الأكبر للركام (ملم)
200	250	300	350	400	
0.70	0.60	0.50	0.475	0.40	10
0.65	0.55	0.45	0.425	0.385	20
0.61	0.48	0.425	0.385	0.37	40

جدول (7) يبين كميات المواد المستخدمة في الخلطة

المكون	الإسمنت كغم/م ³	الماء لتر	نسبة الإسمنت إلى الماء w/c	الركام الناعم كغم/م ³	الركام الخشن كغم/م ³
الكمية	325	132	0.4	769	1020

طريقة حساب كمية المواد الداخلة في الخلطة

الإسمنت 325 / 3.15 = 103.17 كغم

الماء 325 × 0.405 = 131.62 لتر

وباعتبار أن مكونات الخلطة كاملة = 1000 سم³ يمكن الحصول على مقدار الركام من خلال المعادلة:

103.17 + 131.62 = ركام = 1000 سم³ وعلى ضوء هذه المعادلة فإن:

الركام = 1000 - (131.62 + 103.17) = 765.20

إذا كانت الخلطة بها 40% ركام ناعم و 60% ركام خشن

ركام ناعم = 765.20 × 0.40 × 2.51 = 768.26 كغم

ركام خشن = 765.20 × 0.60 × 2.22 = 1019.24 كغم

مجموع المواد في المتر المكعب الواحد من الخرسانة:

إسمنت 325 كغم + ماء الخلط 131.62 لتر + الركام الناعم 768.26 كغم + الركام الخشن 1019.24 كغم. ومنها كثافة

الخرسانة تساوي 2244 كغم/م³

بالتعويض في معادلة الحجم المطلق، معادلة (1)

$$1000 \text{ سم}^3 \approx 999.98 = (2.22/1019.24) + (2.51/768.26) + (1/131.62) + (3.15/325)$$
 ومن واقع الخبرة العملية وتجارب سابقة من مهندسين ومتخصصين في مجال البناء نستطيع أخذ نسبة 2% من خلطة المتر المكعب الواحد لعمل 6 مكعبات قياس (15×15×15 سم) كالتالي:
 اسمنت = $0.02 \times 325 = 6.5$ كغم
 ماء الخلط = $0.02 \times 131.62 = 2.6325$ لتر
 ركام ناعم = $0.02 \times 768.26 = 15.365$ كغم
 ركام خشن = $0.02 \times 1019.24 = 20.384$ كغم
إعداد و خلط العينات الخرسانية:
 تم خلط الخرسانة يدوياً باستخدام أدوات الخلط اليدوي وفق الخطوات المعتمدة في البند (3.1.7) من المواصفة ASTM C192:



شكل (3) تحضير العينات والخلط.

الاختبارات والمعالجات التي تم إجراؤها على الخرسانة الطازجة.
اختبار الهبوط (Slump Test): وفقاً لما تنص عليه المواصفة الأمريكية المعتمدة ASTM C143، تم قياس الهبوط باستخدام مخروط الهبوط القياسي (Abrams Cone) لتحديد قوام الخلطة الخرسانية وبعد التحقق من موافقتها للاختبار، تم صبها في قوالب مكعبة وفقاً للإجراءات المنصوص عليها في البند (9) من المواصفة الأمريكية ASTM C192.



شكل (4) مخروط الهبوط القياسي والقوالب المكعبة.

معالجة العينات الخرسانية:
 بعد الانتهاء من صب الخرسانة يتم عمل 6 مكعبات، وبعد مرور 24 ساعة تفك القوالب وترقم بأرقام لتمييزها وتغمر ثلاثة منها في الماء أما المتبقية توضع في درجة الحرارة الفعلية أو الظروف الجوية المحيطة بهذه العينات لمدة 28 يوماً.



شكل (5) تمييز القوالب والمعالجة.

الاختبارات التي تم إجراؤها على الخرسانة المتصلدة:

اختبار مقاومة الضغط: تعتبر مقاومة الضغط من أهم خواص الخرسانة فهي تعبر عن درجة جودتها وصلابتها ومقاومتها للضغط حيث أن معظم الخواص الأخرى مثل الشد والانحناء والقص تزيد بزيادة قيمة المقاومة والعكس الصحيح.



