مجلة اكاديمية الجبل للعلوم الاساسية والتطبيقية
Al-Jabal Academy Journal of Pure and Applied Sciences
03 (1): 59-68, 2025
pISSN: 2958-857X; eISSN: 2958-8588
Journal Homepage: https://lajak.edu.ly/journals/index.php/aajpas/index

The Effect of Temperature on Cement Mortar Incorporating Tamarisk as A Partial Cement Substitute

Omar R. Al-Zarrouq[1], Mohammed F. Jbreil[2], Taha Ali Bukhairallah[2]
[1] National Authority for Scientific Research, Tripoli, Libya
[2] Libyan Academy for Postgraduate Studies, Al Jabal Al Akhdar, Libya

Received: 30 December 2024 / **Accepted:** 28 April 2025
DOI: https://doi.org/10.58309/5ez10s52

Keywords:
Tamarisk, absorption, cement, heat, compressive strength.

ABSTRACT:
Cement production is considered one of the major industrial processes with a significant environmental impact, as it notably contributes to greenhouse gas emissions, particularly carbon dioxide. Research indicates that the cement industry is responsible for a substantial percentage of these emissions, raising concerns about its environmental effects. Additionally, high temperatures pose a major challenge in construction, negatively affecting the properties of cement mortar, leading to cracks and shrinkage in concrete, thereby reducing the durability and structural strength.To address this issue, a comprehensive laboratory study was conducted on cubes to evaluate the physical and mechanical properties of cement mortar containing different proportions of tamarisk powder, which accounted for 0.5%, 1%, 2%, and 4% as a partial substitute for cement, along with a reference sample that did not contain tamarisk. All samples were exposed to high temperatures (20, 40, 60, and 80°C) after 28 days of curing, reflecting the harsh environmental conditions that construction materials may face on-site. The tests included measurements of mortar spread, wet density, absorption, compressive strength, and failure patterns. The results showed that mechanical and physical properties decreased with increasing tamarisk content and temperature, with significant effects observed particularly at 4% tamarisk and 80°C. These findings help determine the optimal ratios that can be used to mitigate the impacts of high temperatures.

تأثير الحرارة على المونة الأسمنتية الحاوية على الأثل كبديل جزئي للأسمنت

عمر رمضان الزروق[1]، محمد فرج جبريل[2]، طه علي بوخيرالله[2]
[1] الهيئة القومية للبحث العلمي، طرابلس، ليبيا؛[2] الأكاديمية الليبية للدراسات العليا فرع الجبل الاخضر، البيضاء، ليبيا

الكلمات المفتاحية:
الأثل، الامتصاص، الاسمنت، الحرارة، مقاومة الانضغاط.

المستخلص:
إنتاج الأسمنت يُعتبر من العمليات الصناعية الرئيسية التي لها تأثير بيئي كبير، حيث يُسهم بشكل ملحوظ في انبعاث غازات الاحتباس الحراري، خاصةً ثاني أكسيد الكربون. تشير الأبحاث إلى أن صناعة الأسمنت مسؤولة عن نسبة كبيرة من هذه الانبعاثات، مما يثير القلق حول تأثيرها على البيئة. كما أن درجات الحرارة العالية تُشكل تحديًا رئيسيًا في مجال البناء، حيث تؤثر سلبًا على خواص المونة الأسمنتية، مما يؤدي إلى تشققات وانكماش في الخرسانة، وبالتالي تقليل متانة الهيكل وقوة تحمله. لهذا الغرض، تم إجراء دراسة معملية شاملة على مكعبات لتقييم الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمونة الأسمنتية المحتوية على نسب مختلفة من مسحوق نبات الأثل، والتي تمثل 0.5%، 1%، 2%، و4% كبديل جزئي للأسمنت، مع إضافة عينة مرجعية لم تحتوي على الأثل. تم تعريض جميع العينات لدرجات حرارة مرتفعة (20، 40، 60 و80 درجة مئوية) بعد 28 يومًا من المعالجة، وهو ما يعكس الظروف البيئية القاسية التي قد تتعرض لها المواد في موقع البناء. شملت الاختبارات قياس انتشار المونة، الكثافة الرطبة، الامتصاص، مقاومة الانضغاط ونمط الانهيار. أظهرت النتائج أن الخواص الميكانيكية والفيزيائية تتناقص مع زيادة نسبة الأثل ودرجات الحرارة، حيث كانت التأثيرات واضحة بشكل خاص عند إضافة 4% من الأثل و80 مئوية. هذه النتائج تساعد في تحديد النسب المثلى التي يمكن استخدامها لتقليل التأثيرات الناتجة عن الحرارة العالية.

