International Science and Technology Journal
المجلة الدولية للعلوم والتقنية
Volume 36 العدد
Part 2 المجلد
المجلة الدولية للعلوم والتقنية
International Science and Technology Journal
ISTJ

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

Received	2025/06/03	تم استلام الورقة العلمية في
Accepted	2025/06/29	تم قبول الورقة العلمية في
Published	2025/06/30	تم نشر الورقة العلمية في

تأثير إضافة غبار السليكا والرماد المتطاير وزيت المحركات المستعمل على الخواص اللدنة والمتصلبة للخرسانة ذاتية الدمك

أ. عبدالرؤوف محمد أبوذينة، أ. حمزة محمد المدني
جامعة الزيتونة، الهندسة المدنية، ليبيا
Raoufabuthina@azu.edu.ly

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى معرفة تأثير اختلاف نسب الإضافات؛ زيت محركات السيارات المستعمل(Used Car Engine Oil) ، وغبار السليكا(Silica Fume) ، والرماد المتطاير (Fly Ash) على الخواص اللدنة والمتصلبة للخرسانة ذاتية الدمك.

استخدمت خلطة مرجعية خالية من هذه الإضافات للمقارنة؛ حيث صُبّت ثلاث خلطات أُضيف إليها زيت المحركات المستعمل بنسب 0.5%، 1%، و1.5%. كما أُضيف غبار السليكا لثلاث خلطات بنسب 6%، 10%، و12%. وأخيراً، أُضيف الرماد المتطاير لخلطتين بنسب 25% و30%.

جُهّز لكل خلطة ستة مكعبات خرسانية وثلاثة أسطوانات. اختُبرت مقاومة الضغط على متوسط ثلاثة مكعبات لكل خلطة عند فترتي المعالجة 7 و28 يوماً، كما اختُبرت مقاومة الشد غير المباشر على متوسط ثلاثة أسطوانات عند عمر 28 يوماً.

أظهرت نتائج الخرسانة ذاتية الدمك في الحالة اللدنة، والتي شملت اختبارَي الانسياب (Slump Flow) وصندوق حرف L (L–Box Test) ، أن الخلطة المحتوية على غبار السليكا بنسبة 6% أعطت أكبر قطر انسياب (805 مم)، في حين كانت أفضل نسبة ميل في اختبار صندوق L للخلطة المضاف إليها الرماد المتطاير بنسبة 30%، وقد بلغت قيمة الميل 0.920. كما لوحظ تحسّن في اللزوجة وقلة ماء النضح في الخلطات المحتوية على الإضافات مقارنة بالخلطة المرجعية.

من ناحية الحالة الصلبة، كان متوسط مقاومة الضغط الأفضل للخلطة المرجعية لكلٍّ من فترتي المعالجة (7 و28 يوماً). أما أفضل نتيجة في اختبار الشد غير المباشر فكانت للخلطة المحتوية على الرماد المتطاير بنسبة 25%.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

الكلمات المفتاحية: غبار السليكا، الرماد المتطاير، زيت محركات السيارات المستعمل، الخرسانة ذاتية الدمك.

The effect of adding silica fume, fly ash, and used engine oil on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete.

Abduraouf Abuthina, Hamza Almadani
Azzaytuna University, civil engineering, Libya
Raoufabuthina@azu.edu.ly

Abstract

This study aims to investigate the varying effects of used car engine oil, silica fume, and fly ash on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete. A reference mix without the mentioned additives was used for comparison. Three mixes were prepared with used Car engine oil added at rates of (0.5, 1, and 1.5)%, while silica fume was incorporated into three mixes at (6, 10, and 12)%. Finally, fly ash was added to two mixes at (25 and 30) %.

The results of self-compacting concrete in its fresh state showed that the mix containing 6% silica fume achieved the largest flow diameter of 805 mm. Meanwhile, the lowest slope in the L-box test (which indicates better performance) was recorded for the concrete mix containing 30% fly ash, with a slope value of 0.920. An improvement in viscosity and a reduction in bleeding water were observed in the mixes containing additives compared to the reference mix.

As for the results of self-compacting concrete in its hardened state, the best compressive strength at curing periods of 7 and 28 days was achieved by the reference mix. Meanwhile, the highest value in the indirect tensile strength test was recorded for the mix containing 25% fly ash.

Keywords: silica fume, fly ash, used Car engine oil, self-compacting concrete

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

تمهيد

قد تُعَدُّ الخرسانة ذاتية الدمك، أو الخرسانة القابلة للانسياب (Self–Compacting Concrete – SCC)، من أهم التطورات التكنولوجية في صناعة الخرسانة خلال السنوات الأخيرة؛ نظرًا لخصائصها الفريدة في الحالة اللدنة. فهي تمتلك قدرة كبيرة على تحسين طرق الاستخدام وتبسيط عمليات البناء المستقبلي، كما تقلل من العمالة والوقت اللازمين، وتفتح آفاقًا جديدة في التصميمات المعمارية التي كان يصعب تحقيقها بالخرسانة التقليدية (Joseph *et al*, 2012).

لقد أثار هذا الابتكار اهتمامًا واسعًا في مجال علوم المواد؛ إذ باتت دراسة اللزوجة والسلوك الريولوجي (Rheology) للخرسانة من الموضوعات المحورية، على الرغم من أن هذه المفاهيم كانت تطبَّق على الخرسانة التقليدية قبل ظهور الخرسانة ذاتية الدمك. غير أن خصائص SCC الريولوجية—مثل سهولة التدفق وملء القوالب تحت تأثير وزنها الذاتي دون الحاجة إلى الدمك—جعلت البحث فيها أكثر أهمية لدى الموردين والمقاولين والباحثين على مدى العقد الماضي.

وفي حالتها المتصلدة، تتميز الخرسانة ذاتية الدمك بكثافة وتجانس ومتانة مساوية للخرسانة التقليدية، مع الحفاظ على الخصائص الهندسية نفسها (Joseph *et al*, 2012).

مشكلة الدراسة

في ضوء الاهتمام المتزايد بالخرسانة ذاتية الدمك (Self–Compacting Concrete – SCC)، لسهولة تشغيلها وتقليل احتياجها للطاقة والعمالة، تبرز الحاجة إلى تطوير إضافات صديقة للبيئة وذات تكلفة معقولة لتحسين خواصها. ورغم أن العديد من الدراسات تناولت استخدام الرماد المتطاير وغبار السيليكا، فإن إضافة زيت محركات السيارات المستعمل لم تحظَ بالاهتمام الكافي لدراسته ومقارنتِه بالإضافات التجارية المصرحَة والمصنعة من قِبَل الشركات المتخصصة.