شكل (6) اختبار مقاومة الضغط

تحليل النتائج:

يتضمن هذا الفصل عرض النتائج المتحصل عليها من الاختبارات المعملية ومناقشتها بشكل تفصيلي. أولاً **اختبارات الركام الخشن والناعم:** من خلال الفحوصات المخبرية للركام الناعم والخشن تبين أنه ضمن حدود المواصفات المعمول بها، وكما مبين في الجدول (2) والجدول (4) حيث تم مقارنة النتائج بما ورد في المواصفة (ASTM 33). ثانياً **اختبارات الخرسانة الطازجة:** اختبار الهبوط: بعد أن تم إجراء اختبار الهبوط، أظهرت النتائج بأن قابلية التشغيل للخلطة كانت مقبولة ومن ضمن الحدود المسموح بها في المواصفة حيث كانت قيمة الهبوط (4 سم).

جدول (8) قيمة الهبوط في الخلطة الخرسانية.

المادة	نسبة ماء الخلط w/c	قيمة الهبوط (سم)
خرسانة	0.4	4

ثالثاً اختبارات الخرسانة المتصلدة:

مقاومة الانضغاط: أظهرت نتائج فحوصات الانضغاط كل ما يخص العينات بعمر 28 يوم فكانت الخرسانة التي تم معالجتها بالغمر بالماء داخل المعمل أفضل تحملاً لمقاومة الضغط حيث بلغت 36.43 نيوتن/مم². أما المكعبات التي وضعت خارجاً في الهواء الطلق فبلغت مقدار تحملها للضغط 33.4 نيوتن/مم² مع العلم بأن الفترة التي أجريت فيها التجارب كانت في فصل الخريف أي أن درجات الحرارة في هذا الفصل معتدلة مما جعل الخرسانة تحتفظ برطوبتها لفترة مناسبة لإتمام عملية الاماهة.

نتائج الدراسة:

جدول (9) المتوسط الحسابي لقيم مقاومة الضغط لعينات الخرسانة داخل المعمل بعمر 28 يوم

No. Cube	قيمة الضغط (نيوتن/مم ²) بعمر 28 يوم
1	36.9
2	38.4
3	34.00
المتوسط	36.43

جدول (10) التحليل الاحصائي لعينات الخرسانة داخل المعمل

رقم المكعب	القيمة (نيوتن/مم ²)	الفرق عن المتوسط	مربع الفرق
1	36.9	+0.47	0.22
2	38.4	+1.97	3.88
3	34.0	-2.43	5.90
المجموع			10.00

الحسابات:

المتوسط = 36.43 نيوتن/مم²

التباين (للعيينة) = $(3-1) \div 10 = 5.00$

الانحراف المعياري (للعيينة) = $\sqrt{5.00} \approx 2.24$ نيوتن/مم².

معامل الاختلاف (CV%) = $100 * 36.43 / 2.24 = 6.2\%$

وفقاً للمواصفات القياسية ASTM C39/C39M الخاصة باختبار مقاومة الضغط للخرسانة، يجب أن يكون معامل الاختلاف أقل من 10% لضمان تجانس النتائج وبما أن قيمة CV (6.2%) فهذا يدل على أن النتائج متجانسة ومقبولة إحصائياً ويمكن الاعتماد عليها في تقييم مقاومة الخرسانة

جدول (11) المتوسط الحسابي لقيم مقاومة الضغط لعينات الخرسانة خارج المعمل بعمر 28 يوم.

No. Cube	قيمة الضغط (نيوتن/مم ²) بعمر 28 يوم
1	36.9
2	33.9
3	29.4
المتوسط	33.4

جدول (12) التحليل الاحصائي لعينات الخرسانة خارج المعمل.

رقم المكعب	القيمة (نيوتن/مم ²)	الفرق عن المتوسط	مربع الفرق
1	36.9	-4.17	17.38
2	33.9	-1.17	1.36
3	29.4	+ 4	16
المجموع			34.74

الحسابات:

المتوسط = 33.4 نيوتن/مم²

التباين (للعيينة) = $(3-1) \div 34.74 = 17.37$

الانحراف المعياري (للعيينة) = $\sqrt{17.37} \approx 4.16$ نيوتن/مم².