*Corresponding author: mhmad.husain6090@gmail.com

المقدمة:

إنتاج الأسمنت يُعتبر من العمليات الصناعية الأساسية التي تُسهم بشكل كبير في انبعاث غازات الاحتباس الحراري، وخاصةً غاز ثاني أكسيد الكربون. تشير الدراسات إلى أن صناعة الأسمنت تُعتبر مسؤولة عن نسبة كبيرة من الانبعاثات العالمية، مما يُثير القلق حول تأثيرها البيئي. بالإضافة إلى ذلك، فإن استخراج المواد الخام اللازمة، مثل الحجر الجيري والطين، يؤدي إلى تدهور التربة وتغيير المشهد الطبيعي، مما يُفاقم الأثر السلبي على البيئة. تُعَدُّ درجات الحرارة العالية تحديًا رئيسيًا في مجالات البناء والهندسة المدنية، حيث تؤثر سلبًا على خصائص الأسمنت. عند تعرض الأسمنت لدرجات حرارة مرتفعة، تتدهور خواصه الميكانيكية والفيزيائية، مما يُقلل من متانته وقوته التحملية. لهذا، يُعتبر البحث عن بدائل جديدة لتخفيف تأثير الحرارة على المونة الأسمنتية والخرسانة أمرًا ضروريًا.

في هذا الإطار، تُعتبر دراسة استخدام مسحوق أوراق نبات الأثل كبديل جزئي للأسمنت خطوة واعدة. يُعتبر مسحوق الأثل مادة غير عضوية وغير قابلة للتحلل في الظروف البيئية الطبيعية، مما يجعله خيارًا مناسبًا لتحسين أداء الخرسانة تحت درجات الحرارة العالية. يُمكن أن يُساهم هذا التحول في تقليل الانبعاثات الكربونية الضارة، حيث يُستخرج الأثل من مصادر نباتية متجددة. تُعزز هذه المبادرة من جهود تحقيق بناء مستدام وصديق للبيئة، مما يُساهم في الحفاظ على الموارد الطبيعية وتقليل الأثر السلبي لصناعة الأسمنت على البيئة.

لم تُسجل الدراسات السابقة أي استخدامات لمسحوق نبات الإثل كبديل جزئي للأسمنت في المونة الأسمنتية عند تعرضها لدرجات الحرارة المرتفعة. رغم التقدم في مجال الهندسة المدنية، يُعتبر هذا البحث الأول من نوعه الذي يتناول هذا الموضوع، مما يجعله نقطة انطلاق مهمة لاستكشاف تأثير نبات الإثل على خصائص المونة، مثل مقاومة الانضغاط والانحناء. كما يُتيح هذا البحث فرصًا جديدة للابتكار في تصميم المونة.

تم تقييم تأثير درجات الحرارة على المونة الأسمنتية باستخدام ثلاث خلطات. عُولجت الخلطات في الهواء والماء لمدة 28 يومًا ثم تعرضت لدرجات حرارة من 7 إلى 150 م°. أظهرت النتائج أن المعالجة بالماء حسنت المقاومة. زادت درجات الحرارة 50 و150 م° من مقاومة المونة، بينما انخفضت الكثافة ونسبة الامتصاص. عند −7 و5 م° انخفضت مقاومة الانضغاط والانحناء وزادت الكثافة ونسبة الامتصاص (الطوير وآخرون، 2019).

درس خيربك وطوالو (2016) تأثير إضافة حبيبات البولي إيثيلين كبديل نسبي للرمل على خصائص المونة الإسمنتية عند درجات حرارة مرتفعة. أُعدت العينات في معامل كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين، واستهدف البحث تقييم تأثير هذا التعديل على مقاومة الانضغاط والشد، وتحديد درجة الحرارة المثلى.

