المجلة الليبية للدراسات الأكاديمية المعاصرة (Libyan Journal of Contemporary Academic Studies)
LJCAS, eISSN: 5970-3005
Volume 3, Issue 2 (Part II), 2025, Pages: 160-177

Effect of Adding Sand on Cement Mixtures: An Experimental Investigation of Compressive Strength Using Portland Cement and Nalut Sand

Zinab Mubark Issa [*1], Somaya Massoud Abdo [2]
[1]Department of Mining Engineering, Faculty of Natural Resources Engineering - Al-Ajilat, University of Zawiya, Al-Ajilat, Libya
[2] Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, University of Tripoli, Tripoli, Libya
*Corresponding author: z.issa@zu.edu.ly

تأثير إضافة الرمل على الخلطات الإسمنتية: دراسة تجريبية لمقاومة الضغط باستخدام أسمنت بورتلاندي ورمل نالوت

زينب عيسى [*1] ، سمية عبدو [2]
[1] قسم هندسة التعدين، كلية هندسة الموارد الطبيعة-العجيلات ، جامعة الزاوية، العجيلات، ليبيا
[2] قسم هندسة التعدين، كلية الهندسة، جامعة طرابلس، طرابلس، ليبيا

Received: 22-09-2025; **Accepted:** 10-12-2025; **Published:** 20-12-2025

Abstract:
This study aims to evaluate the effect of adding different proportions of sand on the compressive strength of cementitious mixes. Portland cement and sand sourced from Nalut were used, and compressive strength tests were conducted in accordance with the international standard ASTM C109. Cubic specimens were prepared and tested at curing ages of 7 and 28 days. The specimens were produced with varying sand-to-cement ratios. The results showed an inverse relationship between sand content and compressive strength, whereas increasing the cement content led to a noticeable improvement in compressive strength. One specimen yielded an anomalous and illogical result during testing; it was retested successfully, highlighting the importance of quality control in experimental work. The results were graphically represented and analyzed to determine the optimum proportions for engineering applications. The study recommends the use of specific optimal sand–cement mixing ratios that balance quality and cost to achieve the best engineering performance. Furthermore, it opens prospects for the utilization of local materials in construction projects in accordance with precise economic and technical standards.

Keywords: Cement, sand, compressive strength, cement mixtures, mechanical properties, Nalut sand.

الملخص :
تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير إضافة نسب مختلفة من الرمل على مقاومة الضغط للخلطات الإسمنتية، تم استخدام أسمنت بورتلاندي ورمال مأخوذة من نالوت، وأُجري اختبار الضغط وفقًا للمعايير الدولية ASTM C109. تم إعداد عينات مكعبة واختبارها عند أعمار 7 و28 يومًا. العينات تم تحضيرها بنسب متفاوتة من الرمل إلى الأسمنت أظهرت النتائج أن هناك علاقة عكسية بين نسبة الرمل ومقاومة الضغط، في حين أن زيادة نسبة الأسمنت أدت إلى تحسن واضح في قوة تحمل الضغط، وقد أظهرت نتائج إحدى العينات في التجربة قيمة شاذة غير منطقية، وأعيد اختبارها بنجاح، مما يؤكد أهمية ضبط الجودة في العمل التجريبي. تم تمثيل النتائج بيانياً وتحليلها لتحديد النسب المثلى للاستخدام في التطبيقات الهندسية. توصي الدراسة باستخدام نسب محددة مثالية لخلط الاسمنت مع الرمل توازن بين الجودة والتكلفة، لتحقيق الأداء الهندسي الأفضل، كما تفتح آفاقًا لتوظيف المواد المحلية في مشاريع الإنشاءات وفقًا لمعايير اقتصادية وتقنية دقيقة.

الكلمات المفتاحية: الأسمنت، الرمل، مقاومة الضغط، الخلطات الإسمنتية، الخواص الميكانيكية، رمال نالوت.

مقدمة: -

الرمل يعد من المواد الإنشائية الأساسية التي تُستخدم على نطاق واسع في أعمال البناء والردم نظرًا لخصائصه الفيزيائية المستقرة، حيث يُستخدم بشكل واسع في إنتاج الخرسانة والملاط، إلا أنه يُعاني من ضعف في التماسك وقوة التحمل خاصة تحت الأحمال العالية ولأن خصائص الرمل تؤثر بشكل مباشر على جودة ومتانة المواد الإنشائية، فإن تحسين هذه الخصائص يُعد من الأولويات في مجالات الهندسة. في السنوات الأخيرة تزايد الاهتمام بتحسين أداء الرمل عن طريق إضافة مواد رابطة مثل الأسمنت، وذلك لتعزيز خصائصه الفيزيائية والميكانيكية، فالإسمنت يعرف بقدرته على تحسين التماسك والصلابة في الخلطات المختلفة مما يجعله مادة مثالية لتحسين جودة الرمل في الاستخدامات الإنشائية المختلفة، ومن التحديات الرئيسية في استخدام الرمل في تطبيقات البناء هو تحقيق التوازن بين الخصائص الميكانيكية والفيزيائية مثل الكثافة، والمسامية وقوة

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

التحمل. تعتمد الخلطات الاسمنتية بشكل كبير على التفاعل بين الأسمنت والرمل لتحقيق الخصائص الميكانيكية المطلوبة والأداء طويل الأمد. يؤثر هذا التفاعل بشكل مباشر على مقاومة الضغط، وهي مقياس أساسي لقدرة المادة على تحمل الأحمال بالإضافة إلى ذلك يساهم الرمل في تقليل الانكماش والتشقق، مما يعزز الاستقرار والمتانة الكلية للهيكل. لكن زيادته قد تؤثر سلبًا على قوة التحمل. في المقابل، يُعد الأسمنت المادة الرابطة التي تعطي الصلابة والمتانة للخلطة، وزيادة نسبته غالبًا ما تؤدي إلى تحسين مقاومة الضغط، مع ارتفاع في التكلفة.

مشكلة البحث: -

في ظل الاعتماد المتزايد على المواد المحلية في صناعة الخرسانة والمونة الإسمنتية، يظل اختيار نوعية الرمل ونسب إضافته إلى الأسمنت من أبرز العوامل التي تؤثر على مقاومة الضغط ومتانة الخلطات, ورغم أن العديد من الدراسات العالمية والعربية تناولت تأثير نسب الخلط، إلا أن المعلومات حول رمال منطقة نالوت بليبيا ما زالت محدودة، خصوصًا فيما يتعلق بمدى صلاحيتها كمادة مضافة في خلطات الأسمنت البورتلاندي، ومدى توافق خصائص هذه الرمال مع متطلبات المواصفات القياسية، وتأثيرها المباشر على مقاومة الضغط للخلطات الإسمنتية. يكمن السؤال الرئيسة لمشكلة البحث في الآتي:

ما النسب المثلى من رمال نالوت في الخلطات الإسمنتية باستخدام الأسمنت البورتلاندي العادي التي تحقق أعلى مقاومة للضغط؟

كما تهدف هذه الدراسة لفهم العلاقة بين نسبة الرمل وخواص الخلطة الإسمنتية، وقدرتها على مقاومة الضغط، باستخدام أسمنت بورتلاندي ورمال مأخوذة من منطقة نالوت، المعروفة بجودة رمالها. وتم إجراء اختبار الضغط لمجموعة من العينات مختلفة النسب لتحديد العلاقة بين مكونات الخلطة وخواصها النهائية.

منهجية البحث:

اعتمدت هذه الدراسة على منهج تجريبي تحليلي يهدف إلى تقييم إضافة نسب مختلفة من الأسمنت والرمل على مقاومة الضغط للمونة الإسمنتية وسيتم تنفيذ اختبار مقاومة الضغط وفقًا للمعايير القياسية، تم إعداد مجموعة من العينات بنسب مختلفة من الرمل إلى الأسمنت، باستخدام ماء نظيف ومعايير تحضير متطابقة. أُجري اختبار مقاومة الضغط بعد 7 و28 يوما باستخدام جهاز الضغط القياسي.

الدراسات السابقة:

1-Neville, A.M. (2011)، Properties of Concrete:

تناولت هذه الدراسة تأثير مكونات الخلطة الخرسانية، خاصة نسبة الأسمنت إلى الركام، على الخواص الميكانيكية للخرسانة. أوضح نيفيل أن زيادة نسبة الأسمنت تُحسّن من مقاومة الضغط إلى حد معين، لكن الإفراط في الزيادة يؤدي إلى مشاكل في التقلص والتشقق لاحقًا.