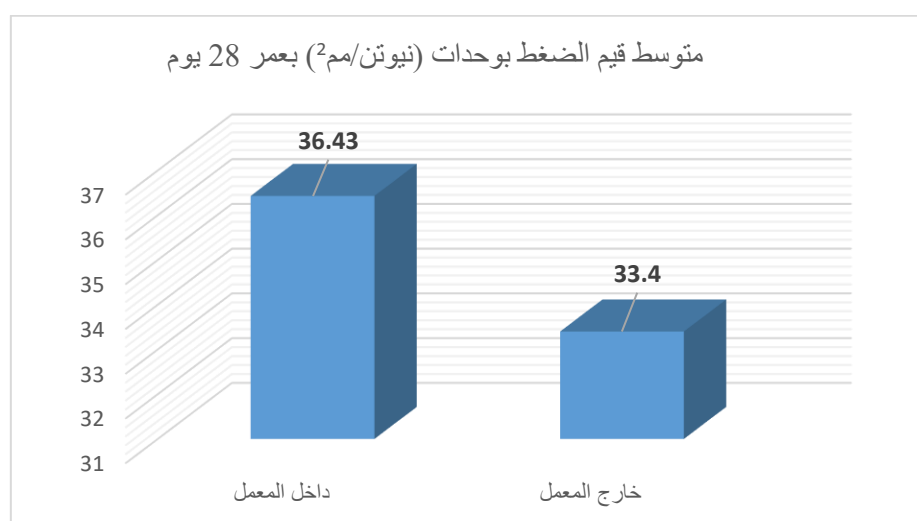
معامل الاختلاف (CV%) = $100 * 32.73 / 4.16 = 12.4\%$

الخرسانة مطابقة للمواصفات من حيث القوة، لكن معامل الاختلاف مرتفع نسبياً مما يشير إلى أن هناك تفاوت واضح بين العينات (12.4%)، أي أن الخرسانة غير متجانسة بشكل مثالي المكعب رقم (3) هو سبب ارتفاع التباين (29.4 نيوتن/مم²)، وبشكل عام تعتبر مقبولة وما زالت ضمن الحدود المسموح بها أقل من (15%)، وأن الخرسانة جيدة من حيث القوة المتوسطة، لكنها تعاني من تفاوت في الجودة بين العينات، ويُنصح بتحسين إجراءات التنفيذ والمعالجة جيداً لضمان إزالة الفراغات والحفاظ على الرطوبة والحرارة المناسبة للحصول على تجانس أفضل.

ومن خلال تحليل قيم مقاومة الضغط للعينات الخرسانية عند عمر 28 يوم باعتبارها العمر القياسي الذي يعكس تطور المقاومة بشكل شبه مكتمل، ولضمان دقة التقييم، يتم حساب المتوسط الحسابي لقيم العينات بهدف الحصول على مؤشر عام يعكس مستوى الأداء بعيداً عن التباينات الفردية بين العينات، غير أن نتائج الفحص قد تختلف باختلاف ظروف التنفيذ والاختبار، سواء داخل المعمل تحت ظروف بيئة مضبوطة أو خارج المعمل في ظروف الموقع الفعلية، وهو ما قد يستدعي عرض البيانات في جداول ورسوم بيانية لتوضيح الفروق ومقارنتها بشكل بصري يسهل تفسيره، هذا المدخل يتيح للقارئ فهم أهمية الدراسة، ويبرز دور التمثيل البياني في الوصول إلى استنتاجات دقيقة حول جودة الخرسانة ومدى مطابقتها للمواصفات.

جدول (13) المتوسط الحسابي لقيم مقاومة الضغط لعينات الخرسانة بوحدة (نيوتن/مم²) بعمر 28 يوم

الحالة	متوسط قيم الضغط بوحدة (نيوتن/مم ²) بعمر 28 يوم
داخل المعمل	36.43
خارج المعمل	33.4



شكل (7) يوضح قيم مقاومة الضغط للخرسانة بعد 28 يوم

مناقشة النتائج:

من خلال التجارب يتضح أن الخرسانة التي تمت معالجتها داخل المعمل حققت مقاومة ضغط أعلى قليلاً مقارنة بالخرسانة التي تمت خارج المعمل، ففي ظروف المعمل يتم التحكم في درجة الحرارة والرطوبة حيث استمرت عملية الإماهة للأسمنت بشكل كامل ولفترة كافية، مما أدى إلى تكوين كمية أكبر من جل سيليكات الكالسيوم (C-S-H) وهو من أهم النواتج التي تتكوّن عندما يتفاعل الإسمنت مع الماء، وتعد هذه المادة المكوّن الأساسي والمسؤول المباشر عن صلابة وقوة الخرسانة، حيث تعمل هذه المادة مثل الغراء الذي يربط مكونات الخرسانة معاً، هذا الانضباط في ظروف المعالجة داخل المعمل انعكس على القيم المسجلة لمقاومة ضغط الخرسانة، إذ تراوحت بين (34 و 38.4) نيوتن/مم² بمتوسط (36.4) نيوتن/مم² وهو معدل مرتفع ومستقر نسبياً، أما في الظروف الخارجية فقد أشارت النتائج إلى انخفاض المقاومة قليلاً حيث تراوحت القيم بين (29.4 و 36.9) نيوتن/مم² بمتوسط (33.4) نيوتن/مم² أي أقل بحوالي (3) نيوتن/مم² من النتائج المسجلة في المعمل، هذا الفرق يؤكد أن الإماهة المستمرة عبر الغمر تساهم في تحسين تفاعل الإماهة للأسمنت، وبالتالي زيادة الكثافة وتقليل المسامية، وأيضاً من خلال النتائج الإحصائية تبين أن معامل الاختلاف في عينات الخلطة داخل المعمل بلغت (6.2%) أي أقل من (10%) وهذا يدل على أن العينات متجانسة وأن التشقق في النتائج محدود، مما يعكس جودة جيدة في عملية الخلط والدمك والمعالجة وبالتالي يمكن اعتبار النتائج موثوقة وتعكس مقاومة الضغط الفعلية للخرسانة، أما عينات الخرسانة خارج المعمل فكان معدل التباين (17.37) والانحراف المعياري (4.16) نيوتن/مم² وهذا يعني أن هناك تشقق ملحوظ بين العينات، ومعامل الاختلاف مرتفع قليلاً (12.4%) مما يدل على تفاوت في الجودة بين العينات، عادةً في فحص الخرسانة يُفضل أن يكون معامل الاختلاف أقل من (10%) حيث تُعتبر هذه القيمة عن جودة التجانس، أما إذا زادت عن ذلك ولكنها بقيت أقل من (15%) فيدل هذا على أن هناك تباين ملحوظ بين العينات لكنه لا يلغي المطابقة كلياً ويشير إلى ضرورة التحسين سواء كان في الخلط أو الدمك أو المعالجة، أما في حالة تجاوزه (15%) فهذا يشير إلى ضعف في ضبط التجربة أو وجود مشاكل في العينات، وبما أن معامل الاختلاف كان (12.4%) فهذا يعني أن الخرسانة جيدة من حيث القوة، ولكنها تعاني من تفاوت في الجودة بين العينات ويُنصح بتحسين إجراءات التنفيذ أو المعالجة للحصول على تجانس أفضل، وبما

أن عملية الخلط والدمك كانت واحدة بين العينات سواء التي كانت داخل المعمل أو خارجه، فالاختلاف الوحيد بينها كان في عملية المعالجة وهو ما جعل من معامل الاختلاف في المعدل المطلوب للعينات التي داخل المعمل، بينما كان مرتفعاً قليلاً في العينات التي تمت معالجتها خارج المعمل.