أظهرت النتائج أن المونة المعدلة بالبولي إيثيلين كانت تعاني من انخفاض في المقاومة الميكانيكية عند درجات الحرارة العادية، لكنها تحسنت بشكل ملحوظ قرب درجة ذوبان البولي إيثيلين. كان حجم التغير مرتبطًا بمحتوى البوليميرات ودرجة الحرارة. حدد الباحثون نسبة الاستبدال المثلى عند 160 م°.

قام Nneka وآخرون (2019) بتقييم تأثير درجات الحرارة المرتفعة على قوة ضغط الخرسانة، من خلال اختبارات مختبرية ونموذج رياضي. استخدمت الخرسانة بدرجة 25 نيوتن/مم² مع تصميم مزيج بنسبة 1:1.5:3 ونسبة ماء إلى أسمنت 0.56. صُب 21 مكعبًا بأبعاد 150 مم × 150 مم × 150 مم، وتم تجفيفها في الماء لمدة 28 يومًا. بعد ذلك، جُففت بالهواء قبل تعريضها لدرجات

© 2025 The Author(s). This open access article is distributed under a CC BY-NC 4.0license.

حرارة مرتفعة (28، 50، 100، 150، 200، 300، و400 م°C) لمدة ساعة لكل درجة. تم قياس قوة الانضغاط بعدها. كما تم تطوير نموذج انحدار غير خطي للتنبؤ بقوة الانضغاط بعد التسخين، حيث أظهر قدرة جيدة على التنبؤ بقوة الانضغاط بمعامل ارتباط بلغ 0.81.

درس Tufail وآخرون (2017) تأثير درجات الحرارة المرتفعة على الخواص الميكانيكية للخرسانة باستخدام الركام من الحجر الجيري والكوارتزيت والجرانيت. تم تحضير ثلاث خلطات خرسانية وتعريضها لدرجات حرارة بين 25 و650 م°C لمدة ساعتين. أظهرت النتائج أن الخواص الميكانيكية تأثرت بنوع الركام ودرجات الحرارة، حيث انخفضت مقاومة الشد والانضغاط ومعامل المرونة مع ارتفاع الحرارة. كانت الخرسانة المصنوعة من ركام الجرانيت الأفضل، تليها الكوارتزيت ثم الحجر الجيري. كما أُشير إلى أن عدم التكافؤ في سلوك التمدد الحراري بين المونة والركام يؤثر على الخواص الميكانيكية.

قام Adel وآخرون (2010) بدراسة تأثير مسحوق الحجر الجيري كمادة تعويضية للأسمنت على مقاومة الانضغاط والشد، وتأثير درجات الحرارة المرتفعة على الخرسانة. استخدم الباحثون نسبًا مختلفة من مسحوق الحجر الجيري (0، 10، 15، 20، و25)٪ من وزن الأسمنت. أظهرت النتائج أن مسحوق الحجر الجيري يعوض عن التغيرات في مقاومة الانضغاط والشد، لكن لوحظ تأثير سلبي على الخصائص عند تجاوز نسبة 15٪. بعد التعرض لدرجات حرارة مرتفعة (200، 400، و600 م°C)، سجلت النتائج انخفاضًا متفاوتًا في مقاومة الانضغاط والشد.

قام نجم وآخرون (2018) بدراسة خواص الخرسانة باستخدام نسب مختلفة من مسحوق الرخام (0، 5، 10، 20، و40%) كاستبدال جزئي للإسمنت. أُجريت اختبارات مقاومة الانضغاط، ومقاومة الشد الانشطاري، ومقاومة الانحناء، وسرعة الموجات فوق الصوتية بعد 28 يومًا من المعالجة. أظهرت النتائج أن إضافة 5% من مسحوق الرخام يحسن خواص الخرسانة، حيث زادت مقاومة الانضغاط والشد الانشطاري والانحناء بنحو 3% مقارنةً بالخلطة المرجعية، بينما تدهورت الخواص مع النسب الأعلى.