2**Mechanical Properties of Sandy Soil Improved with Cement and Nanosilica-**

للباحثين Asskar Janalizadeh Choobbasti، Ali Vafaei، وSaman Soleimani Kutanaei، نُشرت في مجلة Open Engineering 2015 (degruyter.com) تُظهر هذه الدراسة أن إضافة الأسمنت إلى التربة الرملية يُحسّن من خصائصها الميكانيكية، مثل مقاومة الضغط غير المحصور والكثافة الجافة القصوى. كما أن استخدام النانوسيليكا مع الأسمنت يُعزز هذه الخصائص بشكل أكبر.

3-Effect of Sand Size on Mechanical Performance of Cement-Based Composite-Containing PVA Fibers and Nano-SiO2

دار نشر(MDPI)10 January 2020

في هذه الورقة البحثية، تم دراسة تأثير حجم الرمل على الأداء الميكانيكي للمركبات الأسمنتية، شمل الأداء الميكانيكي المدروس مقاومة الانضغاط، ومقاومة الانحناء، ومقاومة الشد، ومقاومة الكسر. تم اعتماد رمل السيليكا كركام ناعم, أُجريت عملية المعالجة لمدة 28 يومًا لجميع العينات تحت درجة حرارة 20 درجة مئوية ورطوبة 95%. خلصت الدراسة إلى أن الرمل الناعم قلل من قابلية التشغيل والقوة الميكانيكية للمركبات المُقوّاة بـ PVA والمحتوية على NS. ومع ذلك، كان هذا الانخفاض محدودًا جدًا في جزيئات الرمل التي يقل حجمها عن 380 ميكرومتر. انخفضت قوة الشد القصوى، ومتانة الكسر، والطاقة مع انخفاض حجم الرمل. إضافةً إلى ذلك، كان أداء الكسر للمركبات يعتمد بشكل كبير على طاقة الكسر

4- Experimental evaluation of the behavior of Sandy Soil–Cement Mixture

. Revista INGENIERÍA UC, vol. 26, no. 3, pp. 258-272, 201 -10 June 2019

تناولت الدراسة إحدى تقنيات تحسين التربة الرملية هي تثبيت الأسمنت. يؤدي تثبيت الأسمنت إلى تفاعلات تعمل على تحسين الخصائص الأولية للتربة الرملية. في هذه الدراسة، يتم دمج التربة الرملية بنسب مختلفة من الأسمنت (0، 3، 6، 9)٪، وخلصت الدراسة الى إن إضافة 9٪ من الأسمنت إلى التربة أثناء المعالجة لها التأثير الأكبر على تصحيح خصائص التربة الرملية. بالإضافة إلى تحسين قوة الضغط والقص للعينات، فإنه يزيد أيضًا من لدونة العينات، مما يجعلها أكثر مقاومة للرطوبة.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

5- دراسة تغير مواصفات الخرسانة باختلاف مصادر الرمل المستخدم في الجنوب الليبي

عبد المجيد محمد التلماتي، الناشر المؤتمر الوطني السادس للبناء والهندسة الإنشائية 2015/20/10

تبرز أهمية دراسة مواد الخرسانة ومقارنة مكوناتها المصنعة محليا للحصول على خرسانة مسلحة ذات مقاومة عالية للمساهمة في توجه بلادنا نحو التطور العمراني والانشائي, تم استخدام ثلاث أنواع من الرمل) رمل سبها- رمل ودان- رمل زلة (مع استخدام نفس نوع الاسمنت لجميع الخلطات ونوع واحد من الركام الخشن وبنفس كمية الماء لتحديد تأثيره على خواص الخرسانة المتصلدة والطازجة. واظهرت النتائج تفاوتا في تأثير أنواع الرمل المستخدم على خواص الخرسانة من حيث تحملها للضغط ومقاومتها للشد).

أهمية الدراسة:

1- تسلط الدراسة الضوء على إمكانية استخدام المواد المحلية (رمال منطقة نالوت)
في الخلطات الإسمنتية، مما يساهم في تقليل الاعتماد على الموارد المستوردة وخفض التكاليف.
2- تقدم الدراسة تقييمًا عمليًا لتأثير نسب الرمل على مقاومة الضغط، مما يساعد في تحسين تصميم الخلطات الخرسانية وزيادة كفاءتها الإنشائية.
3- تساهم الدراسة في توفير معلومات بحثية محلية حول خواص رمال المناطق الغربية في ليبيا ومدى توافقها مع المعايير الدولية في صناعة الخرسانة.
4- تقديم مجموعة من المقترحات والتوصيات حول استخدام رمال محلية في المشاريع الهندسية.

1- الرمل:-

الرمل هو مادة طبيعية تتكون أساسًا من حبيبات ناتجة عن تفكك الصخور والمعادن نتيجة تعرضها لعوامل التجوية والتعرية, مكونات الرمل تختلف حسب نوعه ومصدره، وفيما يلي أهم المكونات الرئيسية:

1.1- المكونات الرئيسية للرمل:

1. ثاني أكسيد السيليكون (SiO_2) : يشكل حوالي 70% إلى 95% من تركيبة الرمل,
يوجد في شكل كوارتز (Quartz)، وهو أكثر المعادن مقاومة للعوامل الجوية.
2. معادن ثقيلة مثل: الفلسبار، المايكا، الزركون، الماغنيتيت، الروتيل، الهورنبلند ,وجود هذه المعادن يختلف حسب المنشأ الجيولوجي للرمل.
3. شوائب معدنية وطينية: قد يحتوي الرمل على نسب بسيطة من الطين، الكربونات، أو أكاسيد الحديد، مما يغيّر لونه إلى الأصفر أو الأحمر.
4. مواد عضوية (في الرمال القريبة من مصادر نباتية أو مائية، قد توجد بقايا عضوية أو مواد متحللة). Neville (2011),(المواصفة القياسية الليبية رقم 2009/340)
5. الرمل السيليسي: عالي النقاء ويُستخدم غالبًا في الصناعات الزجاجية والسيراميكية، لكنه قد يُستخدم أحيانًا في الخلطات الخاصة.((Das, Braja M. (2010)

2.1- الخصائص الفيزيائية والكيميائية للرمل:-

يتميز بمجموعة من الخصائص الفيزيائية والكيميائية التي تحدد مدى ملاءمته للاستخدامات الهندسية.

أولًا: الخصائص الفيزيائية:

1. المسامية: تشير إلى نسبة الفراغات في الرمل مقارنةً بحجم الرمل الكلي. كلما زادت المسامية، زادت قدرة الرمل على الاحتفاظ بالماء، مما يؤثر على استقراره.
2. حجم الحبيبات يتراوح بين 0.063 مم و2 مم حسب تصنيف الجمعية الأمريكية لاختبار المواد (ASTM)، حيث يُصنف الرمل الناعم إذا كانت الحبيبات أقل من 0.5 مم، والخشن إذا كانت أكبر من ذلك.
3. الشكل والملمس: قد تكون الحبيبات مستديرة أو زاوية، وملمسها ناعم أو خشن، مما يؤثر على تماسكه مع عجينة الإسمنت.
4. الكثافة النوعية: تتراوح عادة بين 2.5 و2.7 جم/سم³، ويرتبط ذلك بمحتوى المعادن الثقيلة والخفيفة, حيث (الكثافة الجافة: هي وزن الرمل لكل وحدة حجم دون احتساب الرطوبة. تُستخدم لتحديد الوزن الإجمالي للخرسانة. الكثافة المشبعة: هي الوزن الكلي للرمل عندما يكون مشبعًا بالماء تؤثر على مقاومة الضغط والتحمل) .
5. الامتصاص والرطوبة: قدرة الرمل على امتصاص الماء تعتمد على حجم المسام، وتؤثر على نسبة الماء في الخلطات الخرسانية.

ثانيًا: الخصائص الكيميائية:

- محتوى السيليكا (SiO_2): يمثل المكون الرئيسي بنسبة غالبًا تتجاوز 85%، وهو المسؤول عن الصلابة ومقاومة التآكل.
- أكاسيد الألومنيوم (Al_2O_3): توجد بكميات أقل وتزيد من مقاومة الرمل للحرارة والتفاعلات الكيميائية.
- أكاسيد الحديد (Fe_2O_3): تمنح الرمل اللون المائل إلى الأصفر أو البني وقد تؤثر على لون الخرسانة.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

- كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$): تظهر خاصة في الرمال القريبة من البيئات الجيرية أو البحرية، وقد تؤثر على تفاعل الرمل مع الأسمنت.
- الأملاح الذائبة ($NaCl, KCl, SO_4^{2-}$): وجودها بكميات مرتفعة قد يضر بمقاومة الخرسانة ويزيد احتمالية تآكل حديد التسليح.