أهمية الدراسة

تسعى هذه الدراسة إلى تقييم إمكانات الاستفادة من مخلفات صناعية وزيوت محركات مستعملة كمكونات بديلة للإسمنت، بما يساهم في تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بإنتاجه، ويوظف نفايات كانت تشكل عبئًا بيئيًا. تتيح مقارنة كل مادة على حدة

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

فهم تأثيرها الفعلي، وتحديد المكون الأمثل لتحقيق الفائدة البيئية القصوى دون المساس بمتانة الخرسانة.

كما قد يؤدي استبدال جزء من الإسمنت بالرماد المتطاير أو غبار السيليكا، أو إضافة كميات ضئيلة من زيت المحركات المستعمل، إلى خفض التكلفة الإجمالية للخلطة الخرسانية، لا سيما في المناطق التي تتوفر فيها هذه المواد بكثرة وتكلفة منخفضة. تضيف هذه الدراسة قيمة علمية في مجال الخرسانة ذاتية الدمك من خلال تقديم تحليل مقارن للإضافات، وتفتح آفاقًا لأبحاث مستقبلية حول دمج المكونات أو توسيع نطاق التجارب لتشمل ظروفًا مناخية ومواد محلية متنوعة.

أهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير بعض المواد المضافة على خصائص الخرسانة ذاتية الدمك، وذلك عبر تحقيق الأهداف التالية:

1. دراسة تأثير إضافة كلٍ من الرماد المتطاير وغبار السيليكا وزيت محركات السيارات المستعمل—بشكلٍ مستقل—على الخصائص اللدنة للخرسانة، وذلك بقياس ثلاثة متغيرات رئيسية:
   - قابلية الانسياب.
   - اللزوجة.
   - تجانس الخلطة.
2. تحديد النسب المثلى لكل مادة مضافة لتحقيق التوازن الأمثل بين التشغيلية والمتانة، مع الحفاظ على جودة الخرسانة.
3. تحليل أثر كل إضافة على الخصائص الميكانيكية للخرسانة ذاتية الدمك، وتحديد مقاومة الضغط عند أعمار 7 و28 يومًا، وكذلك مقاومة الشد غير المباشر عند عمر 28 يومًا.

الدراسات السابقة

تم في هذا البحث مراجعة مجموعة من الدراسات السابقة لغرض التوصل للنسبة المثلى التي تحسن الخواص الميكانيكية والتشغيلية للخرسانة ذاتية الدمك.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

في دراسة سابقة (Abdelgader *et al*, 2015) حول تأثير إضافة غبار السيليكا، تم تحضير خلطات خرسانية بالمواصفات التالية:

- نسبة الماء إلى الأسمنت(w/c): 0.375 ، 0.40، 0.425، و0.45.
- محتوى الأسمنت ثابت لجميع الخلطات: 450 كجم/م^3.
- استُخدم غبار السيليكا بديلًا عن وزن الأسمنت البورتلاندي بنسب 0%، 5%، 10%، و15%.

أظهرت اختبارات الحالة اللدنة للخرسانة ذاتية الدمك أن أفضل أداء انسيابي كان للخلطة المرجعية (Control) الخالية من غبار السيليكا، بينما قدّمت الخلطة المضاف إليها 5% غبار سيليكا ثاني أفضل انسيابية مقارنةً ببقية الخلطات.

أما في الحالة الصلبة، فقُحصت مقاومة الانضغاط على عينات مكعبة عند أعمار 7 و28 و90 يومًا. وُجد أن إضافة 15% غبار سيليكا من وزن الأسمنت حسّنت مقاومة الانضغاط عند عمرَي 28 و90 يومًا، في حين كانت مقاومة الانضغاط المبكرة (عمر 7 أيام) أعلى في الخلطة الضابطة التي خلت من غبار السيليكا.

في دراسة سابقة درست الباحثة أبوالقاسم وأخرون (أبو القاسم وآخرون، 2020) فحص تأثير الرماد المتطاير على خصائص الخرسانة ذاتية الدمك، عبر إحلاله بنسبة 20%، 30%، 40%، و50% من وزن الرمل ضمن الخلطة، مع ثبات نسب الماء إلى الأسمنت والركام الخشن والملدن الفائق.

هدفت الدراسة إلى تقييم تأثير هذه النسب على:

- مقاومة الانضغاط.
- مقاومة الشد غير المباشر.
- قابلية التشغيل
- نسبة امتصاص الماء.

أظهرت النتائج أن الخلطة المحتوية على 50% رماد متطاير قدّمت أفضل أداء لكل الخصائص المدروسة—اللَدَنة والصلبة—مقارنةً بالخلطة المرجعية والخلطات الأخرى.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

في دراسة سابقة أخرى (عبدالرؤوف أبوذينة وآخرون، 2021)، أُضيف الزيت المستعمل بديلاً عن الملدن الفائق بنسب متفاوتة من وزن الإسمنت لجميع الخلطات، باستثناء الخلطة المرجعية التي احتوت فقط على الملدن الفائق بنسبة 1.8% من وزن الإسمنت. كما قورنت هذه الخلطات بخمس خلطات إضافية أُدمج فيها الزيت المستعمل مع الملدن الفائق بنسب مختلفة.

جُهّزت جميع الخلطات بعد ذلك للمعالجة المائية لفترتين، هما 7 و28 يومًا، فخضعت للاختبارات التالية:

- مقاومة الضغط عند عمر 7 و28 يومًا.
- مقاومة الانحناء عند عمر 28 يومًا.

أظهرت النتائج أن الخلطة (T7O2-SCC) التي احتوت على الملدن الفائق والزيت المستعمل بنسبة 1.4% و0.4% من وزن الإسمنت، على التوالي، قدّمت أكبر قطر انسياب وأفضل نسبة ميل في اختبار صندوق حرف L مقارنةً بجميع الخلطات.

من ناحية المتانة الصلبة، أظهرت الخلطة نفسها مقاومة ضغط تقارب مقاومة الخلطة المرجعية عند عمر 28 يومًا، بينما تفوّقت جميع الخلطات التي جمعت بين الزيت المستعمل والملدن الفائق على الخلطة المرجعية في اختبار الانحناء عند 28 يومًا.

البرنامج العملي

في هذه الدراسة جُهِّزت تسع خلطات من الخرسانة ذاتية الدمك، منها:

1. الخلطة المرجعية خالية من الإضافات الثلاث (غبار السيليكا، والرماد المتطاير، وزيت محركات السيارات المستعمل)، إلى جانب الملدن الفائق "Tempo 12" بنسبة ثابتة من وزن الأسمنت.
2. ثلاث خلطات مضاف إليها غبار السيليكا بنسب متفاوتة.
3. ثلاث خلطات مضاف إليها زيت محركات السيارات المستعمل بنسب متفاوتة.
4. خلطتان مضاف إليهما الرماد المتطاير بنسب متفاوتة.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

أُجريت معظم الاختبارات على المواد الأولية والخرسانة في حالتيها اللدنة والمتصلدة في مختبر شركة الاتحاد العربي للمقاولات، فيما أُجري البعض في مختبر مركز البحوث الصناعية–تاجوراء.