وبما أن نتائج المعالجة داخل المعمل (الغمر المائي) كانت أفضل نسبياً إلا أن الفارق ليس كبيراً من حيث المقاومة، ويعزى ذلك إلى الظروف الجوية المعتدلة في الفترة التي أجريت فيها الاختبارات حيث سمحت للعينات بالاحتفاظ بقدر كافٍ من الرطوبة حتى مع الرش التقليدي، ولكن قد يشير هذا الفارق البسيط إلى إمكانية انخفاض المقاومة إلى أكثر من ذلك بحيث يكون الفرق بين العينات التي بداخل المعمل والمعالجة بالغمر المائي وبين العينات المعالجة بالرش التقليدي أكثر وضوحاً وأكبر اتساعاً عند ارتفاع درجات الحرارة أو في البيئات الجافة الأكثر قسوة، حيث زيادة درجة الحرارة تؤدي إلى فقدان الماء في الخرسانة بشكل سريع مما يضعف عملية الإماهة، وبالتالي ضعف البنية الداخلية للخرسانة وتراجع المقاومة وتتفق نتائج هذه الدراسة مع ما أشار إليه عدد من الباحثين في أبحاث سابقة حول تفوق المعالجة بالغمر المائي في تعزيز مقاومة الضغط للخرسانة، غير أن الفارق المحدود الذي سجلته هذه التجربة كانت في ظروف مناخية معتدلة، مما يبرز أهمية المناخ في تحديد فعالية طريقة ونوع المعالجة.

الاستنتاجات:

1. المقارنة بين طريقتين للمعالجة (الغمر بالماء، الرش التقليدي) تعكس ظروفًا واقعية في مواقع البناء.
2. الخرسانة خارج المعمل المعالجة بالرش التقليدي انخفضت مقاومتها مقارنة بالخرسانة المعالجة بالغمر المائي داخل المعمل.
3. معامل الاختلاف في العينات خارج المعمل (12.4%) بين (10-15%) هذا يعني أن هناك تباين ملحوظ بين قيم مقاومة الضغط للعينات، مما يدل على أن الخرسانة ليست متجانسة أو معالجة تمامًا، لكن التباين لا يزال ضمن الحدود المقبولة والمسموح بها، ففي سياق ضبط الجودة قد يشير هذا إلى أن عملية الخلط أو المعالجة لم تكن مثالية تمامًا، لكن النتائج ليست سيئة جدًا.
4. معامل الاختلاف في العينات داخل المعمل (6.2%) أقل من الحد المسموح به (10%)، يشير ذلك إلى أن العينات متجانسة وأن التشتت في النتائج محدود، مما يعكس الجودة في التنفيذ والمعالجة.
5. تشير النتائج إلى أن المعالجة بالرش التقليدي قد تكون كافية ولكنها تعتمد بشكل كبير على انتظام التطبيق وظروف الجو، والغمر المائي يضمن إمداداً مستمراً بالرطوبة مما يزيد من تكوين منتجات الإماهة وقد تحقق الخرسانة القوة التصميمية المطلوبة وربما تتجاوزها وتتمتع بعمر افتراضي أطول ولكنها قد لا تكون عملية في المشاريع الكبرى وذلك نظراً لاعتبارات عملية واقتصادية واستهلاكها كميات كبيرة من الماء.
6. في الظروف الجوية المعتدلة يكون تأثير المعالجة المائية محدوداً نسبياً، لكن في البيئات الحارة أو الجافة، يتوقع أن يكون الفرق أكبر بكثير، حيث يؤدي فقدان الماء السريع إلى ضعف الإماهة وتراجع المقاومة، لذلك النتائج الحالية تصلح كمرجع أساسي لكنها لا تكفي لتعميم الاستنتاجات على جميع البيئات.

التوصيات:

1. الاهتمام بالمعالجة جيداً، وكذلك طريقة المعالجة يجب أن يتم اختيارها وفقاً للظروف البيئية.
2. ضرورة إجراء المزيد من الدراسات التطبيقية في ظروف بيئية مختلفة، خاصة عند درجات الحرارة المرتفعة أو في المناطق الجافة، لفهم تأثير طرق المعالجة بشكل أدق.
3. البحث في طرق معالجة بديلة مثل استخدام الأغشية العازلة للرطوبة أو المواد الكيميائية المعالجة لتعزيز فعالية المعالجة التقليدية في المشاريع الكبرى.

الخاتمة

إن دراسة تأثير ظروف المعالجة على مقاومة الخرسانة لا تُعد مجرد بحث تجريبي محدود، بل هي مساهمة علمية ذات أبعاد واسعة تمس جوهر الممارسة الهندسية، فالمعالجة تمثل الحلقة الفاصلة بين الخرسانة كخليط أولي وبين الخرسانة كعنصر إنشائي قادر على تحمل الأحمال وضمان استدامة المنشآت، لقد بينت نتائج الأبحاث أن الاختلاف في ظروف المعالجة يؤدي إلى تباين كبير في مقاومة الخرسانة، وأن المعالجة المائية تظل الخيار الأمثل لتحقيق الجودة والمتانة، ومن هنا فإن مثل هذه الدراسات تكتسب أهميتها في كونها تقدم أدلة علمية تدعم الممارسات الصحيحة وتوجه المهندسين نحو تطبيق إجراءات دقيقة تضمن سلامة المنشآت وتقليل تكاليف الصيانة المستقبلية، كما أن هذه الموضوعات تفتح المجال أمام المزيد من الأبحاث التطبيقية التي تربط بين المعالجة والاستدامة وتدفع نحو تطوير تقنيات جديدة أكثر كفاءة وملاءمة للظروف البيئية المختلفة، وبالتالي فإن دراسة ظروف المعالجة ليست مجرد إضافة معرفية بل هي استثمار في مستقبل البنية التحتية وجودتها، وتأكيد على أن التفاصيل الصغيرة في التنفيذ قد تصنع الفارق الكبير في الأداء الإنشائي، وأخيراً فإن المعالجة ليست مجرد إجراء تقني فقط، بل هي عامل جوهري في تحديد جودة الخرسانة، ويجب أن تحظى بالاهتمام الكافي لضمان تحقيق الأداء الأمثل للمنشآت الخرسانية.

المراجع قائمة المراجع العربية

1. أبو عودة، أحمد. (2011). *تكنولوجيا الخرسانة* (الطبعة الأولى).
2. إمام، محمود. (2010). *الخرسانة* (الطبعة الأولى).
3. الشافعي، شريف فتحي. (2003). *الاختبارات القياسية للخلطات الخرسانية الأسمنتية*.
4. شهاب، حمدي. (2021). *تكنولوجيا الخرسانة* (الطبعة الأولى).
5. وزارة الإعمار والإسكان، والهيئة العامة للمباني. (1987). *الكود العراقي لمتطلبات الخرسانة المسلحة للمباني* (كود 1987/1).
6. وزارة الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية، ومركز بحوث الإسكان والبناء والتخطيط العمراني، والهيئة العامة للمباني. (2001). *الكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة* (كود 203، التحديث الثاني).

References in English

7. American Society for Testing and Materials. (1966). *Tests and properties of concrete and concrete-making materials* (ASTM 169A).
8. Gambhir, M. L. (2004). *Concrete technology* (3rd ed.). Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.
9. Krishna Raju, N. (1994). *Design of concrete mixes*. CBS Publishers & Distributors.
10. Mamlouk, M. S., & Zaniewski, J. P. (2006). *Materials for civil and construction engineers* (2nd ed.). Pearson Prentice Hall.
11. Neville, A. M. (n.d.). *Properties of concrete*. Pitman & Sons Ltd.
12. Effect of Silica Fume Addition on The Mechanical Properties of Concrete. (2022). *Albahit Journal of Applied Sciences*, 3(1), 01-05. <https://albahitjas.com.ly/index.php/albahit/article/view/33>
13. Effect of Partial Replacement of Coarse Aggregate with PVC Plastic Fibers on Some Properties of Concrete. (2026). *Albahit Journal of Applied Sciences*, 5(2), 167-184. <https://doi.org/10.65419/albahit.v5i2.148>
14. Statistical Prediction of Concrete Compressive Strength Using Multiple Linear and Nonlinear Regression Models Developed in SPSS. (2026). *Albahit Journal of Applied Sciences*, 5(3), 164-184. <https://doi.org/10.65419/albahit.v5i3.162>
15. Study of Seismic Isolation in Reinforced Concrete Buildings: Practical Application and Structural Behavior. (2026). *Albahit Journal of Applied Sciences*, 5(2), 104-131. <https://doi.org/10.65419/albahit.v5i2.141>
16. Arhaiem Hussain, Ahmed Meekaeil, & Ahmad Majed. (2026). Feasibility of Saline Water Utilization in Concrete Mixes: A Review. *Journal of Libyan Academy Bani Walid*, 2(1), 208–217. <https://doi.org/10.61952/jlabw.v2i1.443>

Compliance with ethical standards

Disclosure of conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of ALBAHIT and/or the editor(s). ALBAHIT and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content