3.1- استخدامات الرمل:-

الرمل من المواد الأساسية في العديد من الصناعات والتطبيقات الهندسية، نظرًا لتوافره وخصائصه الميكانيكية والكيميائية المناسبة, ومن اهم استخداماته ما يلي:

1- في صناعة الخرسانة والملاط, يدخل الرمل كعنصر رئيسي في تكوين الخلطات الخرسانية والملاط لملء الفراغات بين الركام الكبير وتحسين التماسك بين المكونات.
2- في صناعة الزجاج: يُستخدم الرمل الغني بالسيليكا النقية (SiO_2) بنسبة تزيد عن 95% كمادة خام أساسية في إنتاج الزجاج الشفاف والملون.
3- في أعمال الردم والبناء: يستعمل في تسوية الأرضيات، وردم الأساسات،
4- في الصناعات الكيميائية: يدخل في إنتاج السيليكون النقي المستخدم في صناعة الرقائق الإلكترونية والألواح الشمسية.
5- في أعمال التشطيب والزخرفة: يُستخدم الرمل الناعم في إنتاج الدهانات المقاومة للتآكل وفي أعمال التلييس.
6- كمرشح طبيعي: يُستعمل في أنظمة الترشيح ومعالجة المياه بفضل قدرته على حجز لشوائب الدقيقة منهاج سعودي,م.عبد الوهاب كعود (2020),(Neville 2011)

التدرج الحبيبي للرمل يعد من أهم العوامل المؤثرة في جودة الخلطة الخرسانية، حيث أن الرمل المتدرج بشكل جيد يساهم في تقليل الفراغات، مما يُحسن من الكثافة ومقاومة الضغط (المواصفات القياسية الليبية رقم 340/لسنة2009) , (المواصفات العراقية، 2019).

2- الأسمنت (Cement)

يُعد الأسمنت من أهم المواد الرابطة الهيدروليكية في صناعة البناء، حيث يكتسب قوته بفضل تفاعلات كيميائية مع الماء، ويعمل على ربط جزيئات الركام لتكوين الخرسانة أو المونة. يتميز بقدرته على التصلب في وجود الماء ، مما جعله حجر الأساس في معظم المنشآت الخرسانية.

في العموم يستخدم الاسمنت في إنتاج الخرسانة المسلحة والخرسانة العادية وأعمال المونة للبناء والتشطيبات وفي إنتاج الطوب والبلاط والمنتجات الخرسانية مسبقة الصنع , أعمال الأساسات والمنشآت المعرضة للمياه.

1.2- الخصائص الفيزيائية للأسمنت:

1- النعومة (Fineness): تقاس بمساحة السطح النوعية، وكلما زادت النعومة تحسنت سرعة الإماهة وزادت مقاومة الخرسانة .
2- الزمن الابتدائي والنهائي للشك (Setting Time): يحدد الوقت اللازم لبدء تصلب العجينة ووصولها للصلابة الكافية للتعامل.
3- الكثافة (Density): الكثافة الحقيقية للأسمنت البورتلاندي تتراوح بين 3.10–3.15 جم/سم^3.
4- اللون: يعتمد على المواد الخام وعمليات التصنيع .

2.2- الخصائص الميكانيكية للأسمنت:

- مقاومة الضغط (Compressive Strength): خاصية أساسية تحدد جودة الأسمنت، وتقاس عادة بعد 3 و7 و28 يوم من الإماهة.
- مقاومة الانحناء (Flexural Strength): مهمة في تقييم أداء المونة الأسمنتية.
- الانكماش والتمدد: يجب أن يكون ضمن الحدود القياسية لتفادي التشققات.

3.2- أنواع الأسمنت الأكثر استخدامًا:

1. الأسمنت البورتلاندي العادي (OPC):

يُستخدم في أغلب الأعمال الإنشائية, يتميز بسرعة التصلب ومقاومة جيدة للضغط , وهوالنوع الذي تم استخدامه في هذه الدراسة.

2. الأسمنت المقاوم للكبريتات (SRC):

يُستخدم في البيئات ذات المحتوى العالي من الكبريتات مثل التربة المالحة أو مياه البحر.

3. الأسمنت البوزولاني:

يحتوي على إضافات بوزولانية طبيعية أو صناعية, مقاوم جيد للحرارة والتشققات.

4. الأسمنت الأبيض:

يُستخدم لأغراض معمارية زخرفية وجمالية.

5. الأسمنت منخفض الحرارة (Low Heat Cement):

يُستخدم لتقليل التشققات الناتجة عن الحرارة في الكتل الخرسانية الضخمة (Neville 2011) (Mehta & Monteiro 2014)),(الكود المصري (2020).

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

3- علاقة الرمل بالأسمنت "Relationship between sand and cement" :-

يُعد كل من الرمل والأسمنت من المكونات الأساسية في الخلطات الخرسانية والملاط، حيث يلعب كل منهما دورًا مكملاً للآخر في تحقيق الخواص المطلوبة للمادة النهائية. يعمل الأسمنت كعامل رابط (Binder) يلتصق بحبيبات الرمل ويملأ الفراغات بينها عند إضافة الماء، مُشكّلًا عجينة متماسكة تتصلب بمرور الوقت نتيجة التفاعلات الكيميائية (الإماهة). أما الرمل فيُستخدم كمادة مالئة (Filler) تقلل من الانكماش وتزيد من حجم المونة أو الخرسانة، كما يساهم في تحسين قابلية التشغيل (Workability) وتوزيع الإجهادات داخل البنية الصلبة.

تعتمد قوة ومتانة المزيج على النسبة بين الرمل والأسمنت؛ فزيادة نسبة الأسمنت تؤدي عادةً إلى تحسين المقاومة الميكانيكية، لكنها قد ترفع الكلفة وتزيد الانكماش، بينما زيادة نسبة الرمل قد تقلل القوة إذا تجاوزت الحدود المثلى، لكنها تُحسن التشغيلية وتقلل التشققات. ومن هنا تأتي أهمية تحديد نسب الخلط المثالية وفقًا للمعايير القياسية مثل ASTM C109 وEN 196-1 لتحقيق توازن بين القوة، المتانة وقابلية التشغيل(Mindes& Darwin2003),(Mehta& Monteiro (2014)

1.3- العلاقة بين الرمل والأسمنت وتأثيرها في مقاومة الضغط:-

تُعد العلاقة بين مكونات الخلطة الأسمنتية، وبخاصة بين الرمل والأسمنت، من العوامل الحاسمة في تحديد مقاومة المادة الناتجة للضغط. فكمية ونوع الرمل المستخدم، ونسبة الأسمنت، وتركيبه الكيميائي، تؤثر بشكل مباشر على القوة النهائية للخرسانة أو المونة التي هى عبارة عن خلط الرمل مع الأسمنت والماء حيث تتشكل عجينة متماسكة تُعرف بالمونة أو الخرسانة.

تشير العديد من الدراسات إلى أن زيادة نسبة الأسمنت في الخلطة تؤدي عادة إلى زيادة مقاومة الضغط، نظرًا لزيادة كمية المادة الرابطة التي تُكوّن المركبات الصلبة عند التفاعل مع الماء (مثل C-S-H). ولكن تجاوز النسبة المثلى يؤدي إلى زيادة الفراغات أو ضعف في الكثافة.

من ناحية أخرى، فإن الرمل يلعب دورًا مزدوجًا دور في التعبئة (Filler) حيث يساهم في ملء الفراغات بين حبيبات الركام، مما يُقلل من المسامية ويحسن الكثافة, و دور في التأثير على تماسك الخلطة, فالرمل ذو التدرج الحبيبي الجيد يؤدي إلى تحسين تماسك الخلطة وتقليل الانكماش ويحسّن مقاومة التشقق وبالتالي زيادة مقاومة الضغط.

ومن الناحية العملية، وُجد أن نسبة الرمل الزائدة قد تُضعف الخلطة إذا قلّ محتوى الأسمنت، بينما تؤدي نسبة الرمل القليلة إلى خلطة لزجة لا تتوزع بشكل جيد، وبالتالي تؤدي إلى شقوق وانخفاض المقاومة, لذلك تحقيق التوازن بين الرمل والأسمنت يُعتبر مفتاحًا أساسيًا للوصول إلى مقاومة ضغط مثالية.

تُشير المصادر مثل ((Neville (2011) و(Mehta & Monteiro (2014)) إلى أن خواص الأسمنت تتأثر بتركيبته الكيميائية ونسبة الجير والسيليكا والألومينا، والتي بدورها تؤثر على مقاومته النهائية، وخصوصًا عند تفاعله مع أنواع مختلفة من الرمل والماء.

من الناحية الكيميائية، يتفاعل الأسمنت مع الماء عبر عملية الإماهة (Hydration) لتكوين مواد صلبة مثل هيدرات سيليكات الكالسيوم (C-S-H) التي تلتصق بجزيئات الرمل وتمنح الخلطة الصلابة.