استُعين في تحديد نسب الإضافات بالغبار والرماد بورقة البيانات الفنية (Data sheet) الخاصة بشركة سيكا (Sika) المتخصصة بتصنيع الإضافات والمواد الهندسية، التي توصي باستخدام:

- غبار السيليكا بنسبة 2–10% من وزن الأسمنت.
- الرماد المتطاير بنسبة 25–35% من وزن الأسمنت.

وأما نسب زيت المحركات المستعمل فاستُمدَّت من دراسة سابقة (أبوذينة *وآخرين*، 2021)، لضمان استخدام النسب المثلى وإتاحة مقارنة موضوعية بين الإضافات.

لترميز الخلطات، استُخدم كلاً من الحرف **T** للملدن الفائق، والحرف **O** لزيت السيارات، والحرف **S** لغبار السيليكا، والحرف **F** للرماد المتطاير.

يوضّح الجدول (1) مقادير المكونات لكل خلطة وكتاباتها الرمزية.

تصميم وخلط الخلطة الخرسانية:

اعتمدت هذه الدراسة على إعداد خلطات خرسانية ذاتية الدمك باستخدام أسمنت بورتلاندي عادي وركام ناعم وخشن وماء، وفق معايير تصميم الخلطة ونسبة الماء إلى الأسمنت 0.58. يوضح الجدول رقم (2) نسب وكميات مكونات الخلطة الخرسانية المستخدمة.

تم خلط المكونات باتباع المنهجية نفسها التي اعتمداها Grunewald & Walraven (Grunewald,2004) حيث خُلط الأسمنت والرمل لمدة 10 ثوانٍ، ثم أُضيف ماء الخلط والملدن الفائق و وواحد من الاضافات المعتمدة في هذا البحث (الرماد المتطاير أو غبار السيلكا أو زيت محركات السيارات المستعمل) واستمرّ الخلط 110 ثوانٍ، وبعدها أُضيف الركام واستمرّ الخلط 60 ثانية.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

الجدول (1) يوضح المقادير المستخدمة لكل خلطة

ر.ت	رمز الخلطة الخرسانية	وزن الزيت السيارات المستعمل الى وزن الاسمنت	وزن غبار السيليكا الي وزن الاسمنت	وزن الرماد المتطاير الي وزن الاسمنت	نسبة الإضافة إلى وزن الاسمنت
		كج/ م3	كج/ م3	كج/ م3	%
1	Control-SCC	-	-	-	-
2	T6O2-SCC	2.25	-	-	0.5
3	T6O4-SCC	4.5	-	-	1
4	T6O6-SCC	6.75	-	-	1.5
5	T6S27-SCC	-	27	-	6
6	T6S45-SCC	-	45	-	10
7	T6S54-SCC	-	54	-	12
8	T6F112-SCC	-	-	112.5	25
9	T6F135-SCC	-	-	135	30

الجدول (2) يوضح المقادير المستخدمة في الخلطة الخرسانية

وزن الاسمنت كجم/م3	نسبة الماء الى الاسمنت	وزن الركام الخشن كجم/م3	وزن الركام الناعم كجم/م3	وزن الملدن الفائق كجم/م3
450	0.580	903	903	6.75

تجهيز العينات:

تمّ تحضير وخلط وصبّ خلطات الخرسانة ذاتية الدمك في مكعبات بلاستيكية بأبعاد 150×150×150 ملم، كما جُهّزت عينات أسطوانية من الخرسانة في أسطوانات حديدية بقطر 150 ملم وارتفاع 300 ملم.

غُمرت كافة العينات مائيًّا لفترتي معالجة قدرهما 7 و28 يومًا. وأُجريت عليها الاختبارات التالية:

- مقاومة الضغط عند عمرَي 7 و28 يومًا.
- مقاومة الشد غير المباشر (الاختبار البرازيلي) عند عمر 28 يومًا.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

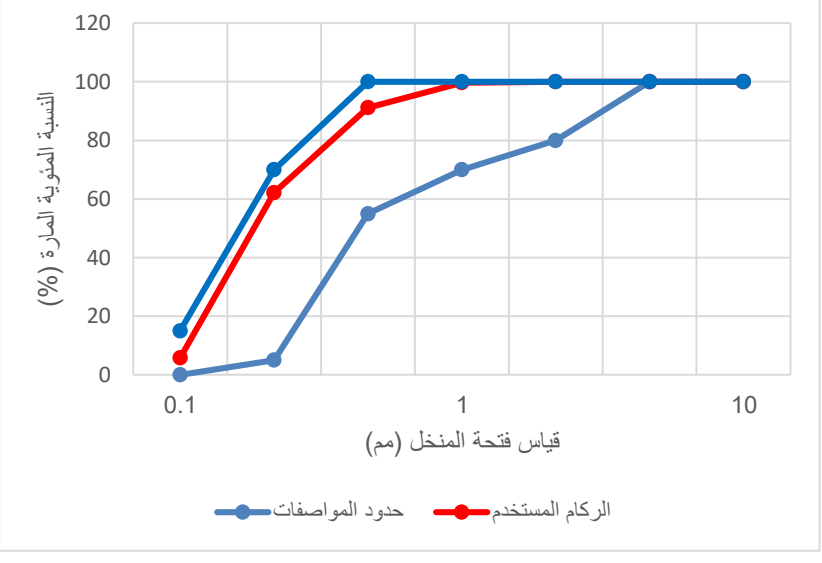
مكونات الخلطة الخرسانية

الركام الناعم:

مصدر الركام الناعم في هذا البحث هو محاجر منطقة زليتن. وتبيّن أن نتائج التدرّج المنخلي والخصائص الفيزيائية للركام تقع ضمن الحدود المسموح بها بموجب المواصفات القياسية الليبية (المواصفات القياسية الليبية، 2002) ، كما هو مبين في كل من الجدول (3) و (4) ، كما تم توضيح منحنى التدرج الحبيبي في الشكل (1).