أُجريت دراسة معملية على مكعبات لتقييم الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمونة الأسمنتية مع نسب مختلفة من مسحوق نبات الأثل (0.5%، 1%، 2%، و4%) كبديل جزئي للأسمنت، بالإضافة إلى العينة المرجعية (0%). تعرضت العينات لدرجات حرارة مرتفعة (20، 40، 60، و80 درجة مئوية) بعد 28 يومًا من المعالجة.

أظهرت النتائج انخفاض الخواص الميكانيكية والفيزيائية مع زيادة نسبة الأثل ودرجات الحرارة، وكان التأثير واضحًا عند 4% من الأثل و80 م^2.

المواد المستخدمة

الاسمنت

الأسمنت المستخدم في هذه البحث هو الأسمنت البورتلاندي من إنتاج مصنع الفتايح للأسمنت (درنة – ليبيا)، والذي يتماشى مع المواصفة البريطانية BS 12: 1996.

الرمل

تم استخدام الرمل الطبيعي بكثافة نوعية تبلغ 2.69 وامتصاص يصل إلى 2.38%، وهو متوافق مع المواصفة البريطانية BS 882:1992.

© 2025 The Author(s). This open access article is distributed under a CC BY-NC 4.0license.

ماء الخلط والمعالجة

الماء المستخدم في خلط الخرسانة ومعالجتها كان ضمن حدود المواصفة البريطانية BS 3148:1980.

مسحوق نبات الاثل

تم جلب نبات الأثل من مدينة جالو، كما هو موضح في الشكل 1. بعد ذلك، تم تعريضه للحرارة في فرن كهربائي لإزالة الرطوبة. عقب عملية التجفيف، تم طحن الأثل الجاف للحصول على مسحوق ناعم. لضمان تناسق نعومة مسحوق الأثل مع نعومة الأسمنت، تم تصفية المسحوق باستخدام غربال بفتحة قدرها 90 ميكرون (شكل 2). يُعتبر مسحوق الأثل مادة غير عضوية وغير قابلة للتحلل، كما أظهرت نتائج التحليل الكيميائي (Alhawa وآخرون، 2024).

خلط مواد المونة الاسمنتية

تم دمج مكونات المونة الأسمنتية (رمل، إسمنت، وماء) مع نسب متفاوتة من مسحوق نبات الأثل (0.5، 1، 2 و 4% من وزن الإسمنت) وفقًا للمواصفة الأمريكية ASTM C109. وُضعت مكونات الخلط في الخلاط، حيث تم مزج الرمل الجاف، والإسمنت، ومسحوق نبات الأثل لمدة 30 ثانية. بعد ذلك، تمت إضافة الماء تدريجياً على مدار 15 ثانية، واستمر الخلط لمدة دقيقتين لكل خليط من المونة الأسمنتية. تم اتباع نفس الإجراءات مع الخلطة المرجعية، دون إضافة مسحوق نبات الأثل. بعد الانتهاء من عملية الخلط، أُجريت الاختبارات المعملية على المونة الأسمنتية بعد المعالجة في الماء لمدة 28 يوماً.

شكل (1) نبات الاثل

شكل (2) مسحوق نبات الاثل

© 2025 The Author(s). This open access article is distributed under a CC BY-NC 4.0license.

شكل (3) مكونات المونة الاسمنتية

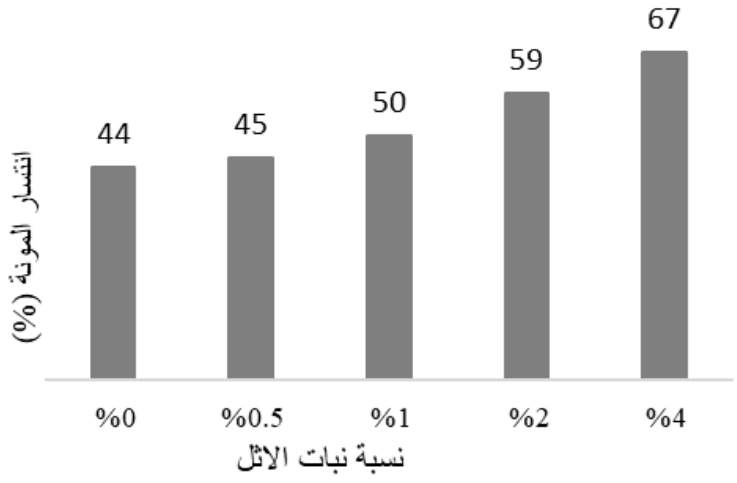
معالجة وتجهيز العينات

بعد 28 يومًا من صب العينات، تم استخراجها من الحوض المائي وتجفيفها بواسطة مناديل نظيفة. استخدم فرن كهربائي لتسخين مكعبات المونة الأسمنتية (50×50×50 مم) وعتبات صغيرة (40×40×160 مم) المحتوية على مسحوق نبات الأثل أو غير المحتوية، إلى درجات حرارة مختلفة (40، 60، و80 درجة مئوية) لمدة 24 ساعة. بعد ذلك، أُجريت الاختبارات المعملية على العينات، بالإضافة إلى العينات المرجعية التي لم تتعرض لأي درجة حرارة.

الاختبارات المعملية

انتشار المونة

أظهرت النتائج المبينة في الشكل 4 أن إدخال مسحوق نبات الأثل بنسب متفاوتة (0.5%، 1%، و2%) كبديل جزئي لوزن الإسمنت أثر بشكل إيجابي على سلاسة المونة الأسمنتية مقارنة بالعينة المرجعية (0%). حيث ارتفعت نسب الهطول إلى 45.44%، 50.04%، و58.60% على التوالي، مقابل 43.50% للعينة االمرجعية، مما يشير إلى تحسين في انسيابية المونة. وفقًا للمواصفة الأمريكية ASTM C230، يُعتبر انتشار المونة الأسمنتية كان ضمن حدودها 80% إلى 110%.

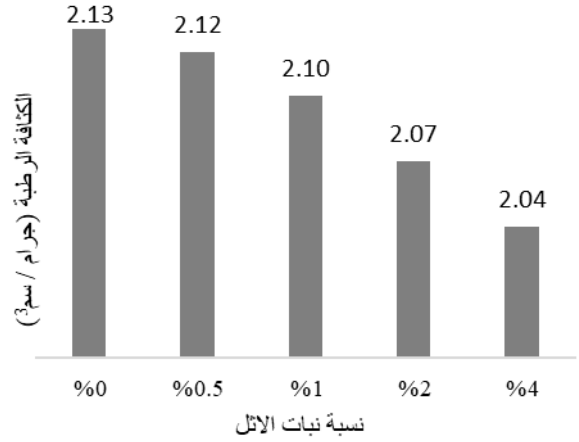


شكل (4) قيم انتشار المونة الاسمنتية

© 2025 The Author(s). This open access article is distributed under a CC BY-NC 4.0license.

الكثافة الطرية

النتائج تشير الى أن اضافة نبات الأثل بنسب متنوعة (0.5%، 1%، و2%) كبديل جزئي لوزن الإسمنت أثر على الكثافة الطرية للمونة الأسمنتية مقارنة بالعينة المرجعية (0%) (شكل 5). انخفضت الكثافة إلى 2.07 جرام/سم³ عند إضافة 2% من الأثل، بينما كانت الكثافة للعينة المرجعية 2.13 جرام/سم³، مما يشير إلى انخفاض بنسبة 2.82%، مما يدل على تأثير طفيف على الكثافة. يُفسر هذا الانخفاض بارتفاع الوزن النوعي للرمل، الذي يبلغ 2.69 جرام/سم³، مقارنةً بمسحوق نبات الأثل الذي يقدر بحوالي 1.0 جرام/سم³.



شكل (5) الكثافة الطرية

الامتصاص

يبين الشكل 6 نتائج امتصاص الماء للمونة الأسمنتية التي تم إضافة نسب مختلفة من مسحوق نبات الأثل إليها، إلى جانب العينة المرجعية (0% أثل) بعد 28 يومًا من المعالجة. تشير البيانات إلى زيادة ملحوظة في امتصاص الماء مع ارتفاع نسبة الأثل، حيث سجلت العينة المرجعية نسبة امتصاص مقدارها 2.24%. عند إضافة 1% من الأثل، ارتفعت النسبة إلى 2.56%، ثم زادت إلى 2.87% عند إضافة 2% من الأثل. يعلل هذا الارتفاع في امتصاص الماء إلى البنية المسامية لمادة الأثل. كلما زادت نسبة الأثل، زادت المسام في التركيبة، مما يعزز المساحة السطحية المتاحة لامتصاص الماء. بالإضافة إلى ذلك، فإن قدرة الأثل على امتصاص الماء تفوق تلك الخاصة بالرمل الطبيعي، الذي يسجل نسبة امتصاص تبلغ 2.38%.

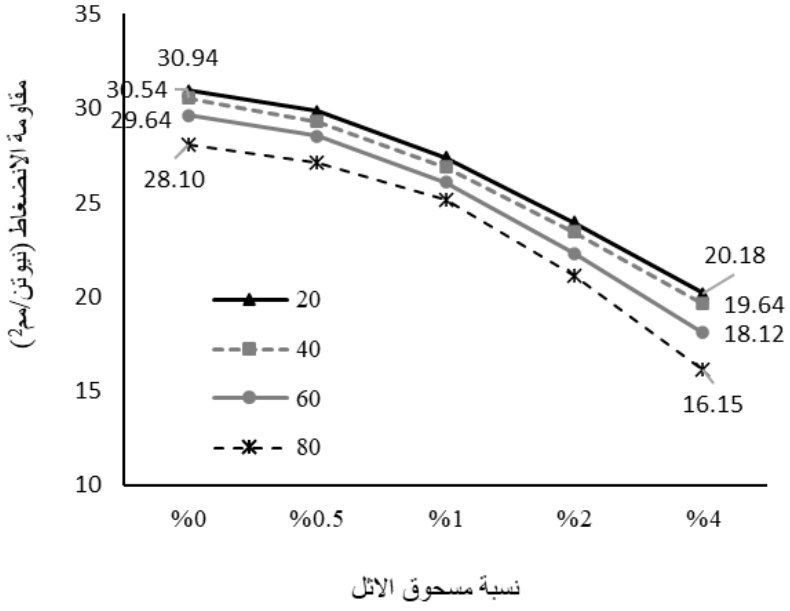
شكل (6) امتصاص الماء

© 2025 The Author(s). This open access article is distributed under a CC BY-NC 4.0license.

مقاومة الانضغاط

يوضح الشكل 7 سلوك مقاومة الانضغاط لمكعبات المونة الأسمنتية مع نسب مختلفة من مسحوق نبات الأثل (0%، 0.5%، 1%، 2%، و4%) عند درجات حرارة متنوعة (40، 60، 80 درجة مئوية) مقارنة بالعينة المرجعية عند 20 مئوية. تظهر النتائج أن العينة المرجعية حققت مقاومة أعلى، بينما تراجعت مقاومة الانضغاط مع زيادة نسبة الأثل، حيث سجلت أقل قيمة 16.15 نيوتن/مم² عند 4%.

يفسر ذلك إلى أن المونة التي تفتقر إلى الأثل تخضع لتفاعلات كيميائية أكثر فعالية أثناء التصلب، مما يعزز قوتها. بالمقابل، تؤدي زيادة الأثل إلى تقليل التماسك.

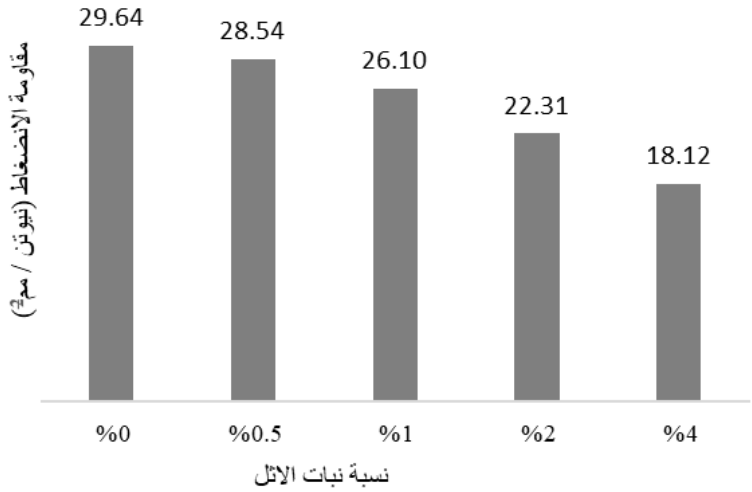


شكل (7) مقاومة الانضغاط عند حرارة مختلفة

كما تأثرت المقاومة بشكل ملحوظ عند درجات الحرارة المرتفعة، حيث كان الانخفاض طفيفًا عند 40 مئوية، بينما بدأ الانخفاض الملحوظ عند 60 مئوية بسبب فقدان الماء الداخلي، مما يؤدي إلى ضعف الترابط وظهور شقوق دقيقة. عند 80 مئوية، يحدث تبخر سريع للماء، مما يقلل من كفاءة الإماهة ويزيد من الإجهادات الحرارية، مما يساهم في تقليل المقاومة.

يعرض الشكل 8 مقاومة الانضغاط لمكعبات المونة الأسمنتية عند تعرضها لدرجة حرارة 60 مئوية مع نسب متنوعة من الأثل (0.5%، 1%، 2%، و4%)، بجانب العينة المرجعية (0%) والتي لا تحتوي على الاثل. تشير النتائج إلى أن العينة المرجعية (0%) حققت أعلى قيمة لمقاومة الانضغاط، حيث بلغت 29.64 نيوتن/مم². مع زيادة نسبة الأثل، لوحظ تراجع مستمر في مقاومة الانضغاط. فقد سجلت العينة التي تحتوي على 0.5% من الأثل مقاومة قدرها 28.54 نيوتن/مم²، بينما كانت أقل قيمة لمقاومة الانضغاط عند نسبة 4%، حيث بلغت 18.12 نيوتن/مم².

© 2025 The Author(s). This open access article is distributed under a CC BY-NC 4.0license.



شكل (8) مقاومة الانضغاط عند حرارة 60 م^0

كما يوضح الجدول 1 نسبة الانخفاض في مقاومة الانضغاط عند درجة حرارة 60 م^0 مع زيادة نسبة الأثل. فقد تراجعت المقاومة عند إضافة 0.5% من الأثل بنسبة 3.71%. وعند زيادة النسبة إلى 1%، بلغ الانخفاض 11.94%. بينما سجلت نسبة 2% انخفاضًا قدره 24.73%. أما العينة التي تحتوي على 4% من الأثل، فقد أظهرت انخفاضًا أكبر بلغ 38.87%. تعكس هذه النتائج تأثير الحرارة ونسبة الأثل على مقاومة المونة الأسمنتية، خاصة عند إضافة 4%.

جدول (1) نسبة الانخفاض في مقاومة الانضغاط عند 60 م^0

مسحوق الاثل (%)	0	0.5	1	2	4
مقاومة الانضغاط(نيون/مم^2)	29.64	28.54	26.10	22.31	18.12
الانخفاض (%)	0	3.71	11.94	24.73	38.87

نمط الفشل

الشكل 9 يوضح أنماط الانهيار والتشققات للمكعبات المونة الأسمنتية التي تحتوي على مسحوق نبات الأثل مقارنةً بتلك التي لا تحتوي عليه، والتي تعرضت لدرجات حرارة مختلفة (20، 40، 60، 80 درجة مئوية) قبل تعرضها لحمل ميكانيكي. بعد تسخين العينات، تم تحميلها بقوة مقدارها 2 كيلو نيوتن لكل ثانية حتى حدوث الانهيار.

في جميع العينات، كانت الشقوق تتشكل على جانبي مكعب المونة الأسمنتية وتستمر في الاتساع مع زيادة الحمل الميكانيكي، حتى تنهار العينة عند قوى متفاوتة. كانت أعلى قوة مسجلة خاصة بالعينة المرجعية، بينما كانت القوة تقل تدريجيًا مع زيادة نسبة الأثل ودرجات الحرارة، كما هو موضح في الشكل 7.