كما أن حجم حبيبات الرمل وتوزيعها يؤثران مباشرة في كثافة الخلطة ومقاومتها للضغط والشد.

2.3- العوامل المؤثرة في قوة خلطة الرمل و الإسمنت:-

1. نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C Ratio): كلما انخفضت هذه النسبة زادت المقاومة، لكن انخفضت قابلية التشغيل.
2. حجم الحبيبات وتدرجها: التدرج الجيد يحسّن الكثافة ويقلل الفراغات.
3. نوع الإسمنت المستخدم: الإسمنت البورتلاندي العادي يختلف في الأداء عن المقاوم للأملاح أو سريع التصلب.
4. ظروف المعالجة (Curing): المعالجة الجيدة بالرطوبة تزيد المقاومة وتقلل التشققات.
5. درجة الحرارة والرطوبة أثناء الخلط والصلابة: تؤثر على زمن الشك ونمو القوة (عبد الله الشمري (2018) ،(Mehta& Monteiro (2014)

الجانب العملي :-

المـواد الأوليــة المستعملـة:

الإسمنت البورتلاندي Portland Cement (الإتحاد العربي للمقاولات):

استعمل الإسمنت البورتلاندي العادي نوع (42,5 N) المنتج محلياً بشركة الإتحاد العربي للمقاولات (مصنع البرج زليتن) طبقاً للمواصفة القياسية الليبية رقم (2009/340م).

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

شكل (1) كيس إسمنت شركة الإتحاد العربي للمقاولات

الإسمنت البورتلاندي وهو الاسم الذي أطلقه عليه المهندس الإنجليزي جوزيف أسبدن عندما إكتشف طريقة تصنيعه عام 1824م وأطلق عليه هذه التسميه بسبب لونه الرصاصي القريب و المشابه للون الجيري المستخرج من جزيرة (بورتلاند) في جنوب إنجلترا.

- الخصائص الكيميائية للأسمنت البورتلاندي:-

الأسمنت البورتلاندي يحتوي أساسًا على:

أكسيد الكالسيوم (CaO): مصدر القوة الرئيسية.

أكسيد السليكا (SiO_2): مسؤول عن التفاعلات التي تمنح المقاومة في الأعمار المتأخرة.

أكسيد الألومنيوم (Al_2O_3): يسرّع زمن الشك.

أكسيد الحديد (Fe_2O_3): يؤثر على لون الأسمنت وخصائصه الفيزيائية.

أكسيد المغنيسيوم (MgO) وكبريتات الكالسيوم ($CaSO_4$): للتحكم في زمن الشك.

إن الخرسانة المكونة من الإسمنت البورتلاندي تحتاج عادة إلى فترة 14 يوم لتحصل على مقاومة مناسبة تمكن من رفع القوالب وحمل الاحمال وأحمال التشييد، أما المقاومة التصميمية لهذه الخرسانة فيمكن الحصول عليها بعد 28 يوم.

وتعتبر الإستعمالات الرئيسية للإسمنت في أعمال البناء كالتالي:

1. مادة لاحمة: لربط الأجزاء ببعضها البعض مثل مونه الإسمنت والرمل التي تعمل على تماسك الطوب أو الحجارة .....إلخ.
2. مادة بياض: لتغطية حوائط المباني كمونه إسمنت أو إسمنت إضافي.

تم اجراء اختبارات لمعرفة خصائص الاسمنت فكانت النتائج كالتالي:

جدول (1) نتائج إختبارات الخواص الفيزيائية والميكانيكية للإسمنت.

الإختبار	النتيجة	حدود المواصفة	مواصفة الاختبار
القوام القياسي	%30	غير مشروطة	م ق ل 341
زمن الشك الإبتدائي	140 دقيقة	لا يقل عن 45 دقيقة	م ق ل 341
زمن الشك النهائي	3.4 ساعة	لا يزيد عن 10 ساعات	م ق ل 341
ثبات الحجم	0,3 mm	لا يزيد عن 10mm	م ق ل 341
مقاومة الضغط للمونة الإسمنتية عمر 3 أيام	25 N/m^2	أعلى من 21 N/m^2	م ق ل 341
مقاومة الضغط للمونة الإسمنتية (28يوم)	46 N/mm^2	أعلى من 39N/mm^2	م ق ل 341

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

الـركـام (رمل نالوت):

تم تحديث هذه المواصفة القياسية الليبية من قبل اللجنة الفنية المتخصصة في مجال إعداد مواصفات مواد البناء والخرسانة والمواد الرابطة والمشكلة بموجب قرار مدير عام المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية رقم (25) لسنة 2010م واعتمدت من قبل اللجنة العليا للمركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية في اجتماعها العادي للعام 2013م وصدر بموجبها قرار اللجنة العليا للمركز رقم (01) لسنة 2013م.

شكل (2) عينة من الرمل المستخدم

الركام إما أن يكون نتيجة للتفتت الطبيعي للصخور (الرمل) أو أن يكون ناتجاً من تكسير الحجارة (ركام ناعم مجروش) أو أن يكون ناتجاً من خلط هذين النوعين بحيث لا يتجاوز المقاس الإعتباري الأكبر للحبيبات 5 مم.

جدول (2) نتائج الإختبارات الفيزيائية والميكانيكية لرمال .

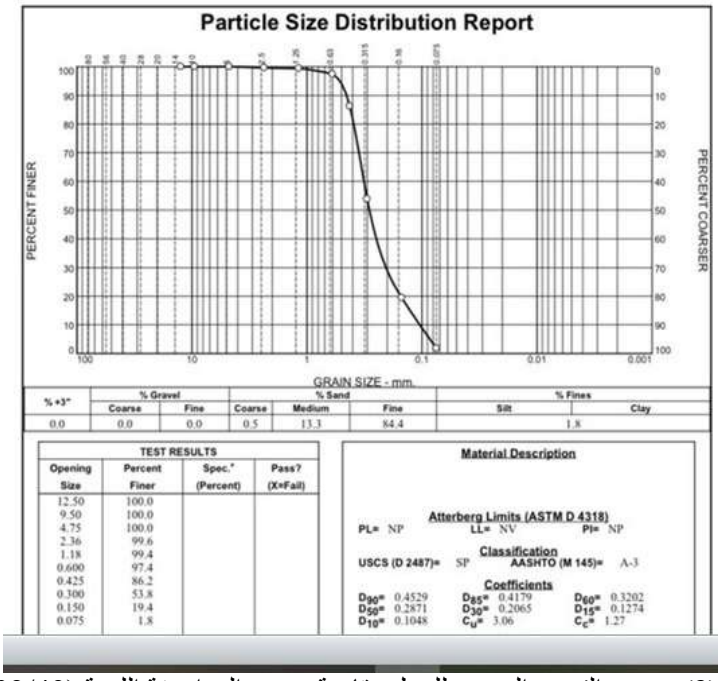
الإختبار	النتيجة	حدود المواصفة	مواصفة الإختبار
الوزن النوعي	2.67	2.7-2.5	م ق ل 256
نسبة الإمتصاص	0.3	لا تزيد عن 3%	م ق ل 256
Fineness modulus	1.4	-	-
وزن وحدة الحجوم (kg/m^3)	1570	kg/m^3 1800-1400	-

جدول (3) التحليل المنخلي للركام.

مقاس فتحته المنخل (mm)	النسبة المئوية للمار (%)	حدود المواصفة الليبية (2002/49)
2.36	100	100-80
1.18	99.7	100-70
0.6	87.1	100-55
0.3	43.85	70-5
0.15	2.42	15-0

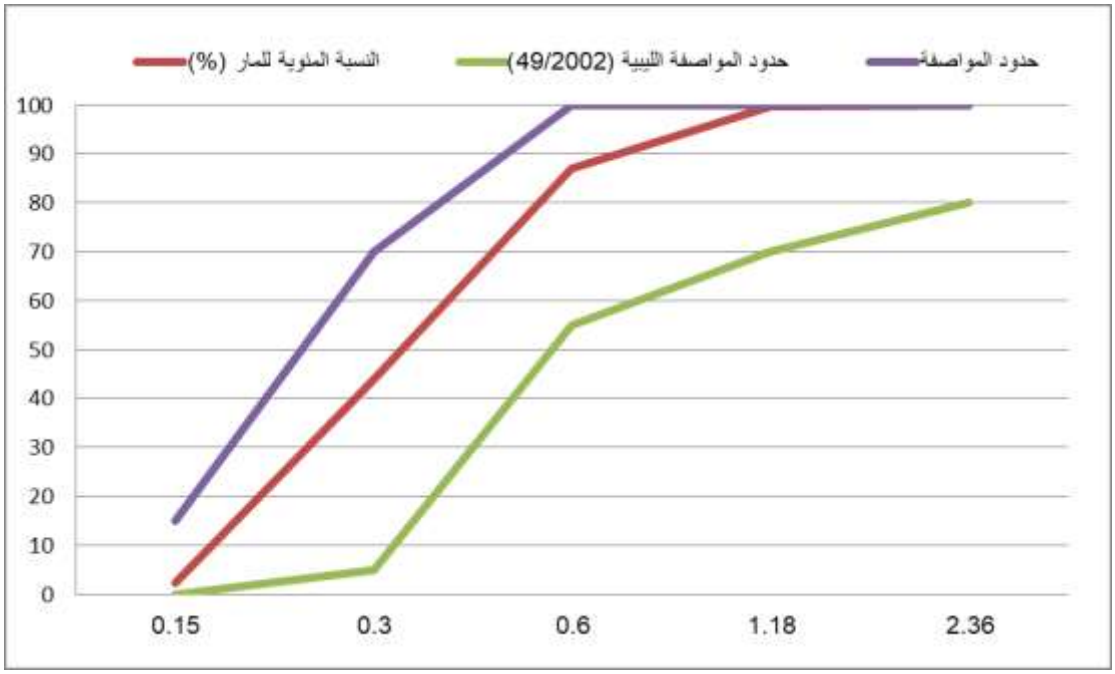
Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

- منحنى التدرج الحبيبي للرمل مقارنة بحدود المواصفة الليبية (2002/49):-



شكل (3) منحنى التدرج الحبيبي للرمل مقارنة بحدود المواصفة الليبية (2002/49)

يوضح المنحنى الموضح في شكل (3) أن توزيع الحبيبات في العينة محل الدراسة يقع ضمن حدود المواصفة الليبية (2002/49) لمعظم المقاسات المنخلية، مما يشير إلى أن الرمل يتمتع بتدرج حبيبي جيد يجمع بين الحبيبات الناعمة والمتوسطة. هذا التدرج يساهم في تحسين الدمك وتقليل الفراغات داخل الخلطة الخرسانية، وهو ما يعزز من مقاومتها للضغط والخواص الميكانيكية الأخرى.



استعمل في خلط الخرسانة ماء الشبكة العامة وهو وفق المواصفات الليبية وهو ماء صالح للشرب خالي من الشوائب ونسبة الملوحة أقل من (2000 mg/L) حيث تم إعداد هذه المواصفة القياسية الليبية من قبل اللجنة الفنية المتخصصة في مجال إعداد مواصفات الخرسانة والمواد الرابطة والمشكلة بموجب قرار مدير عام المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية رقم (105) لسنة 2008م وإعتمدت من قبل اللجنة العليا للمركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية في إجتماعها العادي للعام 2013م وصدر بموجبها قرار اللجنة العليا للمركز رقم (01) لسنة 2013م.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

ميـاه الخـلط:

إستخدم لتنفيذ الخلطات الخرسانية الماء المتوفر في موقع تنفيذ هذه الخلطات وهو ماء مطابق للمواصفة الليبية 294، ويوضح الجدول (4) نتائج تحليل الماء المستخدم.

جدول (4) نتائج تحليل الماء المستخدم في الخلطات الخرسانية

اسم الاختبار	النتائج	حدود القصوى للأملاح
قيمة الأس الهيدروجيني pH	7.69	8-6
أملاح الكلوريدات Cl^-	110	500 Mg/L
أملاح البيكربونات	140	1000 Mg/L
مجموع الأملاح الذائبة T.D. S	1007	2000Mg/L

مراحل الإختبار:-

أشتمل برنامج تنفيذ الخلطات على إعداد مكعبات ذات مقاس معلوم الأبعاد (50*50*50مم) ويشترط في قوالب الإختبار المكعبة أن تكون الأسطح الداخلية متساوية وأن يكون القالب من مواد تتحمل الصدمات وضد الصدأ، ثم تجهيز المواد الأولية اللازمة للخلطات الخرسانية بالكامل للتغلب على التغيرات في الظروف المحيطة والعوامل الجوية للمواد المستخدمة حيث ثم إستخدام الإسمنت والماء والرمل, و تم خلط المواد في ظروف المعمل الطبيعية بنسب وأوزان معلومة تم خلط المكونات بإستخدام خلاط كهربائي بخطوات سيتم ذكرها.

الادوات المستخدمة :-

شكل (4) ميزان إلكتروني

شكل(5) الخلاط الكهربائي

شكل (6) المكعبات البلاستيك.

خطـوات إعـداد الخلطـة:

بعد تحضير المواد الأولية بأوزانها المطلوبة، كانت طريقة الخلط على النحو التالي:

قبل البدء فالخلط يتم مراعاة بعض التفاصيل وهي – أن يكون الركام والإسمنت في حالتهما الجافة بعيداً عن عوامل الرطوبة والماء بمواصفاتهما الطبيعية، حيث يتم الخلط المواد ميكانيكيا بطريقة تسهل التجانس بوضع المواد تدريجياً بإضافة الرمل ثم الإسمنت ويتم خلطها لمدة دقيقتين بالصورة الجافة حتى يصبح لونه متساوياً ثم يضاف الماء ببط وتدريجيا مع استمرار عملية الخلط باستخدام خلاط كهربائي صغير(عجانة) وبموجب المواصفة (ASTM C-192-02)الأمريكية لمدة من(2-4 دقائق) حتي الحصول على خلطة خرسانية لدنة متماسكة وبدون انسيابية مفرطة.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

شكل (7) الخرسانة في الحالة اللدنة

شكل (8) الخلط الجاف

صب الخـرسـانـة داخـل القـوالب:

بعد الانتهاء من الخلط ثم صب الخرسانة في الحالة اللدنة يتم تجهيز ها في قوالب بلاستيكية ويشترط أن تكون الأسطح الداخلية للقوالب الداخلية مستوية وأن يكون القالب مصنوع من مادة صلبة تتحمل الصدمات ومزود بلوح قاعدة مستوية السطح . بعد طلاء الجدران الداخلية بزيت لمنع الالتصاق عند جفاف العينة وليسهل فكها بعد التصلب مع مراعاة إغلاق فتحت الفك بورق لمنع تسريب الخلطة منها ويتم الصب على مراحل ,حيث ملئت القوالب بالخرسانة الإسمنتية مع الدمك يدوياً بشكل جيد وتدمك كل طبقة 25 دمكه يدوياً بعمود دمك دون حدوث أي انفصال حبيبي إلى أن نحصل على تجانس وبطريقة خاصة للتخلص من الفراغات الهوائية داخل الخرسانة، بحيث أجريت عملية الرص باستخدام سيخ معدني وتترك لتتصلد في جو المعمل لمدة 24 ساعة في مكان خالي من الاهتزازات والرطوبة في درجة حرارة بين 15 إلى 25 درجة مئوية.

شكل (9) طلاء الجدران الداخلية بالزيت.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

شكل (10) دمك العينات يدوياً.

شكل (11) صب الخلطات بالقوالب.

فـك العينـات مـن القـوالب:

بعد ترك القوالب لمدة لا تقل عن 24 ساعة في درجة حرارة الغرفة وبدون استخدام أي نوع من أنواع التجفيف البارد أو الساخن والتأكد من تماسكها يتم فك القوالب عن طريق فصلها بمضخة هوائية بضغط الهواء من الفتحة أسفل المكعب، ويفضل استخدام الطريقة الثانية لأنها لا تسبب في أي أضرار داخلية وتشققات نتيجة الصدم المستمر أو التقليل من حجم الخرسانة للعينة مما يؤثر على نتائج الاختبار.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

شكل (12) فك المكعبات من القوالب.

المعالجــة الخــرسانيــة:

يتم وضع العينات بأحواض ماء صالح للشرب بدرجة حرارة الغرفة وترقيمهم كل علي حسب مدة المعالجة في أحواض خاصة معدة لذلك في اليوم الذي يلي الصب مع محاولة ترك مسافة بسيطة بين العينات لضمان غمرها بالكامل من جميع الجهات مع مراعاة أن يتم تجديد الماء كل 7 أيام وأن تحفظ درجة حرارته باستمرار ولا يسمح للقوالب بالجفاف تحت أي ظرف إلى الوقت المحدد للإختبار وهو 7 و28يوم.

شكل (13) حوض المعالجة

اختبار مقــاومــة الضغط (Compression Strength):

اختبار مقاومة الضغط للمونة أجري وفق المواصفة القياسية (ASTM, 2021 ASTM C109/C109M-21)، باستخدام مكعبات قياسية بأبعاد (50×50×50مم).

أدوات الاختبــار:

جهاز مكنة الضغط: ذات سعة وحساسية ملائمة ويمكن التحكم في معدل التحصيل بها طبقاً لما تطلبه المواصفات القياسية الأوروبية(BS EN 12390-3:2009) للاختبار.

خطــوات الاختبار:

إن الهدف الاساسي هو اختبار مقاومة الضغط لعينات الدراسة، ويتم هذا الاختبار وفق الاتي:

توضع العينة بين فكين في آلة الاختبار ويراعى أن يكون محورها منطبقاً مع محور رأس الآلة وعند استخدام العينة المكعبة يجب أن يكون وجهي العينة الملامسات لسطحي رأس الآلة هما الوجهين المقابلين للسطح الداخلي للقالب المعدني.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

تنظيف سطح المحمل لآلة الاختبار, توضع العينة في الماكينة بحيث يتم تطبيق الحمل على الجوانب المقابلة لصب المكعب. محاذاة العينة بشكل مركزي على اللوحة الأساسية للجهاز تدوير الجزء المتحرك برفق باليد بحيث يلمس السطح العلوي للعينة. يجب التأكد من أن يكون السطح العلوي والسفلي للعينة موازياً لأسطح الماكينة يطبق الحمل تدريجياً بدون صدمة ويستمر بمعدل 140 كجم لكل سم مربع لكل دقيقة يحمل كل قالب حتى الكسر لتحديد مقاومة الخرسانة للضغط Fcu وملاحظة أي علامات غير عادية في طريقة الكسر حيث Fcu هي مقاومة المكعب.

شكل (14) اختبار مقاومة الضغط.

القانون المستخدم لحساب مقاومة الضغط:

$$\text{الاجهاد}(N/mm^2) = \frac{\text{الحمل } (N)}{\text{المساحه } (mm^2)}$$

الجدول (5) يوضح العلاقة بين مدة المعالجة ونسبة قوة الانضغاط.

جدول (5) العلاقة بين مدة المعالجة ونسبة قوة الانضغاط.

أيام	قوة الانضغاط
3 أيام	%40
7 أيام	%65
14 يوم	%90
28 يوم	%99

نسب الخلط (برنامج الخلطات المعملية):

تم تنفيذ مجموعة من الخلطات الخرسانية مع ثبوت نسبة الماء للإسمنت وإختلاف نسب الرمل والإسمنت وتم تصميم الخلطات بإستخدام المعادلة الحجمية وكان إعتماد الوزن النوعي 2.63 للركام و3.15 للإسمنت.

جدول (6) نسب خلط المواد للخلطات.

الخلطة	عدد العينات	نسبة الماء(%)	نسبة الإسمنت %
الأولى	3	0.45	%5
الثانية	3	0.45	%10
الثالثة	3	0.45	%15

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

شكل (15) وزن الماء

شكل (16) وزن الإسمنت

النتائج:-

نتـائـج إختبـار مقـاومــة الضغط:

الجدول (7) يبين النتائج المتحصل عليها من إختبار الضغط عند (7،28) يوم .

Remarks	Casting date	immersion in water	Designated dimensions (W, L, H) (mm^3)	Maximum load At 7days (kn)	Weight (kg)	Comp Strength At 7days (Mpa)	Maximum load At 28 days	Weight (kg)	Comp Strength At 28day (Mpa)
64.9% sand-23.6% cement	15/12	22/12	50×50×50	25.0	0.250	10.00	32.1	0.250	12.84
	15/12	22/12		39.8	0.250	15.92	41.3	0.250	16.52
	15/12	22/12		37.5	0.250	15.00	44.6	0.250	17.84
74.9% Sand-13.9% cement	16/12	23/12		18.8	0.250	7.52	22.8	0.250	9.12
	16/12	23/12		17.6	0.250	7.04	23.3	0.250	9.32
	16/12	23/12		21.3	0.250	8.52	18.1	0.250	10.24
54.9% Sand-33.6% cement	18/12	25/12		56.1	0.250	22.44	57.2	0.250	22.88
	18/12	25/12		58.4	0.250	23.36	37.7	0.250	24.08
	18/12	25/12		63.6	0.250	25.44	22.6	0.250	26.04

نتائج العينة التي تم اعادة اختبارها :

Remarks	Designated dimensions (W, L, H) (mm^3)	Maximum load At 7days (kn)	Comp Strength At 7days (Mpa)	Maximum load At 28 days	Weight (kg)	Comp Strength At 28day (Mpa)
54.9%Sand-33.6%cement	50×50×50	56.1	22.44	57.2	0.25	22.88
	50×50×50	58.4	23.36	37.7	0.25	15.08
	50×50×50	63.6	25.44	2206	0.25	9.04

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

تفسير النتائج والرسم البياني لمقاومة الضغط للعينات:

الجدول يعرض نتائج اختبار مقاومة الضغط لعينات مكعبية أبعادها (50×50×50) مم، تم إعدادها بنسب مختلفة من الرمل والإسمنت، ثم اختبارها بعد 7 أيام و 28 يومًا.أظهرت نتائج الاختبار أن مقاومة الضغط للعينات المحضرة من رمال نالوت (ذات التدرج الحبيبي من الناعم إلى المتوسط) تزداد بزيادة نسبة الأسمنت في الخلطة. حيث تراوحت قيم مقاومة الضغط بين 7 ميغاباسكال كحد أدنى و 25.44 ميغاباسكال كحد أقصى عند عمر 7 أيام,وعندعمر 28 يوما اعطت مقاومة ضغط تجاوزت 25 ميغاباسكال . يتضح من النتائج أن الخلطات ذات المحتوى الأسمنتي المرتفع(33.6% أسمنت – 54.9% رمل)حققت أعلى قيم مقاومة تجاوزت 25 ميغاباسكال، وهو ما يعكس الدور الرئيسي للأسمنت في تحسين الترابط بين حبيبات الرمل وملء الفراغات الداخلية. أما الخلطات ذات المحتوى الأسمنتي المتوسط (23.6% أسمنت – 64.9% رمل) فقد حققت مقاومة تراوحت بين 12 – 18 ميغاباسكال، بينما أظهرت الخلطات منخفضة المحتوى الأسمنتي (13.9% أسمنت – 74.9% رمل) أقل مقاومة للضغط ويجب تجنب مثل هذه الخلطات.

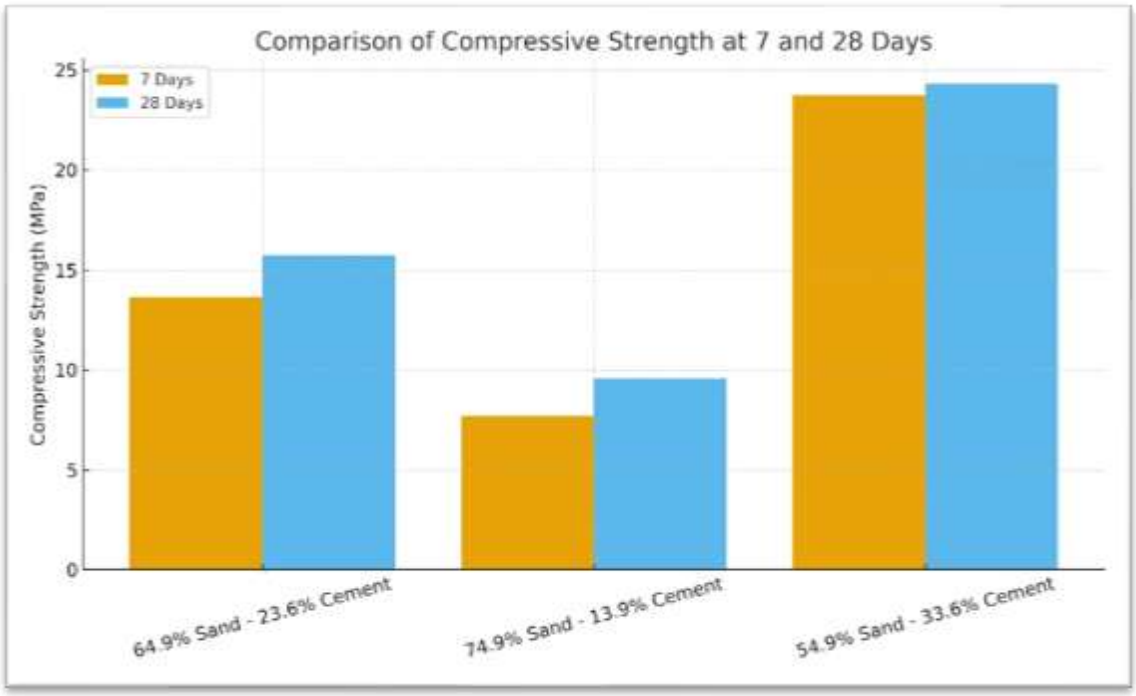
العينة التي أُعيد اختبارها بعد الخلل الأولي أظهرت نتائج منطقية ومتناغمة، مما يؤكد أن التفاوت السابق أو الشذوذ في النتائج كان بسبب خطأ تجريبي في احد المراحل(تحضير/دمك/تحميل).