جدول (3) نتائج التحليل المنخلي للركام الناعم

قطر فتحة المنخل (مم)	النسبة المئوية المارة (%)	حدود المواصفات الليبية رقم 49 سنة 2002
10	100	100
5	100	100
2.36	100	100–80
1.18	99.7	100–70
0.600	91.2	100–55
0.300	62.2	70–5
0.150	5.8	15–0



الشكل (1) يوضح التدرج الحبيبي للركام الناعم

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

الجدول (4) نتائج اختبارات الخواص الفيزيائية للركام الناعم

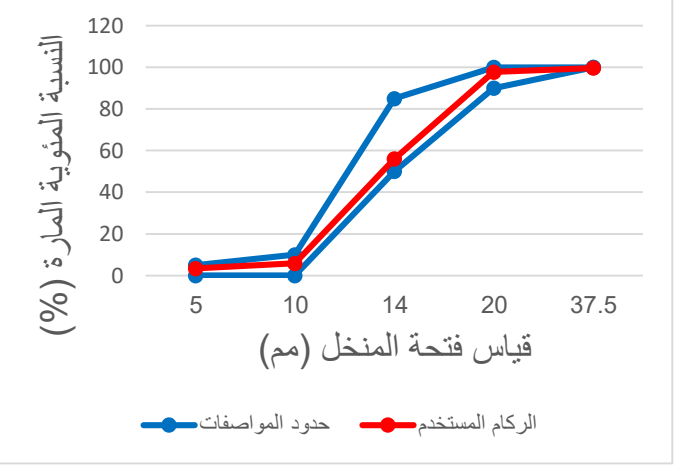
الاختبار	النتيجة	حدود المواصفات الليبية رقم 49 لسنة 2002م
الوزن النوعي	2.650	2.75>S.G>2.50
نسبة الامتصاص	%0.1	%3.0>
نسبة المواد الناعمة	%0.1	%3.0>
الكثافة (كجم/م)	1500	-

الركام الخشن:

تمّ توريد الركام الخشن في هذا البحث من محاجر مدينة غريان، وأظهر التحليل المنخلي للركام أن نتائجه تقع ضمن الحدود المسموح بها في المواصفات القياسية الليبية (المواصفات القياسية الليبية، 2002). كما هو مبين في كل من الجدول(5) و (6) وتم توضيح منحنى التدرج الحبيبي في الشكل (2).

الجدول (5) التحليل المنخلي للركام الخشن

قطر فتحة المنخل (مم)	النسبة المئوية المارة (%)	حدود المواصفات الليبية رقم 49 لسنة 2002م
20	99.6637	100
14	97.8	100-90
10	56.0	80-40
5	5.8	60-30
2.36	3.4	10-0



الشكل (2) منحنى التدرج الحبيبي للركام الخشن

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

الجدول (6) نتائج الاختبارات الميكانيكية للركام الخشن

الاختبار	النتيجة	حدود المواصفات الليبية رقم 49 لسنة2002م
الوزن النوعي	2.579	2.75>S.G>2.50
نسبة الامتصاص	%2.56	%3.0<
نسبة المواد الناعمة	%0.552	%4.0<
الكثافة (كجم/م3)	1430	_
معامل الصدم	%18.4	%45<
معامل التهشيم	%23	%45<
لوس انجلس	%26.36	%50<

الإسمنت:

كان الأسمنت البورتلاندي العادي المستخدم في هذه الخلطات من إنتاج مصنع المرقب في مدينة الخمس. وُجد أن نتائج التحليل الكيميائي والمعدني، بالإضافة إلى الخواص الفيزيائية، تقع جميعها ضمن الحدود المسموح بها في المواصفات القياسية الليبية رقم 340 (المواصفات القياسية الليبية، 1997).

الجدول (7) التركيب الكيميائي والمعدني للإسمنت

الاختبار	النسبة (%)	حدود المواصفات الليبية رقم 340 لسنة 1997ف
السيليكاSIO2	20.32	–
الامونياAL203	5.21	–
أكسيد الحديدFe203	3.36	–
أكسيد الكالسيومCaO	64.76	–
أكسيد الماغنيسيومMgO	2.40	%5.0>
ثالث أكسيد الكبريتSO3	2.92	%2.5>

الجدول (8) الخواص الفيزيائية للإسمنت

الاختبار	النتيجة	حدود المواصفات الليبية رقم 340لسنة 1997ف
زمن الشك الابتدائي	25:3 ساعه	لا يقل عن 45 دقيقة
زمن الشك النهائي	30:5 ساعه	لا يزيد عن 10 ساعات

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

النعومة	2977	لا يقل عن 2500
الثبات والحجم	1مم	لا يزيد عن10 مم
الوزن النوعي	3.15	_

الماء :

تمّ استخدام ماء مختبر شركة الاتحاد العربي للمقاولات في إعداد الخلطات الخرسانية، وقد اختُبر هذا الماء في مركز البحوث الصناعية–تاجوراء، وأظهرت نتائجه مطابقته للحدود المسموح بها وفق المواصفات القياسية الليبية .رقم 294 (المواصفات القياسية الليبية، 1988).

جدول (9) التركيب المعدني لماء الخلط المستخدم في الدراسة

التركيب	الكمية الموجودة في الماء (ملغ/ لتر)	حد الأقصى المسموح به (ملغ/ لتر) لحدود المواصفات الليبية رقم 294 لسنة 1988ف
الأس الهيدروجيني	7.77	8–6
مجموع الاملاح الصلبة الذائبة عند درجة حرارة 105C°	1900	2000
القلوية الكلية مقدرة على هيئة كربونات كالسيوم	200	1000
الكبريتات	405	1000
الكلوريدات	450	500

الإضافات

استُخدمت في هذه الدراسة أربع إضافات لتحسين خواص الخرسانة ذاتية الدمك في حالتيها اللدنة والمتصلدة: الملّدن الفائق Tempo 12 بمقدار ثابت لجميع الخلطات لتوفير سهولة التشغيل، وزيت محركات السيارات المستعمل المجمّع من ورش تغيير الزيوت، بالإضافة إلى غبار السيليكا والرماد المتطاير المستوردين من وكالة شركة Sika في مصر. الشكل(3) يوضح صور الإضافات الثلاثة المستخدمة.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

الجدول (10) يوضح بعض الخصائص لأنواع الإضافات المستخدمة

اسم الشركة المصنعة	اسم الإضافة	نسبة الاستخدام الى وزن الاسمنت	الأساس الكيميائي	اللون
SIKA	Tembo12	تتراوح بين 0.2-3%	Scrylic coplmer	سائل بني فاتح
–	زيت محركات سيارات مستعمل	–	–	اسود
SIKA	SIKA FUME-HR	تتراوح بين 2.0-10%	A latently hydraulic blend of active ingredients	رمادي
SIKA	FLY ASH	تتراوح بين 25-35%	Alumina silicate pozzolan	رمادي

غبار السيلكا

الرماد المتطاير

زيت محركات السيارات المستعمل

الشكل (3) يوضح صور الإضافات المستخدمة

اختبارات الخرسانة اللدنة

اختبار الانسياب (Slump Flow)

اجري هذا الاختبار لتقييم الانسيابية الافقية الحرة للخرسانة ذاتية الدمك في حالة عدم وجود حواجز تعيق انتشار الخرسانة ذاتية الدمك، ويتم تقييم نتيجة هذا الاختبار بتعيين قطر الانسياب وهو عن طريق قياس قطر الخرسانة في اتجاهين متعامدين واخذ المتوسط (EFNARC, 2005).