© 2025 The Author(s). This open access article is distributed under a CC BY-NC 4.0license.

العينة (0%) العينة (0.5%)

شكل (9) انهيار مكعبات المونة الأسمنتية عند 40 م^0

الاستنتاج

- إن استخدام مسحوق نبات الأثل بنسب 0.5%، 1%، 2%، و4% من وزن الأسمنت يساهم في تحسين انتشار المونة.
- أن استخدام مسحوق نبات الأثل كبديل جزئي للأسمنت يؤدي إلى تقليل الكثافة الطرية للمونة الأسمنتية بمعدل يصل إلى 5%. يمكن تفسير هذا الانخفاض بارتفاع الوزن النوعي للرمل (2.69 جرام/سم^3) مقارنة بمسحوق نبات الأثل (1.0 جرام/سم^3).
- زيادة في نسبة امتصاص الماء مع زيادة الأثل. يفسر هذا إلى الطبيعة المسامية لمادة الأثل، التي تُظهر قدرة أعلى على امتصاص الماء مقارنة بالرمل الطبيعي.
- انخفضت مقاومة الانضغاط مع زيادة نسبة الأثل. يُعزى ذلك إلى فعالية التفاعلات الكيميائية في المونة الخالية من الأثل، مما يعزز قوتها.
- تأثرت مقاومة الانضغاط عند تعرضها لدرجات حرارة (40، 60، 80 درجة مئوية) مقارنة بالعينة المرجعية (20 مئوية). يُعزى ذلك إلى زيادة فقدان الماء الداخلي في المونة، مما يسبب انكماشًا جفافيًا وتشكل شقوق دقيقة تؤثر سلبًا على البنية. كما تساهم الإجهادات الحرارية الداخلية في تشقق المونة، مما يقلل من مقاومتها.
- كانت أنماط الانهيار لمكعبات المونة الأسمنتية، سواء المحتوية على الأثل أو غير المحتوية، متشابهة

تشير النتائج إلى أن النسبة المثالية لمادة الأثل في المونة الأسمنتية هي 1%، حيث تؤدي إلى تأثيرات محدودة على الخواص الفيزيائية والميكانيكية، مع انخفاض لا يتجاوز 15%.

المراجع

أشرف نجم، عمر الزروق، سحر جمال، نسيبه أبوبكر، (2018) "خواص الخرسانة المحتوية على مسحوق الرخام كاستبدال جزئي من الاسمنت" المؤتمر الوطني السابع لمواد البناء والهندسة الإنشائية – البيضاء – ليبيا.

الطوير، نورالدين، العزاوي، عبد الله والبيوني، حسام (2019). تأثير ظروف المعالجة واختلاف درجات الحرارة على خواص

© 2025 The Author(s). This open access article is distributed under a CC BY-NC 4.0license.

المونة الإسمنتية. المؤتمر الدولي الثاني للعلوم التقنية. طرابلس. ليبيا

علي خيربك، على طوالو (2014). دراسة تحسين الخصائص الميكانيكية للمونة الإسمنتية المعدلة بالنفايات البوليميرية بدرجات الحرارة المرتفعة، مجلة العلوم الهندسية، (5) 36.

Adel M., Z., Burhan, A., & Ahmad, A., (2010). Influence of limestone powder as partial replacement of cement on concrete and the effect of high temperature on it. Al-Rafidain Engineering Journal (AREJ), 18(5), 24-34

ASTM C109: Method for determination of compressive strength.

ASTM C230: Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement.

BS 12:1996 Specification for Portland cement.

BS 3148:1980 Methods of test for water for making concrete.

BS 882: 1992: Aggregate from natural sources for concrete.

Nneka, U., Ikemefuna, E., & Ugwuanyi Donald, C. (2019). Experimental and Predictive Method for Compressive Strength of Concrete with Temperature Effects. Journal of Mechanical and Civil Engineering pp 05-08.

Tufail, M., Shahzada, k., & Gencturk, B. (2017). Effect of elevated temperature on mechanical properties of limestone, quartzite and granite concrete. Int. journal of concrete structure 11, 17–28.

© 2025 The Author(s). This open access article is distributed under a CC BY-NC 4.0license.