بصورة عامة، يمكن القول إن رمال نالوت ذات التدرج من الناعم إلى المتوسط أثبتت قابليتها للاستخدام في الخلطات الأسمنتية، شريطة ضبط نسب المكونات لتحقيق توازن بين مقاومة الضغط والاقتصادية. وتدل النتائج أن زيادة نسبة الأسمنت من 25% إلى 45% رفعت مقاومة الضغط بحوالي ثلاثة أضعاف، مما يعزز أهمية اختيار النسبة المثلى تبعًا لغرض الاستخدام.

وبمقارنة النتائج مع المواصفات القياسية ASTM C109 , رمال نالوت أظهرت أداءً مقبولًا وقريبًا من متطلبات ASTM C109 خصوصًا عند زيادة نسبة الأسمنت إلى 35–45%.

للحصول على نتائج مطابقة تمامًا للمواصفة العالمية، يُنصح باستخدام محتوى أسمنتي لا يقل عن 35% مع ضمان المعالجة الجيدة, النتائج تعكس إمكانية اعتماد رمال نالوت في الخلطات الأسمنتية بشرط التحكم في نسب الخلط وجودة التنفيذ.

الشكل (17) التالي يوضح تفسير نتائج جدول(7)



الشكل (17) يوضح نتائج اختبار الضغط

في شكل (17) الخلطة الأولى كانت (64.9% رمل – 23.6% إسمنت),قوة الضغط عند 7 أيام ≈ 13.6 ميجا باسكال وقوة الضغط عند 28 يوم ≈ 15.7 ميجا باسكال. مقاومة متوسطة، تتحسن بزيادة العمر الزمني.

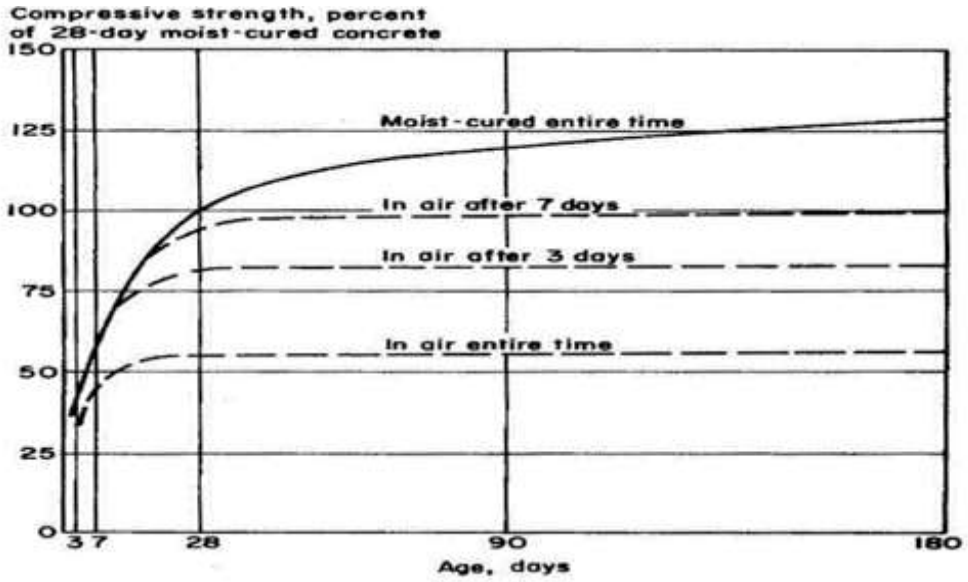
الخلطة الثانية (74.9% رمل – 13.9% إسمنت),قوة الضغط عند 7 أيام ≈ 7.7 ميجاباسكال.

قوة الضغط عند 28 يوم ≈ 9.6 ميجا باسكال, قوة مقاومة أقل والسبب هو قلة نسبة الإسمنت، مما جعل الخلطة ضعيفة وغير مقبولة إنشائياً.

الخلطةالثالثة (54.9% رمل – 33.6% إسمنت),قوة الضغط عند 7 أيام ≈ 23.7 ميجا باسكال.

قوة الضغط عند 28 يوم ≈ 24.9 ميجا باسكال,هذه أفضل النتائج، وتبين أن زيادة الإسمنت أعطت مقاومة عالية ومناسبة للتطبيقات الهندسية.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



شكل (18) علاقة زمن المعالجة بمقاومة الضغط

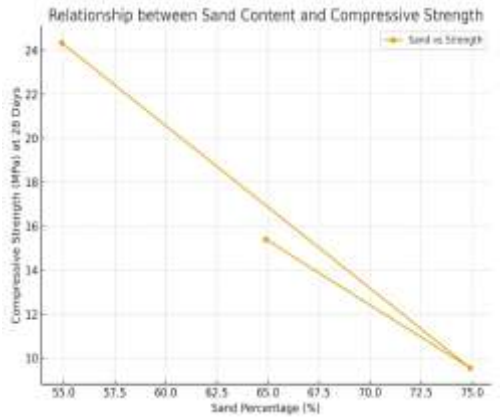
- تحليل الرسم البياني لعلاقة مقاومة الضغط بزمن المعالجة الرطبة في الشكل(18) أظهرت النتائج أن العينات التي تم معالجتها رطبيًا طوال فترة الاختبار سجلت أعلى مقاومة، متجاوزة 125% من مقاومة الخرسانة المرجعية عند عمر 28 يوم. أما العينات التي عُولجت لمدة 7 أيام فقط، فقد اقتربت من المقاومة المرجعية لكنها لم تتجاوزها، في حين أظهرت العينات المعالجة لمدة 3 أيام مقاومة أقل بنسبة ملحوظة (حوالي 80%). وبالنسبة للعينات التي لم تُعالج رطبيًا على الإطلاق، فقد ظلت مقاومتها منخفضة (حوالي 50%) مع غياب أي تحسن ملحوظ بمرور الزمن. هذه النتائج تؤكد أن الإبقاء على الخرسانة في بيئة رطبة لفترات أطول يعزز عملية الإماهة ويؤدي إلى تحسين كبير في مقاومتها للضغط.
- الرسم البياني في شكل(19) يبين العلاقة بين نسبة الرمل و مقاومة الضغط وكذلك علاقة بين نسبة الإسمنت وقوة مقاومة الضغط

في العلاقة بين نسبة الرمل ومقاومة الضغط عندما كانت نسبة الرمل في الخلطة عند 54.9% رمل كانت المقاومة حوالي 24.33 ميجا باسكال (وهي الأعلى), كلما زادت نسبة الرمل(عند 64.9% و 74.9%)في المونة الاسمنتية نلاحظ أن مقاومة الضغط انخفضت.

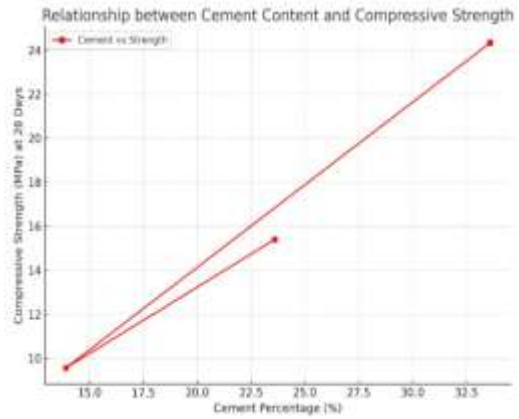
اذا نستنتج ان زيادة الرمل أكثر من اللازم تعني أن كمية الإسمنت (المادة الرابطة) تقل، وبالتالي تقل قدرة العجينة على ربط الحبيبات بإحكام وهذا ينتج عنه ضعف في مقاومة الضغط.

اما العلاقة بين نسبة الإسمنت ومقاومة الضغط عند 33.6% إسمنت وصلت المقاومة إلى حوالي 24.33 ميجا باسكال (الأعلى), وتبين ان كلما زادت نسبة الإسمنت في الخلطة (من 13.9% إلى 33.6%)، نلاحظ أن مقاومة الضغط ارتفعت, عند 13.9% إسمنت كانت المقاومة حوالي 9.56 ميجا باسكال (الأقل).

الإسمنت هو المسؤول الأساسي عن تكوين العجينة التي تملأ الفراغات بين حبيبات الرمل، ومع زيادة نسبته تزداد كثافة المونة وتقل المسامية وبالتالي ترتفع مقاومة الضغط.