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

اختبار (L Box)

هذا الفحص يقيم انسيابية الخرسانة ذاتية الدمك، ومدي تعرض الخرسانة للانسداد نتيجة وجود حديد التسليح، ويتم تقييم هذا الاختبار بمعرفة ارتفاع الخرسانة في حالتها اللدنة بعد عبورها من خلال فتحات خاصة من القضبان الحديدية والتي تمثل حديد التسليح، وتتدفق الخرسانة داخل مسافة محدودة واما تمر الخرسانة او إنها تتعرض الي عرقلة وهذا ما يحدده هذا الاختبار (EFNARC, 2005).

اختبارات الخرسانة المتصلدة:

اختبار مقاومة الضغط

تم تنفيذ اختبار تحديد مقاومة الخرسانة للضغط على مكعبات خرسانية مقاس 150x150x150 ملم عند الفترات الزمنية 7و28 يوم من تاريخ الصب، تم اختبار العينات باستعمال جهاز تكسير المكعبات وبمعدل تحميل ثابت قدره 0.25% ميغا بسكال/ثانية حتى انهيار المكعب.

اختبار الشد غير المباشر (الشد البرازيلي)

تم اجراء اختبار الشد غير المباشر على إسطوانات خرسانية مقاس 300X150 ملم عند الفترة الزمنية 28 يوم من تاريخ الصب، وتم وضع الخرسانة بشكل افقي في جاز تكسير المكعبات وتسليط الحمل عليها حتى الانهيار.

نتائج اختبارات الخرسانة اللدنة

الخواص اللدنة لخلطات الخرسانة ذاتية الدمك تم اختبارها طبقا المواصفات الأوروبية (EFNARC) (EFNARC, 2005). باستخدام اختبار الانسياب الحر لقياس الانسيابية واختبار (صندوق L) لقياس قابلية المرور.

تأثير مقدار ونوع الإضافات على الخرسانة في الحالة اللدنة

تأثير تغير مقدار ونوع الإضافات مع الملدن الفائق المستخدم على الخرسانة ذاتية الدمك اعطى نتائج مختلفة على الخواص اللدنة للخرسانة، فكانت جميع الخلطات الخرسانية ذات سيولة وانسيابية من الجيدة الى ممتازة داخل حدود المواصفات المستخدم (EFNARC, 2005). وتم تدوين النتائج في الجدول (11).

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

اختبار الانسياب

الشكل رقم (4) يوضح نتائج اختبار الانسياب لجميع الخلطات، سجلت جميع الخلطات قطر انسياب ضمن حدود المواصفات الأوروبية (EFNARC, 2005)، اظهرت الخلطة (T6S27–SCC) أكبر قطر انسياب مقارنة بالخلطات الثماني الأخرى المستهدفة في هذه الدراسة، تليها بشكل بسيط الخلطة (T6F135–SCC) وكانت الخلطة المرجعية هي ثالث اكبر قطر انسياب مقارنة بالخلطات الأخرى وبقطر انسياب يبلغ 775 مم واظهرت الخلطة (T6O6–SCC) اقل قطر انسياب مقارنة بالخلطات الأخرى.

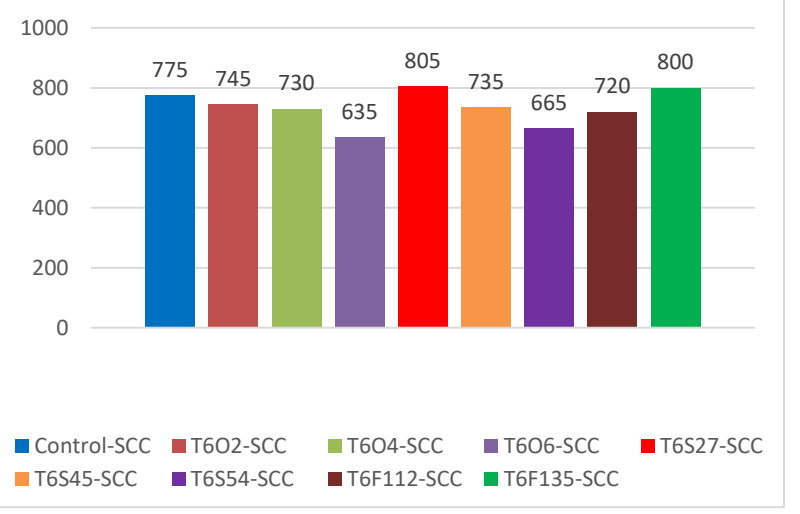
الجدول (11) نتائج اختبارات الخرسانة في الحالة اللدنة

ر.ت	رمز الخلطة	قطر الانسياب	حدود المواصفة	صندوق حرف L	حدود المواصفة
		مم	مم	H2/H1	H2/H1
1	Control–SCC	775	850–550	0.880	1 – 0.75
2	T6O2–SCC	745	850–550	0.875	1 – 0.75
3	T6O4–SCC	730	850–550	0.875	1 – 0.75
4	T6O6–SCC	635	850–550	0.875	1 – 0.75
5	T6S27–SCC	805	850–550	0.860	1 – 0.75
6	T6S45–SCC	735	850–550	0.820	1 – 0.75
7	T6S54–SCC	665	850–550	0.880	1 – 0.75
8	T6F112–SCC	720	850–550	0.875	1 – 0.75
9	T6F135–SCC	800	850–550	0.920	1 – 0.75

وقد لوحظ تأثر اللزوجة وتجانس الخلطات الخرسانية وكمية ماء النضح الناتج، بتغير نوع الإضافة ونسبة الاستخدام، تم استخدام الجدول (12) لتوضيح هذه المتغيرات. تم استخدام الشكل (5) لتوضيح فرق الانسياب والتجانس وماء النضح بين الخلطة المرجعية ذات اللزوجة الأقل مقارنة بالخلطة المحتوية على زيت السيارات المستعمل T6O6–SCC التي تعد من الأفضل من ناحية اللزوجة والتجانس بين الخلطات موضوع الدراسة.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003



الشكل (4) تأثير تغير نسب ونوع الإضافة على اختبار الانسياب

الجدول (12). تأثير تغير نسبة ونوع الإضافة على لزوجة وتجانس الخلطات الخرسانية

رقم الخلطة	رمز الخلطة	اللزوجة	التجانس	ماء النضح
1	Control–SCC	مقبولة	مقبول	بسيط
2	T6O2–SCC	تحسن بسيط في اللزوجة مقارنة بخلطة الكنترول	جيد جداً	قليل
3	T6O4–SCC	تحسن أفضل في اللزوجة مقارنة بخلطة الكنترول	جيد جداً	قليل
4	T6O6–SCC	تحسن أفضل في اللزوجة مقارنة بخلطة الكنترول	ممتاز	لا يوجد
5	T6S27–SCC	تحسن بسيط في اللزوجة مقارنة بخلطة الكنترول	جيد	بسيط
6	T6S45–SCC	تحسن أفضل في اللزوجة مقارنة بخلطة الكنترول	ممتاز	لا يوجد
7	T6S54–SCC	تحسن أفضل في اللزوجة مقارنة بخلطة الكنترول	ممتاز	لا يوجد
8	T6F112–SCC	تحسن أفضل في اللزوجة مقارنة بخلطة الكنترول	جيد جداً	قليل
9	T6F135–SCC	تحسن أفضل في اللزوجة مقارنة بخلطة الكنترول	جيد جداً	قليل

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

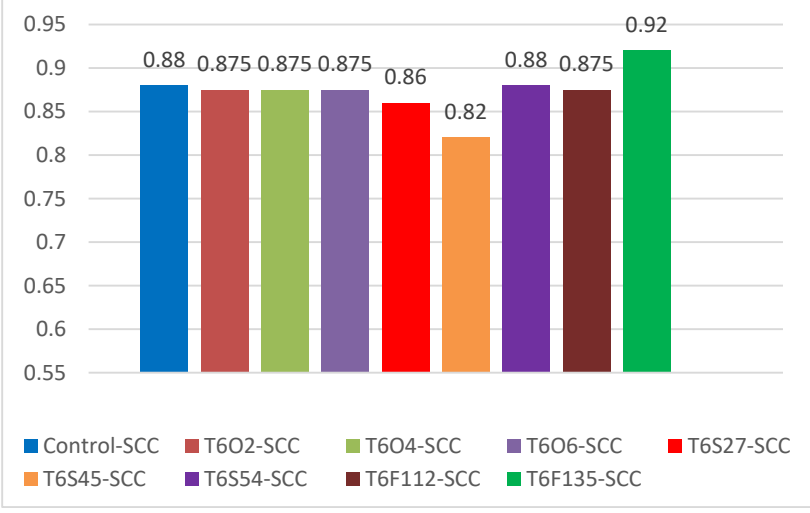
http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

T6O6–SCC Control–SCC

الشكل (5) يوضح فرق الانسياب والتجانس

اختبار صندوق L

جميع الخلطات أظهرت نسبة ميل (H2/H1) ضمن حدود المواصفات الأوروبية (EFNARC, 2005). لوحظ أن خلطة واحدة (T6F135–SCC) قد أعطت نسبة ميل أقل من الخلطة المرجعية (Control–SCC)، بينما باقي الخلطات كانت لها نسبة ميل مساوية أو أقل بشكل بسيط من الخلطة المرجعية (Control –SCC) باستثناء الخلطة (T6S45–SCC) التي أعطت أعلى ميل بين جميع الخلطات المستهدفة في هذه الدراسة. تم توضيح تأثير تغير نسب ونوع الإضافات على الاختبار في الشكل (6). تم توضيح صندوق حرف L في الشكل (7).



الشكل (6) تأثير تغير نسب ونوع الإضافة على اختبار الصندوق L

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

الشكل (7) اختبار الصندوق L

نتائج اختبار مقاومة الضغط

لقياس مقاومة الضغط فقد تم اختبار عدد 54 مكعب وفق المواصفات البريطانية (BS1881: Part 116:1983) (المواصفات البريطانية، 1983) ، والجدول (13) والشكل (8) يوضحان نتائج تأثير تغير نسب ونوع الإضافة على مقاومة الضغط للخرسانة ذاتية الدمك.

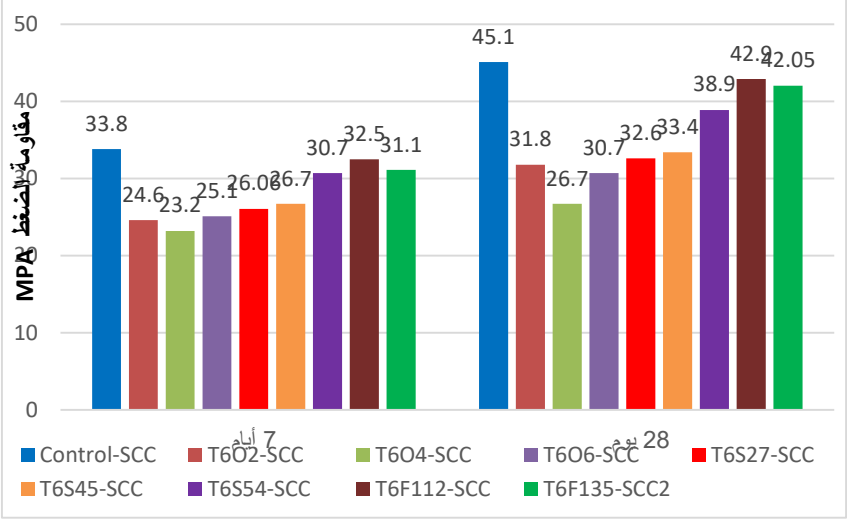
الجدول (13) يوضح نتائج مقاومة الضغط لجميع الخلطات

رقم الخلطة	رمز الخلطة	مقاومة الضغط لمتوسط ثلاثة مكعبات (MPa)		نسبة الزيادة من 7ايام الي 28يوم	نسبة مقاومة الضغط مقارنة بالخلطة المرجعية عند 28 يوم
		7 ايام	28 يوم		
1	T6-SCC	33.80	45.10	%33.43	%100
2	T6O2-SCC	24.60	31.80	%29.26	%70.51
3	T6O4-SCC	23.20	26.70	%15.08	%59.20
4	T6O6-SCC	25.10	30.70	%22.31	%68.07
5	T6S27-SCC	26.06	32.60	%25.09	%72.28
6	T6S45-SCC	26.70	33.40	%25.09	%74.05
7	T6S54-SCC	30.70	38.90	%26.71	%86.25
8	T6F112-SCC	32.50	42.90	%32.00	%95.12
9	T6F135-SCC	31.10	42.05	%35.20	%93.23

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

من المعاينة يتضح ان خلطة الكنترول (Control –SCC) قد أعطت اعلى مقاومة ضغط خلال فترتي المعالجة 7 أيام و28 يوم، بينما كانت الخلطة (T6O4–SCC) هي الأقل مقاومة بين جميع الخلطات التي تمت دراستها خلال فترتي 7ايام و28يوم، وقد يُعزى ذلك إلى أن زيت المحركات المستعمل تسبب في زيادة الفراغات الهوائية داخل الخلطة الخرسانية، بالإضافة إلى احتمالية احتوائه على مكونات كيميائية تفاعلت بشكل سلبي مع الأسمنت، مما أدى إلى ضعف مقاومة الخلطات المحتوية على زيت محركات السيارات المستعمل..