شكل(19)يوضح تاثيرنسبة الرمل على قوة مقاومة الضغط



شكل (20) يبين تاثيرنسبة الاسمنت على مقاومة الضغط

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

الاستنتاجات:-

1-أظهرت نتائج الاختبارات أن لنسبة الرمل المضافة تأثيرًا مباشرًا على مقاومة الضغط للخلطات الإسمنتية. فقد تبين أن زيادة نسبة الرمل ضمن حدود معينة تؤدي إلى تحسين توزيع الحبيبات وتقليل حجم الفراغات داخل العجينة الإسمنتية، مما يرفع من مقاومتها للضغط. إلا أنّ تجاوز هذه النسبة المثلى يؤدي إلى انخفاض المقاومة نتيجة زيادة المواد الناعمة التي تقلل من تماسك المونة. كما أوضحت النتائج أن تدرج رمال نالوت من الناعم إلى المتوسط منح الخلطات أداءً مقبولًا، غير أن غياب الحبيبات الخشنة قد يفسر انخفاض المقاومة في بعض العينات عند النسب العالية من الرمل. ومن ناحية أخرى فإن العينة التي أظهرت انخفاضًا غير منطقي في المقاومة خلال التجربة الأولى بسبب عدم تجانس المزج أو ضعف عملية الدمك ، حيث أُعيدت التجربة وأثبتت النتائج انتظامًا وتماسكًا أفضل، مما عززأهمية ضبط ظروف التحضير والتحميل.

2- بناءً على التحليل البياني، يمكن تحديد النسبة المثلى لإضافة رمال نالوت في حدود (30% – 40%) من وزن الخلطة، إذ تحقق هذه النسبة أعلى مقاومة للضغط. كما توصي النتائج المبدئية بإمكانية تحسين الأداء العام للخلطات من خلال المزج بين التدرج الحبيبي المناسب (مع إمكانية إضافة نسبة من الرمل الخشن) لرمال نالوت بما يحقق تدرجًا حبيبيًا متوازنًا يقلل من الفراغات الداخلية ويزيد من متانة المونة الإسمنتية و يساهم في توزيع أفضل للإجهادات داخل الخلطة.

3- تشير النتائج إلى أن فعالية إضافة رمل نالوت الى الاسمنت في تحسين مقاومة الضغط تعتمد بشكل أساسي على فترة المعالجة الرطبة ، فعدم توفير بيئة رطبة كافية بعد الصب يقلل بشكل كبير من الاستفادة القصوى من خصائص الأسمنت المضافة. وفترة معالجة رطبة لا تقل عن 7 أيام للحصول الى مقاومة ضغط عالية ومتوافقة مع المتطلبات الإنشائية, فكلما زادت فترة المعالجة الرطبة زادت قدرة الخرسانة على اكتساب مقاومة الضغط. المعالجة المستمرة بالماء توفر أفضل النتائج، بينما نقص المعالجة أو انعدامها يؤدي إلى مقاومة منخفضة وفشل في تحقيق الأداء المطلوب.

الخاتمة:-

أظهرت نتائج الدراسة أن رمال نالوت، ذات التدرج الحبيبي من الناعم إلى المتوسط، يمكن توظيفها بكفاءة في خلطات الإسمنت شريطة ضبط نسب الخلط والعناية بالتدرج الحبيبي. وقد تبين أن زيادة نسبة الإسمنت وتحسين توزيع الحبيبات يسهمان بشكل مباشر في رفع مقاومة الضغط، بينما يؤدي التدرج غير المتوازن إلى نتائج غير مقبولة. كما أكدت التجارب على أن المعالجة الرطبة المستمرة تمثل عاملاً أساسياً في تحقيق قيم مقاومة مطابقة للمواصفات.

بناءً على ذلك، فإن هذه الدراسة تسهم في فتح آفاق جديدة للاستفادة من الموارد المحلية مثل رمال نالوت في صناعة الخرسانة، مما يعزز الاتجاه نحو الاستغلال الأمثل للمواد المتاحة محليًا مع الحفاظ على جودة ومتانة الخلطات الخرسانية. ويوصى مستقبلًا بإجراء دراسات مكملة لتقييم خصائص أخرى مثل المتانة، النفاذية، ومقاومة العوامل البيئية المختلفة لضمان ديمومة الخلطات وتوسيع نطاق استخدامها في المشاريع الإنشائية.

التوصيات:-

1. ضرورة ضبط التدرج الحبيبي لرمال نالوت عند استخدامها في الخلطات الخرسانية لضمان تحقيق أفضل مقاومة للضغط.
2. اعتماد نسب خلط مدروسة بين الرمل والإسمنت وفق المواصفات القياسية لتفادي النتائج غير المقبولة.
3. الالتزام بعمليات المعالجة الرطبة (Curing) لفترات كافية باعتبارها عاملًا أساسياً في رفع مقاومة الخرسانة.
4. تحسين التدرج الحبيبي للركام الناعم بإضافة جزء من الرمل الخشن أو مزجه مع مصادر أخرى . لتقليل الفراغات وتحسين المقاومة
5. تشجيع الدراسات التطبيقية المستقبلية حول خصائص أخرى مثل المتانة والنفاذية ومقاومة الظروف البيئية، لتعزيز الاعتماد على المواد المحلية في مشاريع البنية التحتية.

Compliance with ethical standards

Disclosure of conflict of interest

The author(s) declare that they have no conflict of interest.

المراجع:-

1- مركز المواصفات والمعايير الليبي. (2009). المواصفة القياسية الليبية رقم 2009/340: الأسمنت البورتلاندي العادي. طرابلس: المركز الوطني للمواصفات والمعايير.
2- مركز المواصفات والمعايير الليبي. (2013). المواصفة القياسية الليبية رقم 294: اختبار مياه الخلط في الخرسانة. طرابلس: المركز الوطني للمواصفات والمعايير.
3- الكومي، عبد العزيز. (2009). علم المواد الهندسية. القاهرة: دار الفكر العربي.
4- العيسوي، أحمد. (2015). المواد الإنشائية وخصائصها. القاهرة: جامعة القاهرة، كلية الهندسة.
5- الحاج، محمد حسن. (2016). خواص المواد واختبارها. القاهرة: دار الكتب العلمية للنشروالتوزيع.
6- يوسف، حسن أحمد. (2017). ميكانيكا التربة والأساسات. الأردن: دار الصفاء للنشر والتوزيع.
7- الشمري، عبد الله. (2018). تأثير إضافة الأسمنت على الكثافة الجافة للرمل (رسالة جامعية). جامعة بغداد، كلية الهندسة.
8- الجميلي، سعد عبد الله. (2019). تحسين خصائص التربة الرملية بإضافة نسب مختلفة من الإسمنت (رسالة ماجستير).

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

جامعة تكريت.
9- شرف الدين، خالد. (2020). تحسين التربة باستخدام المواد المثبتة مثل الأسمنت والجير. مجلة العلوم الهندسية، جامعة بغداد.
10- الهيئة المصرية العامة للمواصفات والجودة. (2020). الكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة.
11- كعود، عبد الوهاب. (2020). خواص واختبارات مواد البناء. القاهرة: مكتبة الأنجلوالمصرية.
12- الشريف، طارق. (2021). تكنولوجيا الخرسانة ومواد البناء. طرابلس، ليبيا: دار العلوم للنشر.
13- محمد، فاطمة الزهراء. (2022). تأثير إضافة الأسمنت على مقاومة التآكل في رمل البناء. المجلة الليبية للهندسة والعلوم التطبيقية.
14- جامعة حمص. (2022). دراسة تطور مقاومة المونة الإسمنتية باستخدام نوعيّ الإسمنت الأكثر شيوعاً في سوريا. مجلة جامعة البعث، سوريا.
15- عبد الله، عادل. (2023). التطورات الحديثة في تحسين خواص الرمل باستخدام الأسمنت. مجلة الهندسة الإنشائية، (12).
16- كنعان، وليد. (دون تاريخ). مبادئ ميكانيك التربة. دار المدرسة العالمية للطباعة.

17-ASTM International. (2021). ASTM C109/C109M-21: Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars.
18-ASTM International. (2023). ASTM C150/C150M-23: Standard specification for Portland cement.
19-Das, B. M. (2010). Principles of geotechnical engineering. Cengage Learning.
20-Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). Concrete: Microstructure, properties, and materials (4th ed.). McGraw-Hill Education.
21-Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2003). Concrete. Prentice Hall.
22-Neville, A. M. (2011). Properties of concrete (5th ed.). Pearson Education Limited.
23-Shetty, M. S. (2005). Concrete technology: Theory and practice. S. Chand Publishing.

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 **LJCAS** and/or the editor(s). **LJCAS** 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.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).