شكل (8) يوضح تأثير تغير نسب الإضافات على مقاومة الضغط

نتائج اختبار الشد غير المباشر (الشد البرازيلي)

"تمت معالجة 27 أسطوانة في الماء حتى موعد الاختبار المحدد في هذه الدراسة، وهو بعد 28 يومًا. وقد تم احتساب قيم اختبار الشد غير المباشر بناءً على متوسط نتائج ثلاث عينات لكل خلطة. وقد أُجري هذا الاختبار وفقًا للمواصفات البريطانية". (المواصفات البريطانية، 1983). الجدول (14) والشكل (9) يوضح نتائج اختبار الشد غير المباشر.

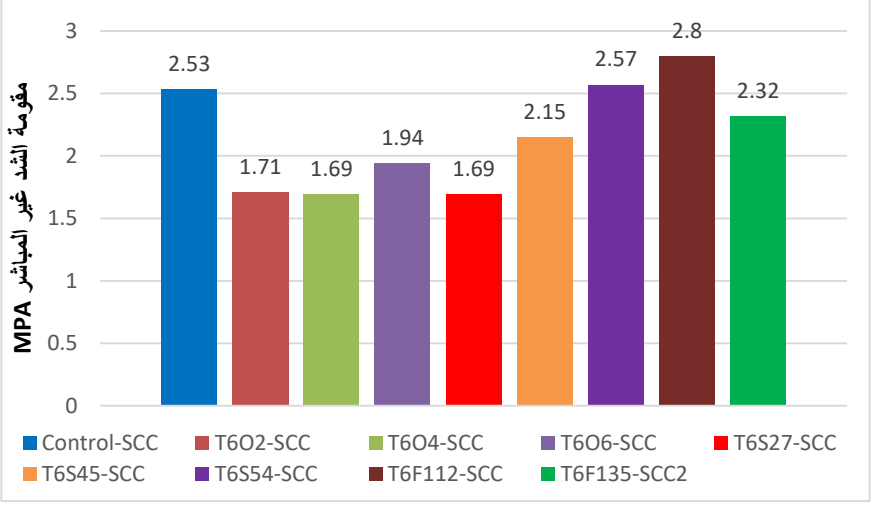
Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

الجدول (14) يوضح نتائج اختبار الشد غير المباشر

رقم الخلطة	رمز الخلطة	اختبار الشد غير المباشر (MPa)	نسبة مقاومة الشد غير المباشر مقارنة بالخلطة المرجعية عند 28 يوم
1	Control–SCC	2.53	%100
2	T6O2–SCC	1.71	%67.58
3	T6O4–SCC	1.69	%66.79
4	T6O6–SCC	1.94	%76.68
5	T6S27–SCC	1.69	%66.79
6	T6S45–SCC	2.15	%84.98
7	T6S54–SCC	2.57	%101.58
8	T6F112–SCC	2.80	%110.67
9	T6F135–SCC	2.32	%91.70

النتائج المتحصل عليها توضح ان الخلطة (T6F112–SCC) أظهرت اعلى قيمة لإختبار الشد غير المباشر مقارنة مع جميع الخلطات الأخرى خلال فترة المعالجة 28يوم، ويُحتمل أن يعود ذلك إلى أن الرماد المتطاير يتكون من جسيمات كروية دقيقة، ساهمت في تحسين ليونة الخرسانة ومقاومتها للتشقق، كما عملت على ملء الفراغات الدقيقة في الخلطة الخرسانية.



الشكل (9) يوضح نتائج اختبار الشد غير المباشر

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

الخلاصة

1. أظهرت خلطة الخرسانة ذاتية الدمك الخالية من الإضافات، محل الدراسة، أعلى مقاومة للضغط، كما سجلت ثالث أعلى قيمة في اختبار الشد غير المباشر مقارنةً ببقية الخلطات المدروسة. إلا أن هذه الخلطة أظهرت انخفاض في اللزوجة والتجانس وارتفاع كمية ماء النضح، مما قد يزيد من احتمالية حدوث الانفصال الحبيبي

2 . رفع نسبة إضافة زيت محركات السيارات المستعمل سبب في انخفاض قطر الانسياب بما يوافق الدراسة السابقة (أبوذينة *واخرون*، 2021) كما تسببت في زيادة تحسن التجانس واللزوجة وعدم وجود ماء نضح عند إستعمال أعلى نسبة من الإضافة بقيمة 1.5% من وزن الاسمنت. ولكن ما يعيبها هو تأثيرها السلبي على الخواص الميكانيكية للخرسانة، حيث بلغت مقاومتها للضغط ومقاومتها للشد غير المباشر ما نسبته 68% و76% على التوالي مقارنة بالخلطة المرجعية.

3. فيما يتعلق بمقاومة الضغط، أدى استخدام زيت محركات السيارات المستعمل بنسبة 1% إلى انخفاض ملحوظ في المقاومة، حيث بلغت 26.7 ميغاباسكال بعد 28 يومًا، مقارنة بنسبة 0.5% التي سجلت مقاومة قدرها 31.8 ميغاباسكال. ومع زيادة نسبة الزيت إلى 1.5%، ارتفعت المقاومة مرة أخرى لتصل إلى 30.7 ميغاباسكال بعد 28 يومًا. وبشكل عام، أظهرت الخلطات المحتوية على زيت المحركات المستعمل مقاومة ضغط أقل من باقي الخلطات، مما يجعلها الأضعف من حيث الأداء الميكانيكي في هذا الجانب".

4. أدى ارتفاع نسبة إضافة غبار السيليكا إلى انخفاض في قطر الانسياب، مع تحسين ملحوظ في اللزوجة والتجانس مقارنة بجميع الخلطات الأخرى المدروسة. ويُعزى ذلك إلى الطبيعة فائقة النعومة لغبار السيليكا ومساحته السطحية العالية، والتي تزيد من تفاعل الجسيمات الدقيقة داخل عجينة الإسمنت، مما يرفع لزوجة الخلطة ويعزز تجانسها. كما يعمل غبار السيليكا كعامل مالئ يملأ الفراغات الدقيقة بين جزيئات الإسمنت والركام الناعم، وهو ما يؤدي إلى زيادة مقاومة الخلطة للانسياب. هذا التأثير، رغم كونه إيجابيًا من ناحية التجانس، إلا أنه قد يتطلب تعديل نسبة الملدن الفائق للحفاظ على قابلية التشغيل ضمن الحدود المطلوبة.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

5. كما ساهمت الزيادة في نسبة غبار السيليكا في تحسين مقاومتي الضغط والشد غير المباشر، ويُعزى ذلك إلى التأثير البوزولاني العالي لغبار السيليكا، إضافةً إلى دوره كمادة مالئة دقيقة تسهم في تقليل المسامية وتعزيز التماسك بين عجينة الإسمنت والركام. ومع ذلك، لم تتجاوز هذه التحسينات القيم المسجلة في الخلطة المرجعية الخالية من الإضافات، وهو ما يمكن تفسيره بأن غبار السيليكا، ولكونه مادة بوزولانية، يحتاج إلى فترة زمنية أطول ليظهر تأثيره على الخواص الميكانيكية للخرسانة. كما أن الزيادة المفرطة في غبار السيليكا قد تؤدي إلى زيادة الحاجة إلى الماء أو الملدنات لتحقيق التشغيلية المطلوبة، مما قد يحد من الفعالية الكاملة للإضافة دون تعديل باقي مكونات الخلطة.
6. أدى ارتفاع نسبة إضافة الرماد المتطاير إلى زيادة قطر الانسياب وانخفاض زاوية الميل في اختبار صندوقL ، مما يشير إلى تحسن في قابلية الخرسانة للانسياب دون حدوث انسداد. كما ساهم الرماد المتطاير في تحسين اللزوجة والتجانس وتقليل كمية ماء النضح. ويُعزى هذا التأثير الإيجابي إلى الطبيعة الدقيقة لجزيئات الرماد المتطاير، والتي تعمل كمواد مالئة تساهم في تحسين توزيع الحبيبات داخل الخلطة، وتقليل الفجوات، مما يعزز من تماسك الخليط ويحدّ من ظاهرة النضح. إضافةً إلى ذلك، فإن تأثير البوزولانية للرماد المتطاير على المدى الطويل يسهم في تحسين خواص الخرسانة الطازجة والصلبة معًا".
7. لكن من ناحية أخرى، تسببت زيادة نسبة الرماد المتطاير في انخفاض كل من مقاومة الضغط والشد غير المباشر. ويُعزى هذا الانخفاض إلى الطبيعة البوزولانية البطيئة للرماد المتطاير، حيث يتطلب وقتًا أطول للتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الناتج عن عملية الإماهة، مقارنة بالإسمنت البورتلاندي. وبالتالي، فإن استبدال جزء من الإسمنت الفعّال بمواد بوزولانية غير متفاعلة سريعًا يؤدي إلى انخفاض مبكر في تطوير المقاومة. كما أن زيادة محتوى الرماد المتطاير قد تقلل من كمية المونه الاسمنتية المتشكلة في المراحل الأولى من المعالجة، مما يؤثر سلبًا على الكثافة البنيوية والمقاومة الميكانيكية للخرسانة في الأعمار المبكرة مثل عمر 28 يومًا.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

شكر وتقدير:

قام الطلبة أحمد محمد علي المزوغي و محمد المختار محمد أحمد بإجراء الدراسة المعملية وتنفيذ الخلطات الخرسانية ضمن برنامج استكمال دراسة البكالوريوس بقسم الهندسة المدنية بجامعة الزيتونة لسنة 2024، وقد بذلوا جهداً يستحقون عليه الثناء

التوصيات

1. نوصي بإستخدام زيت محركات السيارات المستعمل بنسب أخرى مختلفة (أقل وأكثر) من النسب المستخدمة في هذه الدراسة ولفترات تزيد عن 28 يوم لمعرفة تأثيرها على ديمومة الخرسانة والنسب الأفضل التي من الممكن استخدامها، للحكم على جودة استخدامه وامكانية اعتماده كمضاف مع المضافات الأخرى.

2. دراسة تأثير هذه الإضافات على ترابط الخرسانة مع حديد التسليح.

3. توفير الإضافات في السوق الليبي حتى يسهل الحصول عليها واختبارها.

4. تشجيع الباحثين على الاستمرار في دراسة خواص الرماد المتطاير وغبار السليكا وزيت المحركات المستعمل الكيميائية والفيزيائية لاستخدام في مواد البناء المختلفة.

5. دراسة تأثير استعمال الإضافات على جودة الخرسانة ذاتية الدمك عند تعرضها لبعض الاختبارات التي لم تدرس في هذه الدراسة كمقاومة الصدم ومعامل النفاذية، وتأثير التجمد والذوبان وغيرها.

6. دراسة وتحليل الخصائص والمكونات الكيميائية للإضافات المستخدمة في البحث.

7. نوصى عند إضافة المواد البوزولانية مثل الرماد المتطاير وغبار السيلكا بتمديد فترة المعالجة حتى 90 يوم، لتعزيز التفاعل البوزولاني وتحسين تطور المقاومة على المدى الطويل".

المراجع

أبوذينة. عبدالرؤوف، والجيبولي. أحمد، وجاب الله. محمود. (2021) تأثير استخدام زيت السيارات المستعمل كملدن فائق على التشغيلية والخواص الميكانيكية للخرسانة ذاتية الدمك. المؤتمر الوطني التاسع لمواد البناء والهندسة الإنشائية، طرابلس، ليبيا.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/arhm6003

المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية .(1988) .المواصفات القياسية الليبية رقم 294 لسنة 1988 ف: المياه المستعملة في الخرسانة .طرابلس، ليبيا.

المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية .(1997) .المواصفات القياسية الليبية رقم 340 لسنة 1997 ف: *الخاصة بالإسمنت البورتلاندي* .طرابلس، ليبيا.

المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية .(2002) .المواصفات القياسية الليبية رقم 49 لسنة 2002 ف: ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية .طرابلس، ليبيا.

5 تليش. سعاد. ويوسف. الطاهر. (2020). دراسة تأثير خبث الأفران كبديل جزئي للرمل على الخواص الهندسية للخرسانة ذاتية الدمك. المؤتمر الدولي الثالث للعلوم التقنية(ICST2020) ، 28 30–نوفمبر 2020، طرابلس، ليبيا.

Abdelgader, H., Saud, A., & El-Baden, A. (2015). Effect of silica fume on self-compacting concrete. Tripoli University, Tripoli, Libya.

British Standards Institution. (1983). BS 1881-118:1983 – Method for determination of flexural strength. London, UK: British Standards Institution

British Standards Institution. (1983). BS 1881-116:1983 – Method for determination of compressive strength of concrete cubes. London, UK: British Standards Institution.

Daczko, J. A. (2012). Self-consolidating concrete: Applying what we know. Taylor & Francis Group: Boca Raton, London, New York, pp. 1–2.

Grunewald, S. (2004). Performance based design of self-compacting fiber reinforced concrete (Ph.D. thesis). Department of Civil and Mining Engineering, Delft University of Technology. Published and distributed by Delft University Press, Netherlands.

The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. (2005). Specification, production and use. The European Project Group.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية