

تأثير الحرارة على قوة ضغط الخرسانة ذات الإضافات المتوفرة في السوق المحلي الليبي

أ.د. سمير مختار نوح
قسم الهندسة المدنية
كلية الهندسة - جامعة طرابلس
samir.nuh@gmail.com

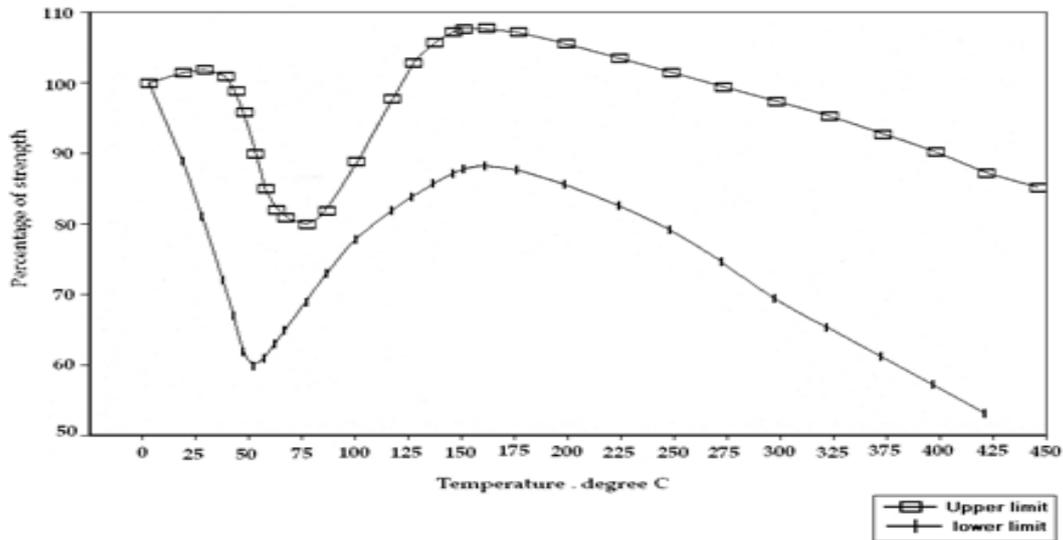
ملخص

البحث الحالي يتمحور حول دراسة معملية لتأثير الحرارة على قوة ضغط الخرسانة ذات الإضافات المتوفرة في السوق المحلي الليبي. أستخدم في هذا البحث نوعان من الإضافات بنسبة 1 % من نسبة الإسمنت البورتلاندي العادي المستخدم، وكانت الإضافتان في صورتين فائقين يعملان على تحسين التشغيلية وعلى خفض محتوى الماء في الخلطة الخرسانية، وهما (Type A&F و Type G) اللذان يتوافقان مع المواصفات الأمريكية (ASTM C494). الدراسة شملت رفع درجة حرارة عينات معيارية من مكعبات الضغط ذات الأبعاد 150X150X150 مم إلى 50^o و 100^o و 200^o مئوية، وقياس قوة ضغط الخرسانة الناتجة ومقارنتها بعينات مناظرة ولكن في درجة حرارة المعمل، ولقد تم أخذ متوسط قوة ضغط عينتين لكل حالة. عولجت العينات ببقائها مغمورة تحت الماء لمدة 28 يوماً، ثم إخراجها لتجف لمدة أسبوعين ثم تسخينها في الفرن لدرجة الحرارة المطلوبة لمدة 24 ساعة قبل اختبارها تحت الضغط. قيست درجة التشغيلية للخرسانة الطازجة باستخدام قمع الهبوط وحدد مقدار الهبوط لجميع نسب الخلط. أعدت لهذا البرنامج خلطتان خرسانيتان، وبإجمالي 96 مكعب بنسبة إسمنت إلى ركام (خشن وناعم) 4.6:1 للخلطة الأولى و 4.4:1 للخلطة الثانية، وكانت كمية الإسمنت المستعمل 400 كيلوجراما للمتر المكعب في الخلطة الأولى و 420 كيلوجراما للمتر المكعب في الخلطة الثانية، وشملت كلا من الخليطين على ثلاث نسب من الماء إلى الإسمنت وهي 0.40، 0.45، 0.50. تكوّن الركام الخشن المستخدم من حجر جيرى محلي بمقاس إعتباري 20مم بنسبة 35% و بمقاس 14مم بنسبة 65%. إنخفضت قوة ضغط العينات الخرسانية مع ارتفاع نسبة الماء إلى الإسمنت المستخدمة، وانخفضت قوة الضغط لكل العينات التي سخنت لدرجة حرارة 100 درجة مئوية بالنسبة لقوة ضغط العينات الأخرى التي رفعت حرارتها إلى 50^o أو 200^o مئوية، وكانت قوة ضغط العينات الخرسانية التي بقيت درجة حرارتها عند درجة حرارة المعمل أعلى من العينات المناظرة الأخرى التي سخنت وذلك للخلطة الأولى والثانية وكذا عندما استخدمت الإضافة الأولى أو الثانية.

الكلمات الدالة : إضافات الخرسانة من الملدنات الفائقة، قياس الهبوط للخرسانة، درجة الحرارة، قوة الضغط للخرسانة.

مقدمة

تعتبر الإضافات الكيميائية للخرسانة في صورة ملدنات فائقة من أهم الإضافات التي لها تأثير إيجابي على خواص الخلطة الخرسانية في صورتها الطازجة والصلدة [1]. ويتمثل تأثير الملدنات على الخرسانة في فوائد جمة من أهمها التشغيلية أثناء الصب للخرسانة الطازجة، وبسبب التقليل من نسبة الماء إلى الإسمنت تتحسن تلقائياً قوة الضغط الناتجة للخرسانة في صورتها الصلدة [2][3]. لكن من المهم الأخذ في الاعتبار أن هذه الإضافات يجب ألا تشكل بديلاً عن حُسن الإهتمام بإعداد الخلطة الخرسانية، وهي كذلك ليست حلاً للخرسانة الضعيفة [2]. يبقى السؤال المهم عن تأثير الحرارة على الخرسانة الناتجة ذات الإضافات، ونخص بالذكر قوة ضغط الخرسانة الناتجة. إهتم كثير من الباحث في موضوع تأثير الحرارة على الخرسانة عموماً وعلى قوة ضغط الخرسانة بالخصوص [4][5][6][7][8]. وتعتبر الصفات الحرارية للخرسانة أكثر تعقيداً من معظم المواد الأخرى ليس لأنها مادة مركبة من عدة مواد لكل منها خواصها الحرارية فحسب ولكن لأن خواصها تعتمد أيضاً على نسبة الرطوبة وعلى المسامية [9]. الشكل (1) يبين تأثير الحرارة على قوة ضغط عينات متعددة من الخرسانة من المرجع السادس [6]. أشار المرجع الثامن [8] أن الأبخرة التي تتمدد داخل الخرسانة نتيجة ارتفاع حرارة الماء الحر في الخرسانة تسبب إجهادات داخلية يمكن أن تقلل من قوة الضغط ما بين درجتي 60° مئوية و90° مئوية وبعدها تستعيد الخرسانة قوتها عند 100° عندما تفقد كل مائها.

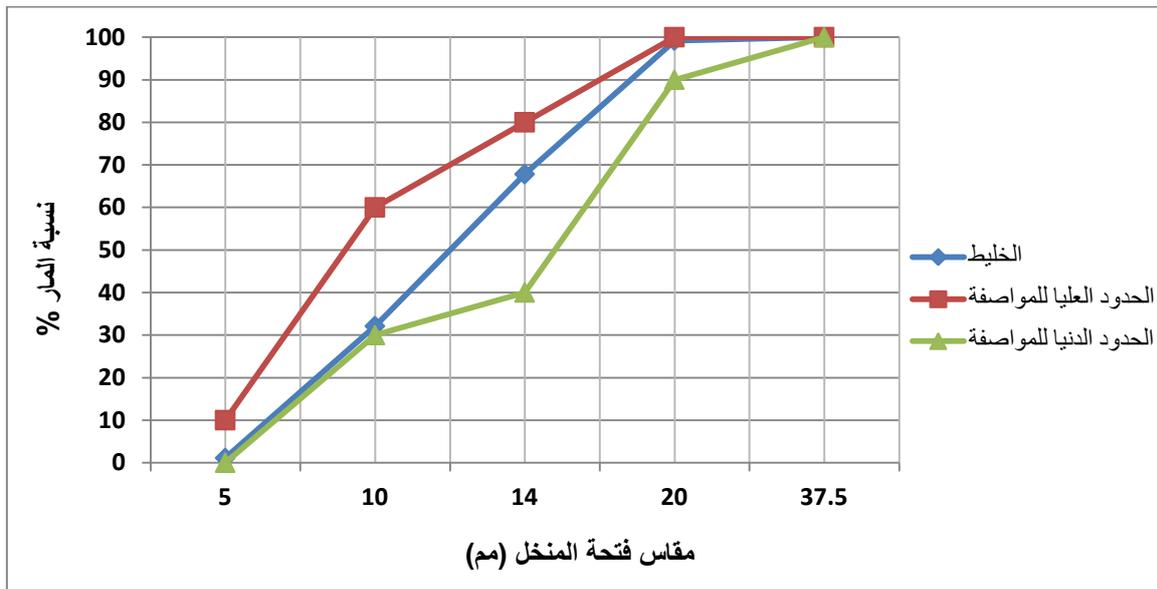


شكل (1) تأثير الحرارة على قوة ضغط الخرسانة [6]

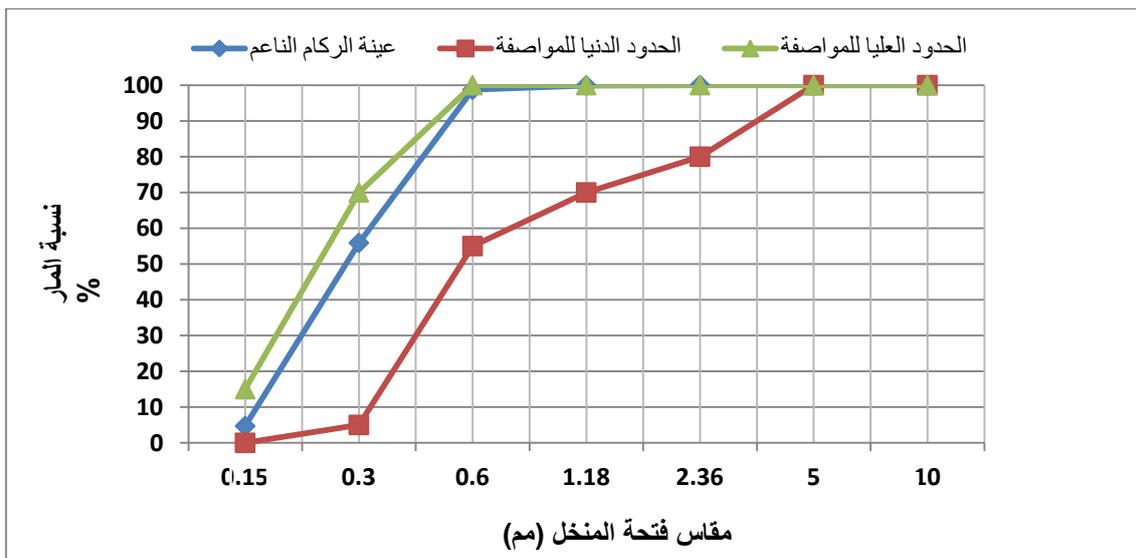
البرنامج العملي

في هذه الدراسة، تم استخدام الإسمنت البورتلاندى العادي السائب من إنتاج مصنع البرج بزيطن، والركام الخشن تكون من ركام بحجم 14 مم بنسبة 65%، والذي خلط مع ركام بمقاس 20 مم بنسبة 35% المستجلبان من محاجر منطقة رأس اللفعة، والشكل (2) يوضح نتائج التحليل المنخلي للخليط. وتم استخدام الركام الناعم الطبيعي المورد من منطقة زيطن، وخلط بنسبة ركام خشن إلى ركام ناعم بنسبة وزن 3.0 : 1.0 لجميع الخلطات، والشكل

(3) يبين نتائج التحليل المنخلي للركام الناعم الذي تم استخدامه. أما الماء الذي أضيف للخلطات فكان الماء الصالح للشرب. بالنسبة للإضافات الكيميائية فلقد استخدمت إضافتان كيميائيتان متوفرتان في السوق الليبي لهما خاصية خفض ماء الخلط وكعامل ملدن يزيد قابلية التشغيل لإنتاج نوعية خرسانة ذات جودة عالية في المناخ الحار، ويؤدي التأثير المزدوج لهذا الملدن إلى تحسين سرعة التصلد وزيادة الإجهادات المبكرة والنهائية، وهما سيكامنت آر 2002 [11]، وسيكامنت آر 163 [12] اللتان تصنفان حسب المواصفات الأمريكية (ASTM C494) [13] بالنوعين Type G، و Type A&F على الترتيب بنسبة 1% من وزن الإسمنت المستخدم لكل إضافة.



شكل (2) التحليل المنخلي لخليط الركام الخشن من حجم 14مم و20مم [10]



شكل (3) التدرج المنخلي لعينة الركام الناعم [10]

أستخدمت الطريقة الحجمية لتحديد كميات مكونات الخلطة للمتر مكعب من الخرسانة، وأعدت لهذا البرنامج خلطتان خرسائيتان، بنسبة إسمنت إلى ركام (خشن وناعم) 4.6:1 للخلطة الأولى (Mix) و 4.4:1 للخلطة الثانية (Mix 2)، وكانت كمية الإسمنت المستعمل 400 كيلوجراما للمتر المكعب في الخلطة الأولى و 420 كيلوجراما للمتر المكعب في الخلطة الثانية، وشملت كلا من الخليطين على ثلاث نسب من الماء إلى الإسمنت وهي 0.40، 0.45، 0.50. قيست درجة التشغيلية للخرسانة الطازجة باستخدام قمع الهبوط وحدد مقدار الهبوط لجميع العينات. الدراسة شملت رفع درجة حرارة عينات معيارية من مكعبات الضغط ذات الأبعاد 150 x 150 x 150 مم إلى 100^o و 200^o مئوية، وقياس قوة ضغط الخرسانة الناتجة ومقارنتها بعينات مناظرة ولكن في درجة حرارة المعمل، ولقد تم أخذ متوسط قوة ضغط عينتين لكل حالة، وكان إجمالي عدد المكعبات المستخدمة في البحث 96 مكعبا. العينات عولجت ببقائها مغمورة تحت الماء لمدة 28 يوما، ثم إخراجها لتجف لمدة أسبوعين ثم تسخينها في الفرن لدرجة الحرارة المطلوبة لمدة 24 ساعة قبل تركها لتبرد في درجة حرارة المعمل ثم اختبارها تحت قوة الضغط.

نتائج الإختبارات المعملية

إشتملت نتائج الإختبارات المعملية على تعيين مقدار الهبوط لعينات الخرسانة الطازجة، وعلى تعيين قوة ضغط المكعبات الخرسانية الصلدة بعد تسخينها لدرجة الحرارة المطلوبة لكل العينات عند استخدام الخلطة الأولى (Mix 1) والثانية (Mix2) وعند استخدام الإضافتين من النوعين الأول والثاني. جدول (1) يبين مقدار هبوط عينات Mix1 التي أضيفت لها الإضافة الأولى Type G التي سخنت عيناتها لدرجات 50، و100، و200 درجة مئوية، ويبين جدول (2) مقدار هبوط عينات Mix2 التي أضيفت لها الإضافة الأولى Type G التي سخنت لدرجات 50، و100، و200 درجة مئوية. أما جدول (3) فيوضح مقدار هبوط عينات Mix1 التي أضيفت لها الإضافة الثانية Type A&F والتي سخنت لدرجات 50، و100، و200 درجة مئوية و جدول (4) يوضح مقدار هبوط عينات Mix2 التي أضيفت لها الإضافة الثانية Type A&F والتي سخنت عيناتها لدرجات 50، و100، و200 درجة مئوية.

جدول (1) هبوط عينات Mix 1 مع الإضافة الأولى (Type G)

التي سخنت لدرجات 50^o و 100^o و 200^o C

مقدار الهبوط (مم)	نسبة الماء إلى الإسمنت
5	0.40
34	0.45
200	0.50

جدول (2) هبوط عينات Mix 2 مع الإضافة الأولى (Type G)

التي سخنت لدرجات 50^o و 100^o و 200^o C

مقدار الهبوط (مم)	نسبة الماء إلى الإسمنت
10	0.40
89	0.45
223	0.50

جدول (3) هبوط عينات Mix 1 مع الإضافة الثانية
(Type A&F) التي سخنت لدرجة 50° و 100° و 200°C

مقدار الهبوط (مم)	نسبة الماء إلى الإسمنت
7	0.40
65	0.45
113	0.50

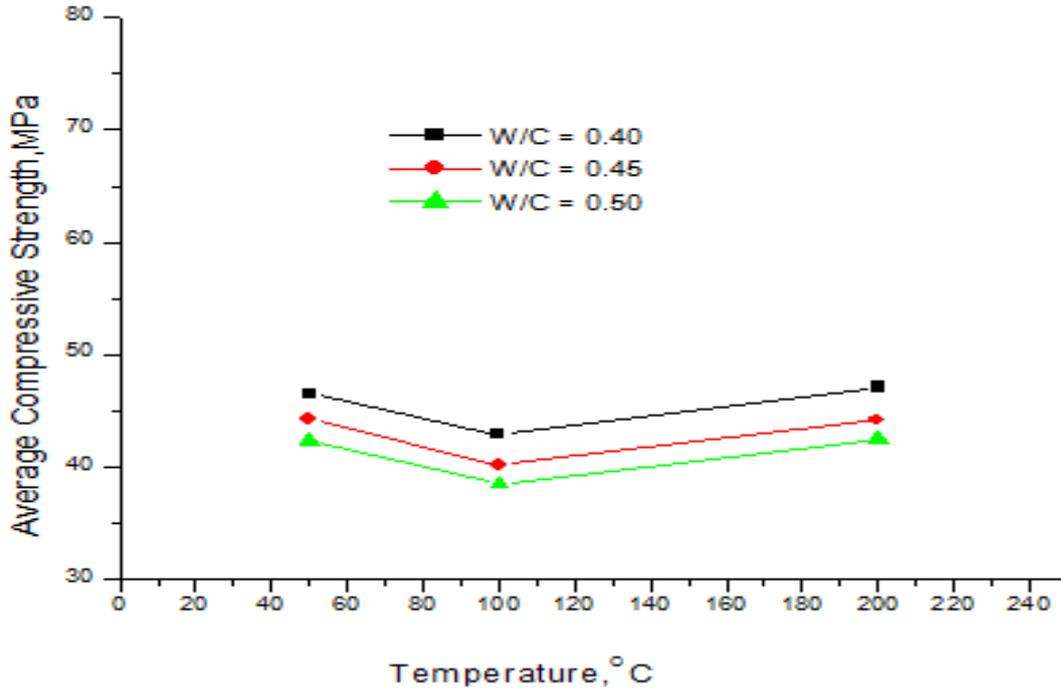
جدول (4) هبوط عينات Mix 2 مع الإضافة الثانية (Type A&F)
التي سخنت لدرجة 50° و 100° و 200°C

مقدار الهبوط (مم)	نسبة الماء إلى الإسمنت
9	0.40
77	0.45
210	0.50

أما بالنسبة لنتائج اختبارات قوة الضغط على المكعبات المختلفة فإن نتائجها للخلطة الأولى Mix 1 مع الإضافة الأولى (Type G) للعينات التي سخنت لدرجة 50° و 100° و 200° مئوية وتلك التي تركت في حرارة المعمل فهي مبينة في الجدول (5)، وبيانها في الشكل (4)، وللخلطة الثانية Mix 2 مع نفس الإضافة في جدول (6)، وبيانها في الشكل (5). الجدول (7) يبين نتائج اختبارات قوة الضغط على مكعبات الخلطة الثانية Mix 1 مع الإضافة الثانية (Type A&F) للعينات التي سخنت لدرجة 50° و 100° و 200° مئوية، وتلك التي تركت في حرارة المعمل، والشكل (6) يبين ذلك بيانياً، أما الجدول (8) فيبين نتائج اختبارات قوة الضغط على مكعبات الخلطة الثانية Mix 2 مع الإضافة الثانية (Type A&F) للعينات التي سخنت لدرجة 50° و 100° و 200° مئوية وتلك التي تركت في حرارة المعمل والشكل (7) يبين ذلك بيانياً.

جدول (5) متوسط قوة ضغط عينات Mix 1 مع الإضافة الأولى (Type G)
والتي سخنت لدرجات 50° و 100° و 200° مئوية، وتلك المناظرة والتي بقيت في درجة حرارة المعمل

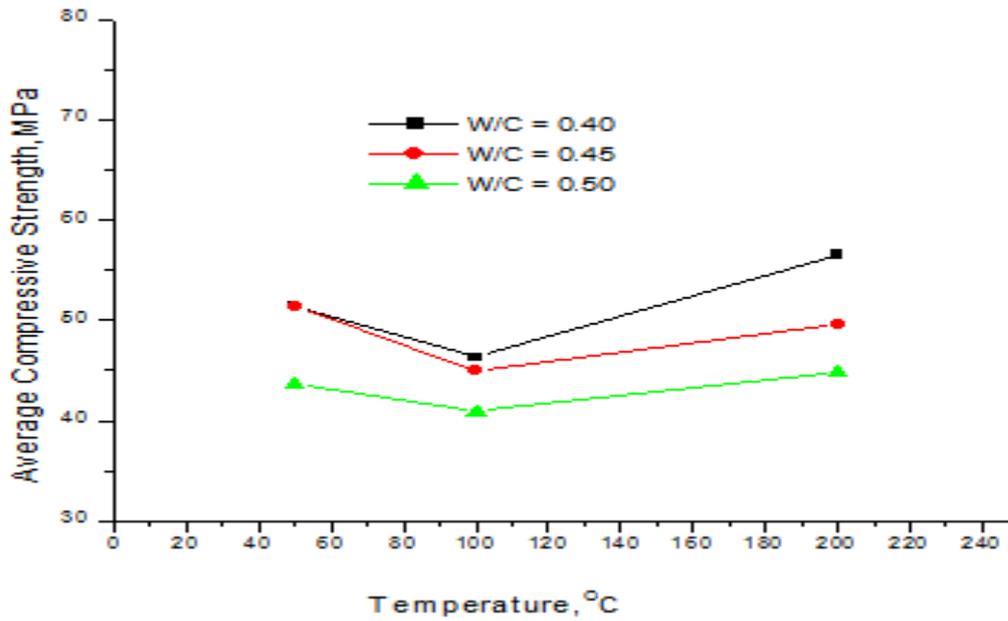
متوسط قوة ضغط العينات التي سخنت لدرجة 200° مئوية (MPa)	متوسط قوة ضغط العينات التي سخنت لدرجة 100° مئوية (MPa)	متوسط قوة ضغط العينات التي سخنت لدرجة 50° مئوية (MPa)	متوسط قوة ضغط العينات التي بقيت في حرارة المعمل (MPa)	نسبة الماء إلى الإسمنت
47.11	42.84	46.53	47.69	0.40
44.16	40.14	44.24	45.04	0.45
42.42	38.48	42.28	43.60	0.50



شكل (4) التغير في ضغط الخرسانة مع الحرارة لنسب الماء إلى الإسمنت 0.50، 0.45، 0.40 للخلطة الأولى Mix 1 مع الإضافة الأولى (Type G)

جدول (6) متوسط قوة ضغط عينات Mix 2 مع الإضافة الأولى (Type G) والتي سخنت لدرجات 50° و 100° و 200° مئوية، وتلك المناظرة والتي بقيت في درجة حرارة المعمل

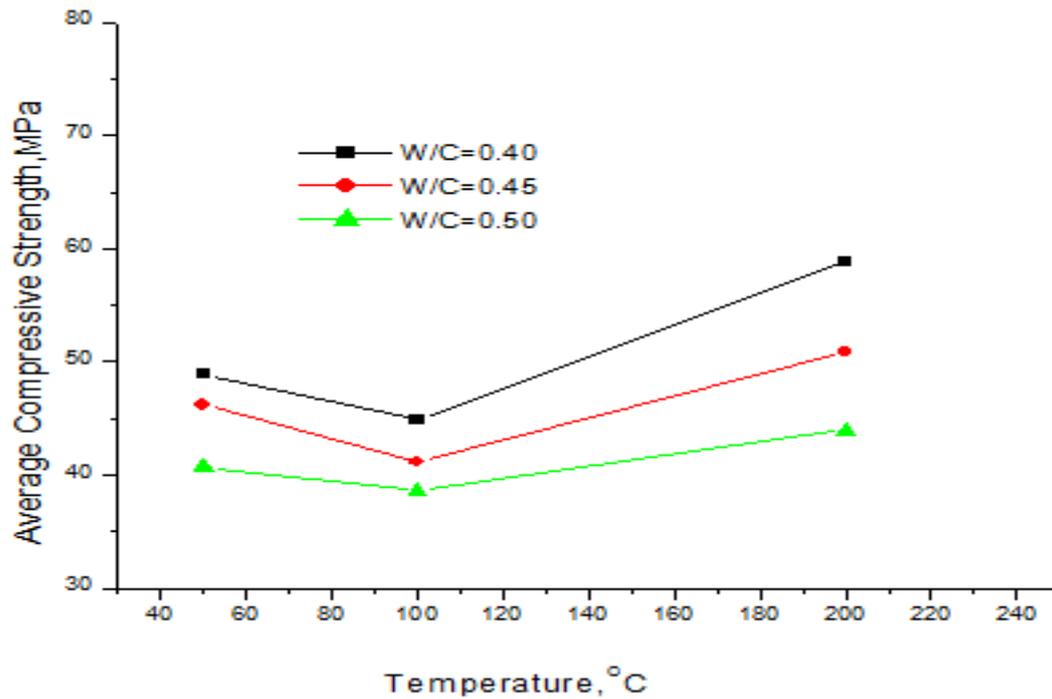
متوسط قوة ضغط العينات التي سخنت لدرجة 200° مئوية (MPa)	متوسط قوة ضغط العينات التي سخنت لدرجة 100° مئوية (MPa)	متوسط قوة ضغط العينات التي سخنت لدرجة 50° مئوية (MPa)	متوسط قوة ضغط العينات التي بقيت في حرارة المعمل (MPa)	نسبة الماء إلى الإسمنت
56.54	46.31	51.45	59.52	0.40
49.61	44.99	51.39	56.29	0.45
44.86	40.91	43.61	50.02	0.50



شكل (5) التغير في ضغط الخرسانة مع الحرارة لنسب الماء إلى الإسمنت 0.40، 0.45، 0.50 للخلطة الثانية Mix 2 والإضافة الأولى (Type G)

جدول (7) متوسط قوة ضغط عينات Mix 1 مع الإضافة الثانية (Type A&F) والتي سخنت لدرجة 50° و 100° و 200° مئوية، وتلك المناظرة والتي بقيت في درجة حرارة المعمل

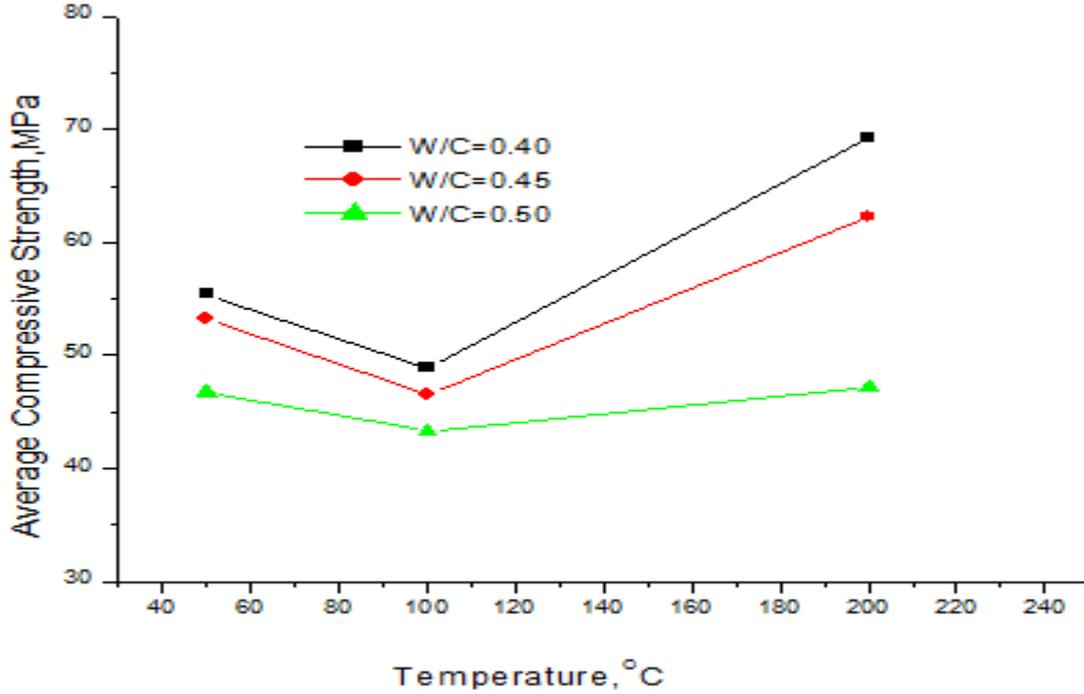
متوسط قوة ضغط العينات التي سخنت لدرجة 200° مئوية (MPa)	متوسط قوة ضغط العينات التي سخنت لدرجة 100° مئوية (MPa)	متوسط قوة ضغط العينات التي سخنت لدرجة 50° مئوية (MPa)	متوسط قوة ضغط العينات التي بقيت في حرارة المعمل (MPa)	نسبة الماء إلى الإسمنت
58.86	44.86	48.91	58.86	0.40
50.87	41.15	46.19	53.17	0.45
43.95	38.62	40.71	47.90	0.50



شكل (6) التغير في ضغط الخرسانة مع الحرارة لنسب الماء إلى الإسمنت 0.40، 0.45، 0.50 للخلطة الأولى Mix 1 والإضافة الثانية (Type A&F).

جدول (8) متوسط قوة ضغط عينات Mix 2 مع الإضافة الثانية (Type A&F) والتي سخنت لدرجات 50° و 100° و 200° مئوية، وتلك المناظرة والتي بقيت في درجة حرارة المعمل

متوسط قوة ضغط العينات التي سخنت لدرجة 200° مئوية (MPa)	متوسط قوة ضغط العينات التي سخنت لدرجة 100° مئوية (MPa)	متوسط قوة ضغط العينات التي سخنت لدرجة 50° مئوية (MPa)	متوسط قوة ضغط العينات التي بقيت في حرارة المعمل (MPa)	نسبة الماء إلى الإسمنت
69.32	48.88	55.42	70.55	0.40
62.20	46.51	53.23	65.03	0.45
47.16	43.27	46.68	54.38	0.50



شكل (7) التغير في ضغط الخرسانة مع الحرارة لنسب الماء إلى الإسمنت 0.50 ، 0.45 ، 0.40 للخلطة الثانية Mix 2 والإضافة الثانية (Type A&F)

الخلاصة

تمحورت الدراسة العملية الحالية حول تأثير ارتفاع درجة حرارة عينات الخرسانة من المكعبات القياسية على قوة ضغط الخرسانة التي أضيف لها ملدنان متوفران في السوق المحلي الليبي. واستخدم لهذا الغرض خلطتان خرسانيتان ونوعان من الإضافات التي تخضع للمواصفات الأمريكية (ASTM C494)، وهما النوع Type G والنوع Type A&F اللتان تعدان من الملدنات الفائقة التي تساعد في التشغيلية من جانب وتقليل ماء الخلط من جانب آخر مما يحسن أيضاً من قوة الضغط للخرسانة الناتجة. وتم استخدام ثلاث نسب من الماء إلى الإسمنت وهي 0.50، 0.45، 0.40، وقيست مقادير الهبوط للخرسانة الطازجة للعينات المستخدمة. أبقيت العينات مغمورة تحت الماء لمدة 28 يوماً، ثم أخرجت وتم تجفيفها لمدة أسبوعين في درجة حرارة المعمل ثم سخنت في فرن لدرجة الحرارة المطلوبة لمدة 24 ساعة، واختيرت ثلاث درجات حرارة لذلك هي 50 ° و 100 ° و 200 ° مئوية ثم اختبرت العينات بعد أن بردت تحت قوة الضغط، وحسب متوسط قوة ضغط عينتين لكل حالة.

يمكن تلخيص النتائج للبرنامج المعمل بالآتي :

- زاد مقدار الهبوط المقاس لاختبارات الهبوط مع الزيادة في نسبة الماء للإسمنت المستخدمة لكل عينات الخلطة الأولى والثانية وعند استخدام الملدنين الأول والثاني.
- لوحظ انخفاض في متوسط قوة ضغط العينات التي سخنت سواء لدرجة 50 أو 100 أو 200 درجة مئوية مقارنة بمتوسط قوة ضغط العينات التي بقيت في درجة حرارة المعمل لجميع نسب الماء إلى الإسمنت المستخدمة وللختين وعند استخدام الملدنين.

- إنخفض متوسط قوة ضغط العينات الخرسانية تدريجياً مع الإرتفاع في نسبة الماء إلى الإسمنت المستخدمة سواء للعينات التي ارتفعت درجة حرارتها أو التي بقت في درجة حرارة المعمل.
- إنخفض متوسط قوة الضغط لكل العينات التي سخنت لدرجة حرارة 100 درجة مئوية مقارنة بمتوسط قوة ضغط العينات الأخرى والتي رفعت درجة حرارتها إلى 50^o أو 200^o مئوية، سواء للإضافة الأولى أو الثانية وكذا للخطة الأولى والثانية (MIX 1 & 2).
- بالنسبة لنتائج الملدن الثاني (Type A&F)، لوحظ ارتفاع ملحوظ في متوسط قوة ضغط العينات التي سخنت لدرجة 200 درجة مئوية مقارنة بمتوسط قوة ضغط العينات التي سخنت لدرجة 50 درجة مئوية لجميع نسب الماء إلى الإسمنت، وكذا للخطة الأولى والثانية (MIX 1 & 2).

التوصيات

- بناء على النتائج المتحصل عليها من هذا البحث، وفي إطار المعطيات المبينة والمذكورة تفصيلاً فإنه يمكن أن يخلص إلى النتائج الآتية:
- الإرتفاع في درجة حرارة الخرسانة التي أضيفت لها الملدنات المذكورة في هذا البحث يؤثر سلباً على قوة ضغطها الناتجة، وخاصة عند درجة حرارة 100 درجة مئوية. هذا التصرف للخرسانة شبيه بتصرف الخرسانة التي لم يتم إضافة الملدنات إليها، كما سبق ملاحظة ذلك في بحث سابق [5].
 - إنخفضت قوة ضغط العينات الخرسانية تدريجياً مع الإرتفاع في نسبة الماء إلى الإسمنت المستخدمة، وبالتالي فإن استخدام الملدنات التي تقلل من استخدام الماء ربما يعتبر اتجاهاً جيداً للمحافظة على قوة ضغط الخرسانة مع الحصول على التشغيلية اللازمة.
 - يوصى بدراسات مستقبلية لتأثير نسب الإضافات وخاصة الموجودة في السوق الليبي والتي شاع استخدامها على قوة ضغط الخرسانة المعرضة لارتفاع في درجات الحرارة، وخاصة عندما تصل نسبة الإضافة إلى الحد الأقصى الذي يسمح به المصنّع أو تتعداها.
 - يوصى بدراسات مستقبلية لخرسانة مضاف لها أنواع أخرى من الإضافات لمعرفة أثر الحرارة على قوة ضغطها الناتجة، وكذا دراسة أثر الحرارة المرتفعة التي قد تصل إلى 300 درجة مئوية أو أكثر على قوة ضغط الخرسانة.

المراجع

1. Alsadey, Salahaldeen, "Effects of Super-plasticizing Admixture on Properties of Concrete", International Conference on Transport, Environment and Civil Engineering (ICTECE'2012) August 25-26, 2012, Kuala Lumpur (Malaysia).
2. Neville, A.M., "Properties of Concrete", Fourth Edition, Pearson Education Ltd., 1995.
3. Aitcin, P. C. and B. Miao, "How to Make High-Performance Concrete", Proceedings of the 2nd Seminar on High-Performance Concrete, Taipei, Taiwan, ROC, 1992, pp91-118.
4. Zolds, N. G., "Effect of High Temperature on Concrete Incorporating Different Aggregates", American Society for Testing Mortar, Vol. 60, 1960, pp1087-1107.

5. Ben-Zeitun, Ahmed and Nuh, Samir," Temperature Effect on Concrete Compressive Strength", the 6th Arab Conference on Structural Engineering, Damascus, Syria, 21-24 Oct 1995.
6. Petzold, A. and Rohrs, M. "Concrete for High Temperatures", Applied Science, London, 1969.
7. Petzold, A. and Manfred, R.," Concrete at High Temperatures", Maclaren and Sons Ltd., London, 1970, pp 17, 39-40, 72-73.
8. F. D. Lydon , (Ed) , " Development In Concrete Technology — 1" , Applied Science Publishers ,Ltd, London ,1979.
9. Mindess, S. and Young, J. F.,"Concrete", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.Y., 1981, pp521-533.
10. British Standard Institute, BS882 1992, "Specification for Aggregates from Natural Sources for Concrete".
11. Sikment_R2002, (ASTM C494 - Type G), Sika Company.
12. Sikment_163, (ASTM C494 - Type A&F), Sika Company.
13. American Society for Testing and Materials, ASTM C494, Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.

إنتاج خرسانة عالية الأداء بالمواد المتوفرة محليا

حمزه إبريك بن عمران¹، مسعود الطيف محمد²، عبد القادر مفتاح الكوافي³

¹رئيس قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة عمر المختار، درنة، ليبيا.

²محاضر مساعد، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة عمر المختار، درنة، ليبيا.

³عميد كلية الهندسة، جامعة عمر المختار، درنة، ليبيا.

المخلص

تستخدم الخرسانة في الأعمال المدنية كالمباني السكنية والخدمية، الطرق والجسور، السدود وغيرها. في الماضي كانت تستخدم الخرسانة العادية في إنشاء هذه الأعمال. ونظرا لتطور طرق البناء والمواد الداخلة فيه ظهر الإحتياج لخرسانة لها خواص معينة تفي بالمتطلبات التي تحتاجها المنشآت ذات المواصفات الخاصة. بعض هذه الخواص تتمثل في قابلية التشغيل العالية، المقاومة العالية، وقدرة التحمل العالية. الخرسانة التي توفر هذه الخواص أطلق عليها الخرسانة عالية الأداء (HPC High Performance Concrete). ونظرا للتطور العمراني والتوسع الرأسي في الإنشاء ظهرت الحاجة إلى استخدام الخرسانة عالية الأداء.

تستعرض هذه الورقة دراسة خواص مكونات الخرسانة المتوفرة محليا من إسمنت، ركام ناعم، ركام خشن والإضافات اللازمة لإنتاج خرسانة عالية الأداء. إعداد خلطات خرسانية بالمواد المختارة ومن ثم إختبار قابلية التشغيل للخرسانة الطازجة. تأثير مخفضات الماء عالية المدي (HRWR) High Range Water Reducer وغبار السيليكا (Silica Fume) على قابلية التشغيل تم تسجيلها. مقاومة الضغط للخرسانة عند أعمار مختلفة تم اختبارها وتأثير نعومة الرمل، والإضافات المستخدمة تم إيجادها.

الدراسة أظهرت إمكانية الحصول علي خرسانة عالية الأداء من المواد المتوفرة محليا. أستخدم الرمل الخشن أدى إلى زيادة قابلية التشغيل للخرسانة بينما أدت زيادة معامل نعومة الرمل إلى تأثير إيجابي على مقاومة الضغط للخرسانة خصوصا المبكرة منها. إضافة غبار السيليكا أدى إلى زيادة مقاومة الخرسانة عند نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) العالية.

توصي الدراسة بالتوسع في اختبار خواص المواد المتوفرة محليا لأهميتها في الحصول على الخرسانة عالية الأداء ومعرفة الإضافات الممكن استخدامها لتحسين أدائها.

مقدمة

مصطلح الخرسانة عالية الأداء أطلق على الخلطات الخرسانية التي تحتوي على ثلاث خصائص رئيسية، قابلية التشغيل العالية، المقاومة العالية وقدرة التحمل العالية. لذلك كان الإختلاف الرئيسي بين الخرسانة عالية الأداء HPC والخرسانة عالية المقاومة HSC وهو أن الأولى تتطلب وجود خواص ضرورية تتمثل في قابلية التشغيل العالية وقدرة التحمل العالية بينما الثانية تركز على مقاومة الضغط [1].

الحصول على المقاومة العالية يتطلب تخفيض نسبة الماء إلى الإسمنت W/C والذي بدوره يؤثر سلبا على قابلية التشغيل. لذلك يجب استعمال الملدنات الفائقة (Super plasticizer) لضمان قابلية التشغيل.

نموذجيا الخرسانة عالية الأداء لها محتوى إسمنتي عال ونسبة الماء إلى الإسمنت $W/C = 0.4$ أو أقل. مع ذلك نسبة العناصر المنفردة تتغير بناء على التفاصيل والمواد المحلية. نسبة الخلط التي تطور في جزء من بلد ما ليس بالضرورة أن تكون مناسبة لموقع آخر. في بعض التطبيقات، مثل المنشآت الخرسانية البحرية والجسور، قدرة الخرسانة على التحمل تكون ضرورية. كذلك نفاذية أقل للخرسانة متطلب مهم في وجود الكلوريدات [2]. هذا البحث يدرس إمكانية إنتاج خرسانة عالية الأداء بما هو متوفر من مكونات محلية مثل الركام الخشن (الزلط) والركام الناعم (الرمال) والإسمنت مع استعمال الإضافات. نوعان من الركام الخشن، ركام (1) عبارة عن حصى من الحجر الجيري وركام (2) يحتوي على نسبة من الدولوميت. الركام الناعم نوعان الأول له معامل نعومة 2.3 والثاني 3.0. تأثير إضافة غبار السيليكا Silica fume، الذي يعد بديلا جزئيا للإسمنت، على قابلية التشغيل ومقاومة ضغط الخرسانة عالية الأداء تم اعتباره في هذه الدراسة.

البرنامج العلمي

البرنامج العملي يتكون من اختبار خواص المواد المتوفرة محليا ثم اختبار مجموعات من الخلطات الخرسانية. الخلطات A, B, C خلطات عادية بدون إضافات وتختلف في نوعية الركام الخشن ونعومة الرمل. الخلطات D, E تم إضافة مخفض الماء عالي المدى (HRWRA) High Range Water Reducer Additive. الخلطات G, F بالإضافة إلى ذلك تم إضافة غبار السيليكا Silica fume. خصائص المواد المكونة، ووصف الخلطات ستناقش في الأجزاء التالية.

خواص المواد المستخدمة

المواد المستخدمة في الخلطات الخرسانية من إسمنت، ركام خشن وركام ناعم هي تلك المتوفرة محليا (بمدينة درنة وضواحيها).

أستعمل الإسمنت البورتلاندي العادي المنتج في أحد المصانع المحلية (مصنع الفتائح). الجدول 1 يعطي خواص الإسمنت.

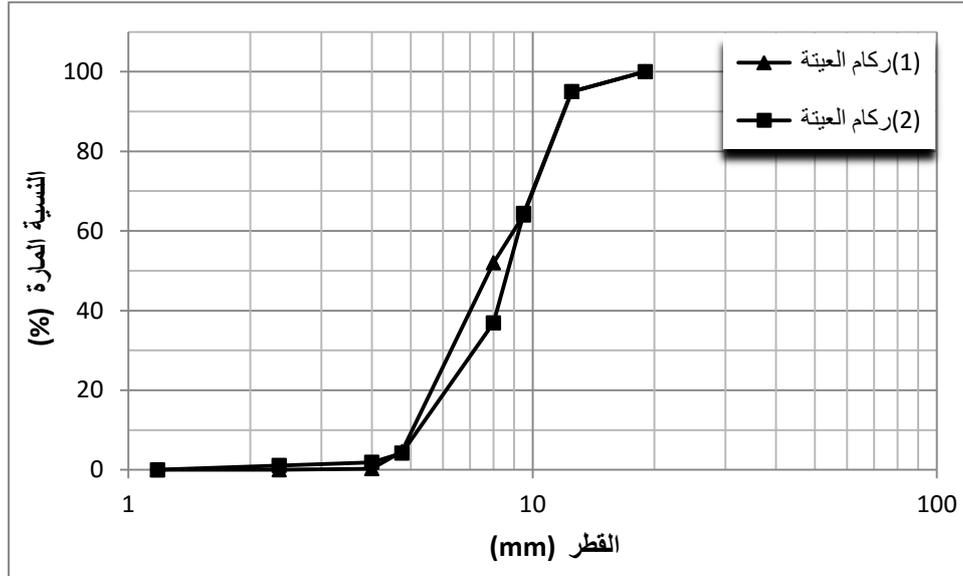
نوعان من الركام الخشن تم جلبها من أحد موزعي مواد البناء بالمدينة. ركام (1) عبارة عن حصى من الحجر الجيري وركام (2) يحتوي على نسبة من الدولوميت. المقاس الإعتباري الأكبر للركام الخشن 12.5 ملم (م) ومطابقا للمواصفات الأمريكية لاختبار المواد (ASTM C33). الجدول 2 يعطي نتائج اختبارات خواص الركام الخشن بنوعيه. التحليل المنخلي للركام الخشن نوع (1) و (2) مبين بالشكل 1.

الجدول (1) خواص الإسمنت البورتلاندي

ASTM شروط المواصفة	نتيجة الإختبار	الخواص
25-30 %	26 %	الماء القياسي لعجينة الإسمنت
لا يقل عن 45 دقيقة	170 دقيقة	الشك الابتدائي
لا يزيد عن 600 دقيقة	400 دقيقة	الشك النهائي
لا يزيد عن 10م	2 مم	تمدد الإسمنت
18 N/mm ² لا يقل عن 27 N/mm ² لا يقل عن	23 N/mm ² 32 N/mm ²	مقاومة الضغط لمونة الإسمنت 3 أيام 7 أيام

الجدول(2) خواص الركام الخشن (الحصى)

ASTM شروط المواصفة	دولوميت ركام (2)	حجر جيري ركام (1)	الخواص
لا تتعدى 30 %	6.21 %	20.3 %	معامل الصدم
لا تتعدى 40 %	26.4 %	38 %	معامل البري (لوس أنجلس)
1-0.50 %	4.9 %	6.37 %	النسبة المئوية للإمتصاص
2.75-2.50	2.70	2.60	الوزن النوعي



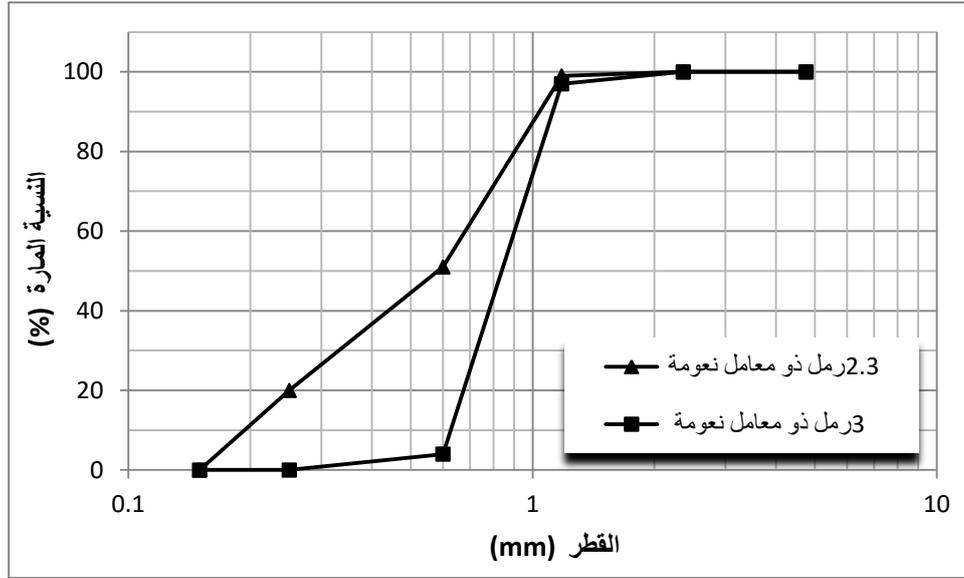
الشكل (1) التدرج الحبيبي للركام الخشن

نوعان من الركام الناعم أستعملوا في هذه الدراسة وهما عبارة عن رمل البحر بمعامل نعومة 2.3 و 3.0. الجدول 3 يعطي نتائج اختبارات خواص الركام الناعم. التحليل المنخلي للركام الناعم مبين بالشكل 2.

الجدول(3) خواص الركام الناعم (الرمل)

ASTM شروط المواصفة	ركام ذو نعومة (3)	ركام ذو نعومة (2.3)	الخواص
2.75-2.50	2.70	2.50	الوزن النوعي
لا تتعدى 2 %	0.98 %	1.02 %	النسبة المئوية للإمتصاص
--	0.49 %	0.52 %	نسبة الرطوبة

في بعض الخلطات تم استعمال الإضافة المخفضة للماء عالية المدى HRWRA بنسبة تتراوح بين 1% إلى 3% من وزن الاسمنت لتقليل نسبة الماء للاسمنت والحصول علي قابلية تشغيل عالية. الوزن النوعي لمخفض الماء عالي المدى هو 1.2. كما تم استعمال غبار السيليكا Silica fume كاستبدال جزئي لمحتوي الاسمنت بنسبة 10% من وزن الاسمنت في بعض الخلطات لتقليل النفاذية وزيادة المتانة. غبار السيليكا انعم من الاسمنت البورتلاندي بحوالي 100 مرة ووزنه النوعي يساوي 2.15.



الشكل (2) التدرج الحبيبي للركام الناعم

تصميم ووصف الخلطات الخرسانية

تم تصميم الخلطات الخرسانية باستخدام معادلة الحد المطلق.

W_c وزن الإسمنت. W_G وزن الركام الخشن. W_s وزن الركام الناعم. W_w وزن الماء.

γ_c كثافة الإسمنت. γ_G كثافة الركام الخشن. γ_s كثافة الركام الناعم. γ_w كثافة الماء.

كمعادلة عامة مع زيادة حدود غبار السيليكا Silica fume ومخفضات الماء عالية المدى HRWRA عند إضافتها للخلطات الخرسانية.

نسب الماء إلى الإسمنت المستخدمة في هذه الخلطات هي 0.3، 0.35، 0.4. محتوى الإسمنت في الخلطة يساوي 500 كجم/م³. ومحتوي الركام الناعم (الرمال) يساوي 700 كجم/م³ كما توصي بعض الدراسات [3]. نسبة مخفضات الماء عالية المدى HRWRA 2% ونسبة غبار السيليكا Silica fume تساوي 10% من وزن الإسمنت. نسبة الهواء المحبوس (الفراغات) تساوي 1%. وصف الخلطات ومكوناتها مبينة في الجدول (4).

خطوات خلط الخرسانة

بصفة عامة، خطوات خلط الخرسانة هي نفسها خلال البرنامج العملي. آلة خلط سعتها 0.056 م³ تدور بمعدل ثابت استخدمت للخلط. عند استكمال عملية الخلط، تم قياس الهطول (slump) ومعامل الدمك (compaction factor) حسب التجارب المعمول بها والمنصوص عليها في المواصفات الأمريكية (ASTM C143 و ASTM C181) على التوالي.

لكل خلطة تم تجهيز تسع (9) مكعبات 150 X 150 X 150 مم لكل خلطة. بعد صب المكعبات وضعت على طاولة الهز لمدة 5 دقائق لدمك الخرسانة وطردها فقاعات الهواء. مباشرة تم تغطية المكعبات بخيش مبلل بالماء وقطعة من البلاستيك لمدة 24 ساعة. بعدها وضعت العينات في حوض المعالجة بالماء لحين اختبارها.

الجدول (4) وصف تفصيلي للخلطات الخرسانية

الماء L/m ³	HRWRA L/m ³	الركام الناعم (الرمل)	الركام الخشن (الحصى) Kg/m ³	غبار السيليكا Kg/m ³	الإسمنت Kg/m ³	W/C %	رمز الخلطة
200	-	700	949	-	500	0.40	A1
175	-	700	1016	-	500	0.35	A2
150	-	700	1084	-	500	0.30	A3
200	-	700	1005	-	500	0.40	B1
175	-	700	1072	-	500	0.35	B2
150	-	700	1140	-	500	0.30	B3
200	-	700	950	-	500	0.40	C1
175	-	700	1014	-	500	0.35	C2
200	10	700	982	-	500	0.40	D1
175	10	700	1050	-	500	0.35	D2
150	14	700	1108	-	500	0.30	D3
200	10	700	928	-	500	0.40	E1
175	10	700	993	-	500	0.35	E2
200	10	700	962	50	450	0.40	F1
175	10	700	1030	50	450	0.35	F2
200	10	700	909	50	450	0.40	G1
175	10	700	974	50	450	0.35	G2

الخلطات A- خرسانة مكونة من ركام خشن العينة 2 +ركام ناعم ذو نعومة 2.3
الخلطات B- خرسانة مكونة من ركام خشن العينة 2 +ركام ناعم ذو نعومة 3
الخلطات C- خرسانة مكونة من ركام خشن العينة 1 +ركام ناعم ذو نعومة 3
الخلطات D - خرسانة مكونة من ركام خشن العينة 2 +ركام ناعم ذو نعومة 3+HRWRA
الخلطات E - خرسانة مكونة من ركام خشن العينة 1 +ركام ناعم ذو نعومة 3+HRWRA
الخلطات f - خرسانة مكونة من ركام خشن العينة 2 +ركام ناعم ذو نعومة 3+HRWRA+غبار السيليكا
الخلطات G - خرسانة مكونة من ركام خشن العينة 1 +ركام ناعم ذو نعومة 3+HRWRA+غبار السيليكا

خطوات الإختبار

لكل خلطة، تم اختبار مقاومة ضغط الخرسانة عند الأعمار 3، 7، 28 يوم طبقا للمواصفات الأمريكية (ASTM C39). العينات أختبرت تحت حمل ضغط محوري بمعدل 10 kN/ min في آلة اختبار الضغط. معاملي نعومة الركام الناعم وأنواع الركام الخشن في الخرسانات العادية مع إضافة مخفضات الماء وغبار السيليكا للخرسانات عالية الأداء تمثل الإختلاف بين الخلطات في هذه الدراسة. هذه العوامل سيتم مناقشتها من حيث تأثيرها على قابلية التشغيل ومقاومة ضغط الخرسانة.

نتائج الإختبارات - الخرسانة العادية

تأثير معاملي نعومة الركام الناعم:

أستعمل الركام الناعم بمعامل نعومة 2.3 في الخلطات A_3-A_1 والركام نو معامل النعومة 3 في الخلطات B_3-B_1 . عند نسبة الماء للإسمنت $W/C = 0.4$ تحسنت قابلية التشغيل عند استعمال الرمل الخشن. الجدول 5 يعطى قيم الهطول 55، 70 ومعامل الدمك 92%، 97% للخلطات A_1 و B_1 علي التوالي. عند نسبة الماء للإسمنت $W/C = 0.3, 0.35$ كانت الخلطات ذات قوام جاف جدا لكلا معاملي النعومة مما أدى إلى عدم اختبار الضغط للخلطات A_2, A_3, B_2 و B_3 . نتائج تجارب الهطول ومعامل الدمك مبينة في الجدول (5).

الجدول (5) الهطول ومعامل الدمك للخلطات الخرسانية

رمز الخلطة	محتوى الماء (L/m^3)	مخفضات الماء عالية الأداء (L/m^3)	الهطول (mm)	معامل الدمك %
A_1	200	----	55	92
A_2	175	----	----	----
A_3	150	----	----	----
B_1	200	----	70	97
B_2	175	----	----	----
B_3	150	----	----	----
C_1	200	----	35	82
C_2	175	----	----	----
D_1	200	10	230	100
D_2	175	10	75	96
D_3	150	14	110	100
E_1	200	10	260	100
E_2	175	10	85	87
F_1	200	10	160	100
F_2	175	10	50	90
G_1	200	10	160	98
G_2	175	10	37	84

تأثير خشونة الرمل كانت أيضا إيجابية على قوة مقاومة الخرسانة عند جميع الأعمار كما هو مبين في الجدول 6 والشكل 3. هذه النتائج أدت إلى استخدام الركام الناعم بمعامل نعومة 3.0 في بقية الخلطات.

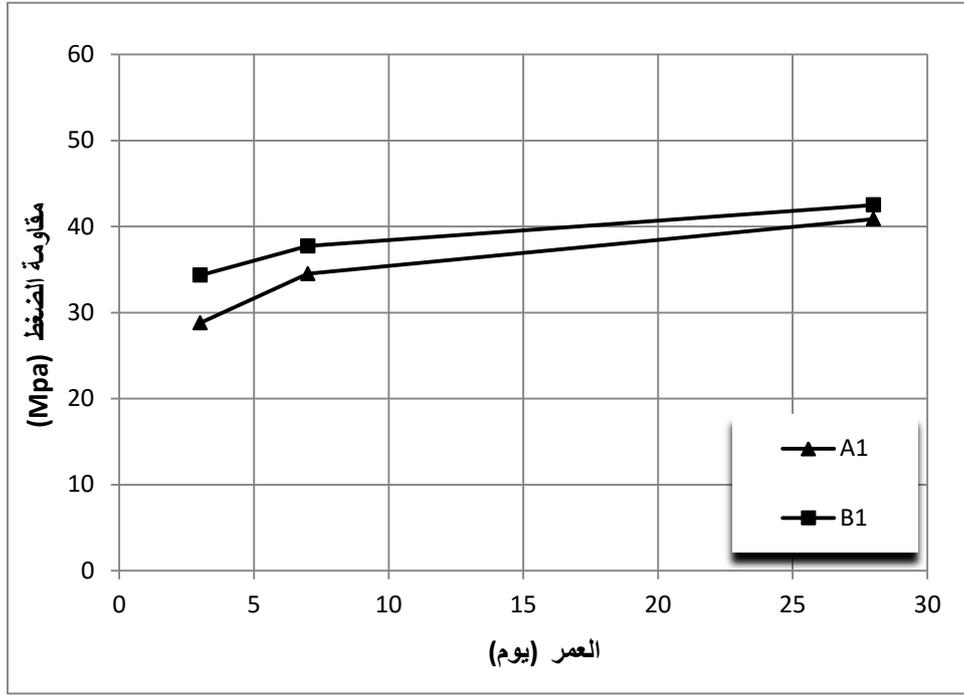
الجدول 6 تأثير نعومة الركام الناعم على مقاومة ضغط الخرسانة

رمز الخلطة	معامل نعومة الركام الناعم	W/C %	مقاومة الإنضغاط Mpa		
			3 أيام	7 أيام	28 أيام
A_1	2.3	0.40	28.8	34.51	40.88
B_1	3.0	0.40	34.35	37.73	42.51

تأثير نوعية الركام الخشن:

أستعمل الركام الخشن نوع (2) في الخلطات B و نوع (1) في الخلطات C. هذه الخلطات لا تحتوي على إضافات مخفضات الماء عالية الأداء ولا إضافات غبار السيليكا. عند مقارنة نتائج الهطول ومعامل الدمك للخلطات B_1 و C_1 والمدرجة بالجدول 5 تبين إن الركام الخشن نوع (2) الذي يحتوي على نسبة من الدولوميت أعطى قابلية

تشغيل أكبر من تلك للركام نوع (1) الذي عبارة عن حصى من الحجر الجيري. ذلك ربما يرجع إلى نسبة الإمتصاص الأعلى نسبيا للركام نوع (1).



الشكل 3 تأثير معامل نعومة الركام الناعم على مقاومة ضغط الخرسانة

تأثير نوع الركام الخشن على مقاومة ضغط الخرسانة مبين في الجدول 7 والشكل 4. الخرسانة المحتوية على الركام نوع (2) أظهرت تحسنا في مقاومة الضغط خصوصا في الأعمار المبكرة. زادت مقاومة ضغط الخرسانة عند عمر 3 أيام بنسبة 37%، وعند عمر 7 أيام بنسبة 22%، بينما عند عمر 28 يوم كانت الزيادة بنسبة 5% فقط.

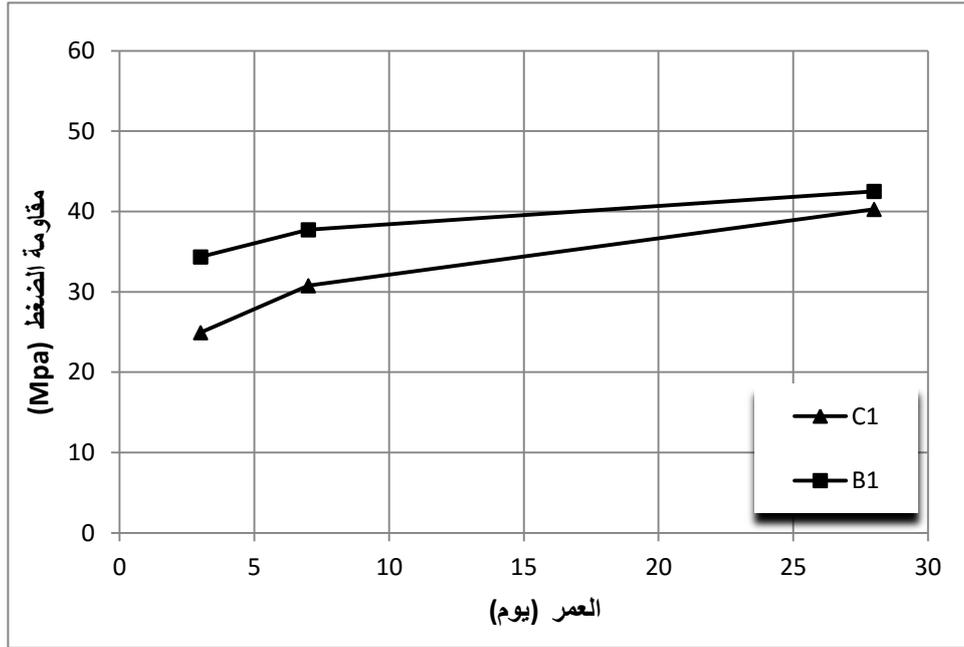
الجدول 7 تأثير نوع الركام الخشن على مقاومة ضغط الخرسانة

مقاومة ضغط الخرسانة Mpa			W/C %	نوع الركام الخشن	رمز الخلطة
28 أيام	7 أيام	3 أيام			
42.51	37.73	34.35	0.40	(2) دولوميت	B1
40.27	30.77	24.93	0.40	(1) حجر جيري	C1

نتائج الإختبارات - الخرسانة عالية الأداء

قابلية التشغيل:

إضافة مخفضات الماء عالية الأداء أثر على قابلية التشغيل خصوصا عند نسب $W/C = (0.30, 0.35)$. بينما كان القوام جافا للخلطات B₂ و B₃ أصبح الهطول 75 مم و 110 مم ومعامل الدمك 96% و 100% للخلطات D₂، D₃ على التوالي.



الشكل 4 تأثير نوع الركام الخشن على مقاومة ضغط الخرسانة

إضافة غبار السيليكا إلى الخرسانة عالية الأداء أثر سلبا على قابلية التشغيل. يلاحظ ذلك عند مقارنة نتائج الهطول ومعامل الدمك والمبينة بالجدول 5 للخلطات المضاف إليها غبار السيليكا. على سبيل المثال بينما سجل الهطول ومعامل الدمك للخلطة D2 75مم و 96% على التوالي كان القياس للخلطة F2 والمضاف إليها غبار السيليكا 50مم و 90%.

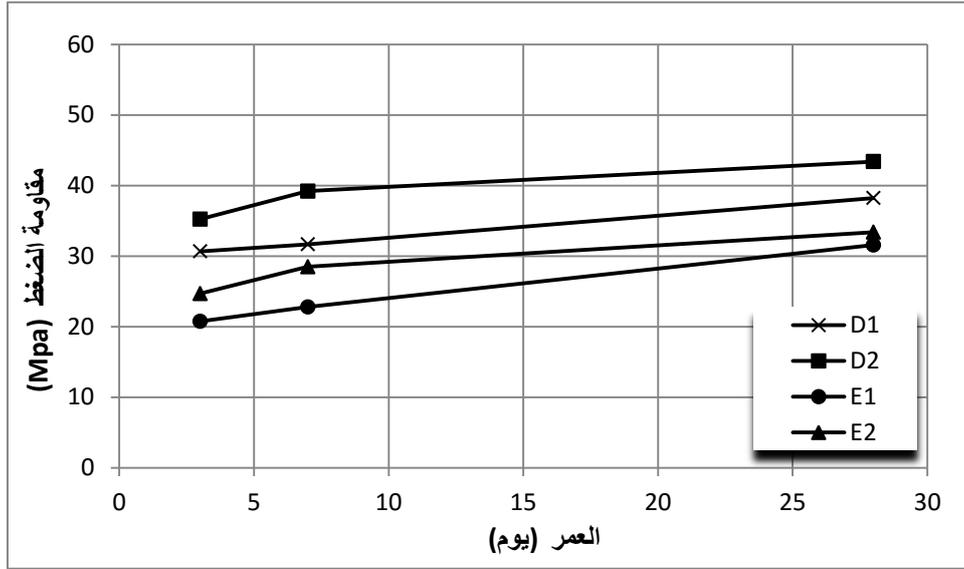
مقاومة ضغط الخرسانة عالية الأداء:

تأثير نوع الركام الخشن على مقاومة ضغط الخرسانة عالية الأداء بدون إضافة غبار السيليكا مبين في الجدول 8 والشكل 5. النتائج تظهر تحسن قوة ضغط الخرسانة عند استعمال الركام الخشن نوع (2) دولوميت.

الجدول 8 تأثير نوع الركام الخشن على مقاومة ضغط الخرسانة عالية الأداء بدون إضافة غبار السيليكا

مقاومة الإنضغاط Mpa			W/C %	نوع الركام الخشن	رمز الخلطة
28 أيام	7 أيام	3 أيام			
38.26	31.7	30.7	0.40	(2) دولوميت	D1
43.42	39.22	35.25	0.35	(2) دولوميت	D2
31.58	22.8	20.77	0.4	(1) حجر جيرى	E1
33.42	28.5	24.70	0.35	(1) حجر جيرى	E2

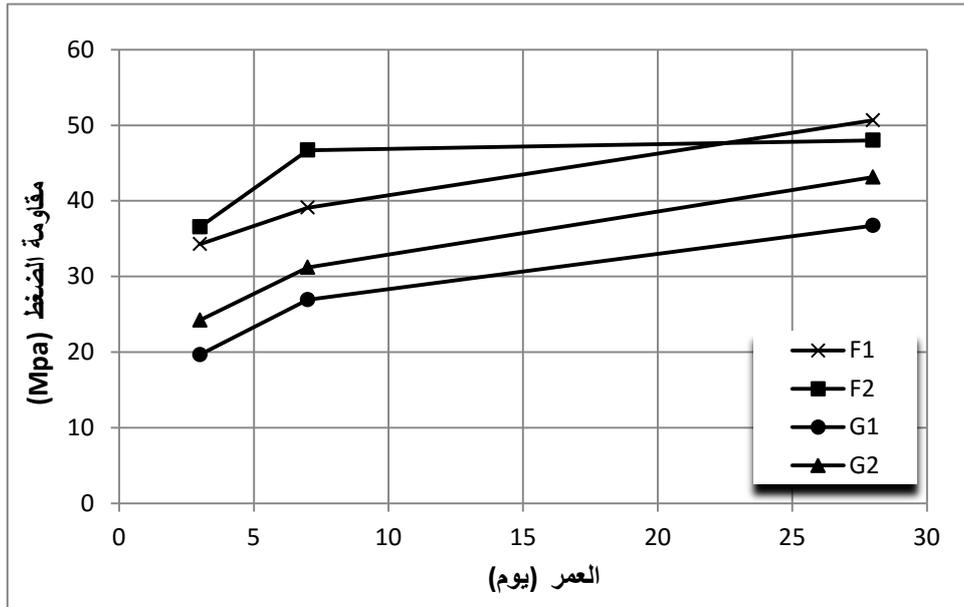
تأثير نوع الركام الخشن على مقاومة ضغط الخرسانة عالية الأداء مع إضافة غبار السيليكا مبين في الجدول 9 والشكل 6. مقارنة قوة ضغط الخرسانة للخلطتين F1 و G1 أو الخلطتين F2 و G2 هذه النتائج تؤكد أيضا تحسن قوة ضغط الخرسانة عند استعمال الركام الخشن نوع (2) دولوميت.



الشكل 5 تأثير نوع الركام الخشن على مقاومة ضغط الخرسانة عالية الأداء بدون إضافة غبار السيليكا

الجدول 9 تأثير نوع الركام الخشن على مقاومة ضغط الخرسانة عالية الأداء مع إضافة غبار السيليكا

مقاومة الانضغاط Mpa			W/C %	نوع الركام الخشن	رمز الخلطة
28 أيام	7 أيام	3 أيام			
50.65	39.11	34.28	0.40	دولوميت (2)	F1
48.01	46.71	36.55	0.35	دولوميت (2)	F2
36.74	26.92	19.65	0.40	حجر جيري (1)	G1
43.13	31.21	24.22	0.35	حجر جيري (1)	G2

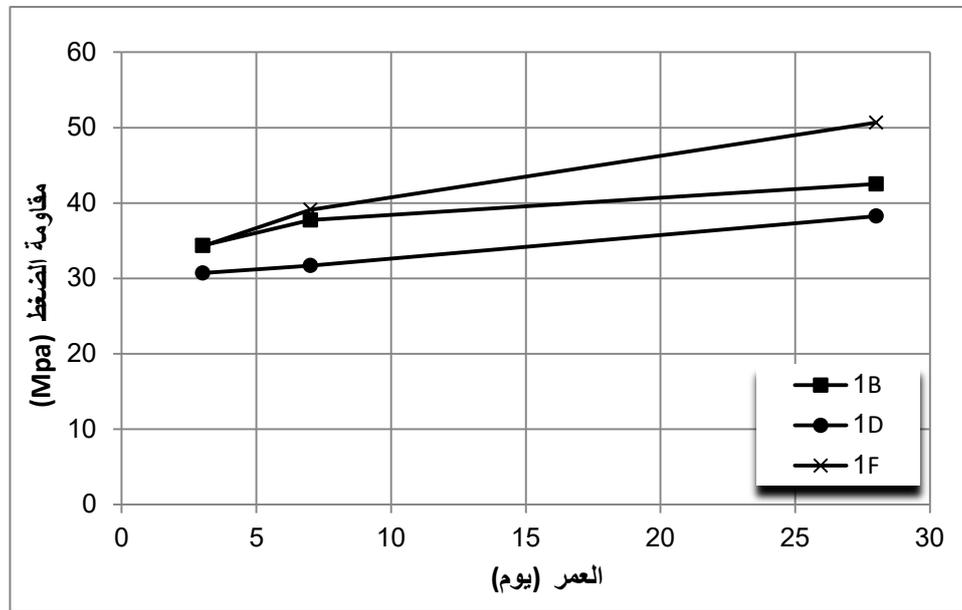


الشكل 6 تأثير نوع الركام الخشن على مقاومة ضغط الخرسانة عالية الأداء مع إضافة غبار السيليكا

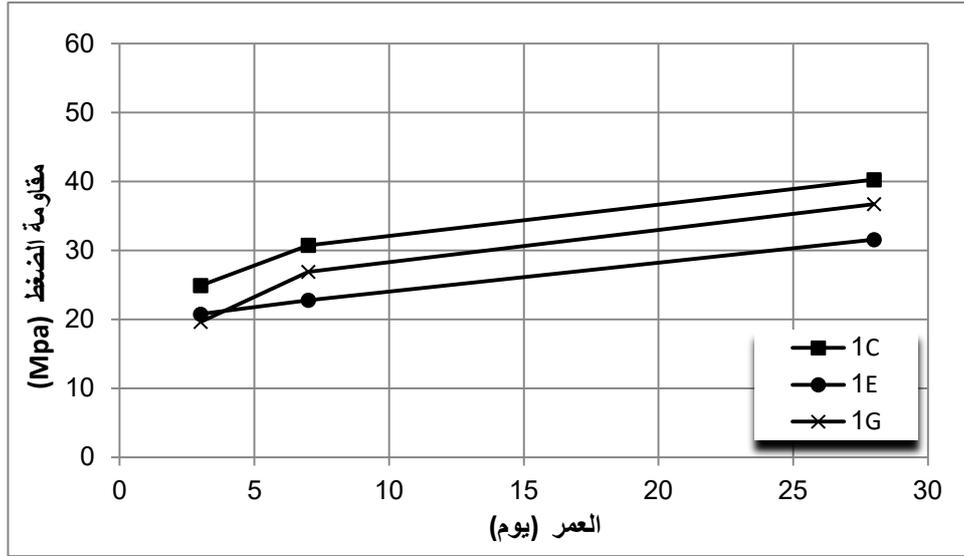
تأثير إضافة غبار السيليكا على قوة ضغط الخرسانة كان إيجابيا كما هو مبين بالجدول 10. الخلطة D2 بدون إضافة غبار السيليكا كانت قوة ضغط الخرسانة عند الأعمار 3، 7، 28 يوم كانت 35.25، 39.22، 43.42 ميغاباسكال على التوالي بينما كانت للخلطة F2 36.55، 46.71، 48.01 ميغاباسكال على التوالي. الشكل 7 يقارن قوة الضغط لخلطة الخرسانة العادية B₁ مع قوة الضغط لخلطة الخرسانة عالية الأداء بإضافة غبار السيليكا وبدونها F₁ و D₁ على التوالي والتي استعمل فيها الركام نوع (2) الدولوميت. غبار السيليكا زاد من قوة الخرسانة خصوصا عند 28 يوم. نفس النتيجة يبينها الشكل 8 لخلطة الخرسانة العادية C₁ مع خلطة الخرسانة عالية الأداء بإضافة غبار السيليكا وبدونها G₁ و E₁ على التوالي والتي استعمل فيها الركام نوع (1) الحجر الجيري .

الجدول 10 تأثير إضافة غبار السيليكا على مقاومة ضغط الخرسانة عالية الأداء

مقاومة الإنضغاط Mpa			W/C %	غبار السيليكا kg/m ³	رمز الخلطة
28 أيام	7 أيام	3 أيام			
38.26	31.70	30.70	0.40	----	D1
43.42	39.22	35.25	0.35	----	D2
50.65	39.11	34.28	0.40	50	F1
48.01	46.71	36.55	0.35	50	F2
31.58	22.8	20.77	0.40	----	E1
33.42	28.5	24.70	0.35	----	E2
36.74	26.92	19.65	0.40	50	G1
43.13	31.21	24.22	0.35	50	G2



الشكل 7 تأثير غبار السيليكا على مقاومة ضغط الخرسانة عالية الأداء - ركام نوع (2)



الشكل 8 تأثير غبار السيليكا على مقاومة ضغط الخرسانة عالية الأداء - ركام نوع (1)

الإستنتاجات والتوصيات

في هذه الدراسة تم التعرف على خواص المواد المتوفرة محليا وإمكانية الحصول على خرسانة عالية الأداء والتي تفي بمتطلبات معينة لا تتوفر في الخرسانة العادية. من هذه الدراسة يمكن استخلاص الإستنتاجات والتوصيات التالية:

الإستنتاجات:

- إمكانية إنتاج خرسانة عالية الأداء بمكونات الخرسانة المتوفرة محليا مع استعمال الإضافات حسب الخواص المطلوبة.
- إستعمال ركام ناعم ذي معامل نعومة عال يزيد من قابلية التشغيل ومقاومة الضغط للخرسانة.
- إستعمال ركام خشن ذي نسبة امتصاص منخفضة يعطي للخرسانة قابلية تشغيل ومقاومة ضغط عاليتين.
- إستعمال غبار السيليكا يقلل من قابلية التشغيل ويزيد من مقاومة الضغط للخرسانة.

التوصيات:

- التركيز على دراسة خواص المواد المكونة للخلطة الخرسانية لمعرفة مدى تناسبها للتأكد من الحصول على خرسانة تفي بمتطلبات المشروع المزمع إنشاؤه. فعلى سبيل المثال مواصفات الخرسانة المستعملة في المباني تختلف عن تلك المستعملة في الطرق والجسور.
- التوسع في دراسة تأثير إضافة مخفضات الماء عالية الأداء وغبار السيليكا بنسب مختلفة على قابلية التشغيل وعلى مقاومة ضغط الخرسانة.

المراجع

1. Mehta, P. K., "Advancement in concrete technology", Concrete International, PP. 67-75, 1999.
2. Salah, Maissa, "Chloride ions diffusion in high-performance concrete", MSC, Thesis, Institute of Graduate Studies & Research, Alexandria University, 2008.
3. Neville, A. M., and Aitcin, P. C., "High performance concrete – an overview", Material and Structures, Vol. 31, pp., 11-117, 1998, Quoted by El-sayad (1999).
4. Russell, H. G., "ACI defines high performance concrete", Concrete International, Vol. 21, No. 2 PP. 56-57, 1999.
5. Russell, H. G., "Why use high-performance concrete?", Technical Talk, March 1999.
6. "ASTM C-, Vol. 04.02 Concrete and Aggregates"

خواص الخرسانة عالية المقاومة الحاوية على ألياف البولي بروبيلين

أحمد جميل إبراهيم¹، عمر رمضان الزروق²

¹أستاذ مشارك - قسم الهندسة المدنية - جامعة عمر المختار - البيضاء ajssea57@yahoo.com

²أستاذ مساعد - قسم الهندسة المدنية - جامعة عمر المختار - البيضاء omerezaroug@yahoo.com

ملخص

إستخدام الخرسانة عالية المقاومة أخذ في التزايد في جميع دول العالم ومن ضمنها الدول العربية لما له من تأثير في تقليل المقاطع الخرسانية وزيادة تحملها بالإضافة إلى زيادة ارتفاع المباني. ألياف البولي بروبيلين عبارة عن مادة بوليمرية تستعمل كمضافات للخلطات الخرسانية لتقليل ظاهرة الشروخ والإنكماش اللدن بالإضافة إلى تحسين خواص السطح بعد التصلد، فهي تزيد من مقاومة الإنجماد والذوبان للخرسانة بالإضافة إلى زيادة معيار المتانة.

يهدف هذا البحث إلى دراسة سلوك وخواص الخرسانة عالية المقاومة الحاوية على ألياف البولي بروبيلين بنسب حجمية مختلفة من مكونات الخلطة (0.1، 0.2، 0.3، 0.4) %. أظهرت النتائج أن إضافة ألياف البولي بروبيلين تقلل من الهبوط للعتبات الخرسانية. كما بينت النتائج أن إضافة الألياف أدت إلى تقليل الهطول وزيادة مقاومة الإنضغاط ومقاومة الشد الإنشطارى ولكنها لا تؤثر على مقاومة الإنثناء.

الكلمات الدالة : الخرسانة عالية المقاومة، ألياف البولي بروبيلين، مقاومة الإنضغاط، مقاومة الشد الإنشطارى، مقاومة الإنثناء، الهبوط، الهطول.

المقدمة

الخرسانة هي عبارة عن خليط غير متجانس من الركام والإسمنت والماء وتحتوي على بعض الفراغات الهوائية بنسب قليلة ويمكن إضافة بعض المواد الأخرى (المضافات) التي تضاف أثناء عملية الخلط لتحسين بعض خواص الخرسانة الطرية أو المتصلدة أو الإثنتين معاً ومن هذه الخواص تحسين المقاومة وقابلية التشغيل والديمومة ومقاومة تأثير تعاقب دورات الإنجماد والذوبان التي تتعرض لها الخرسانة في ظروف معينة. المضافات يمكن الحصول عليها على شكل سائل أو مسحوق أو مادة ذات حبيبات وتضاف للخرسانة بنسب معينة عادة ما تكون هذه النسب قليلة مقارنة بنسب الإسمنت ومن أنواع المضافات هي الملدنات الفائقة والتي تستخدم لإنتاج خرسانة انسيابية في الحالات التي توضع فيها الخرسانة في أماكن يصعب الوصول إليها وفي بلاطات الأرضيات والأرصعة أو حيث يتطلب وضع الخرسانة بسرعة عالية جداً. الإستخدام الثاني لها هو في إنتاج خرسانة ذات مقاومة عالية جداً باستعمال قابلية تشغيل طبيعية (نسبة ماء إلى إسمنت قليلة جداً). إستعمال الملدن الفائقة يمكن أن يسبب في تخفيض الماء بمقدار (25 - 35) % وبذلك يمكن استعمال نسبة ماء إلى إسمنت واطئة للحصول على خرسانة عالية المقاومة [1، 2]. ومن الأنواع الأخرى من المضافات هي الألياف والتي تكون عبارة عن حزم من ألياف متماسكة وتتفكك بفعل الخلط وتتحول إلى ملايين من الألياف المنفصلة وتتوزع هذه الألياف توزيعاً عشوائياً داخل الخرسانة وفي جميع الإتجاهات وأكثر الألياف المستخدمة هي ألياف الزجاج التي تستعمل في مونة الإسمنت

وألياف الحديد وألياف البولي بروبيلين التي تستعمل في الخرسانة [3،4]، ومن مميزات ألياف البولي بروبيلين مقاومتها لأكثر المواد الكيميائية علماً بأن المواد الإسمنتية هي التي تتلف أولاً تحت تأثير العوامل الكيميائية الشديدة ودرجة الإنصهار للبولي بروبيلين عالية بدرجة كافية (165 م⁰) مما يجعله قادراً على تحمل درجات الحرارة العالية (100 م⁰) لمدة قصيرة بدون إلحاق الضرر بخواص الألياف [4]. من الممكن أن يتلف البولي بروبيلين تدريجياً تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية أو عملية الأكسدة الحرارية ويظهر أن مادة الإسمنت تمنع حدوث الأول، ومن أجل احتواء الأكسدة الحرارية فقد تم تطوير الإضافات لكي يتم تأخير التلف التدريجي ويصبح بالإمكان توقع الحصول على حياة خدمية أطول للمادة [4].

إستخدام الخرسانة عالية المقاومة أخذ في التزايد في جميع دول العالم ومن ضمنها الدول العربية لما له من تأثير في تقليل المقاطع الخرسانية وزيادة تحملها بالإضافة إلى إمكانية زيادة ارتفاع المباني [5،6]، والمحور الأساسي لهذا البحث هو دراسة تأثير ألياف البولي بروبيلين على سلوك الخرسانة عالية المقاومة .

يهدف هذا البحث إلى دراسة سلوك الخرسانة عالية المقاومة الحاوية على ألياف البولي بروبيلين بنسب حجمية مختلفة وهي (0.1، 0.2، 0.3، 0.4) % حيث سيتم دراسة تأثير هذه النسب على سلوك الخرسانة تحت تأثير القوى المسلطة عليها من حيث الهبوط ومقاومة الإنضغاط ومقاومة الشد الإنشطاري (الإنفلاقي) ومقاومة الإنتشاء .

المواد المستخدمة والبرنامج العملي

الإسمنت: أستخدم الإسمنت البورتلاندي الإعتيادي المنتج من معمل إسمنت الفتاح الواقع في مدينة درنة، خواصه الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية موضحة في الجدولان (1 و2)، علماً أنه مطابق للمواصفات القياسية الليبية (LQS 340 1997) [8] والمواصفة البريطانية (BS 12: 1996) [9].

جدول 1: الخواص الفيزيائية والميكانيكية للإسمنت البورتلاندي

الخواص	نتيجة الإختبار	المواصفة الليبية	المواصفة البريطانية
النعومة السطحية بطريقة Blaine (سم ² /جم)	2950	2500 <	2250 <
الثبات بطريقة Le-chatelier (مم)	2	10 >	10 >
زمن التجمد بطريقة Vicat (دقيقة)			
• الإبتدائي	160	45 <	45 <
• النهائي	235	600 >	600 >
الوزن النوعي	3.13		
مقاومة الإنضغاط (نيوتن / مم ²)			
• 3 أيام	26.6	21 <	23 <
• 28 يوم	53.2	39 <	41 <

جدول 2: الخواص الكيميائية للإسمنت البورتلاندي

Alkalies	I.R.	L.O.I.	MgO	SO ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	الأكسيد
0.82	0.32	2.55	1.41	2.3	3.11	5.23	20.35	63.92	الكمية (%)
	1.5 >	3 >	5 >	3 >					المواصفة الليبية
	1.5 >	3 >	5 >	3 >					المواصفة البريطانية

الركام الناعم : تم استخدام رمل صحراوي من منطقة خليج البمبة، تم إجراء اختبار التدرج بموجب المواصفة البريطانية (BS 812: Part 103: 1992) [9] كما هو موضح بالجدول (3). قد أجريت الاختبارات الفيزيائية بموجب المواصفات المبينة بالجدول (4) وتبين أنه مطابق للمواصفة البريطانية (BS 882: 1992) [9] والمواصفة الليبية (LQS 49: 2002) [8].

جدول 3: التحليل المنخلي للركام الناعم

0.15	0.3	0.6	1.18	2.36	5.0	فتحة الغريال (مم)
2.7	60.7	90.7	99.7	100	100	النسبة المئوية العابرة (%)
-	70 - 5	100 - 55	100 - 70	100 - 80	-	المواصفة (متدرج)

جدول 4: نتائج الاختبارات الفيزيائية للركام الناعم

نسبة المواد الناعمة (%)	الإمتصاص (%)	الوزن النوعي	نوع الإختبار
0.9	0.5	2.65	النتيجة
4 >	3 >	2.7 - 2.5	حدود المواصفة
ASTM C 142: 1997 [10]	BS 812: Part 2: 1995		مواصفة الإختبارات

الركام الخشن : تم استخدام ركام خشن متدرج ذي مقاس (5 - 20) مم من منطقة تملو، وأجريت عليه إختبار التدرج بموجب المواصفة البريطانية (BS 812 Part 103: 1992) [9] كما هو موضح بالجدول (5). كذلك أجريت الإختبارات الفيزيائية والميكانيكية بموجب المواصفات البريطانية والأمريكية المذكورة بالجدول (6) واتضح بأن عينة الركام مطابقة للمواصفة البريطانية (BS 882: 1992) [9] والمواصفة الليبية (LQS 49: 2002) [8].

جدول 5: التحليل المنخلي للركام الخشن مقاس (5 - 20) مم

1.18	2.36	5	10	14	20	25	فتحة الغريال (مم)
0.6	1.1	7.4	39.9	56.2	93.8	100	النسبة المئوية العابرة
-	-	- 0	-30	-	-90	-	المواصفة (للركام)

جدول 6: نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام الخشن

الخواص الميكانيكية		الخواص الفيزيائية		الخواص الإختبار
معامل التصادم (%)	معامل التهشم (%)	نسبة المواد الناعمة (%)	الإمتصاص (%)	الوزن النوعي
23.7	20.1	1.1	1.4	2.54
45 >	45 >	4 >	3 >	2.7- 2.5
BS 812: Part 110: 1990	BS 812: Part 112: 1990	ASTM C 142: 1997	BS 812: Part 2: 1995	
مواصفة الإختبارات				

الماء : أستخدم الماء الصالح للشرب للخلط ومعالجة الخرسانة علماً بأنه مطابق للمواصفة الليبية (LQS 294) (1988) [8].

الملدن : أستعمل ملدن فائق نوع سيكامنت[®] - 163 وهو عبارة عن سائل بني كثافته بحدود 1.2 كجم / م³ [7] كما هو مبين في الشكل (1).



شكل 1: الملدن سيكامنت[®] - 163 [7]

ألياف البولي بروبيلين : إستخدمت ألياف البولي بروبيلين (كثافتها 0.9 كجم/م³ وبطول 6 مم وقطر 18 ميكرون) [7] كما هو مبين في الشكل (2).



شكل 2: ألياف البولي بروبيلين ذات طول 6 مم وقطر 18 مايكرون [7]

الخلطات الخرسانية

تم تصميم الخلطات الخرسانية بموجب الطريقة البريطانية (BRE) [11] لتصميم الخلطات الخرسانية وكانت النسب كما هو مبين بالجدول (7) حيث تم استخدام خلطة بحجم 30 لتر وتمت عملية الخلط داخل المختبر بإستعمال خلطة حوضية متحركة سعة 56 لتر. تمت عملية الخلط بالنسبة للخرسانة الإعتيادية (N) بوضع الركام

الخشن وجزء من الركام الناعم ثم يوضع الإسمنت بعدها ثم بقية الركام الناعم ويخلط لمدة دقيقة بعدها تتم إضافة الماء إلى الخليط السابق ويخلط لمدة دقيقتين أي أن الوقت الكلي لعملية الخلط هو 3 دقائق، أما بالنسبة للخلطة الخرسانية عالية المقاومة (H) فيتم الخلط بنفس عملية خلط الخرسانة الإعتيادية ولكن عند إضافة المياه في النهاية يتم خلط الماء بالملدن أولاً ثم يوضع مع الخليط ويخلط لمدة دقيقتين ويكون الوقت الكلي للخلط 3 دقائق، ما بالنسبة للخلطات الخرسانية عالية المقاومة الحاوية على ألياف البولي بروبيلين (HP1، HP2، HP3، HP4) توضع نصف كمية الماء وتوضع بها ألياف البولي بروبيلين بعد ذلك يتم وضع الركام الخشن ثم الإسمنت ثم الركام الناعم وتخلط لمدة نصف دقيقة بعدها يتم إضافة النصف الآخر من الماء مضافاً إليه الملدن ويتم إعادة الخلط لمدة دقيقتين ونصف أي أن وقت الخلط الكلي هو 3 دقائق والسبب في وضع الماء والليف أولاً ذلك لمنع الليف من التناثر لأن وزنه الخفيف سيجعله يطفو إلى الأعلى إذا أضيف بعد الماء وبذلك يضمن أنه سيتم توزيعه وانتشاره في الخليط. بعد إجراء عملية الخلط يتم عمل اختبار الهطول ثم ينقل الخليط ليتم صبه في القوالب خلال فترة زمنية قليلة.

لكل خلطة خرسانية تم صب 3 مكعبات مقاس 10 سم و3 إسطوانات قياس 10 x 20 سم و3 عتبات بأبعاد (50x 10 x 10) سم لتحديد مقاومة الإنضغاط ومقاومة الشد الإنشطاري ومقاومة الإنثناء وقياس الهبوط بعمر 28 يوم بموجب المواصفات البريطانية (BS 1881: Part 108: 1983)، (BS 1881: Part 110: 1983)، (BS 1881: Part 109: 1983) [9]. تم معالجة جميع النماذج بموجب المواصفة البريطانية (BS 1881: Part 111: 1983) [9].

جدول 7: كمية مواد الخلطات الخرسانية لكل (م³)

مكونات الخلطة (كجم/م ³)						نوع الخلطة
ركام خشن	ركام ناعم	ماء	بولي بروبيلين	الملدن	الإسمنت	
1160	619	181	0	0	400	N
1073	573	153	0	11	550	H
1073	573	153	0.9	11	550	HP1
1073	573	153	1.8	11	550	HP2
1073	573	153	2.7	11	550	HP3
1073	573	153	3.6	11	550	HP4

الإختبارات المعملية

إختبارات الخرسانة الطرية: تم إجراء إختبار الهطول بموجب المواصفة البريطانية (BS 1881: Part 102 : 1983) [9] ، وإختبار الكثافة للخرسانة الطرية بموجب المواصفة البريطانية (BS 1881: Part 107 : 1983) [9].

إختبارات الخرسانة الصلبة: تم إجراء إختبارات مقاومة الإنضغاط ومقاومة الشد الإنشطاري ومقاومة الإنثناء بعمر 28 يوم بموجب المواصفات البريطانية (BS 1881: Part 116 : 1983) و (BS 1881: Part 117 : 1983) و (BS 1881: Part 118 : 1983) [9] على التوالي .

إختبار التحميل للعتبات الخرسانية: يتم وضع العتبة في المكان المخصص برفق حتى لا يحدث بها أي تشققات تؤثر على دقة النتائج المتحصل عليها. ثم بعدها يركب جهاز قياس الهبوط (الدقة 0.001 مم) على السطح العلوي للعتبة لقياس الهبوط عند كل مقدار زيادة للحمل، وقياس أبعادها. حملت العتبات الخرسانية بعناية بأحمال عمودية في وسط الفضاء بواسطة جهاز الضغط الهيدروليكي (أقصى حمل 50 كيلونيوتن)، وزيدت الأحمال باستمرار تدريجياً بمعدل ثابت (2 كيلونيوتن لكل دقيقة على الأقل) شكل (3). في كل مرحلة من مراحل زيادة الحمل المسلط، تم تسجيل قيمة الحمل مع الهبوط المناظر لحين فشل العينة. تكرر نفس الخطوات السابقة لكل العتبات الحاوية على نسب حجمية مختلفة من البولي بروبيلين وتدون نتائج كل عتبة في جدول خاص.

النتائج والمناقشة

خواص الخرسانة عالية المقاومة الحاوية على ألياف البولي بروبيلين:

الهبوط: يلاحظ من الجدول (8) أن الهطول للخلطة الخرسانية (H) ازداد عن الخلطة الخرسانية (N) وذلك بسبب إضافة الملدن سيكامنت[®] - 163 بالرغم من تخفيض نسبة الماء / الإسمنت من 0.45 إلى 0.28 كما يلاحظ أنه عند إضافة ألياف البولي بروبيلين في الخلطات (HP1، HP2، HP3، HP4) أن الهطول لهذه الخلطات يقل بزيادة محتوى ألياف البولي بروبيلين في الخلطة وكان أقل هطول 65 مم هو للخلطة (HP4) والتي تحتوي على نسبة 0.4 % من ألياف البولي بروبيلين نسبة إلى الحجم الكلي للخلطة.



شكل (3) جهاز اختبار مقاومة الإنشاء والهبوط للعتبات الخرسانية

الكثافة الطرية: إن قيم الكثافة الطرية لجميع الخلطات الخرسانية تتراوح ما بين (2379 - 2423 كجم/م³) كما مبين في الجدول (8) وإن النسبة بين أعلى القيم وأقلها حوالي (1.8%). هذا يعني أن الكثافة الطرية لم تتأثر بزيادة نسب الألياف في الخلطات وذلك كما ذكر سابقاً لأن نسب ألياف البولي بروبيلين لا تتجاوز 0.4 % من الحجم الكلي لمكونات الخلطة الخرسانية ولخفة وزن الألياف. ويلاحظ أن كثافة الخرسانة الحاوية على الملدن الفائق (H) كانت أكثر من كثافة الخرسانة الإعتيادية (N) وقد يعود تفسير ذلك إلى تقليل الفجوات الهوائية بسبب زيادة قوام الخرسانة ولكن عند إضافة ألياف البولي بروبيلين أدى إلى تقليل الكثافة بسبب تقليل قوام الخرسانة بزيادة نسبة الألياف في الخلطة.

مقاومة الإنضغاط: من الخصائص التي تتأثر بها مقاومة الإنضغاط للخرسانة هي نسبة الماء إلى الإسمنت ويلاحظ عند تقليل هذه النسبة وإضافة الملدن سيكامنت[®] - 163 فإن مقاومة الإنضغاط للخلطة (H) ازدادت عن الخلطة (N) بحدود 40 % كما أنه عند إضافة ألياف البولي بروبيلين تأثرت مقاومة الإنضغاط وازدادت للخلطات (HP4، HP3، HP2) بحدود (10-16) % مقارنة بالخلطة بدون ألياف (H) كما موضح في الجدول (8).

مقاومة الشد الإنشطاري: يلاحظ من الجدول (8) أنه عند تقليل نسبة الماء / الإسمنت وإضافة ملدن سيكامنت[®] - 163 ازدادت مقاومة الشد الإنشطاري للخلطة (H) عن الخلطة (N) كما أن إضافة ألياف البولي بروبيلين أدت إلى الزيادة في مقاومة الشد الإنفلاقي بحدود (24 - 46) % للخلطات (HP4، HP3) مقارنة بالخلطة (H) كما هو موضح في الجدول (8) ويرجع السبب في ذلك إلى استخدام ألياف البولي بروبيلين التي بدورها تعمل على زيادة الترابط بين مكونات الخلطة الخرسانية.

مقاومة الإنثناء: عند تسليط أحمال الإنثناء على الخرسانة تتطور فيها إجهادات الشد والضغط فيصبح التطور الحاصل في مقاومة الإنثناء نتيجة إضافة الملدن سيكامنت[®] - 163 وألياف البولي بروبيلين مقارب إلى ما هو حاصل في مقاومتي الشد والضغط حيث ازدادت مقاومة الإنثناء للخلطة (H) عن الخلطة (N) نتيجة إضافة الملدن سيكامنت[®] - 163 ولكن إضافة ألياف البولي بروبيلين تعمل على زيادة الترابط بين مكونات الخلطة الخرسانية، كذلك توزيع الألياف داخل الخرسانة أدى إلى تكوين تقوية إضافية ضد التشققات الداخلية مما أدى إلى زيادة مقاومة الإنثناء بشكل طفيف للخلطات (HP1، HP2، HP3، HP4) كما هو موضح في الجدول (8).

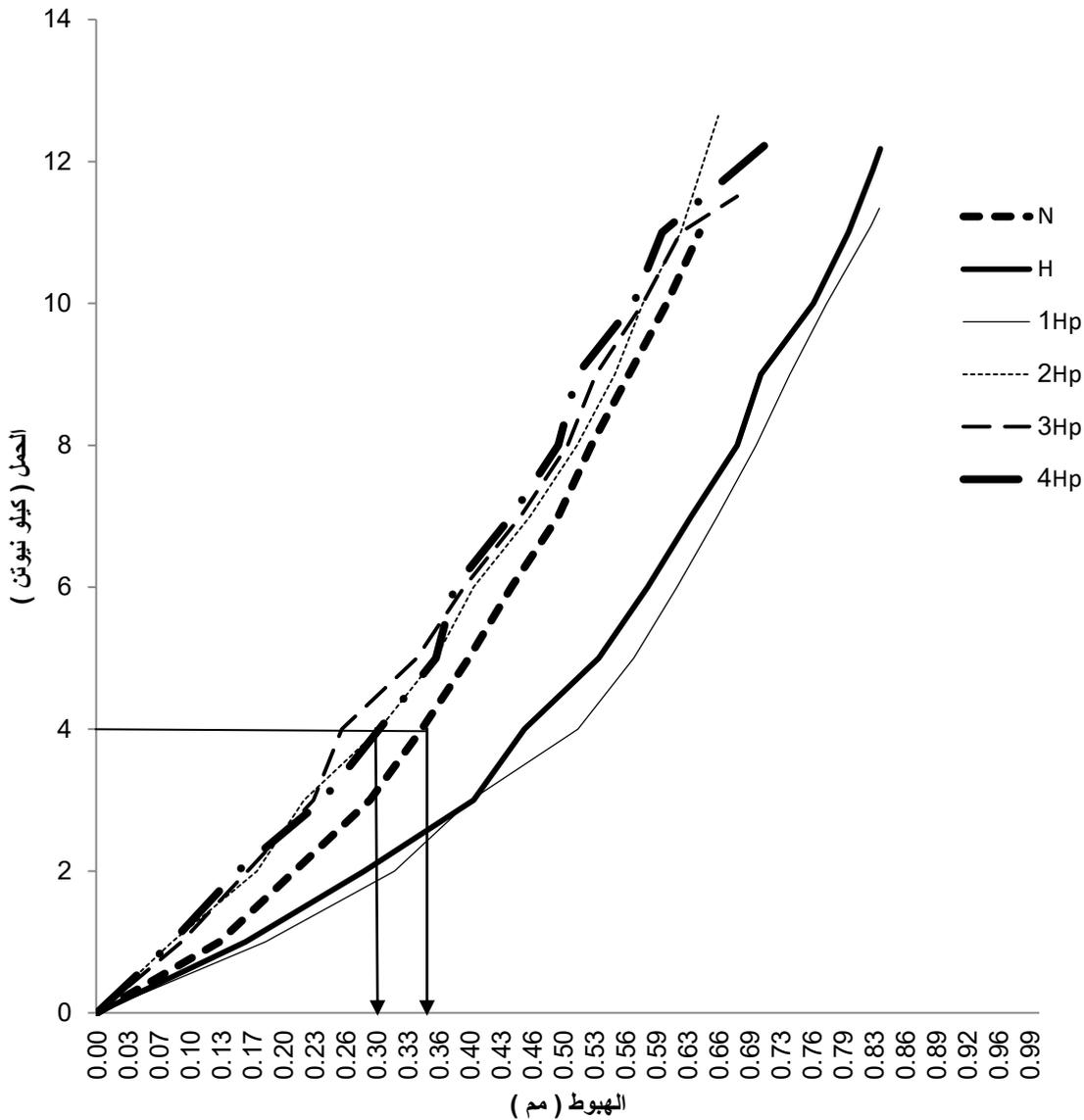
جدول 8: خواص الخرسانة الحاوية على ألياف البولي بروبيلين

نوع الخلطة	قيمة الهطول	الكثافة الطرية	مقاومة الإنضغاط	مقاومة الشد الإنشطاري	مقاومة الإنثناء
N	105	2404	52.4	4.2	8.25
H	150	2423	73.6	4.5	9.26
HP1	150	2380	74.7	4.3	8.63
HP2	140	2379	81.5	4.5	9.48
HP3	120	2386	85.8	6.6	8.51
HP4	65	2389	84.0	5.6	9.14

سلوك الخرسانة عالية المقاومة الحاوية على ألياف البولي بروبيلين:

سلوك العتبات الخرسانية هو دراسة الهبوط تحت تأثير الأحمال المسلطة عليها بصورة متزايدة تدريجياً وكذلك أخذ القراءات لطول وعرض التشققات وعددها عند كل زيادة للحمل المسلط .

إن إضافة الملدن سيكامنت[®] - 163 وتقليل نسبة الماء / الإسمنت أدى إلى زيادة مقاومة الإنشاء للخلطات (HP1 ، HP2 ، HP3 ، HP4) عن الخلطة (N)، كما أن إضافة ألياف البولي بروبيلين بنسب تزايدية أدى إلى تقليل الهبوط للخلطة الخرسانية (HP) عن الخلطة الخرسانية (H) (أي تكون قيمة الهبوط للخرسانة الليفية عالية المقاومة أقل من الخرسانة عالية المقاومة الخالية من ألياف البولي بروبيلين) . فعلى سبيل المثال عند الحمل (4 كيلو نيوتن) تجد أن قيمة الهبوط للعتبة الخرسانية (HP4) هي (0.3 مم) أقل من قيمة الهبوط للعتبة الخرسانية (N) هي (0.345 مم)، كما هو مبين في الشكل (4). ويرجع السبب إلى وجود ألياف البولي بروبيلين التي تعمل على تقليل عدد التشققات وعرضها و زيادة تقوية الترابط بين مكونات الخلطة الخرسانية .



شكل (4) العلاقة بين الحمل المسلط والهبوط للعتبات الخرسانية

الخلاصة

أظهرت نتائج هذا البحث أن إضافة ألياف البولي بروبيلين بنسب حجمية مختلفة من مكونات الخلطة الخرسانية عالية المقاومة (0.1، 0.2، 0.3، 0.4) % تؤدي إلى تقليل الهطول للخرسانة الطرية وزيادة مقاومة الإنضغاط ومقاومة الشد الإنشطاري ولكن تأثيرها على مقاومة الإنثناء قليل جداً، بالإضافة إلى تقليل الهبوط للعتبات الخرسانية.

التوصيات

يوصى بتوسيع دراسة تأثير استخدام ألياف البولي بروبيلين بنسب حجمية مختلفة وبأقطار وأطوال أخرى على خواص الخرسانة عالية المقاومة (مقاومة الإنضغاط، معامل المرونة، مقاومة الشد الإنشطاري، مقاومة الإنثناء، النفاذية) والحماية على أنواع ملدنات أخرى و/ أو غبار السيليكات بنسب متفاوتة.

المراجع

1. Neville, A. M., 1995. *Properties of Concrete*, 4th Edition, Pitman Books Limited, London UK.
2. Rixom, M.R., Mailvaganam, N.P., 1986. *Chemical admixtures for concrete*, 2nd Edition E. & F.N. SPON, New York, USA, pp. 306.
3. ACI committee 544.2R-89, 1994, *Measurement of properties of fiber reinforced concrete*, ACI Manual of concrete practice, Part 5, Masonry, Precast concrete, special processes.
4. آر . إن سوامي ، خرسانة مسلحة جديدة ، 1988 ، ترجمة د. محمد علي عبد الزروق الأوسي وباسل طه ناجي العلي ، الجامعة المستنصرية ، بغداد ، العراق ، عدد الصفحات 299.
5. Nilson, A. H., Darwin, D., Dolan, C. W., 2004, *Design of concrete structures*, 13th Edition, McGraw-Hill, UK.
6. Neville, A. M., Brooks, J.J., *Concrete Technology*, 2004, Pearson Prentice Hall, London, UK.
7. Sika Egypt, 2006, *Construction Products Catalog*, 11th Edition; El Abour; Egypt.
8. المواصفات القياسية الليبية
 - 1.8 المواصفة القياسية الليبية 49: 2002 : ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية
 - 2.8 المواصفة القياسية الليبية 49: 2002 : الماء المستعمل في خلط ومعالجة الخرسانة.
 - 3.8 المواصفة القياسية الليبية 340: 1997 : الاسمنت البورتلاندي.
9. British Standard Institution
 - 9.1 BS 12: 1996: Specification for Portland cement.
 - 9.2 BS 812: Part 2: 1995: Methods for determinations of density and absorption.
 - 9.3 BS 812: Part 103: 1992: Method for determination of particle size distribution.
 - 9.4 BS 812: Part 110: 1990: Method for determination of aggregate impact.
 - 9.5 BS 812: Part 112: 1990: Method for determination of aggregate crushing value.
 - 9.6 BS 882: 1992: Aggregate from natural sources for concrete.
 - 9.7 BS 1881: Part 102: 1983: Method for determination of slump.
 - 9.8 BS 1881: Part 107: 1983: Method for determination of density of compacted fresh concrete.

-
- 9.9 BS 1881: Part 108: 1983: Method for making test cubes from fresh concrete.
- 9.10 BS 1881: Part 109: 1983: Method for making test beams from fresh concrete.
- 9.11 BS 1881: Part 110: 1983: Method for making test cylinders from fresh concrete.
- 9.12 BS 1881: Part 111: 1983: Method for normal curing of test specimens (20°C Method).
- 9.13 BS 1881: Part 116: 1983: Method for determination of compressive strength concrete cubes.
- 9.14 BS 1881: Part 117: 1983: Method for determination of tensile splitting strength.
- 9.15 BS 1881: Part 118: 1983: Method for determination of flexural strength.
10. American society for testing materials, ASTM C 142: 1997: Standard test method for clay lumps and friable particulates in aggregate.
11. Teychenne, D. C., Nicholls, J. C., Franklin, R. E. and Hobbs, D. W., 1988. Design of normal concrete mixes (Building Research Establishment), Department of the environment, London, HMSO, pp. 42.

تحضير نماذج طبقات متجانسة من رمال سلكية وقياس كثافتها

الدكتور رياض حميد الدوري

أستاذ مساعد في قسم الهندسة المدنية
كلية العلوم الهندسية والتقنية-جامعة سبها
riadibrahim2003@yahoo.com

الملخص

في الحقيقة إن مقاومة التربة الرملية وتشوهات الخاضعة للأحمال (الستاتيكية والديناميكية) لا تعتمد فقط على خواص البناء الحبيبي لجزيئات التربة بل على حصيلة عمليات ترسيب تلك التربة [3, 4, 6]. ومن المعلوم إن دقة قيمة كثافة نماذج طبقات التربة في المختبر يؤدي إلى دقة حساب قيمة قدرة تحمل التربة لنماذج الأساسات السطحية أو الركائز المقامة عليها، على اعتبار الكثافة أهم العناصر الداخلة في المعادلتين النظريتين في حساب قدرة تحمل التربة تحت الأساس وقدرة مقاومة الإحتكاك السطحي للأساس.

تضمنت هذه الورقة البحث في موضوعين، الموضوع الأول كيفية تحضير طبقات رملية سلكية متجانسة في المختبر تستخدم في إجراء تجارب على الأساسات بصورة عامة والركائز بصورة خاصة، وذلك بتصميم واستخدام جهاز بسيط (سمية جهاز رمي ونشر) ("Sieve Rainer Equipment" S.R.E)، وهو عبارة عن اسطوانة معدنية مزودة بمنخلين، يستعمل الجهاز سكب أو نشر (Pluviation) التربة الرملية بشكل منتشر داخل إناء أو خزان مختبري (Test Container) حديدي إسطواني الشكل قطره الداخلي 595 ملم لتحضير نوعين من نماذج طبقات التربة الرملية المتجانسة (نماذج طبقات جافة عندما يكون الإناء فارغاً، ونماذج طبقات رطبة أو مشبعة عندما يحوي الإناء ماء. تستخدم هذه النماذج من طبقات التربة في إجراء تجارب على نماذج الترع والميول الترابية وكذلك على نماذج الأساسات السطحية بأنواعها ونماذج أساسات الركائز بصورة خاصة لأن مراقبة سلوك الركائز وتصميمها يحتاج إلى الفحص والمعرفة الدقيقة بطبقات التربة.

أما الموضوع الثاني فهو كيفية قياس الكثافة الجافة والرطوبة لطبقات نماذج الرمال المترسبة في إناء الإختبار بدقة يعول عليها. وذلك بوضع علب اختبار صغيرة (Tins) أقطارها 50 ملم وذات قواعد مختلفة المرونة في كل طبقة من الطبقات التربة الرملية.

إن نتائج هذا البحث تزودنا بتحضير نماذج طبقات تربة رملية متجانسة ومحددة الكثافة والرطوبة لتلك الطبقات في إناء مختبري حيث يمكننا الحصول على نماذج طبقات تربة رملية جافة متجانسة تمثل ترسب طبقات التربة على اليابسة، والحصول على نماذج طبقات تربة رملية مشبعة متجانسة تمثل ترسب طبقات التربة في أراضي مغمورة في المياه أو قيعان الأنهار والبحار.

والنتائج تبين أيضاً تحديد قيم الكثافة (Value of Sand Density) للتربة الموجودة داخل علب الإختبار بشكل دقيق يمكن السيطرة عليه بواسطة تحديد ارتفاع سقوط الرمال من جهاز السكب عن سطح الرمال المترسبة في إناء الإختبار، فكلما زاد ارتفاع سقوط الرمال ازدادت الكثافة، لكنها عند ارتفاع معين بعده لا تزداد. وأن أعلى قيم لهذه الكثافة (15.5 kN/m^3) عند ارتفاع (800 mm). وعند تعرض نماذج الرمال داخل الإناء إلى اهتزاز وذلك بطرق حافات الإناء أو حافات العلب الصغيرة فأن الكثافة تزداد وتصل أعلى حد بعد عدد معين من الطرقات.

المقدمة

إن رمي أو سكب أي مادة حبيبية سواء ترهه جافة (رملية أو طينية)، إسمنت، مساحيق كميائية أو حتى حبوب في خزان (Container) بصورة عامة يجب أن يتم بواسطة جهاز خاص يكون قادرا على توزيع حبيبات تلك المواد بشكل طبقات متجانسة الواحدة فوق الأخرى على امتداد مساحة الخزان أو الإناء (Container)، أما إذا كان الجهاز غير قادر على ذلك فإن الحبيبات سوف تتراكم في مناطق على قاعدة الخزان وتأخذ أشكال أكوام أو أشكال مخروطية تكون زاوية ميل الشكل تعتمد على الخواص الفيزيائية للمادة الساقطة، ويمكن أن تتعرض لظاهرة انفصال الجزيئات (Segregation) أي أن الجزيئات الصغيرة تتكدس في وسط وأعلى المخروط بينما الجزيئات الكبيرة تنتشر حول حافة المخروط^[6]. وهذا يؤدي إلى عدم تجانس تلك الطبقات، وعدم تساوي قيم كثافتها.

إن أولى التجارب المخبرية التي أجريت على الرمل لتعيين كثافته ونفاذيته القصوى والأدنى (maximum & minimum) أجريت في سنة 1948 من قبل (J.J. Kolbuszewski)، وقد تابع هذا الموضوع الكثير من الباحثين. [1,2,3,5,6,7].

لقد بينت دراسات الهندسة الجيوتكنيكية عبر العقود الأربعة الماضية، أن مقاومة التربة غير المتماسكة ونفاذيتها وتشوهاتها الخاضعة سواء للأحمال الستاتيكية أو الديناميكية (Static or Dynamic Loads) لا تعتمد فقط على خواص البناء أو التركيب الحبيبي لجزيئات التربة بل على حصيلة عمليات ترسيب تلك التربة. هذه الحقائق أثبتت من قبل الكثير من الباحثين ومنهم (Holhzt and "1972", Oda "1961", Kolbuski and Jones "1993", Aldouri H.R "1981", Kovacs) [3,4,6,8].

إن تحضير طبقات مستوية من التربة الرملية المتجانسة في المختبر تترسب في إناء أو خزان اختبار (Test Container)، وكذلك معرفة قياس كثافتها ورطوبتها هي أهم شرط لإجراء تجارب على نماذج الترع ونماذج أساسات (سطحية وعميقة) تقام على نماذج طبقات تربة رملية جافة أو على نماذج طبقات رمال مشبعة. لذلك تضمنت هذه الورقة البحث في موضوعين:

أولاً- الموضوع الأول يمثل كيفية تحضير طبقات رملية سلكية متجانسة في المختبر من أجل مراقبة وفحص (سلوك الأساسات بصورة عامة وسلوك وتصميم الركائز بصورة خاصة) التي تحتاج إلى المعرفة الدقيقة بطبقات التربة، ولذلك تم تصميم واستخدام جهاز بسيط سمي بالجهاز المنخلي لرمي الرمال (" S.R.E" Equipment Sieve Rainer) وهو عبارة عن اسطوانة معدنية مزودة بمنخلين، ويتحرك عموديا فوق إناء مختبري (Test Container "T.C." حديدي إسطواني الشكل قطره الداخلي 450 ملم. يستعمل هذا الجهاز بسكب (Pluviation) التربة الرملية بشكل مسهب و منتشر داخل إناء مختبري (T.C.)، لتحضير نوعين من نماذج طبقات التربة الرملية المتجانسة، النوع الأول يمثل تحضير نماذج طبقات من التربة الرملية السلكية الجافة عندما يكون الإناء فارغا، والنوع الثاني يمثل تحضير نماذج طبقات رطبة ومشبعة عندما يكون الإناء مملوء بالماء. بالنسبة لنماذج طبقات التربة الرملية الجافة، تستخدم في إجراء تجارب على نماذج الترع والميول الترابية وكذلك على نماذج الأساسات (السطحية والعميقة) التي تقام على اليابسة (Onshore Foundations). أما بالنسبة لنماذج طبقات الرمل المشبع تستخدم عند إجراء تجارب على نماذج الأساسات المقامة على تربة مشبعة أو الأساسات البحرية (Offshore Foundations).

ثانياً- الموضوع الثاني يتعلق بكيفية قياس الكثافة الجافة والرطوبة لطبقات نماذج الرمال المترسبة على امتداد إناء الإختبار. وكذلك ممكن قياس محتوى الرطوبة لهذه الطبقات بدقة يعول عليها. لقد ظهرت صعوبات في قياس دقيق لقيم كثافة كل طبقة على طول خزان الإختبار خصوصا بعد تسليط الضغط المحدد في التجربة، وكذلك بسبب الظروف المحيطة بالتجارب^[8]، فوجد إن أفضل طريقة للحصول على قياس أكثر دقة لهذه القيم هي استخدام علب اختبار صغيرة (Tines) أقطارها 50 ملم وذات قواعد مختلفة المرونة توضع على امتداد كل طبقة من الطبقات الترية الرملية^[8]. بعد إجراء التجربة يمكن استخراج العلبة بحذر ومعرفة كثافة الترية في العلبة ورطوبتها تمثل كثافة ورطوبة طبقة الترية.

إن قواعد هذه العلب الصغيرة مختلفة الصنع فوحدة قاعدتها تمت صناعتها من مادة معدنية لتكون جاسئة (Rigid Base Tine)، وعلبة ثانية قاعدتها صنعت من المطاط (Flexible Base Tine) لتكون مرنة، وصنعت قاعدة العلبة الثالثة بدون قاعدة (Hollow Base Tine) لكي يسمح بحركة الماء من وإلى داخل العلبة. إن قواعد العلب المختلفة استخدمت من أجل معرفة تأثير كل نوع من هذه العلب على نتائج قيم كثافة الترية المأخوذة من العلب الصغيرة ومقارنتها مع الطريقة المباشرة في قياس كثافة الطبقة والتي تتلخص بوزن طبقة الترية وقسمته على (مساحة مقطع مخزن الإختبار مضروبة في ارتفاع الطبقة المقاس بواسطة المسطرة)، لكن تحديد وزن الطبقة صعب وتزداد صعوبته بزيادة حجم خزان الإختبار.

خواص الترية

من المعلوم إن حجم وترتيب جزيئات الترية هي عوامل مهمة جدا في تصنيف الترية. لذلك فإن جميع أنظمة تصنيف الترية الرملية سواء كانت تعتمد على حجم وشكل الجزيئات وكذلك على التأريخ الجيولوجي لترسيبها. وهناك أنظمة عديدة في تصنيف الترية الرملية السلكية ومنها نظام (ASHTO, ASTM, US)، الشكل (1) يبين منحى تدرج الترية الرملية السلكية، ويمكن من خلاله أن نصف هذه الترية متوسطة التدرج. إن الوصف العام والصفات الفيزيائية للترية الرملية السلكية الموجودة في ليبيا هما لا يختلفان كثيرا عن الأنواع الأخرى من هذه الرمال الموجودة سواء في أوتاوا-كندا أو في سدني-أستراليا. حيث أن جزيئاتها متساوية الأبعاد، وأن بعض أشكال هذه الجزيئات يكون كرويا والبعض الآخر قريبا إلى شكل المكعبات الثلجية. لقد بين الباحثان (Lambe & Whitman) (1979)^[8] من خلال الصور المايكروسكوبية المكبرة في بحثيهما مقارنة بين أقطار جزيئات الترية الرملية السلكية المأخوذة من خمسة مواقع في ليبيا وأقطار جزيئات الترية الرملية السلكية المأخوذة من عدد مواقع في ولاية أوتاوا وغيرها من المواقع الأخرى في العالم فوجدا أن أقطار جزيئات الرمال المأخوذة من ليبيا تتراوح (من 0.15-0.25 ملم) قريبة جدا من أقطار جزيئات مأخوذة من منطقتين في ولاية أوتاوا تتراوح (واحدة من 0.11-0.19 ملم والثانية من 0.19-0.42 ملم) وأقطار الجزيئات في باقي المناطق يظهر أكبر ويمكن بذلك الإستنتاج إن أقطار جزيئات رمال كلا المنطقتين متساوية لحد كبير. الصور تبين أن شكل جزيئات رمال أوتاوا وجزيئات رمال مناطق في ليبيا متشابهة مستديرة جدا (Well Round) وثلجية الشكل.

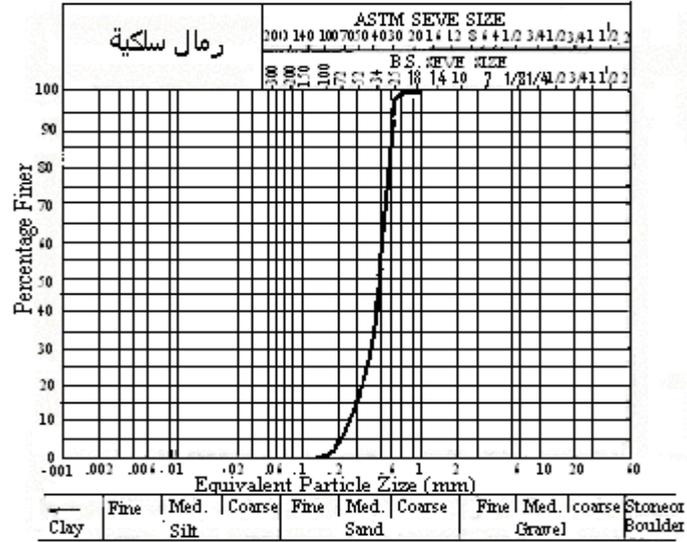


Fig.1 Grading Curve for Silica Sand

جهاز سقوط الرمل وطريقة العمل

الشكل 2 يظهر صور فوتوغرافية لجهاز رمي أو سكب (Pluviation) التربة الرملية في خزان أو إناء الإختبار ("T.C" Test Container) الحديدي والذي تحضر فيه نماذج طبقات متجانسة من تربة ناعمة وخصوصا التربة الرملية. الشكل (3) يظهر تفاصيل تصميم هذا الجهاز البسيط المستخدم في هذا البحث ويسمى الجهاز المنخلي لرمي الرمال "S.R. E" وهو عبارة عن اسطوانة معدنية سمك جدرانها 3 ملم وقطرها الخارجي 380 ملم وارتفاعها 200 ملم قاعدتها مشبك معدني مزود بمنخلين المسافة بينهما 200 ملم، وثقوب المنخلين تسمح بمرور جزيئات الرمل وتسيطر على حجمه. يحيط بالجهاز نسيج بلاستيكي يمتد 450 ملم ليمنع الغبار وجزيئات الرمل الصغيرة من التطاير خارج الخزان (T.C) الذي يظهر في الشكل (3).

إن الجهاز "S.R. E" يتحرك عموديا على أربعة قضبان مثبتة على حافة (شفة) (Flange) الخزان (T.C) الحديدي قطرة الداخلي (400 ملم وارتفاعه 600 ملم) مثبت على إطار حديدي (Steel Frame) في المختبر. يثبت الجهاز "S.RE" على القضبان بواسطة 4 مثبتات (Clamps) للسيطرة على رفع ونزول الجهاز عند الارتفاع المطلوب أنظر الشكل (3). إن طريقة رمي أو سكب الرمل تتلخص بوضع قطعتين من نسيج البلاستيك على المشبك المعدني لقاعدة الإسطوانة لهذا الجهاز ثم يوضع الرمل الجاف فوقها حتى تمتلئ الإسطوانة، ويسحب قطعتي النسيج جانبيا بشكل هادئ فيسمح للرمل بالنزول من خلال المشبك والمنخلين إلى داخل الخزان (T.C). يسمح للرمل بالسقوط من ارتفاع معين مثلا 450 ملم لتحضير الطبقة الرملية السفلى (الأولى) التي تكون بسمك 120 ملم، ثم يرفع الجهاز مرة أخرى لمسافة مثلا 120 ملم من أجل تحضير الطبقة الثانية وهكذا إلى أن تصل الطبقة الخامسة (الأخيرة) ليكون ارتفاع الرمل الموجود في الخزان "T.C." 600 ملم.

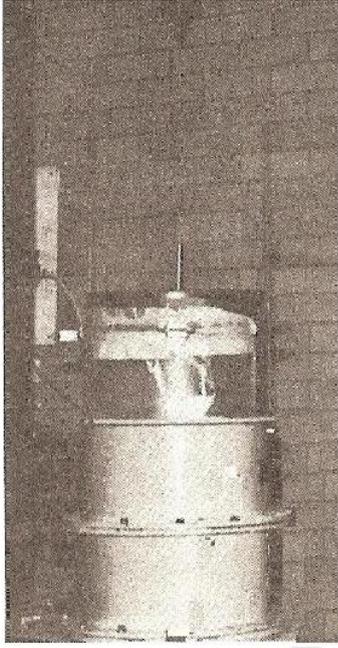


Fig.2 Photograph of Sieve Rainer & Container

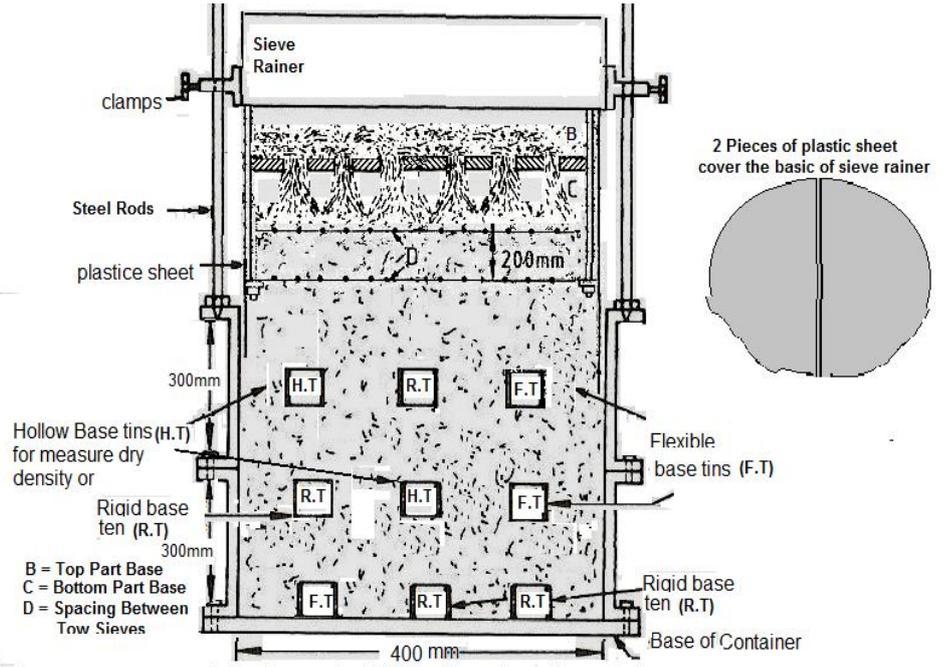


Fig.3 Sch. Layout of Sieve Rainer & container

لتحضير نوعين من نماذج طبقات التربة الرملية المتجانسة (نماذج طبقات جافة وأخرى مشبعة)، النوع الأول يمثل محاولة تحضير نماذج طبقات من رمال سلكية جافة عندما يكون الخزان فارغاً، والنوع الثاني يمثل محاولة تحضير نماذج طبقات رمال رطبة أو مشبعة عندما يحوي الخزان ماء. بالنسبة للنوع الأول تستخدم في إجراء تجارب في المختبر على نماذج الترع والميول الترابية وعلى نماذج الأساسات (السطحية والعميقة) التي تقام على اليابسة. بالنسبة لنماذج طبقات الرمل المشبع تستخدم عند إجراء تجارب على نماذج الأساسات المقامة على تربة مشبعة بالماء أو نماذج أساسات الركائز البحرية (Offshore Piles).

قياس كثافة الرمل

من المعروف أن هناك طريقتين متعارف عليهما لقياس كثافة الرمل (الطريقة المباشرة والطريقة غير المباشرة) سواء في الحقل أو في المختبر. هذا البحث يتضمن قياس طبقات الرمل المتكونة من عملية رمي الرمال في أواني مختبرية (T.C) والتي سبق وصفها، بحيث يكون سمك كل طبقة ثابتاً ومحدداً في كل تجربة. على أن تؤخذ عينات من واقع تلك الطبقات باستخدام ثلاثة أنواع من العلب الصغيرة حجم كل واحدة منها يساوي 96 سم³. -1) علبة معدنية ذات قاعدة مغلقة صلبة تسمى (Rigid Base Tine)، ويرمز لها (R.T). -2)، علبة من الألمنيوم قاعدتها مصنوعة من المطاط الخفيف السمك وتسمى (Flexible Base Tine)، ويرمز لها (F.T). -3)، علبة من الألمنيوم أيضاً لكن قاعدتها مفتوحة وتسمى (Hollow Tine)، ويرمز لها (H.T).

توضع هذه العلب فوق كل طبقة قبل البدء بعملية رمي الرمل. إن القواعد المختلفة لهذه العلب قد تحقق ظروفًا مختلفة تساعد في معرفة الوسائل المؤثرة في تحديد دقة قياسات كثافة نماذج طبقات التربة وكذلك في اكتشاف المشاكل التي تصاحب طريقة عمل النماذج. إن حجم وترتيب الجزيئات يسيطر على نسبة الفراغات وعلى حركة الجزيئات داخل العلب، لذلك فإن حركة الجزيئات داخل كل نوع من هذه العلب يختلف عن النوع الآخر. ولهذا فإن قيم الكثافة المحضرة من كل نوع من العلب ممكن أن تكون متأثرة بنوع قاعدة العلب. إن الاختلاف بين النوع

الأول (R.T) والثاني (F.T) من العلبة هو درجة جسائنة قاعدة العلبة والتي تؤثر على الطاقة الحركية لجزيئات الرمال الساقطة عليها. أما بالنسبة للعلبة (H.T) فإن عدم وجود قاعدة لها سوف يجعل الجزيئات التي تسقط داخلها لا يمنعا حاجز سواء كان صلدا أو مرنا وبذلك ممكن أن تكون ظروف نموذج التربة في هذه العلبة أقرب للواقع مقارنة بالنوعين الآخرين من العلب. وفي حال استخدام علبة (H.T) لنماذج التربة المشبعة فأنها تسمح بمرور الماء من داخلها إلى خارجها بالإتجاه العمودي أي أن الماء والجزيئات يكونا قادرين على الحركة صعودا ونولا حسبما تمليه مرحلة التجربة خصوصا عندما تخضع هذه النماذج من التربة المشبعة للضغوط الرأسية.

قياس كثافة نماذج طبقات التربة الرملية السلكية الجافة المترسبة في الخزان (T.C)

لقد أجريت مجموعتان من التجارب لقياس كثافة نماذج التربة الرملية السلكية الجافة المترسبة في خزان الإختبار (T.C) باستخدام جهاز "S.R.E" وهما: آ- المجموعة الأولى: وتتخلص هذه المجموعة بإجراء 15 تجربة على نماذج التربة الرملية الجافة سقطت من ارتفاعات مختلفة. وقد تم استخدام نوعين من العلب لقياس كثافة طبقات هذه النماذج، (علب ذات قواعد صلدة (R.T) وأخرى ذات قواعد مرنة (F.T)). في كل طبقة توضع علبتان ذات قاعدة صلدة (R.T) واحدة توضع في مركز الخزان (0.0 r) والثانية توضع على بعد (0.65 r) من مركز الخزان، وعلبة واحدة فقط ذات قاعدة مرنة (F.T) توضع على بعد (0.65 r) من مركز الخزان في الجهة الأخرى المقابلة للعلبة (R.T) أنظر الشكل (3). الغرض من إجراء هذه التجارب لمعرفة تأثير ارتفاع سقوط نماذج التربة الرملية الجافة على كثافتها الجافة من جهة، ومن جهة أخرى لمعرفة كفاءة جهاز "S.R. E" المستخدم في تحضير طبقات متجانسة من هذه التربة داخل خزان الإختبار.

ب- المجموعة الثانية: وتتخلص بإجراء 8 تجارب على نماذج التربة الرملية الجافة سقطت من ارتفاع 450 ملم وترسبت في خزان (T.C) باستخدام 3 أنواع من العلب ذات القواعد المختلفة (R.T)، (H.T)، و (F.T) وضعت على طول مقطع (T.C) بترتيب معين، حيث وضعت العلبة (R.T) في مركز الخزان في الطبقة السفلى ووضعت علبتان (علبة واحدة نوع (H.T) وعلبة واحدة نوع (F.T) مرة في الطبقة الوسطى ومرة في الطبقة العليا من الخزان أنظر الشكل (3). الغرض من إجراء هذه التجارب هو تقييم كثافات نماذج الرمال الموجودة في هذه العلب، وكذلك لمعرفة تأثير قاعدة العلبة على قيم الكثافة الجافة لنماذج الرمال.

بعد استخراج العلب من طبقات نماذج التربة الرملية نعمل تسوية لسطح نموذج التربة الموجود لكل علبة باستخدام سكين (Scraper) رقيقة السمك، من أجل تقليص الخطأ الحاصل لكثافة النموذج والذي ينتج عن قلقة ترتيب الجزيئات.

نتائج تجارب قياس التربة الجافة (Dry Density Results)

جدول (1) يمثل نتائج 15 تجربة أجريت لقياس كثافة التربة السلكية الجافة الساقطة من خمسة ارتفاعات (100 و 300 و 450 و 600 و 800) ملم بحيث ثلاثة تجارب أجريت لكل ارتفاع. الجدول يبين نتائج قيم الكثافة المأخوذة من العلب ذات القواعد الصلدة وتلك ذات القواعد المرنة، ويظهر الإختلاف في قيم كثافات كلا النوعين قليلا جدا يكاد لا يذكر، مما يدل على أن الإختلاف في نوع قاعدة العلبة لا يؤثر على قياس قيم الكثافة لنموذج التربة الموجود في العلبة. النتائج تبين قيم كثافة التربة الرملية الجافة تزداد مع زيادة ارتفاع سقوط التربة.

Table 1. Density of Silica Sand Using "S.R.E"

Dropped Height (mm)	Test No.	Density of Silica Sand (t/m^3) in the Rigid & Flexible Base Tins at Distance 0, 0.65r, mm from the C.L		
		Rigid Base Tin		Flexible Base Tin
		C.L	0.65r mm	0.6 5r mm
100	1	1.519	1.445	1.411
	2	1.502	1.444	1.449
	3	1.498	1.450	1.433
Average		1.506	1.446	1.431
300	1	1.529	1.549	1.469
	2	1.541	1.518	1.554
	3	1.526	1.545	1.466
Average		1,532	1.507	1.496
450	1	1.593	1.575	1.565
	2	1.577	1.559	1.511
	3	1.595	1.587	1.560
Average		1,588	1.574	1.545
600	1	1.619	1.576	1.581
	2	1,599	1.620	1.569
	3	1,620	1.582	1.556
Average		1.613	1.593	1.569
850	1	1.589	1.570	1.591
	2	1.601	1.576	1.580
	3	1.612	1.601	1.587
Average		1,600	1.589	1.586

أما بالنسبة للتربة الساقطة من ارتفاع 100 ملم فإن معدل قيم الكثافة لنماذج التربة يساوي ($1.45 t/m^3$) تقريبا وتزداد هذه القيم كلما ازداد ارتفاع مسافة السقوط حتى تصل كثافة نماذج الرمال المتجانسة إلى أقصى قيمتها (γ_{dmax}) وتساوي $1.6 t/m^3$ تقريبا عندما يكون ارتفاع السقوط مسافة 600 ملم بعدها تتوقف الزيادة في قيمة الكثافة، ويسمى هذا الإرتفاع بالإرتفاع الحرج لكثافة التربة الرملية. الشكل (4) يبين بوضوح أن قيم الكثافة الجافة تزداد بازدياد ارتفاع سقوط الرمل، ولكنها تتوقف بارتفاع محدد وهو 600 ملم وتكون أقصى قيمة لهذه الكثافة (γ_{dmax}) بحدود ($1.6 t/m^3$).

عند المقارنة بين قيم (γ_{dmax}) لنماذج التربة الرملية الجافة المأخوذة من العلب (R.T) والتي حضرت بطريقة استخدام جهاز "S.R.E"، وقيم (γ_{dmax}) لنفس التربة الناتجة من استخدام طريقة طرق حافة العلب بقطعة معدنية 25 طرقة. فإن قيمة (γ_{dmax}) الناتجة من تجارب استخدام طريقة هذا البحث تصل $1.6 t/m^3$ ، بينما قيمة (γ_{dmax}) الناتجة باستخدام طريقة الطرق تصل إلى $1.8 t/m^3$. والجدول (1) يبين أيضا لكل طبقة من طبقات نماذج الرمال، معدل قيم الكثافة الناتجة باستخدام العلب ذات القواعد الصلدة والتي قسم منها موضوع في مركز الخزان (0.0 r) والقسم الآخر الموجودة على بعد (0.65 r) من مركز الخزان متساوية لحد كبير. الشكل (5) يبين العلاقة بين الكثافة الجافة للرمل والمسافة القطرية عن مركز (T.C) لجميع الإرتفاعات الخمسة لسقوط الرمل، بالنسبة لكل ارتفاع فإن قيم الكثافة الجافة المأخوذة من الموقعين (0.0r & 0.65r) قليلة جدا. وهذا يدل على أن درجة

التجانس لطبقات الرمل السلبي الجاف المحضر باستخدام جهاز "S.R.E" يمكن التعويل عليها في إجراء التجارب.

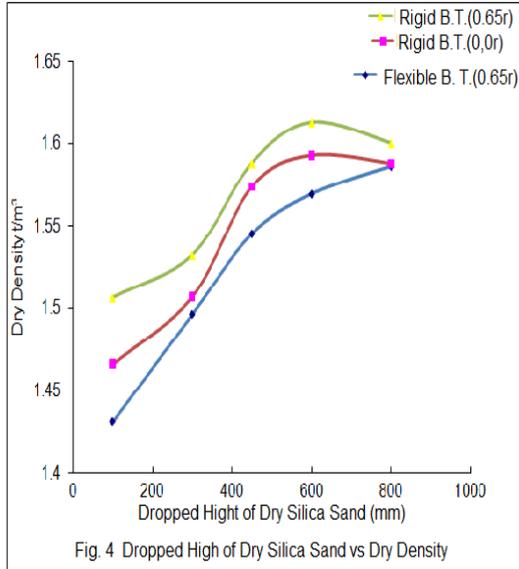


Fig. 4 Dropped High of Dry Silica Sand vs Dry Density

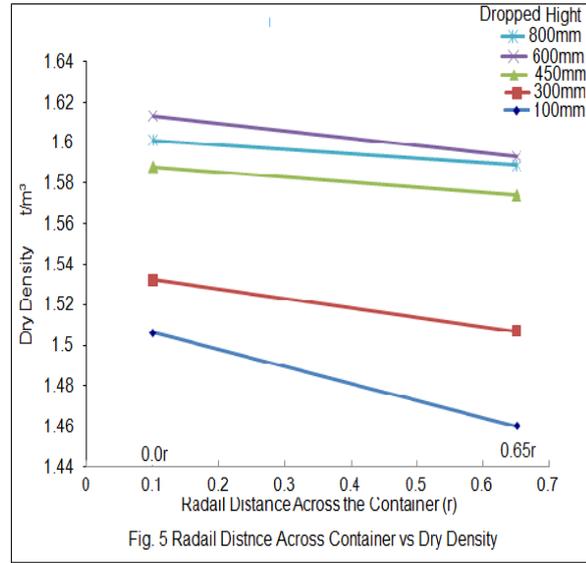


Fig. 5 Radial Distance Across Container vs Dry Density

جدول (2) يبين نتائج 8 تجارب أخرى أجريت على نماذج تربة رملية جافة سقطت من ارتفاع (450 ملم) باستخدام جهاز "S.R.E". والجدول يبين عدم وجود تباين في معدل قيم كثافات نماذج الرمال المأخوذة من العلب (R.T) والعلب (F.T)، ولكن هذه القيم تظهر أكثر بقليل من تلك المأخوذة من العلب (H.T). الجدول يبين أيضا أن هناك فرقا قليلا جدا بين قيم الإنحراف المعياري لكثافات التربة المأخوذة من العلب (R.T) وتلك المأخوذة من العلب (F.T)، بينما يصبح التباين كبيرا في قيم "S.D" لكثافة التربة المأخوذة من هذه العلب من جهة ومن المأخوذة من العلب (H.T). وسبب هذا الاختلاف ممكن إيعازه إلى صعوبة السيطرة على استخراج علبه (H.T) من داخل طبقة الرمال المترسبة في (T.C) بدون وجود قفلة ولو بسيطة لنموذج الرمل الجاف مقارنة باستخراج العلب من النوع الآخر.

وممكن استنتاج أن استعمال علب (R.T) وعلب (F.T) في قياس كثافة نماذج الرمال الجافة في المختبر تكون أفضل من استعمال علب (H.T).

قياس كثافة نماذج طبقات التربة الرطبة (Wet or Bulk Density) المترسبة في خزان الإختبار (T.C)

لقد تم إجراء 6 تجارب لقياس تأثير الضغط ($\sigma_{ov} = 100 \text{ kPa}$) المسلط فوق سطح نماذج التربة الرملية السلكية الرطبة المترسبة في الخزان (T.C) لمدة 3 ساعات على كثافة ومحتوى رطوبة تلك التربة. تلخص هذه التجارب، بوضع نوعين من العلب (علب ذات قواعد صلدة (R.T) وأخرى ذات قواعد مفتوحة (H.T)) في وسط الطبقة السفلى ووسط الطبقة الوسطى من طبقات هذه النماذج من الرمال. استخدمت هذه العلب من أجل السيطرة الجيدة على أخذ العينات من تلك الطبقتين وللحصول على نتائج أدق في قياس الكثافة الرطبة (γ_{bulk})، الكثافة الجافة (γ_D)، ومحتوى الرطوبة (w_C) لطبقتين. إن استخدام علب (H.T) بشكل خاص جاء كونها لها القدرة على حركة الماء وجزيئات الرمل داخل وخارج العلب مما يجعل ظروف نموذج الرمل داخلها أقرب إلى الواقع من غيره داخل الأنواع الأخرى من العلب.

Table 2 Density of Silica Sand dropped 450 mm of Dry Silica

Test No.	Density of Top Layer (t/m ³)		Density of Mid. Layer (t/m ³)		D.B. Layer (t/m ³)
	H.Tin	F.Tin	H.Tin	F.Tin	R. Tin
1	1.487	1.463	1.507	1.480	1.480
2	1.520	1.462	1.516	1.475	1.472
3	1.519	1.473	1.502	1.490	1.474
4	1.519	1.461	1.502	1.470	1.500
5	1.522	1.460	1.518	1.497	1.521
6	1.524	1.469	1.540	1.473	1.506
7	1.540	1.460	1.487	1.492	1.483
8	1.554	1.477	1.520	1.480	1.467
Averag	1.523	1.465	1.516	1.482	1.488
S.D.*	0.018	0.006	0.015	0.009	0.018

نتائج تجارب قياس التربة الرملية السلكية الرطبة (Wet or Bulk Density)

جدول (3) يبين نتائج 6 تجارب (معدل نتائج كل 3 تجربة) أجريت على نماذج التربة الرملية السلكية الرطبة الخاضعة لضغط 100k لمدة 3 ساعات. ويبين نتائج كثافة التربة الرملية السلكية الرطبة (γ_{bulk}) وكثافتها الجافة (γ_D) ومحتوى رطوبتها (w_C) المأخوذ من الطبقتين الوسطى والسفلى في خزان الإختبار (T.C) باستخدام نوعين من العلب (علب (R.T) وعلب (H.T)).

إن بيانات القيم المأخوذة من استخدام العلب (R.T) تبين أن الكثافة الرطبة (γ_{bulk}) هي 1.8 t/m^3 للطبقة الوسطى و 1.88 t/m^3 للطبقة السفلى وهذه القيم متساوية تقريبا، وقيم محتوى الرطوبة (w_C) هي 0.20 للطبقة الوسطى و 0.234 للطبقة السفلى وهذه القيم بينهما اختلاف واضح. بينما بيانات القيم المأخوذة من استخدام العلب (H.T) تبين أن الكثافة الرطبة (γ_{bulk}) هي 1.79 t/m^3 للطبقة الوسطى و 1.87 t/m^3 للطبقة السفلى ويمكن ملاحظة وجود اختلاف في هذه القيم بسبب انخفاض قيم (w_C). وأن قيم محتوى الرطوبة (w_C) هي 0.13 للطبقة الوسطى و 0.237 للطبقة السفلى. هذه القيم تظهر اختلافا واضحا بينهما. والسبب يعزى إلى أن العلب مفتوحة القاعدة (H.T) تسمح بمرور الماء من الطبقة الوسطى إلى الأسفل بعكس علب (R.T) التي تحجز الماء داخلها. عند إجراء مقارنة بين النتائج المأخوذة من العلب (R.T) والعلب (H.T)، يظهر بأن النتائج المأخوذة من العلب (H.T) هي ممكن أكثر مطابقة للواقع من تلك النتائج المأخوذة من العلب (R.T) خصوصا بالنسبة لمحتوى الرطوبة.

Table 3. The Bulk (Wet) Density of Silica Sand in the Test Container

Number of Test	σ_{ov} kPa	Time Sat. Hrs	Type of Tin	Density Obtained by Tins (t/m^3)					
				Middle Layer			Bottom Layer		
				γ_{bulk}	γ_D	W_C	γ_{bulk}	γ_D	W_C
Average 3 Test	100	3	Rigid B.	1.85	1.53	0.20	1.88	1.52	0.234
Average 3 Test			Hollow B.	1.79	1.5	0.13	1.87	1.49	0.237

γ_D = Dry Density, σ_{ov} = Over burden Pressur
 γ_{bulk} = Bulk Density, W_C = Moisture Content in the Tin

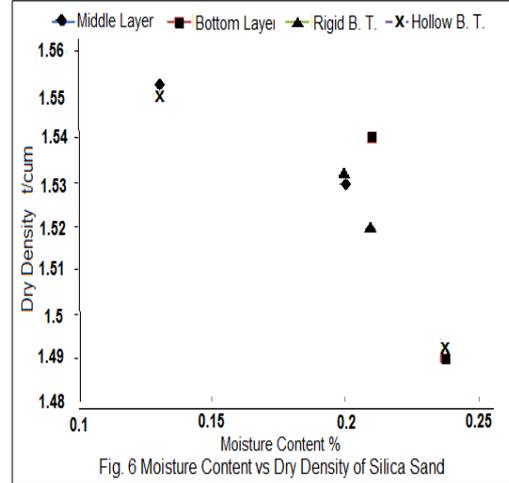


Fig. 6 Moisture Content vs Dry Density of Silica Sand

الشكل (6) يبين العلاقة بين محتوى الرطوبة والكثافة الجافة للرمال السلكية في الطبقتين الوسطى والسفلى، ويبين أن الكثافة تزداد كلما قل محتوى الرطوبة. ويبين أيضا بالنسبة للطبقة الوسطى لنماذج هذه الرمال، فإن الكثافة الجافة للرمال المأخوذة من العلب (R.T) هي أقل من تلك الكثافة المأخوذة من العلب (H.T)، بينما الكثافة المأخوذة من كلا النوعين من هذه العلب تتساوى تقريبا بالنسبة للطبقة السفلى لنموذج الرمل.

الإستنتاجات والتوصيات

- 1- الجهاز البسيط المستخدم في هذا البحث "S.R. E" يمكن أن يحضر نماذج طبقات متجانسة من التربة الرملية الجافة والرطبة أو المشبعة تترسب في خزان اختبار "T.C." من اجل إجراء تجارب على نماذج الترع والأساسات السطحية والعميقة.
- 2- النتائج تبين أن الكثافة الرملية الجافة تزداد مع زيادة ارتفاع سقوط التربة، ولكنها تتوقف بارتفاع محدد وهو 600 ملم وتصل أقصى قيمة لها (γ_{dmax}) بحدود ($1.6 t/m^3$)، ولا تزداد مهما ازداد ارتفاع سقوط التربة. وهذا الإرتفاع يسمى الإرتفاع الحرج للكثافة القصوى. يمكن استخدام هذه الطريقة لتحضير نماذج طبقات ترابية متجانسة مختلفة الكثافات (مفككة، متوسطة الكثافة وكثيفة) اعتمادا على ارتفاع سقوط التربة.
- 3- التجارب بينت أن استخدام العلب الصغيرة في قياس كثافة نماذج طبقات التربة يكون أدق وأسهل من قياسها بالطريقة المباشرة المشار إليها سابقا، والتجارب بينت أيضا أن قياس كثافة نماذج الرمال الجافة (γ_D) بواسطة استخدام العلب ذات القاعدة الصلبة (R.T) والقاعدة المرنة (F.T) أفضل من قياسها بواسطة استخدام العلب (H.T) وسبب ذلك هو صعوبة استخراجها من طبقة التربة.
- 4- الشكل (6) يظهر نتائج التجارب التي تبين أن (γ_D) تزداد كلما قل محتوى الرطوبة (W_C)، ويبين أيضا بالنسبة للطبقة الوسطى لنماذج الرمال، فإن (γ_D) المأخوذة من العلب (R.T) هي أقل من تلك الكثافة المأخوذة من العلب (H.T)، بينما الكثافة المأخوذة من كلا النوعين من هذه العلب تتساوى تقريبا بالنسبة للطبقة السفلى لنماذج الرمال. السبب هو أن العلب (H.T) تسمح بمرور الماء خلالها ولا تحتجزه وبذلك فإن (W_C) الموجود فيها هو نفس (W_C) الموجود في كل طبقة بعكس بقية العلب. لذلك يفضل استعمال العلب (H.T) عن بقية العلب في قياس (γ_D) وقياس (W_C) للتربة الرملية الرطبة والمشبعة.
- 5- يوصى بإجراء مزيد من التجارب باستخدام هذا الجهاز على أنواع أخرى من التربة الجافة والرطبة.

6- يوصى بتطوير جهاز "S.R. E" من حيث تكبير حجمه وتكبير خزان الترسيب وخصوصا مساحة مقطع قاعدتهما وتطوير ميكانيكية اشتغال قاعدته وهناك اهتمام بهذا الشأن.

المراجع

- 1- Kolbuszewski J.J.(1948). An Experimental Study of Maximum & Minimum Porosities of sands, International Conf. of Soil Mech. Foundation Eng. Vol.1 P.158-165.
- 2- Bagnold R.A. (1954). Experiments on Gravity-Free Dispersion of Large Solid Spheres in a Newton Fluid Under Shear Proc. London Ser. A, 225, P. 49-63.
- 3- Kolbuszewski J.J. and Jones R.H.(1961) The Preparation of Sand Samples for Lab. Testing Symp. on Granular Soils, Midland Soc. Soil Mech.& Found. Eng. Vol.4, A6, PP. 107-123.
- 4- Oda, M. (1972) Initial Fabrics and Relation to Mechanical Properties of Granular Material. Soils and Found.Vol. 12, No. 1, pp. 17-36.
- 5- Bieg anousky W. A. & Marcuson W. F. (1976).Uniform Placement of Sand. JGED, Vol. 102, No. GT3, P.229-233.
- 6- Holtz R.D. & Kovacs W.D. (1981). An Introduction to Geotechnical Engineering, Prentice-Hall Inc., Englewood Califfs, New Jersey.
- 7- Miura S. & Toki S. (1982). A sample Preparation Method & Its Effect on Static & Syclic Deformation-Strength Properties of Sand., Japanes Society of Soil Mech. & Found. Eng. Vol. 22 No.1,P.61-71.
- 8- Aldouri R. H. (1993). The Behavior of Single Piles & Pile Group in Calcareous Sediment, PhD. Thesis, University of Sydney.

دراسة تغير مواصفات الخرسانة باختلاف مصادر الرمل المستخدم في الجنوب الليبي

عبد المجيد محمد سالم¹، أحمد محمد بلاش²، فيصل عبد اللطيف العطشان¹

¹عضو هيئة تدريس، كلية الهندسة التقنية - هون

²عضو هيئة تدريس، معهد المهن الشاملة - سوكنة

الملخص

تعتبر مادة الخرسانة من أمثل المواد التي يمكن أن تفي باحتياجات قطاع الإنشاءات من الوحدات السكنية البسيطة إلى الهياكل الكبيرة المعقدة. ويعزى انتشار الإنشاء باستعمال الخرسانة لأنه لا توجد مادة بديلة يمكن أن تستوعب وتخدم الانتشار العمراني الكبير الذي يحدث في العالم. وأيضاً لأن مادة الخرسانة يمكن أن تصنع بمهارة بسيطة وبدائية. وكذلك للميل الملحوظ في الفترة الأخيرة إلى التوجه الرأسي في الإنشاء بدلا من التوجه الأفقي لاستغلال المساحات وللتميز عن باقي المباني. ومن هنا تبرز أهمية دراسة مواد الخرسانة ومقارنة مكوناتها المصنعة محليا للحصول على خرسانة مسلحة ذات مقاومة عالية للمساهمة في توجه ليبيا نحو التطور العمراني والإنشائي. ويعتبر الركام الناعم المادة المألوفة للفراغات الموجودة بين الحصويات الخشنة ويعمل على زيادة تشغيلية الخرسانة وإمكانية ضخها. ويهدف هذا البحث إلى دراسة تغير مواصفات الخرسانة باختلاف مصادر الرمل في الجنوب الليبي. وللحصول على نتائج منطقية تم استخدام ثلاثة أنواع من الرمل (رمل سبها - رمل ودان - رمل زلة) مع استخدام نفس نوع الإسمنت لجميع الخلطات ونوع واحد من الركام الخشن وبنفس كمية الماء لتحديد تأثيره على خواص الخرسانة المتصلدة والطازجة. وأظهرت النتائج تفاوتاً في تأثير أنواع الرمل المستخدم على خواص الخرسانة من حيث تحملها للضغط ومقاومتها للشد.

مقدمة

من المعروف أن الخرسانة هي ثاني أكثر المواد التي يستهلكها الإنسان بعد الماء، الأمر الذي يحتم مزيداً من التركيز البحثي حول طرق تطوير خواصها وتقنيات تنفيذها. يمثل الركام الجزء الأكبر من الخرسانة ويشترك بحوالي 70% من حجمها. على الرغم من أن الركام يعتبر كمادة خاملة ومألوفة إلا أنه له دور فعال في خواص الخرسانة المنتجة، وبالتركيز على هذا العنصر يمكن الحصول على خرسانة بجودة أفضل. في هذه الدراسة يتم التركيز على الركام الصغير بشكل خاص، وهو عبارة عن حبيبات صخرية صغيرة تكونت كنتيجة لتفتت المكونات الصخرية بعوامل مختلفة. ينحصر مقياس الركام الصغير بالحبيبات التي تمر أغلبها من المنخل القياسي بقطر 9.76 mm. وللحصول على ركام صغير ذي جودة عالية يجب أن تكون حبيباته نظيفة وصلدة ولا يحتوي على أية مواد ضارة، كما يجب أن يكون بتدرج مناسب ليساعد على تشغيلية أفضل للخلطة الخرسانية ولتقليل نسبة ماء الخلط. كما أثبتت الدراسات أن مقاومة الضغط للخرسانة الخالية من الركام الناعم هي أقل بكثير من الخرسانة العادية وهي في المتوسط تبلغ 1.4 نيوتن/مم²[1].

نظرا للمساحة الشاسعة للجنوب الليبي، تتعدد مصادر الركام بنوعيه الكبير والصغير، وتختلف تبعا لذلك خصائصه وأدائه في الخرسانة. لهذا توجب تسليط مزيد من الدراسات والبحوث حول أنواع الركام المتوفرة في المنطقة. تهدف الورقة إلى دراسة خواص الخرسانة باختلاف مصادر الرمل المستخدم في جنوب ليبيا. وللحصول على هذا الهدف تم استخدام ثلاثة أنواع من الرمل (رمل سبها - رمل ودان - رمل زلة)، الشكل (1)، مع توحيد الإسمنت لجميع الخلطات (إسمنت بورتلاندي عادي) ونوع واحد من الركام الخشن وبنفس كمية الماء بحيث يكون المتغير الوحيد في الخلطات الخرسانية هو (الرمل).



الشكل (1) صورة توضح أنواع الرمل المستخدم

إعداد العينة

تم إعداد ثلاثة أنواع من الخلطات الخرسانية لكل نوع من الركام الناعم وذلك حسب مصدر الركام الناعم المستعمل وقد سميت الخلطات طبقا لنوع الركام الناعم المستخدم بها. ومن هذه الخلطات تم صب 12 مكعبا خرسانيا مقاس 150 x 150 x 150 مم لاختبار مقاومة الضغط، وأيضا تم صب 12 إسطوانة خرسانية مقاس 150 مم x 300 مم لاختبار مقاومة الشد غير المباشر، وعند إعداد العينة تم صب الخرسانة على هيئة ثلاث طبقات وهزه بواسطة الهزاز الميكانيكي لمدة 10 ثواني لكل طبقة ثم سوي السطح وتركت العينات في الهواء داخل المعمل وبعد 24 ساعة تم فك القوالب وغمر المكعبات والإسطوانات في الماء لمدة 7 و 28 يوم لغرض المعالجة.

المواد المستخدمة

1- الماء:

تم استعمال ماء صالح للشرب خال من الشوائب أو المواد الضارة، لخلط وللمعالجة الخرسانة.

2- الإسمنت:

تم استخدام الإسمنت البورتلاندي العادي شائع الاستخدام. الجدولان 1 و 2 يبينان اختبارات نسبة النعومة للإسمنت المستخدم.

جدول (1) نتائج إختبارات الإسمنت بناء على المواصفات الأمريكية

وزن العينة	نسبة المحجوز على المنخل #200 (%)	الحدود المسموح بها
100 gm	19.1% = 100 * (19.1/100)	لا يزيد عن 22%

جدول (2) نتائج إختبارات الإسمنت بناء على المواصفات البريطانية والمصرية

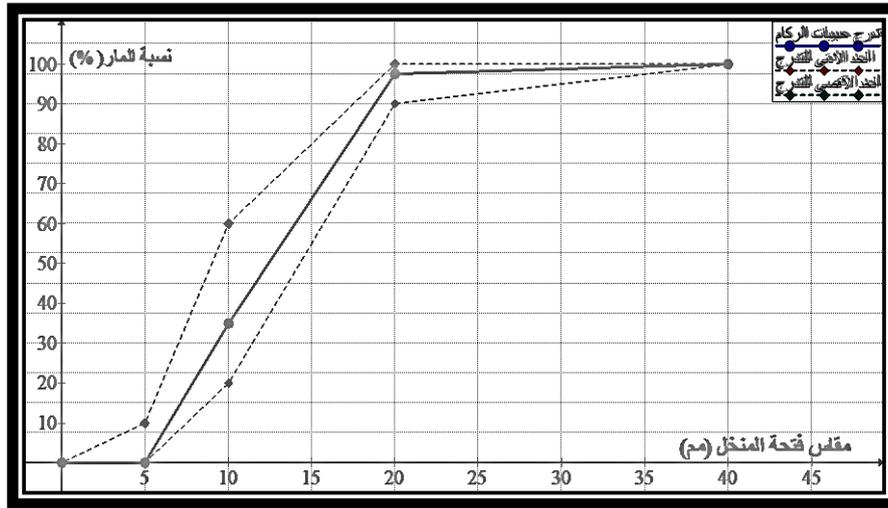
وزن العينة	نسبة المحجوز على المنخل #170 (%)	الحدود المسموح بها
100 gm	$8\% = 100 * (8/100)$	لا يزيد عن 10%

3- الركام الصغير (الرمل)

الرمل المستعمل في هذا البحث هو من ثلاثة مصادر ذو تدرج مختلف وهذا الرمل المستعمل من (ودان _ زلة _ سبها).

4- الركام الكبير

الركام المستعمل ركام الجفرة وهو من مصدر (محجر الجفرة البركاني) ويعد ذا تدرج في الحجم بطريقة انسيابية وجيدة (الشكل 2). الجدولان 3 و4 يبينان نتائج إختبارات والتحليل بالمناخل للركام الكبير.



شكل (2) التدرج الحبيبي للركام الكبير حسب المواصفات الأمريكية

جدول (3) نتائج اختبارات الركام الكبير

نتيجة الإختبار	نوع الإختبار
1.43	نسبة الإمتصاص %
2.65	الوزن النوعي
1323	الوزن الحجمي kg/m ³ (للركام المدموك)
1260	الوزن الحجمي kg/m ³ (للركام السائب)
18.5	مقاومة الركام للبري %

جدول (4) التحليل بالمناخل للركام الكبير

نسبة المار (%)	فتحة المنخل (mm)
100	40
97.5	20
35	10
0	5
	Pan

المقاس الإعتباري الأكبر = 20

معياري النوعية = 2.05

عرض ومناقشة النتائج

يشمل هذا الجزء عرض ومناقشة النتائج المتحصل عليها لاختبارات عينات الركام الصغير (الرمال) المستعملة (رمل زلة، رمل سبها، رمل ودان) لتحديد خواصه وكذلك المنحنيات الخاصة بمقاومة الضغط ومقاومة الشد غير المباشر لبيانات الإختبارات المعملية.

إختبارات الركام الصغير (الرمال)

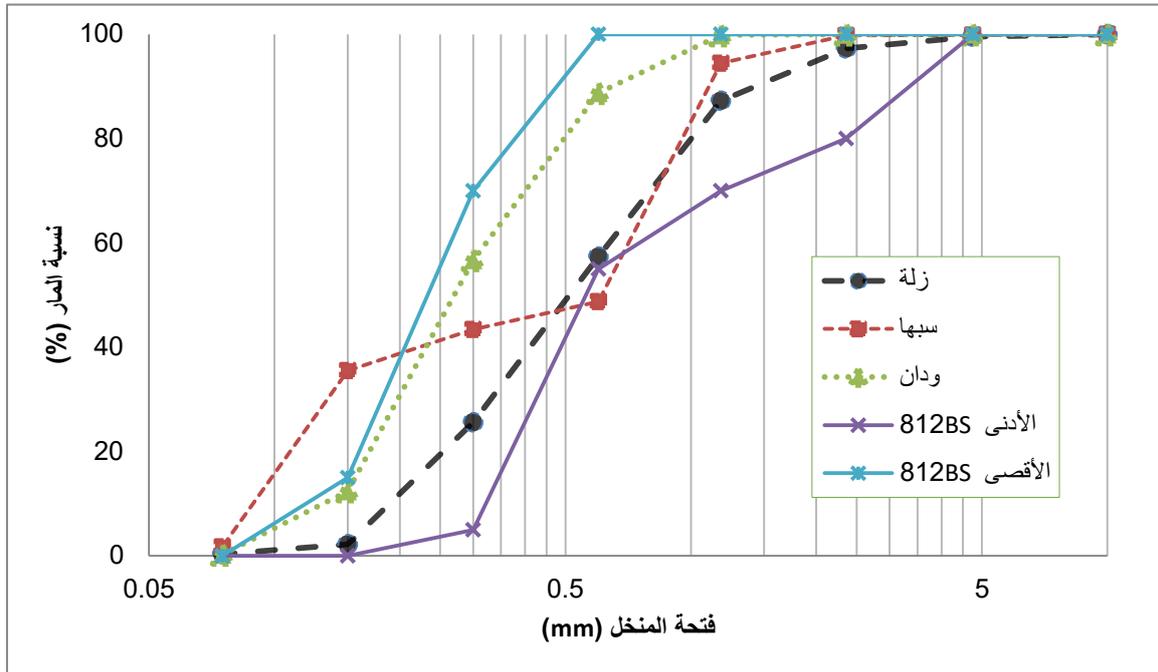
التحليل بالمناخل للركام الصغير

بعد إجراء هذه التجربة على عينات من رمل زلة ورمل سبها ورمل ودان لتحديد التدرج الحبيبي وكذلك معيار النوعية لكل منها ومن خلال تحديد مقاسات حبيبات الرمل، تبين أن حبيبات رمل زلة المارة من فتحات المناخل (4 ، 2 ، 1) mm على التوالي بنسبة (99.54، 97.28، 87.24) % تمر بنسبه أقل من رمل ودان وسبها مما يدل على أنها تحتوي على حبيبات خشنة أكثر من رملي ودان وسبها اللذان أعطيا نسبة مرور أعلى عند هذه المناخل. كذلك قد تبين أن حبيبات رمل سبها المارة من فتحات المناخل (0.15 و 0.075) mm على التوالي بنسبة (35.52 و 1.72) % تمر بنسبه أعلى من رملي زلة وودان مما يدل على أنهما يحتويان على حبيبات ناعمة أكثر من رملي زلة وودان.

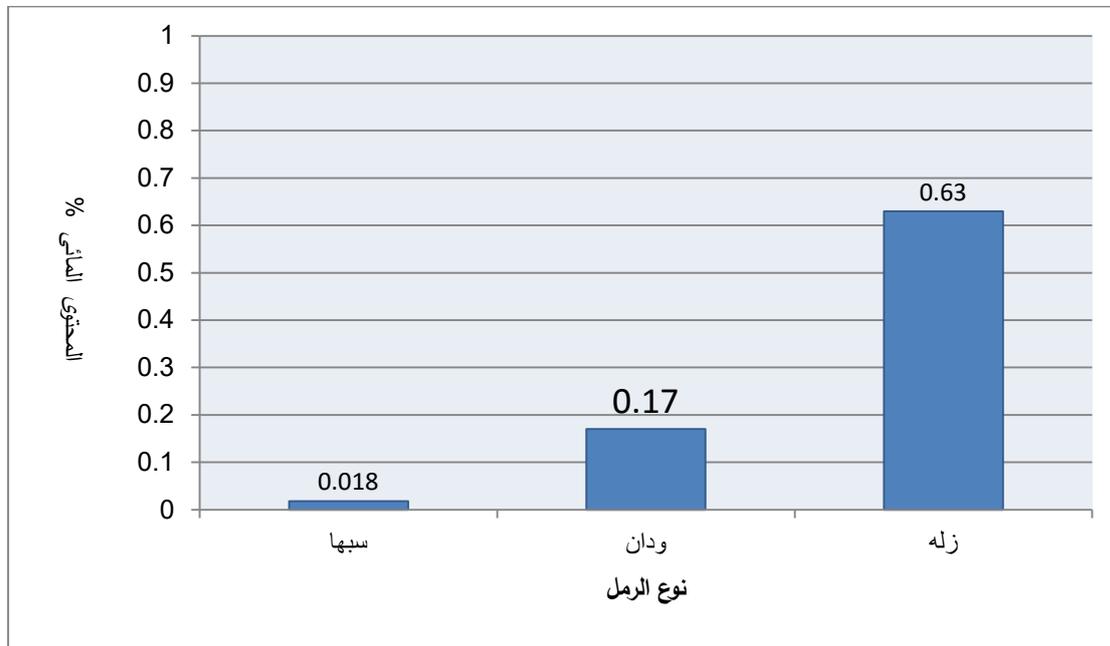
الشكل 3 يبين التدرج الحبيبي لأنواع الرمل المختلفة وكذلك الحدين الأدنى والأقصى طبقا للمواصفات البريطانية (BS 812). يلاحظ أن التدرج لرملي ودان وزلة بقيا ضمن حدود المواصفات، على العكس فإن رمل سبها غير مطابق للمواصفات.

إختبار محتوى الرطوبة والوزن النوعي

بعد إجراء هذه التجربة على عينات من (رمل زلة، رمل سبها، رمل ودان) تبين أن النتائج المتحصل عليها من رمل سبها (0.08%) هي أقل من رمل ودان (0.17%) ورمل زلة (0.63%) وهي تدل على أن النسبة المئوية لوزن الماء الموجود في رمل سبها أقل من رملي ودان وزلة (شكل 4).

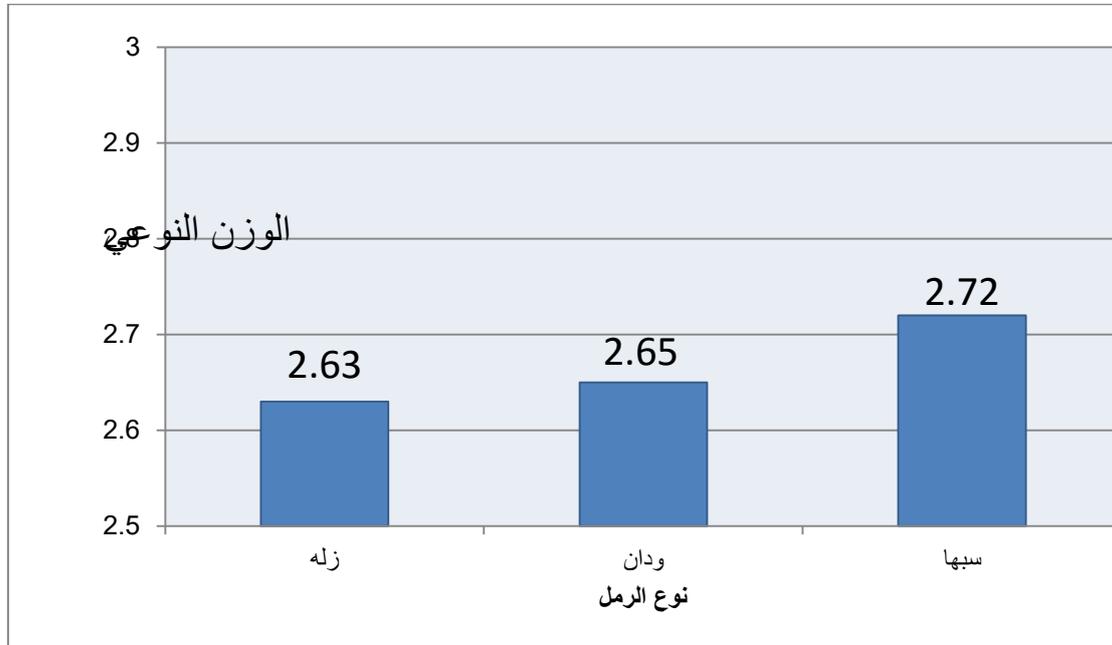


الشكل (3) الفرق في التدرج الحبيبي للمنطقة



شكل (4) الفرق في محتوى الرطوبة

وأعطت نتائج تحديد الوزن النوعي لرمل زلة (2.63) الذي كانت قيمته أقل من رمل ودان (2.65) وهي ضمن حدود المواصفات البريطانية (من 2.5 الى 2.7) (BS 812: Part 2: 1995). أما رمل سبها (2.72) فهو يتعدى قيمة المواصفات قليلاً، (شكل 5).



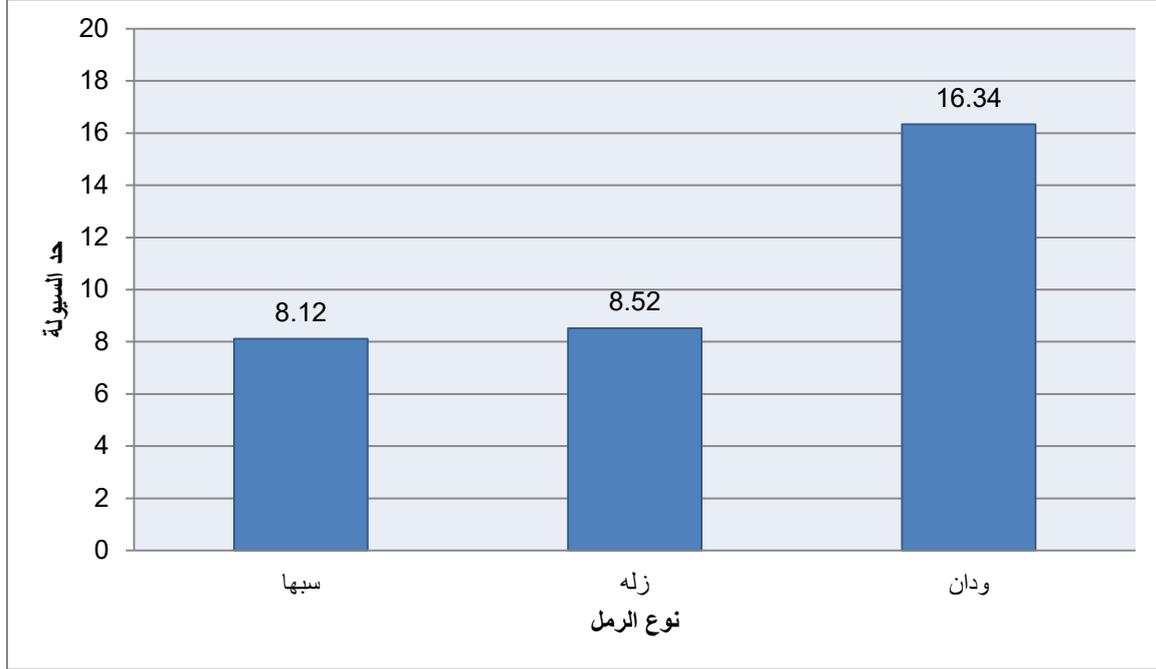
شكل (5) الفرق في الوزن النوعي

إختبار حد السيولة باستخدام الإختراق

بعد إجراء هذه التجربة على عينات من رمال (زله، سبها، ودان) إتضح أن النتائج المتحصل عليها تبين أن رمل سبها (8.12%) يحتوي على أقل نسبة من المحتوى المائي ولذلك يعطي أفضل قوام وأكثر تماسكاً وتقارباً من رمل زلة (8.52%) ورمل ودان (16.34%)، (شكل 6).

نتائج إختبارات الهبوط للخرسانة الطازجة

يلاحظ من نتائج إختبارات الهبوط للخرسانة الطازجة على عينات الرمل (زلة، سبها، ودان) أنها متقاربة في النتائج وهي علي التوالي (60 ، 65 ، 70) وهي ضمن حدود القوام اللدن ولذلك فإن تغيير نوع الرمل لا يؤثر بشكل كبير على مقدار الهبوط للخطة الخرسانية الطازجة.



شكل (6) مقارنة حد السيولة لعينات الرمل المختلفة

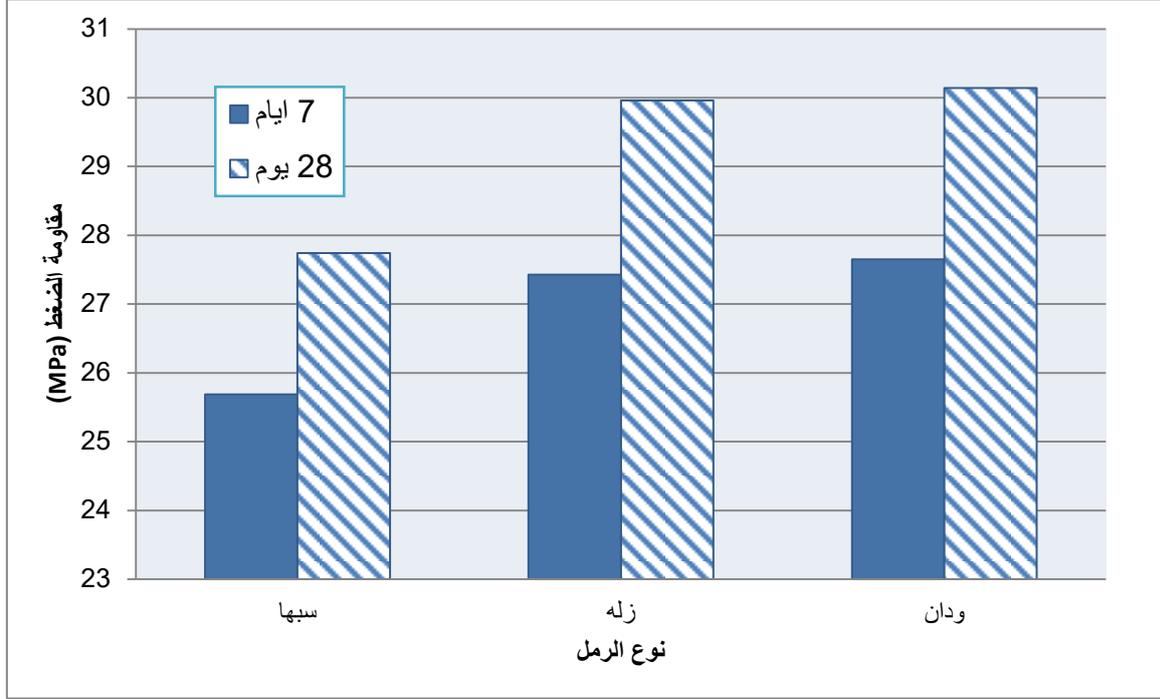
إختبارات الخرسانة المتصلدة**أولاً: إختبار مقاومة الضغط**

يشمل هذا الجزء النتائج الخاصة باختبارات مقاومة الضغط للعينات التي تحتوي على الرمل (زلة، سبها، ودان) بعد معالجتها بالغمر في حوض المعالجة عند عمري 7 و 28 يوم. بعد استخراج العينات من الماء تركت بالهواء لتجف تم إختبارها لتحديد حمل الكسر لكل عينة على حدة ثم حساب مقاومة الضغط وأخذ المتوسط للعينات. الجدول (5) يوضح مقاومة الضغط للخلطات الثلاث بعد مرور 7 و 28 يوم من المعالجة بالماء.

الجدول (5) مقاومة الضغط للخلطات

العينة	العمر (يوم)	متوسط مقاومة الضغط (N/mm ²)	نسبة الزيادة في مقاومة الضغط من عمر 7 إلى عمر 28 يوم
سبها	7	25.69	%7.4
	28	27.74	
زلة	7	27.43	%8.4
	28	29.96	
ودان	7	27.65	%8.3
	28	30.14	

بشكل عام، تبين النتائج أن مقاومة الضغط أعلى للعينات التي تحتوي على رمل ودان مقارنة بعينات رملي زلة وسبها، كما هو موضح في الشكل (7). كما أثبتت النتائج أن نسبة زيادة مقاومة الضغط لمكعبات رمل سبها أقل منه للمكعبات المصنوعة باستخدام رملي زلة وودان.



شكل (7) نتائج إختبارات مقاومة الضغط للمكعبات

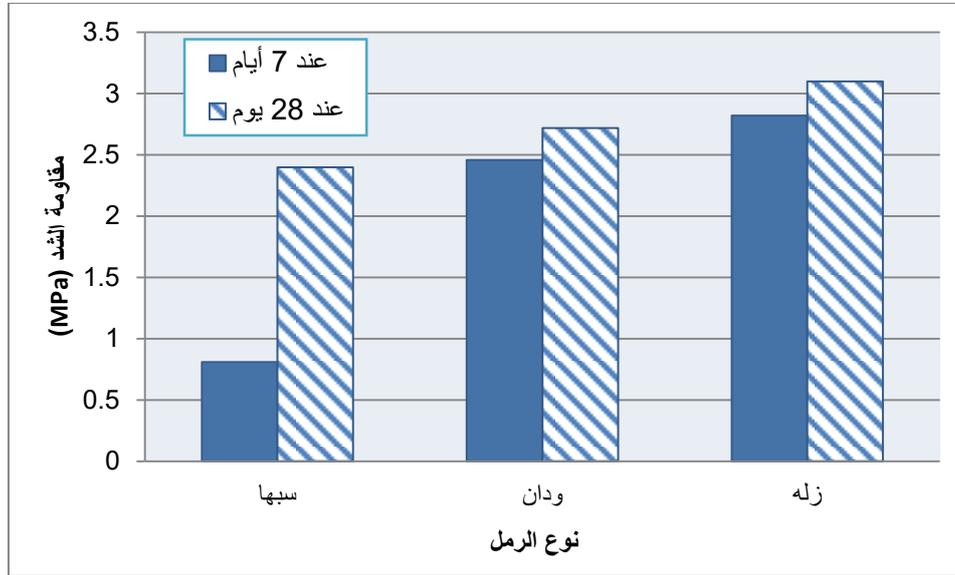
ثانياً: إختبار مقاومة الشد

تتأثر مقاومة الخرسانة للشد بمقاومة ونوعية وخواص حبيبات الرمل المستخدمة. يشمل هذا الجزء النتائج الخاصة باختبارات مقاومة الشد للعينات التي تحتوي على الرمل (زلة، سبها، ودان) بعد معالجتها بالغمر في حوض المعالجة عند عمري 7 و28 يوم. الجدول (6) يوضح مقاومة الشد غير المباشر للخلطات الثلاث بعد مرور 7 و28 يوم من المعالجة بالماء.

تعتبر الخرسانة ضعيفة لمقاومة الشد حيث تتراوح قيمة تحمل الخرسانة للشد حوالي من (8%) إلى (12%) من مقاومة الضغط، ومن خلال النتائج المسجلة إتضح أن قيمة مقاومة الشد للعينات التي تحتوي على رمل زلة أعلى من التي تحتوي على رمل ودان ورمل سبها كما هو موضح بالشكل (8). كذلك، فإن نسبة زيادة مقاومة الشد لمكعبات رمل سبها أقل بشكل ملفت مقارنة بالمكعبات المصنوعة باستخدام رملي زلة وودان.

الجدول (6) مقاومة الشد غير المباشر للخلطات

إسم العينة	العمر (يوم)	متوسط مقاومة الشد غير المباشر (N/mm ²)	نسبة الزيادة في مقاومة الشد من عمر 7 إلى عمر 28 يوم
سبها	7	0.81	%66.3
	28	2.4	
زلة	7	2.82	%9.0
	28	3.1	
ودان	7	2.46	%9.6
	28	2.72	



شكل (8) نتائج إختبارات الشد غير المباشر للإسطوانات عند 7 و 28 يوم

الخلاصة

تم إجراء جزء من الإختبارات المعملية بمعامل الخرسانة ومواد البناء في كلية التقنية الهندسية بهون وكلية الهندسة جامعة سرت وقد تطرق هذا البحث إلى معرفة بعض الخواص الميكانيكية لثلاثة أنواع من الرمل مستخدمة في الجنوب الليبي وهي (رمل زلة، رمل سبها، رمل ودان) وتأثيرها على مقاومة الضغط والشد للخرسانة وبعد إجراء التجارب المتوفرة أدت نتائج هذا البحث إلى الخلاصة التالية:

1. رمل زلة يحتوي على حبيبات أكثر خشونة من رمل ودان وسبها. كما أن التدرج الحبيبي لرملي ودان وزلة بقيا ضمن حدود المواصفات، على العكس فإن رمل سبها غير مطابق لحدود المواصفات البريطانية.
2. بينت النتائج أن الوزن النوعي لرملي زلة وودان هما ضمن حدود المواصفات البريطانية على عكس رمل سبها فهو يتعدى القيم القصوى للمواصفات قليلا.

3. من خلال التجارب أعطت النتائج أن العينات التي تحتوي على رمل ودان أكثر تحملا للضغط من العينات التي تحتوي على رمل سبها ورمل زلة.
4. أظهرت النتائج أن الخرسانة المزودة برمل زلة أكثر تحملا للشد من العينات التي تحتوي على رمل ودان ورمل سبها.

المراجع

أحمد بن زيتون، 2002، "مقاومة الضغط للخرسانة الخالية من الركام الناعم"، المؤتمر الأول لمواد البناء والهندسة الإنشائية.

إمكانية استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في صناعة الخرسانة

د. م. فؤاد فروح فرج
أستاذ مساعد - قسم الهندسة المدنية
كلية العلوم الهندسية - جامعة سبها

1- ملخص

لا شك أن الأزمة المائية تزداد تفاقمًا في أغلب الدول العربية، مما يسبب قلقًا رئيسيًا في السياسات المستقبلية، وقد اتخذت الكثير من الدول الإحتياطات اللازمة للحد من هدر المصادر المائية والتقنين في استهلاك المياه الصالحة للشرب خاصة والمياه الصالحة للإستخدام في الزراعة [2] [3] والمجالات الأخرى ثانياً. إن الإستهلاك الوسطي للمياه في صناعة الخرسانة في مدينة متوسطة كثافة السكان مثل سبها تصل إلى آلاف الأمتار المكعبة من المياه الصالحة للشرب وهذا ما يقود إلى البحث عن البديل في استهلاك هذه المادة إذا أمكن وإعادة تدوير المياه لكي تستخدم في الزراعة وصناعة الخرسانة ومواد مشتقات الخرسانة [1].

أعتمد في البحث على تقييم كمية الإستهلاك المائي لصناعة الخرسانة ومشتقاتها في مدينة سبها (كمثال) وتحديد الوفرة في حالة استخدام المياه المعالجة بدلا من المياه الصالحة للشرب في حال وجود دلائل إيجابية للبحث، لقد تم العمل على إجراء بعض التجارب لخرسانات صنعت بمياه صالحة للشرب (نقية تماما) وكذلك نفس الخرسانات صنعت بمياه مستخرجة من محطات التصفية المتواجدة في المنطقة الجنوبية (ثلاث محطات) وصياغة النتائج المتحصل عليها لكي تصبح مرجعا في إمكانية استخدام المياه المعالجة وتوفير مياه الشرب النقية لأغراض أهم من ذلك.

الكلمات الدالة

الخرسانة، مياه الخرسانة، محطات المعالجة، مقاومة الخرسانة

2-المقدمة

في البحث المقدم وحسب الظروف المتاحة حاليا في ليبيا تم اعتماد دراسة تأثير المياه المعالجة في محطات التكرير والتصفية ولمحطة واحدة فقط على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة، وكان الهدف من البحث تحديد مدى تأثير المياه المعالجة سلبا كان أم إيجابا على مواصفات الخرسانة وتحديد إمكانية إستخدام المياه المعالجة وتحديد مجال الإستخدام. إن صناعة الخرسانة ومشتقاتها في مدينة متوسطة الحجم مثل سبها تقدر يوميا وبشكل تقريبي بـ 200000 - 400000 م³/يوم من المياه وغالبا ما تستخدم المياه الصالحة للشرب في الأعمال الخرسانية بشكل كامل [1].

بالنظر إلى ما تقدم وبناتج البحث إن كانت إيجابية يمكن توفير الكم الهائل من المياه الصالحة للشرب لاستخدامها في الشرب والزراعة وأشياء أخرى يمكن أن تؤدي بالنهاية إلى رفع كمية المخزون المائي خصوصا في ليبيا التي تفتقر وبشكل كبير للمياه الصالحة للشرب. وبناء عليه فقد أخذ بعين الإعتبار النتائج وربطها بالواقع الحالي

لمحطات التكرير والتصفية وعدم التعميم إلا إذا أجريت دراسة عامة لطبيعة نتائج المحطات في كامل المساحة الليبية [1] [4].

3- فرضية البحث

بهدف الحصول على نتائج تحاكي الواقع ولا يدخل فيها أي مؤثر آخر سوى المياه الداخلة في عملية صناعة الخرسانة فقد أجريت الدراسة وبشكل دقيق على خلطة خرسانية واحدة المكونات تماما مصممة وفقا للطريقة البريطانية. المتغير الوحيد فيها هو نوعية المياه المستخدمة فقط، وتم توحيد طرق الخلط والدمك لجميع العينات بشكل مماثل. واستخدمت مياه الصرف الصحي لمحطة المعالجة لمدينة سبها فقط [5] وتم أخذ عينات المياه منها بشكل عشوائي بأوقات مختلفة قبل وبعد المعالجة وكانت العينات التي تم استخدامها مبينة في الجدول (1).

الجدول (1) الخلطات المدروسة في البحث

رمز العينة	مواصفات مياه الخلط للعينة المدروسة
A	خلطة خرسانية بمياه نقية صالحة للشرب (خلطة المقارنة)
B	خلطة بمياه صرف صحي معالجة بدون ترقيد
C	خلطة بمياه صرف صحي مرقدة مدة أسبوعين
D	خلطة بمياه صرف صحي مرقدة مدة ستة أسابيع

وكما هو مبين في الجدول فإن اعتماد أربعة أشكال من العينات كان بهدف تحديد تأثير الترقيد على المياه المعالجة من حيث طبيعة التحول الحاصل للمياه فيزيائيا وتأثيره على مواصفات الخرسانة في ما بعد، وقد تم اختبار الخواص التالية للخرسانة وللأربع حالات:

- 1- العجينة النظامية للإسمنت وزمن الشك
- 2- لزوجة المياه المستخدمة
- 3- معامل الدمك
- 4- مخروط إبرامس
- 5- مقاومة الضغط (3- 7- 14- 28 يوم)

4 - نتائج الإختبارات ومناقشتها

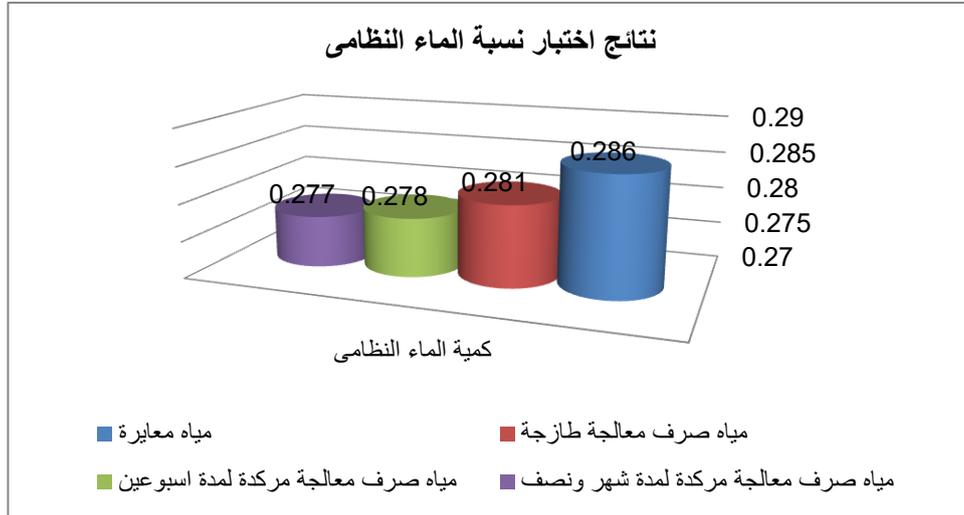
4-1 العجينة النظامية

من خلال النتائج المبينة في الجدول (2) تبين أن المياه المعالجة متغيرة بطبيعتها ولزوجتها عن المياه العادية المستخدمة وأن هذا التغير في طبيعتها أدى إلى تغيير في كمية المياه اللازمة لإمهاء الإسمنت (الماء النظامي) وقد اتضح أن المياه المعالجة كانت أقل من المياه العادية للحصول على العجينة النظامية وكان واضحا التأثير الواضح للترقيد على كمية المياه اللازمة للعجينة النظامية، فزيادة زمن الترقيد قلت كمية الماء النظامية مما يؤكد وجود مواد في عينات المياه المعالجة وهذه المواد تتبدل بطبيعتها تبعاً لزمن الترقيد وهي مياه لزجة تزداد لزوجتها تبعاً لزمن الترقيد مما يسهل الإحتكاك بين جزيئات الإسمنت ويعمل على تقليل الماء النظامي اللازم للعجينة الإسمنتية،

الجدول (2)، الشكل (1)، أما زمن الشك البدائي والنهائي فلم يتأثر بشكل واضح بطبيعة المياه المستخدمة في الخلط (الجدول 2) [3] [6].

الجدول 2 كمية الماء اللازم للعجينة النظامية وزمن الشك البدائي والنهائي للإسمنت باختلاف نوعية المياه المستخدمة [1]

نوع المياه	مياه معايرة	مياه صرف معالجة طازجة	مياه صرف معالجة مرقدة لمدة أسبوعين	مياه صرف معالجة مرقدة لمدة شهر ونصف
	A	B	C	D
كمية الماء النظامي (w/c)	0.286	0.281	0.278	0.277
زمن الشك الابتدائي (دقيقة)	122	125	124	120
زمن الشك النهائي (دقيقة)	235	239	237	236



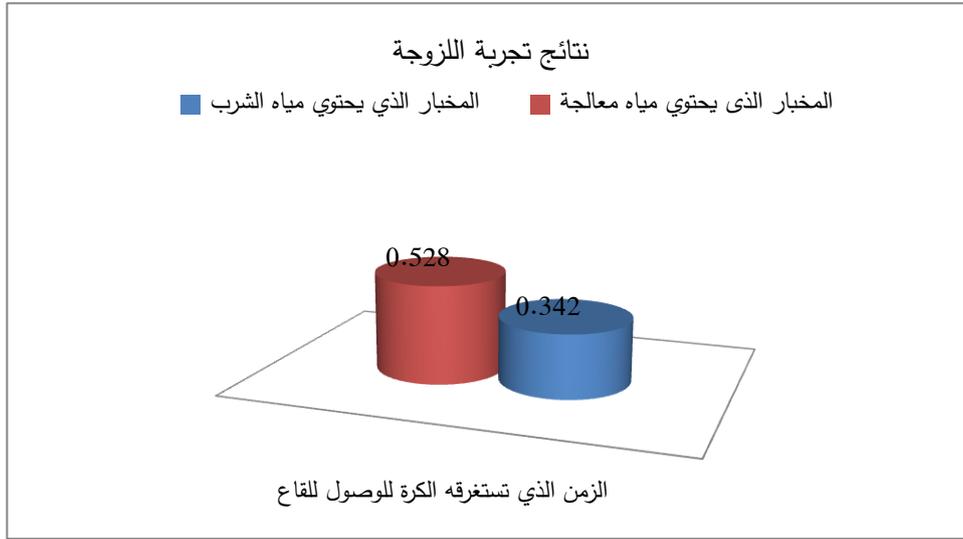
الشكل (1) كمية الماء النظامي اللازم باستخدام أنواع مختلفة من مياه الخلط

4-2 اختبار لزوجة المياه المستخدمة في الخلط

بتبدل لزوجة المياه تتغير كميته المستخدمة في الخلط وهذا يعود إلى الخاصية التشحيمية ومن الملاحظ وجود هذه الخاصية في المياه المعالجة، ولتحديد لزوجة المياه المستخدمة في التجربة تم اعتماد سرعة سقوط كرة حديدية داخل مخبر [3] ومقارنتها بسرعة سقوط نفس الكرة في المياه المعيارية المستخدمة في الخلطة. أخذنا بعين الإعتبار تثبيت جميع المتغيرات (الحرارة، وجميع المتحولات التي تؤثر في لزوجة الماء) ما عدا نوعية المياه المستخدمة، تبين وبشكل واضح أن زمن سقوط الكرة في مياه الصرف المعالجة كان أكبر بمرتين تقريبا بالمقارنة بسرعة السقوط في المياه العادية الصالحة للشرب مما يؤكد أن لزوجة المياه المعالجة والمستخدم في التجارب كان أكبر من لزوجة المياه العادية المستخدمة في الخلط وهذه الخاصية أدت إلى تحسين طبيعة الخلط وتشغيلية الخرسانة المنفذة وهبوط المخروط وتجانس الخلطات المنفذة بهذه المياه الجدول (3) الشكل (2).

جدول (3) زمن هبوط الكرة المعدنية عبر المخبار باختلاف المياه المستخدمة

المخبر الذي يحتوي مياه معالجة مرقدة لأسبوعين	المخبر الذي يحتوي مياه الشرب	للزوجة
C	A	
0.63	0.25	الزمن الذي تستغرقه الكرة للوصول للقاع (ثانية)
0.43	0.32	
0.38	0.23	
0.7	0.38	
0.535	0.295	المتوسط



الشكل (2) لزوجة المياه المستخدمة في الخلط بقياس سرعة الهبوط

3-4 معامل الدمك

من خلال النتائج التي أجريت للأربع عينات، الجدول (1)، كانت النتائج متقاربة ولجميع العينات حيث أن معامل الدمك لم يتأثر بشكل واضح بنوعية المياه المستخدمة وكان متقاربا في الأربع حالات المدروسة. الجدول (4) يوضح النتائج لمعامل الدمك.

الجدول (4) معامل الدمك للعينات المدروسة

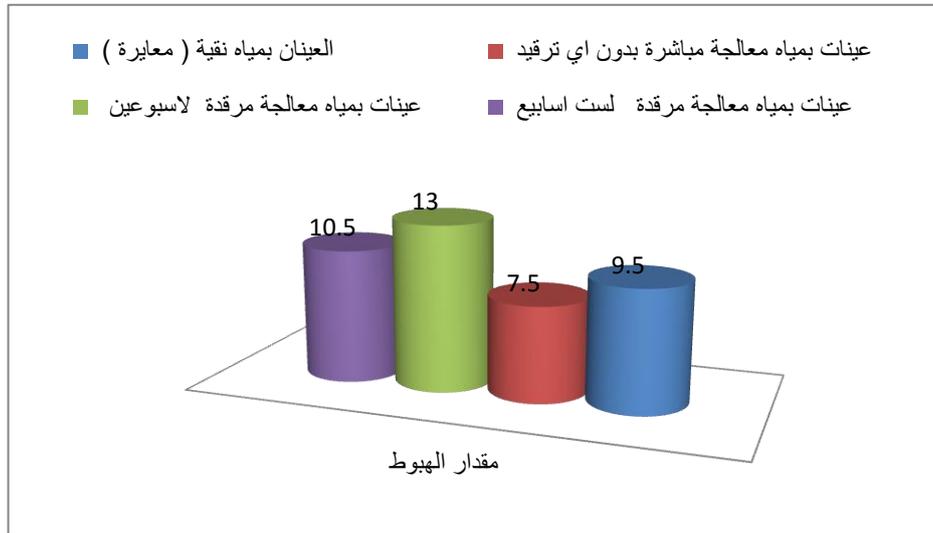
معامل الدمك	الدمك الكامل	السقوط الحر		
92.99%	18.42	17.13	A	العينات بمياه نقية (معايرة)
93.38%	18.24	17.2	B	عينات بمياه معالجة مباشرة بدون ترقيد
92.09%	18.84	17.35	C	عينات بمياه معالجة مرقدة لأسبوعين
94.16%	18.49	17.41	D	عينات بمياه معالجة شهر ونصف

4-4 هبوط مخروط إبرامس

إختبار هبوط مخروط إبرامس للعينات المدروسة ولنفس كمية المياه في الأربع حالات والنتائج المبينة في الجدول (5) يؤكد على أن طبيعة المياه المعالجة والمرقدة هو عامل مساعد في تحسين تشغيلية الخرسانة المصنعة حيث أن المياه المعالجة لها طبيعة تشحيمية أكبر من المياه العادية نتيجة لوجود بعض المواد العضوية فيها وهذه المياه تعتبر مياه طرية قليلة العسورة [3]، بينما المياه الصالحة للشرب فهي مياه عسرة. وبالنظر إلى النتائج يتبين أن المياه المعالجة ترفع من تشغيلية الخرسانة بشكل واضح وبزيادة زمن الترقيد تزداد فعاليتها التشحيمية مما أدى إلى هبوط أكبر للمخروط وتشغيلية أكبر، الجدول (5)، الشكل (3).

الجدول (5) هبوط مخروط إبرامس للعينات المدروسة

نوع الهبوط	مقدار الهبوط (سم)	الخلطة الخرسانية	
لن	9.5	A	العينات بمياه نقية (معايرة)
لن	7.5	B	عينات بمياه معالجة مباشرة بدون ترقيد
مبتل	13	C	عينات بمياه معالجة مرقدة لأسبوعين
مبتل	10.5	D	عينات بمياه معالجة مرقدة شهر ونصف



الشكل (3) هبوط مخروط إبرامس باستخدام نوعيات مياه معالجة ومياه نقية (معايرة)

4 - 5 مقاومة الضغط

مع العلم أنه في نتائج الإختبار باعتماد طريقة التصفية وإزالة النتائج غير المنطقية لبعض العينات إلا أن السلوك واضح لازدياد المتانة بزيادة الزمن وبشكل واضح لجميع العينات المدروسة، وقد تبين أن نتائج اختبارات المقاومة للعينات التي استخدمت فيها المياه المعالجة لم تؤثر سلبا على نتائج تزايد المقاومة بل كانت أفضل منها في بعض

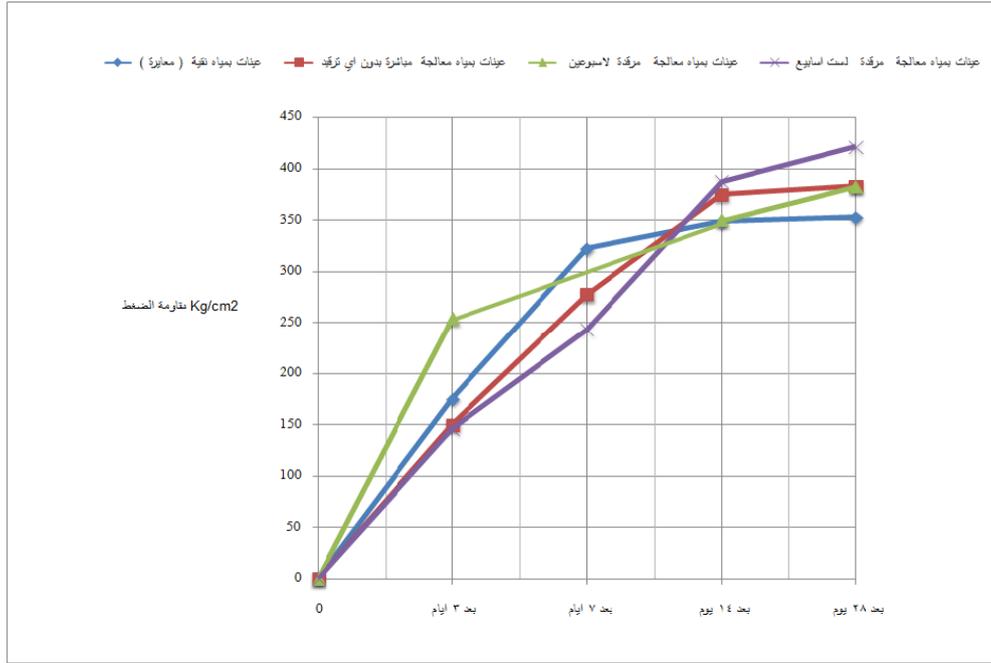
الأحيان، الجدول(6). تبين أن المياه المعالجة وبشكل واضح لم تخفض من متانة الخرسانة بل كانت موازية لها وأفضل منها في حالتين واضحتين، الشكل (4)، وقد كان تأثير الترقيد إيجابيا على المقاومة أخذًا بعين الاعتبار المقاومة تبعا للزمن وبشكل يمكن أن يكون معتمدا للعينات المختبرة المأخوذة من محطة تصفية سبها. يمكن القول أن المقاومة لم تتأثر سلبا بالمياه المعالجة بل تتحسن بنسبة بسيطة وهذه النتائج لا يجب تعميمها على كل محطات المعالجة نظرا للفرق بين طبيعة مخرجات كل محطة وواجب دراستها بشكل منفرد .

5- الإستنتاجات والتوصيات

- 1- إن النتائج المتحصل عليها خاصة بمخرجات محطة التصفية في مدينة سبها وتعميمها يحتاج إلى تثبيت الدراسة على محطات التصفية في كامل ليبيا.
- 2- لا بد من تحديد العناصر الكيميائية بعد التصفية بهدف تحديد نسبها وتأثيرها على المنتجات الإسمنتية خاصة المسلحة منها.

الجدول(6) نتائج مقاومات الضغط للعينات باستخدام مياه مختلفة

جدول يبين نتائج المقاومة kg/cm^2								
تاريخ الفحص								
الوسطي	بعد 28 يوم	الوسطي	بعد 14 يوم	الوسطي	بعد 7 أيام	الوسطي	بعد 3 أيام	
353	133	349	214	323	298	175	174	A
	266		331		312		181	A
	385		153		214		168	A
	322		367		358		179	A
383	249	375	379	278	279	150	193	B
	341		363		259		119	B
	384		384		265		110	B
	425		632		307		179	B
383	352	350	248	290	336	254	257	C
	412		295		270		268	C
	180		366		260		220	C
	385		389		163		272	C
422	446	388	371	243	246	146	89	D
	392		377		215		143	D
	410		243		175		212	D
	409		415		270		140	D



الشكل (4) مقاومة ضغط العينات المختبرة باستخدام مياه الصرف المعالجة ومياه معايرة

- 3- بينت النتائج تحسين لزوجة الخلطات التي استخدم فيها مياه الصرف الصحي المعالجة مما حسن من إمكانية الخلط وإمكانية تخفيض كمية الماء المستخدم في الخلط مما يحسن في مقاومة المنتجات الخرسانية.
- 4- ترقيد مياه الصرف الصحي المعالجة يؤدي إلى تحسين مواصفات هذه المياه على أن لا يزيد زمن الترقيد عن أسبوعين.
- 5- يوصي بزيادة الأبحاث في مجال استخدام المياه المعالجة لصناعة الخرسانة لما فيه من عوامل تحسين بيئية وقدرة على تحسين الناتج الإقتصادي.

6 - المراجع

- 1- د. فؤاد فروج فرج، د. عمر أسعد، "إعادة تدوير مخلفات البناء واستخدامها في صناعة مواد البناء"، المؤتمر الأول للتشييد في المناطق الصحراوية، سبها، 2008.
- 2- ناجي ديوب، "دراسة الزيوت والشحوم المصروفة إلى شبكات الصرف الصحي"، رسالة ماجستير، جامعة تشرين، قسم الهندسة البيئية، 2009.
- 3- عمر بن عبد الله لهاززي، "تعيين لزوجة السوائل والمحاليل"، منهج تعليمي، السعودية 2010.
- 4- م. محمود خالد كرم، "إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة"، مجلة بيئتنا، العدد 119، الكويت.
- 5- "معالجة مياه الصرف الصحي"، مواقع الكترونية مختلفة.
- 6- "المياه المستعملة في الخرسانة"، المواصفات القياسية الليبية - رقم 294.

دراسة عن العوامل المؤثرة على قابلية تحمل التربة

تماضر طارق عبود¹، محمد عبد الفتاح صالح^{2*}، عيد علي عبد الرازق³

كلية الهندسة جامعة عمر المختار - القبة - ليبيا¹

كلية الهندسة جامعة عمر المختار - البيضاء - ليبيا^{3,2}

* aljewifi@yahoo.com

الملخص

تصمم أساسات المنشآت الهندسية لنقل وتوزيع الأحمال على التربة. هذا التصميم يتطلب أن يكون الضغط المسلط من المبنى على تربة التأسيس أقل من قابلية تحملها. إن قابلية تحمل التربة تتأثر بعوامل مختلفة مثل شكل الأساس، عمق الأساس، والتغير في مستوى منسوب المياه الجوفية، العزوم التي يكون الأساس معرضاً لها، كثافة التربة وزاوية الاحتكاك الداخلي للتربة.. إلخ.

يهدف هذا البحث لدراسة تأثير بعض العوامل المؤثرة على قابلية تحمل التربة منها شكل الأساس حيث تم دراسة قابلية تحمل تربة مكونة من عدة طبقات لأساس شريطي، لأساس مربع، أساس دائري ولأساس مستطيل. كذلك يتضمن البحث دراسة تأثير عمق الأساس وتأثير تغير مستوى الماء الجوفي. تم حساب قابلية التحمل باستخدام معادلة ترزاكي، هانسن ومعادلة مايرهوف.

من أهم استنتاجات هذا البحث أن قابلية تحمل التربة للأساسات مربعة الشكل والدائرية تكون أعلى من الأساسات الشريطية والأساسات المستطيلة. وأن زيادة عمق الأساس تزيد من قدرة التحمل. إن اقتراب الماء الجوفي من سطح التربة تسبب في تقليل قدرة تحمل التربة إلى حوالي 50%.
كلمات دالة: قدرة التحمل، العمق، منسوب المياه والتربة.

1 - المقدمة

إن قابلية التربة على مقاومة الإجهادات المسلطة عليها من المباني يُعبر عنها بقدرة التحمل (bearing capacity)، إن قابلية تحمل التربة تعتبر من الأمور المهمة عند تصميم الأساسات (1). إن النظريات المستخدمة لحساب قابلية تحمل التربة لأساس سطحي فرضت أن التربة تحت الأساس هي تربة متجانسة ومحدودة ولكن هذه الحالة لا تعتبر حالة عامة في الحياة العملية حيث تكون التربة تحت الأساس مكونة من طبقات، وفي هذه الحالة يجب إدخال معاملات القصر للطبقات ضمن مقطع التربة في حالة اختراق عمق الفشل لهذه الطبقات (2). هناك طرق عديدة لحساب قابلية تحمل التربة باستخدام الطرق النظرية ولكن أقدم هذه الطرق هي طريقة ترزاكي، حيث وضع العالم ترزاكي نظريته الأولى لحساب قابلية تحمل التربة لأساس شريطي سطحي ثم طورت هذه النظرية من قبل براندت وهانسن ومايرهوف وآخرون (3). اعتماداً على نظرية ترزاكي فإن قابلية تحمل التربة القصوى (q_f) يمكن حسابها من المعادلة الآتية:

$$q_f = c N_c s_c + \gamma D N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma s_\gamma \dots \dots \dots (1)$$

حيث أن :

- q_f : هي قابلية تحمل التربة القصوى.

- c: هي تماسك التربة.
- γ : هي كثافة التربة.
- B: هي عرض الأساس أو قطر الأساس الدائري.
- N_c, N_q, N_γ : هي معاملات قابلية تحمل التربة تعتمد على قيمة زاوية الإحتكاك الداخلي للتربة.
- s_c, s_q, s_γ : هي معاملات شكل الأساس.

طور مايرهوف (1951 - 1963) معادلة ترزاكي حيث أدخل معاملات العمق ومعاملات الميل:

$$q_f = c N_c s_c d_c i_c + \gamma D N_q d_q i_q + 0.5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma \dots\dots\dots (2)$$

حيث أن :

- d_c, d_q, d_γ : هي معاملات العمق للأساس.
- i_c, i_q, i_γ : هي معاملات الميل.

وضع العالم هانسن (1970) معادلته لحساب قابلية تحمل التربة والتي تعتبر تطويراً لمعادلة ترزاكي، حيث تضمنت تأثير ميل القاعدة في حالة ميل تربة التأسيس (4). إن قابلية تحمل التربة الآمنة والمسموح بها تم حسابها باستخدام المعادلة التالية:

$$q_a = \frac{q_f - q}{F} \dots\dots\dots (3)$$

حيث أن:

q_a : هي قابلية تحمل التربة الآمنة

q_f : قابلية تحمل التربة القصوى

q: ضغط تربة الدفن

F: معامل أمان تتراوح قيمته بين 3-4

وذلك يعتمد على نوع المنشأ وخواص التربة في الموقع. (5)

2 - الهدف من الدراسة

إن الهدف من هذا البحث هو دراسة لبعض العوامل المؤثرة على قابلية تحمل التربة ومنها تأثير شكل الأساس، عمق الأساس وتأثير موقع الماء الجوفي باستخدام معادلة ترزاكي، معادلة هانسن ومعادلة مايرهوف.

3 - البرنامج العملي

تم أخذ ثلاث عينات من التربة التي استخدمت في الدراسة من موقع بناء لمبنى متعدد الطوابق، على عمق (0.5 و1.5 و3) متر، لدراسة خواصها بإجراء بعض التجارب المعملية. التجارب التي تم إجراؤها هي التحليل المنخلي، حد السيولة وحد اللدونة لغرض تصنيف التربة. وكذلك تم حساب كثافة التربة وأجريت إختبارات القص المباشر لتحديد تماسك التربة وزاوية الإحتكاك الداخلي (ϕ). ونتائج الإختبارات علي عينات التربة موضحة في الجدول رقم

1.

جدول 1. نتائج الإختبارات المعملية وخواص عينات التربة

Properties of soil samples	Depth of sample(m)			
	0.5	1.5	2.5	
Sieve analysis ASTM D421	Gravel size(4.75-75mm) in%	42.94	52.1	67.2
	Sand size(0.075-4.75mm) in%	53.06	45.2	30.8
	Silt and clay size(below 0.075mm) in%	4	2.7	2
Atterberg limits ASTM 4318	Liquid limit%	14	12	8
	Plastic limit %	9	8	6
	Plasticity index %	5	4	2
Specific gravity G_s ASTM D854		2.66	2.65	2.64
	Soil density kN/m^3 ASTM D4253 and D4254	17.6	18	18.6
Shear strength parameters ASTM D3080	Cohesion kN/m^2	5	3	2.4
	Angle of internal friction (ϕ).	30	32	34
Soil classification	ASTM	Gravelly SAND	Sandy GRAVEL	Sandy GRAVEL
	AASHTO	A-1-a	A-1-a	A-1-a

4 - تأثير شكل الأساس

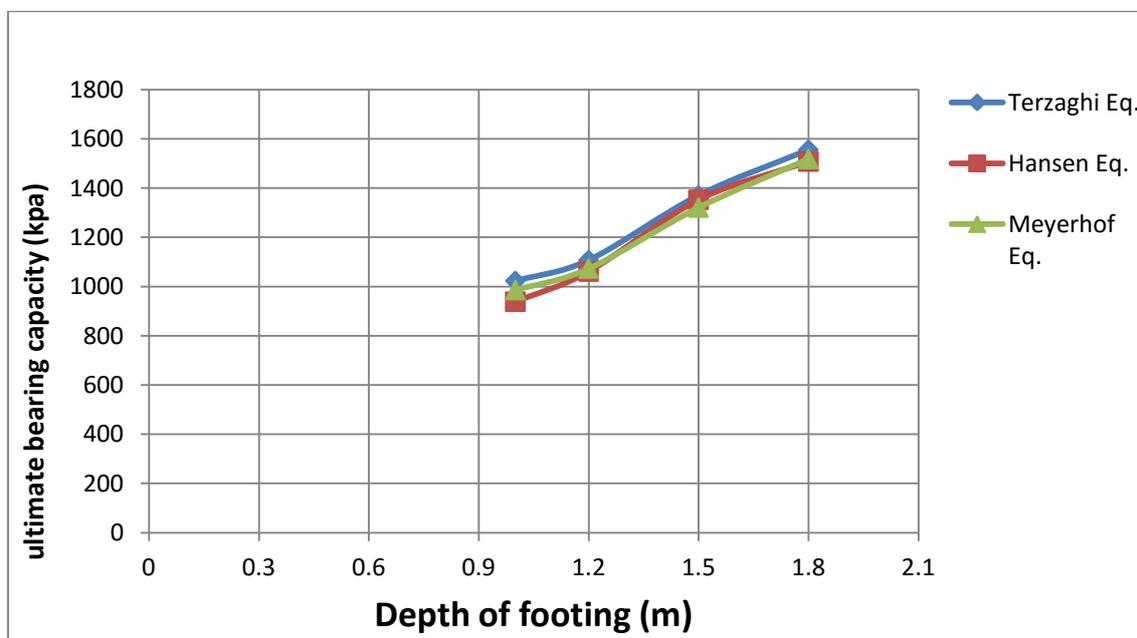
يؤثر شكل الأساس على قدرة تحمل التربة. ترزاعي وضع معادلته لحساب قابلية تحمل التربة لأساس شريطي واقترح استخدام معاملات سميت بمعاملات الشكل في حالة إذا كان الأساس ليس شريطيا. في هذه الدراسة تم استخدام أساس شريطي مربع، مستطيل ودائري وذلك لمعرفة تأثير شكل الأساس على قدرة تحمل التربة والتي تم حسابها عن طريق معادلات ترزاعي، هانس و ميرهوف. النتائج موضحة في الجدول رقم 2.

5 - تأثير عمق الأساس على قدرة التحمل

يعتبر عمق الأساس أحد العوامل المهمة التي تحدد قدرة تحمل التربة (الشكل 1). ولدراسة تأثير هذا العامل على قابلية تحمل التربة تم أخذ أساس مستطيل بأبعاد (2mx1.5m) مع تغيير عمق الأساس حيث حسبت قابلية تحمل التربة لأعماق (1,1.2,1.5 and 1.8m) مع تثبيت العوامل الأخرى. وقيم قدرة تحمل التربة القصوى والأمنة المحسوبة بعدة طرق معطاة في الجدول 3.

الجدول 2. تأثير شكل الأساس على قدرة تحمل للتربة بوحدة kPa

Bearing capacity (kPa)	Shape of footing			
	strip	square	rectangular	Circular
Terzaghi Eq.	918.104 (289)	1169.743 (382)	1107.474 (362)	1169.743 (382)
Hansen Eq.	(275)	1131.042 (369)	1060.782 (346)	(369)
Meyerhof Eq.	852.25 (277)	1147.13 (375)	1073.387 (350)	1147.13 (375)



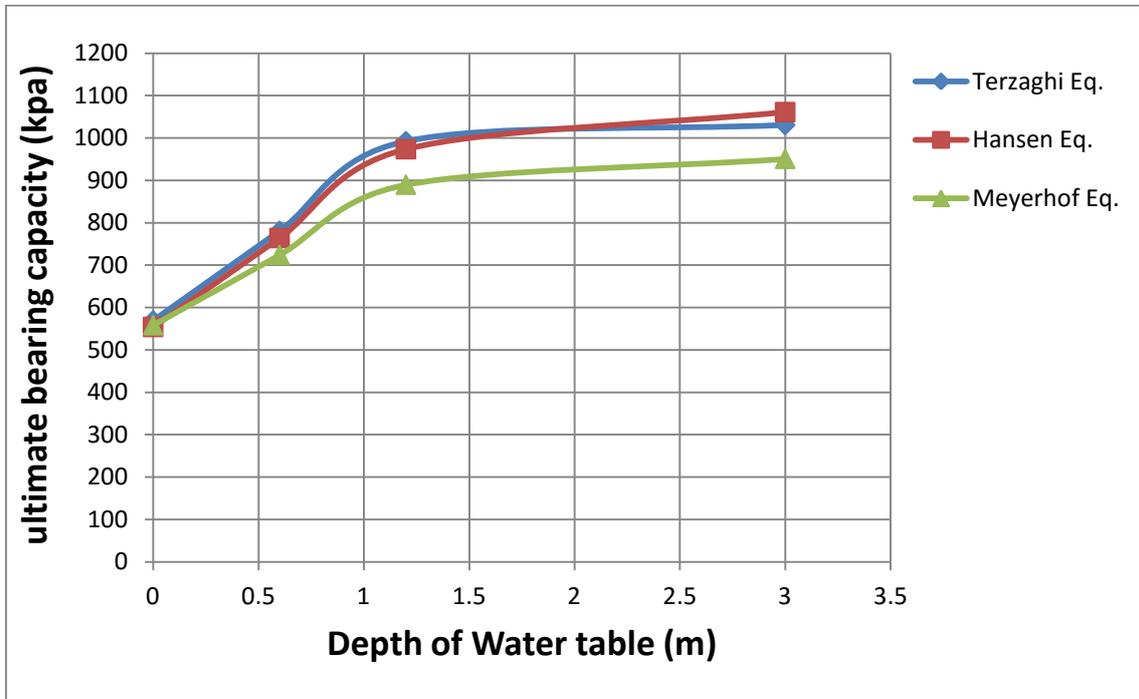
الشكل 1. العلاقة بين عمق الأساس وقدرة تحمل التربة القصوى

الجدول 3. تأثير عمق الأساس على قدرة تحمل التربة

Bearing capacity (kPa)	The depth of footing (m)			
	1m	1.2m	1.5m	1.8m
Terzaghi	1022.83 (335)	1107.474 (362)	1370.438 (447)	1555.66 (507)
Hansen	938.338 (306)	1060.782 (346)	1352.456 (441)	1507.833 (491)
Meyerhof	985.865 (322)	1073.387 (350)	1320.896 (431)	1518.085 (495)

6 - تأثير مستوى المياه الجوفية

إن نظرية ترزاكي والتي تعتبر من أول النظريات التي وضعت لحساب قابلية تحمل التربة حيث فرضت هذه النظرية أن عمق الماء الجوفي بعيد عن قاعدة الأساس بمسافة أكبر من عرض الأساس B لذا فهو أي الماء الجوفي ليس له أي تأثير على قابلية تحمل التربة. ولكن عندما يكون مستوى الماء الجوفي على مسافة من قاعدة أقل من عرض الأساس فإنه يؤثر على قدرة التحميل للتربة أو عندما تكون التربة مغمورة بالماء في هذه الحالة فإن الكثافة المغمورة للتربة هي التي تستخدم في حساب قابلية التحمل. إن الماء الجوفي يؤثر بشكل كبير على كثافة التربة والتي تدخل في حساب الحد الثاني والحد الثالث من معادلة قابلية التحمل (الشكل 2). القيم في الجدول (4) توضح العلاقة بين مستوى المياه الجوفية وقدرة تحمل التربة لأساس مستطيل بأبعاد (2 m x 1.5 m) و عمق 1.2 m.



الشكل 2. العلاقة بين قدرة تحمل التربة النهائية ومنسوب المياه الجوفية

الجدول 4. تأثير منسوب المياه الجوفية على قدرة تحمل التربة

Bearing capacity (kPa)	location of water table			
	With the ground level	at0.6m from ground level	With the base of footing	at 0.5m from base of footing
Terzaghi	569.155 (186)	780.583 (255)	992.012 (323)	1030.393 (336)
Hansen	553.989 (181)	763.65 (249)	973.317 (317)	1002.44 (327)
Meyerhof	557.937 (182)	723.763 (236)	889.59 (289)	950.6 (309)

7 - الإستنتاجات

بناء على هذه الدراسة يمكن استخلاص الإستنتاجات التالية:

- أ. من أهم العوامل التي تؤثر في قدرة تحمل التربة هي شكل وعمق الأساس المقترح منسوب المياه الجوفية، التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلي للتربة وكذلك كثافة التربة.
- ب. قابلية تحمل التربة للأساس الدائري والمربع الشكل تكون ذات قيم متقاربة وأكبر من قابلية التحمل المحسوبة للأساس الشريطي والمستطيل.
- ج. إن قيم قابلية تحمل التربة المحسوبة باستخدام معادلة ترزاكي هانسن ومايرهوف كانت مختلفة بسبب اختلاف معاملات الشكل ومعاملات العمق وكذلك معاملات قابلية تحمل التربة التي تعتمد على زاوية الإحتكاك الداخلي.
- د. بزيادة عمق الأساس ازدادت قابلية تحمل التربة وذلك بسبب زيادة ضغط تربة الدفن والتي يدخل تأثيرها في الحد الثالث من معادلة قابلية تحمل التربة.
- هـ. إن تغير مستوى الماء الجوفي يؤثر على كثافة التربة حيث تستخدم الكثافة الغاطسة بدلا من الكثافة الكلية للتربة التي تكون تحت منسوب الماء الجوفي لهذا تقل قابلية التحمل كلما كان منسوب الماء أقرب إلى سطح التربة الطبيعي.
- و. تعتبر معادلة ترزاكي من أقدم المعادلات المستخدمة لحساب قابلية تحمل التربة وهي تستخدم لحد الآن بشكل واسع لسهولة استخدامها لعدم الحاجة لحساب معاملات العمق أو معاملات الميل. إن معادلة ترزاكي مناسبة للأساسات السطحية وغير المعرضة إلى عزوم.
- ز. تستخدم طريقة مايرهوف وهانسن على نطاق واسع وخصوصا للأساسات العميقة والمعرضة إلى عزوم أو المحملة بقوة أفقية.

8 - المراجع

1. Hansen, J. B. (1968). A Revised Extended Formula For Bearing Capacity, Danish geotechnical institute Bulletin,NO28.
2. Meyerhof,G. G. (1956).Penetration Tests and bearing capacity of cohesionless soils, proceedings ASCE,vol.82NO.SM1,paper 866,pp1-19.

3. Bowles,J,E.(1988). Foundation Analysis and Design, MC Graw Hill publications New York.
4. Skempton, A. W. (1951).The bearing capacity of clays. proceedings, Building research congress, Vol 1,pp.180-189.
5. Terzaghi and Peck, R. B. (1967).Soil mechanics engineering practice,2nd edition, Jhon Wiley and Sons, New York.

دراسة مقارنة تأثير مصادر الإسمنت على خصائصه الهندسية

د. نورالدين محمد الطوير

أ.د. مختار معمر أبوروي

قسم الهندسة المدنية - كلية الهندسة - جامعة المرقب

nurdeenaltwair@gmail.com aburawi2010@yahoo.com

الملخص

الإسمنت البورتلاندي العادي من أهم مكونات صناعة الخرسانة التي تركز عليها صناعة البناء وتنفيذ المشاريع التنموية، ونظرا لقلة العرض وزيادة الطلب على مادة الإسمنت في السوق المحلي الليبي، أدى بالحكومة الليبية وبعض من رجال الأعمال باستيراد الإسمنت البورتلاندي من بعض الدول المنتجة لسد احتياجات السوق المحلي، وخلال الفترات الزمنية الماضية والحالية تم استيراد هذه المادة من مصانع مختلفة في كل من رومانيا ومصر وتونس وتركيا واليونان. ونتيجة لعدم تقييم وفحص الكميات المستوردة بشكل علمي لمعرفة مدى ملاءمتها للإستخدام بالنسبة للظروف المحلية، أدى ذلك لعدم ثقة المستهلك وخصوصا في استخدام الإسمنت المستورد في إنشاء الهياكل الخرسانية للمباني. وباعتبار أن جودة صناعة الإسمنت هذه تعتمد على مصادر مكوناتها الأولية والتي ربما يكون لها تأثير على جودة المنتج وبغض النظر على اتباع المواصفات العالمية أو المحلية لتلك الدول. ولهذه الأسباب تهدف هذه الورقة العلمية لدراسة الخصائص الكيميائية والفيزيائية والخواص الميكانيكية وإجراء المقارنات اللازمة بين الإسمنت المستورد والمحلي، بالإضافة إلى محاولة خلط الإسمنت المستورد بالإسمنت المحلي لدراسة التغيرات المتوقعة والتي من الممكن أن تزيد من ثقة المستهلك في استخدام هذا المنتج والعمل على تخفيف حجم الطلب على الإسمنت المحلي.

الكلمات الدالة: الإسمنت البورتلاندي العادي، الخواص الكيميائية والفيزيائية، مقاومة الضغط، الإمتصاص.

1 - مقدمة

يعتبر الإسمنت البورتلاندي في بعض دول العالم من المواد الإنشائية والأساسية في عملية الإنشاء والتعمير التنموي، حيث تتوفر كميات هائلة لمواده الأولية وبأقل تكلفة وأكثر كفاءة، وهذا لا يتأتى إلا في حالة استغلال هذه الموارد الطبيعية وإدارتها بشكل إقتصادي وبيئي. يعتبر الإسمنت المادة الرابطة في صناعة الخرسانة والمونة الإسمنتية والتي تكسبها المقاومة العالية بالنسبة لخواصها الميكانيكية وقدرتها العالية لمقاومة العوامل المحيطة وهذا يجعل مادة الإسمنت البورتلاندي الأكثر في المواد الإنشائية ديمومة. ومن الناحية التاريخية لهذه المادة حيث اكتشف الإسمنت البورتلاندي من قبل البناء الإنكليزي جوزيف اسبيدن في عام 1824 ويرجع تسميتها بالإسمنت البورتلاندي لتشابه لون وجود الإسمنت البورتلاندي المتصلب لبعض أحجار البناء المسماة بأحجار بورتلاندي الموجودة في جزيرة بورتلاندي بإنكلترا.

يقدر الإنتاج العالمي لمادة الإسمنت بحوال 1.8 مليار طن سنويا^[1]. ليبيا تنتج نحو 7530 ألف طن من الإسمنت سنويا^[5]، هذه الكمية المنتجة لا تفي بالطلب المتزايد ويرجع ذلك إلى حجم المشاريع التنموية المستهدفة تنفيذها من الوحدات السكنية وما تتطلبه من مرافق خدمية خاصة وعمامة وبنية تحتية، ولمواجهة النقص في مادة الإسمنت في السوق المحلي يتطلب الأمر فتح باب لاستيراد كميات كبيرة من الإسمنت من رومانيا (الإسمنت الروماني RC)

ومصر (إسمنت القومية AC، إسمنت عين سخنة ASC) وتونس (إسمنت الصنوبر ARC) وغيرها. ونتيجة لعدم اهتمام السلطات المختصة بتقييم وفحص الكميات المستوردة بشكل علمي ومعرفة مدى ملاءمتها للإستخدام في الظروف المحلية، مما أدى ذلك لعدم ثقة المستهلك، وخصوصا في استخدام الإسمنت المستورد في إنشاء الهياكل الخرسانية للمباني. يهدف هذا البحث إلى تقييم جودة الإسمنت البورتلاندي المستورد ومقارنته مع الإسمنت المحلي المتمثل في إسمنت لبدة LC وإسمنت المرقب AML. بالإضافة إلى ذلك، يدرس هذا البحث الخواص الهندسية للخرسانة المحتوية على الإسمنت المستورد، خصوصا عندما تصنع من المواد المحلية. وتم أيضا التطرق إلى إمكانية مزج الإسمنت المحلي والمستورد. من خلال النتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة أمكن الحصول على بعض المؤشرات التي يمكن أن تحسن ثقة المستهلك للإسمنت المستورد.

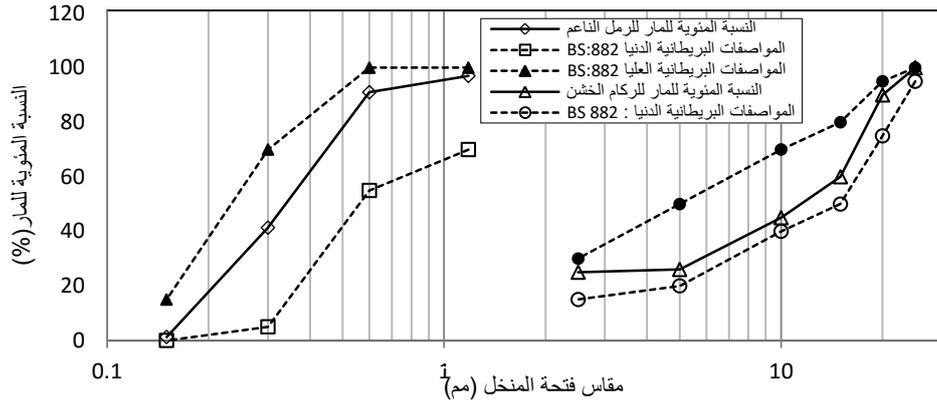
2 - البرنامج العملي

1.2 المواد المستخدمة

لتحديد الخصائص الكيميائية والفيزيائية للإسمنت تم إعداد وتحضير العينات باستخدام ماء الخلط طبقا للمواصفة البريطانية رقم (BS 3148:1980)، نسبة المواد الصلبة الذائبة لا تتجاوز 2000 ppm، القلويات أو بيكربونات لا تتجاوز 1000 ppm، كلوريدات لا تتجاوز 500 ppm والكبريتات لا تتجاوز 100^[6]. الرمل المستخدم في تحضير عينات الإختبار طبقا للمواصفات البريطانية خال من المواد العضوية ويحتوي على سليكا نقية (PureSiO₂) حبيباتها كروية الشكل تقريبا وغير متساوية في الحجم 90% متبق على المنخل 600 ميكرون (No. 25 BS)^[7]. وبالنسبة لإعداد وتحضير الخلطة الخرسانية تم استخدام ماء صالح للشرب الذي يحتوي على نسبة المواد الصلبة الذائبة لا تتجاوز 2000 ppm. الخواص الميكانيكية للركام الناعم والخشن المستخدم مبين في الجدول رقم 1، ونتائج التحليل المنخلي للركام الناعم والخشن مبينة في الشكل رقم 1.

جدول 1: الخواص الميكانيكية للركام المستخدم

حدود المواصفات	النتائج		الإختبار
	3/4"	1"	
(ASTM.C33)2.7-2.6	2.46	2.65	الوزن النوعي
أقل من 25% (BS812)	24%	23%	إختبار السحق %
أقل من 30% (ASTM.C33)	14.6%	16.2%	إختبار الصدم %
أقل من 40% (BS812)	13.0%	12.0%	إختبار الإهتزاز (لوس انجلس) %
أقل من 3.44% (ASTM.C33)	1.9 %	1.4%	المتصاص %



شكل 1: منحنيات التدرج للركام الناعم والخشن المكون للخلطة الخرسانية

2.2 تجهيز العينات

تم أخذ وتجميع عينات الإسمنت المستهدف بشكل عشوائي من شحنات مختلفة وعلى فترات زمنية متباعدة من تاريخ وصولها إلى ميناء الخمس التجاري. في هذه الدراسة بالنسبة للإسمنت الروماني تم أخذ ثلاث عينات لكل نوع وفي فترات زمنية تقارب الشهر بين الشحنة والأخرى. عينات الإسمنت المستورد الأخرى تم أخذها على فترات مختلفة تتراوح بين الشهر والثلاثة أشهر من السوق المحلي في كل من مصراتة والخمس وطرابلس. الإسمنت المصنع محليا أخذت العينات بشكل مباشر من مصانع الإسمنت الموجودة بمدينة الخمس. أيضا تم تحضير وتجهيز عينات تحتوي على إسمنت مخلوط بنسبة 1:1 بالوزن. بعد تجميع العينات وصل إجمالي وزن كل عينة 50 كيلوجرام حيث قسمت كل عينة إلى جزئين، الجزء الأول حوالي 5 كجم لاستخدامه في تحديد الخواص الفيزيائية والكيميائية للإسمنت. والجزء الثاني 45 كجم استخدمت لإعداد الخلطات الخرسانية لاختبار مقاومة الضغط والإمتصاص. العينات بعد تجميعها تم حفظها في حجرة ذات رطوبة منخفضة داخل أكياس بلاستيكية محكمة الغلق.

3 - الإختبارات المعملية

1.3 الإختبارات الكيميائية

أجريت إختبارات التحليل الكيميائي والإختبارات الفيزيائية على عينات الإسمنت في معمل مراقبة الجودة بمصنع إسمنت المرقب بمنطقة الخمس، ووفق المواصفات القياسية الليبية رقم (340) لسنة 1997 تم تعيين الأكاسيد بالعينات بطريقة التحليل الرطبة الكلاسيكية، وتم احتساب نسب المركبات الأساسية المكونة للإسمنت وفقا لمعادلات بوجو. والجدول رقم 2 يبين نسب المركبات الأساسية للإسمنت البورتلاندي العادي.

جدول 2: نسب المركبات الأساسية للإسمنت البورتلاندي العادي

النسبة	المركب
40-65%	C ₃ S
10-30%	C ₂ S
6-12%	C ₃ A
6-13%	C ₄ AF

2.3 مقاومة الضغط

في هذه الدراسة تم اختيار مكونات الخلطة الخرسانية باستخدام معادلة الحجم المطلق للحصول على مقاومة الضغط مساوية 30 ن/م² ومقدار هبوط يتراوح بين 50-70 مم. الجدول رقم 3 يوضح وزن مكونات الخلطة الخرسانية لكل متر مكعب. كل الخلطات تحتوي على نفس النسب مع اختلاف في نوع الإسمنت. لإعداد العينات تم استخدام قوالب حديدية بأبعاد 150×150×150 مم. تمت معالجة جميع العينات في الماء عند درجة حرارة تتراوح بين 20-25 م° لحين موعد الإختبار. تم اختبار ثلاث عينات لكل فترة زمنية 3، 7، 28، 56، 90 يوم.

جدول 3: مكونات الخلطة الخرسانية كج/م³

الإسمنت	الماء	الرمل	الركام 1"	الركام ¾"
346	211	446	803	535

3.3 الإمتصاص

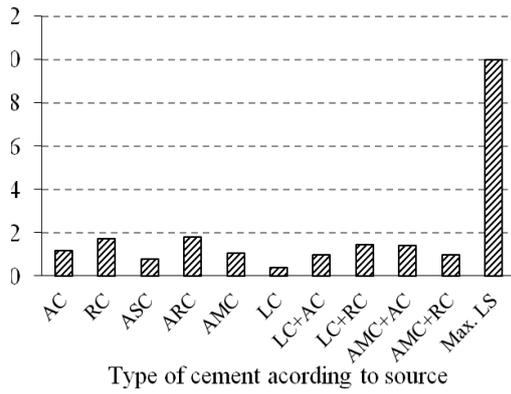
الإمتصاص لا يستخدم لقياس جودة الخرسانة، حيث أغلب الخرسانات الجيدة يكون فيها الإمتصاص أقل من 10%^[7]. تم احتساب مقدار الإمتصاص في هذه الدراسة وفق المعادة رقم 1 أي من الفرق بين وزن العينة مغمورة في الماء لمدة 90 يوم (أ) ووزن العينة بعد التجفيف لمدة 24 ساعة في فرن عند درجة حرارة 105 م° (ب).

$$\text{الإمتصاص (\%)} = 100 \times \left(\frac{\text{أ} - \text{ب}}{\text{ب}} \right) \text{----- (1)}$$

4 - تحليل ومناقشة النتائج

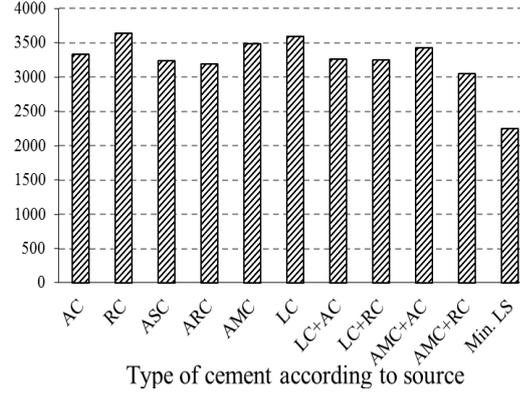
1.4 المساحة السطحية للإسمنت

نعومة الإسمنت تساعد على زيادة المساحة السطحية وبالتالي تتحسن عملية الإماهة ومع الركام الناعم والخشن يقل تمدد المادة الإسمنتية بالإضافة إلى زيادة قابليتها للتماسك والتشكل وعدم النفاذية. الشكل رقم 2 يوضح أن نتائج اختبار النعومة لجميع أنواع عينات الإسمنت التي تم اختبارها كانت ضمن الحدود المسموح بها في المواصفات القياسية الليبية رقم (340) لسنة 1997. والشكل رقم 3 يبين أن قابلية التمدد (الثبات) لجميع أنواع الإسمنت كانت أيضا ضمن الحدود المسموح بها في المواصفات القياسية الليبية. أقصى قيمة للتغير في الحجم 1.9 مم سجلت كانت في العينات التي تحتوي على إسمنت الصنوبر. زيادة تمدد العجينة الإسمنتية أكثر من 10 مم سببه زيادة نسبة الكلس الذي يتحد مع الأكاسيد الحامضية أثناء عملية التصنيع أو بسبب زيادة نسبة أكسيد الماغنسيوم أو الكبريتات في الإسمنت. النتائج تبين أن عملية خلط الإسمنت المحلي بالإسمنت المستورد كان لها تأثير ملحوظ في التقليل من تمدد العجينة الإسمنتية.



Type of cement according to source

الشكل 3: تمدد العجينة الإسمنتية

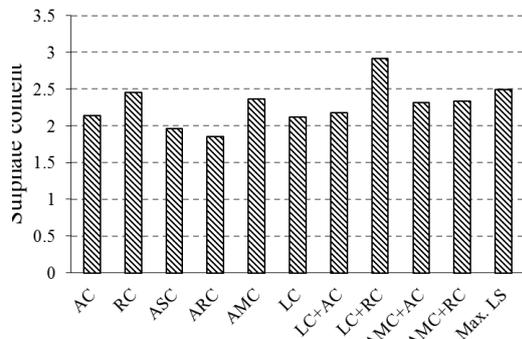


Type of cement according to source

الشكل 2: المساحة السطحية النوعية للإسمنت

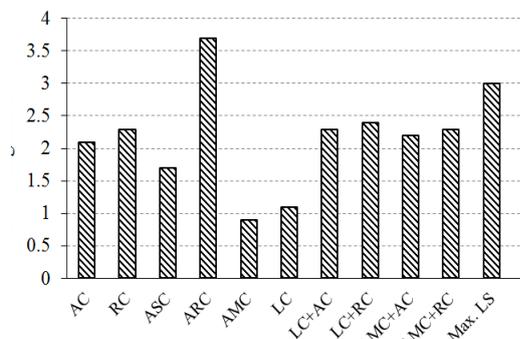
2.4 الفاقد الحراري

نسبة فقدان عند الحرق (L.O.I) للإسمنت المحلي والروماني والمصري كما بينت نتائج هذه الدراسة كانت ضمن الحدود المحددة في المواصفة القياسية الليبية رقم 340 لسنة 1997 بينما هذه النسبة في إسمنت الصنوبر كانت عالية وهذا يعني إن الكلنكر قد تعرض بإفراط للتميو أو تم إضافة حجر الكلس بكميات غير قياسية الأمر الذي أثر بشكل سلبي على هذه الخاصية كما مبين في الشكل رقم 4. على الرغم من احتواء إسمنت لبدة أقل من محتوى من أكسيد الكبريت بالمقارنة مع الإسمنت الروماني إلا أن النتائج في الشكل رقم 5 تبين أن العينات التي تحتوي على إسمنت مخلوط من إسمنت لبدة والإسمنت الروماني بنسبة 50% من كل منهما سجلت أعلى قيمة لمحتوى أكسيد الكبريت وتجاوزت حدود المواصفة القياسية الليبية رقم 340 لسنة 1997. بينما العينات الأخرى التي تحتوي على إسمنت مخلوط كان محتوى أكسيد الكبريت أقل بالمقارنة مع كمية أكسيد الكبريت في كليهما وضمن حدود المواصفة القياسية الليبية رقم 340 لسنة 1997.



Type of cement according to source

الشكل 5: محتوى أكسيد الكبريت للإسمنت



Type of cement according to source

الشكل 4: الفاقد عند الحرق للإسمنت

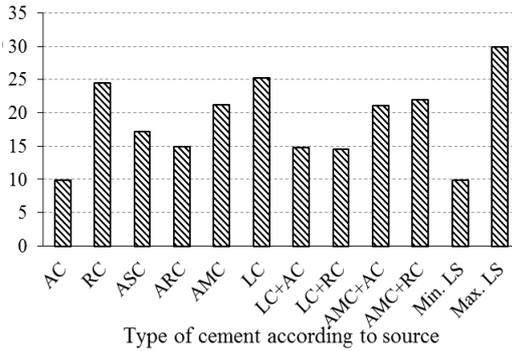
3.4 معامل الألومينا

نتائج معامل الألومينا في جميع العينات موضحة في الشكل رقم 6. على الرغم من التفاوت في نتائج معامل الألومينا في جميع عينات الإسمنت إلا أنها تجاوزت الحد الأدنى وفق المواصفات القياسية الليبية. الإسمنت المصري (إسمنت عين سخنة) سجل أعلى معامل الألومينا مقارنة بباقي الأنواع الأخرى من الإسمنت، ويعني هذا أن إسمنت عين سخنة يحتوي على كمية أعلى من أكسيد الألومنيوم (Al_2O_3). كما يمكن ملاحظة أن عملية خلط الإسمنت المحلي بالإسمنت المورد أيضا ساعد في تخفيض معامل الألومنيوم وأكسيد الحديد للإسمنت الناتج من

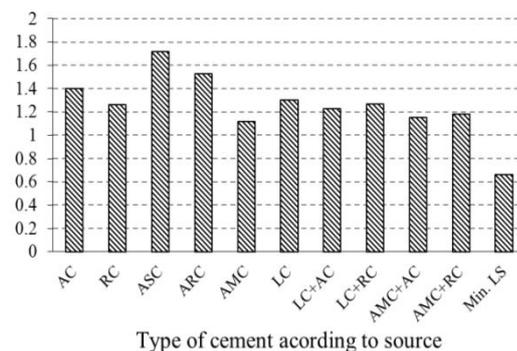
الخط. إن انخفاض قيمة معامل الألومينا (AM) يؤدي إلى انخفاض لزوجة الطور السائل وزيادة مقاومة الإسمنت للأملح بالإضافة إلى تكوين عجينة إسمنتية ذات تصلب بطيء وتقلص قليل وهذا ما تم الحصول عليه من نتائج اختبار إسمنت عين سخنة، أما عند ارتفاع قيمة هذا المعامل فيؤدي إلى زيادة تكوين مركب C_3S وانخفاض في تكون مركب C_4AF بالإضافة إلى الصعوبة في حرق المواد الأولية للإسمنت مما يؤدي إلى زيادة استهلاك الوقود أثناء عملية تصنيع الإسمنت.

4.4 سليكات ثنائي الكالسيوم (C_2S)

تعتمد مقاومة الإسمنت على احتوائه لنسبة معتدلة من سليكات ثنائي الكالسيوم (C_2S) وعالية من سليكات ثلاثي الكالسيوم (C_3S). النتائج المبينة في الشكل رقم 7 توضح انخفاضاً بسيطاً في سليكات ثنائي الكالسيوم بالنسبة لإسمنت القومية AC وبالمقارنة مع الحدود الدنيا الموضحة في المواصفات الليبية القياسية. بينما نسبة سليكات ثنائي الكالسيوم في إسمنت لبدة LC كانت مرتفعة وضمن المواصفات الليبية القياسية. وكذلك سجل كل من الإسمنت الروماني وإسمنت المرقب نفس النتيجة أي نفس النسبة من سليكات ثنائي الكالسيوم. إنخفاض نسبة أكسيد المغنسيوم يؤدي إلى انخفاض التفاعلات أثناء عملية الحرق وبالتالي تتخفف تفاعلات سليكات الكالسيوم الموجودة في الكلنكر.



الشكل 7: سليكات ثنائي الكالسيوم



الشكل 6: مقارنة بين معامل الألومينا

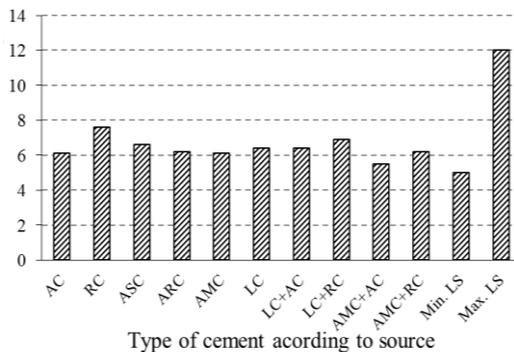
5.4 سليكات ثلاثي الكالسيوم (C_3S)

الشكل رقم 8 يبين النسبة المئوية لمركب سليكات ثلاثي الكالسيوم (C_3S) لجميع العينات. النتائج تبين أن هذه النسبة في جميع أنواع الإسمنت المستهدف في هذه الدراسة تتراوح ما بين 49% إلى 63% وهذه النتيجة كانت ضمن المواصفات القياسية الليبية. أعلى نسب لمركب سليكات ثلاثي الكالسيوم للإسمنت الروماني 63.4% وإسمنت لبدة 61.2% وإسمنت المرقب 60.1%. إرتفاع نسبة سليكات ثلاثي الكالسيوم ربما سببه ارتفاع نسبة أكسيد الكالسيوم (CaO) المادة الأساسية في صناعة الإسمنت، لذلك يتضح أن مصدر المواد الأولية للإسمنت ربما يكون له تأثير على الزيادة والنقص في نسبة سليكات ثلاثي الكالسيوم بالنسبة لعينات الإسمنت المستهدفة في هذه الدراسة. كما لوحظ أن عملية خلط الإسمنت المحلي بالمستورد ساهمت بشكل كبير في تحسين نسب الأكسيد المكونة لكل نوع من الإسمنت وبالتالي تعديل محتوى المركبات الأساسية للإسمنت الناتجة من عملية الخلط.

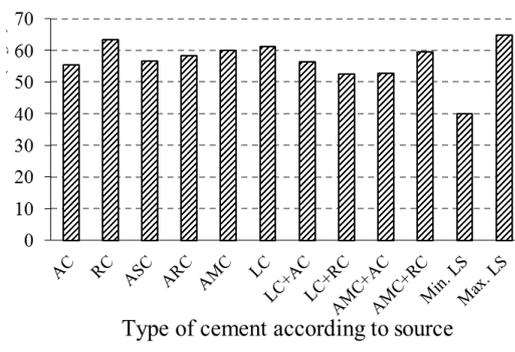
6.4 ألومينات ثلاثي الكالسيوم (C_3A)

نتائج نسب مركب ألومينات ثلاثي الكالسيوم (C_3A) لجميع عينات الإسمنت المستهدف في هذه الدراسة مبينة في الشكل رقم 9. حيث أن زيادة نسبة مركب (C_3A) يؤدي إلى زيادة شدة التفاعل المبكر وبالتالي ارتفاع في درجة حرارة التميؤ، لذلك فإن إضافة الجبس إلى الكلنكر قبل الطحن الغرض منه التقليل وضبط النسب العالية من (C_3A) لتخفيض درجة حرارة التميؤ. أما إذا كانت نسبة (C_3A) منخفضة فذلك يؤدي إلى خفض المقاومة المبكرة، ولتحاشي هذه التأثيرات يجب أن تكون نسبة هذا المركب في حدود 5-12% حسب المواصفات الليبية القياسية. عموماً هذا المركب مرتبط بمركب ألومينات حديد رباعي الكالسيوم (C_4AF) عند إنتاج الإسمنت المقاوم للكبريتات، حيث أن ارتفاع نسبة (C_4AF) وانخفاض نسبة (C_3A) تؤدي إلى الحصول على إسمنت مقاوم لأملح الكبريتات الذائبة الموجودة في مياه المستنقعات والمياه الجوفية ومياه البحر.

جميع أنواع الإسمنت حققت نسباً متفاوتة من مركب ألومينات ثلاثي الكالسيوم (C_3A) إلا أنها لم تتجاوز الحدود الدنيا والعليا للمواصفة الليبية القياسية. النتائج تبين أن الإسمنت الروماني يحتوي على أعلى نسبة من مركب ألومينات ثلاثي الكالسيوم 7.6%. الإسمنت المخلوط بنسب متساوية عمل على تخفيض نسبة مركب ألومينات ثلاثي الكالسيوم في الخليط، حيث وجد في الخليط المكون من إسمنت لبد و الإسمنت الروماني ($LC+RC$) إنخفاض في نسبة مركب ألومينات ثلاثي الكالسيوم العالية في الإسمنت الروماني إلى 6.9%. وباعتبار أن هذه النتيجة متوقعة بينما في نفس الخليط هذه النتيجة لم تتحقق فيما يتعلق بمحتوى أكسيد الكبريت كما هو موضح في الشكل رقم 5. تتخفض نسبة مركب ألومينات ثلاثي الكالسيوم إلى 5.5% في الخليط المكون من إسمنت المرقب وإسمنت القومية ($AMC+AC$)، وهذه النسبة أقل من نسبة وجود هذا المركب في كليهما وهذا يشير إلى ربما هناك تفاعلات بين محتويات الخليط قد أنجزت على البارد وهذا يحتاج لمزيد من البحث للتأكد من ذلك.



الشكل 9: ألومينات ثلاثي الكالسيوم

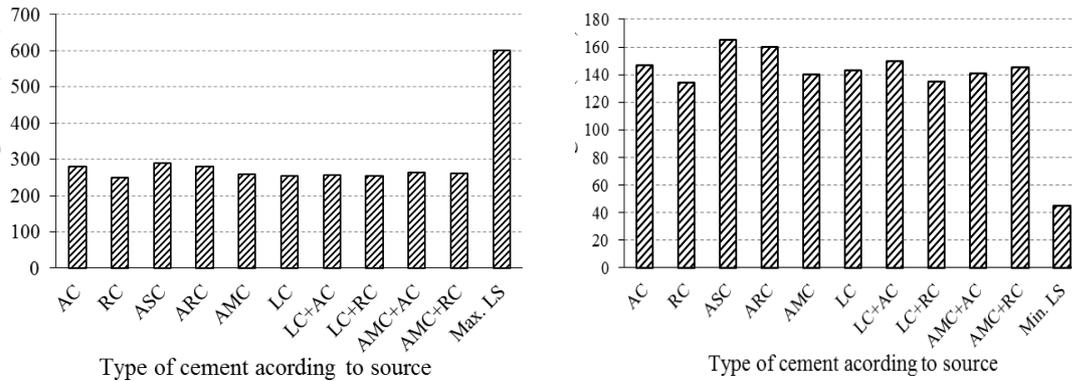


الشكل 8: سليكات ثلاثي الكالسيوم

7.4 زمن التصلب الابتدائي والنهائي

زمن التصلب الابتدائي والنهائي لعجائن الإسمنت موضحة في الشكل رقم 10. على الرغم من بعض التفاوتات بين القيم لكلا الزمنين إلا أنهما كانتا ضمن الحدود الدنيا والعليا للمواصفات الليبية القياسية. زمن التصلب الابتدائي والنهائي تقريبا لهما نفس الميول من ناحية سرعة التصلب لجميع أنواع الإسمنت المستهدف في هذه الدراسة. الإسمنت التونسي والمصري سجلا أعلى قيمة لزمن التصلب بالمقارنة مع الإسمنت المحلي والإسمنت الروماني حيث سجل قيما أقل بنسبة 15% و 13% لزمن التصلب الابتدائي والنهائي على التوالي. الشكل يوضح أن خلط إسمنت المرقب بإسمنت القومية عمل على تخفيض زمني التصلب بينما خلط إسمنت المرقب بالإسمنت الروماني

زاد من قيمة زمن التصلب الابتدائي. إن تكوين عجينة إسمنتية ذات تصلب بطيء بالنسبة للإسمنت المورد من الممكن أن يكون بسبب انخفاض معامل الألومينا أي ارتفاع نسبة أكسيد الحديد في تكوين الإسمنت.



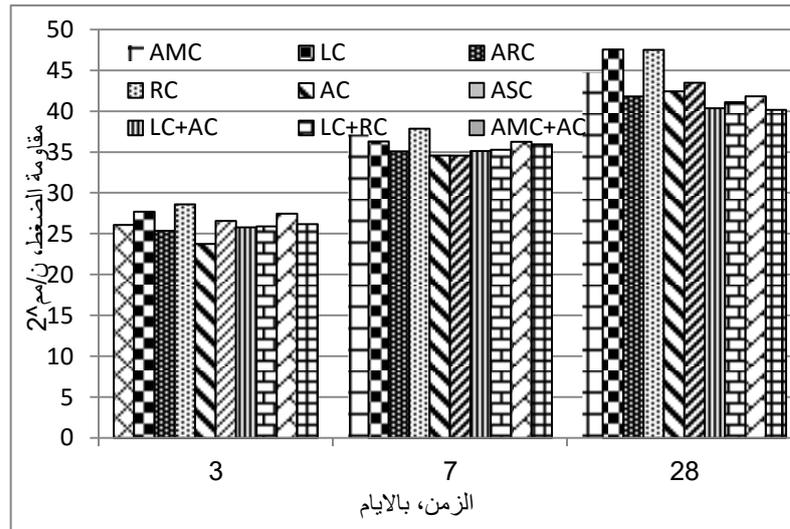
الشكل 10: زمن التصلب الابتدائي والنهائي للإسمنت المختبر

8.4 مقاومة الضغط للمونة الإسمنتية

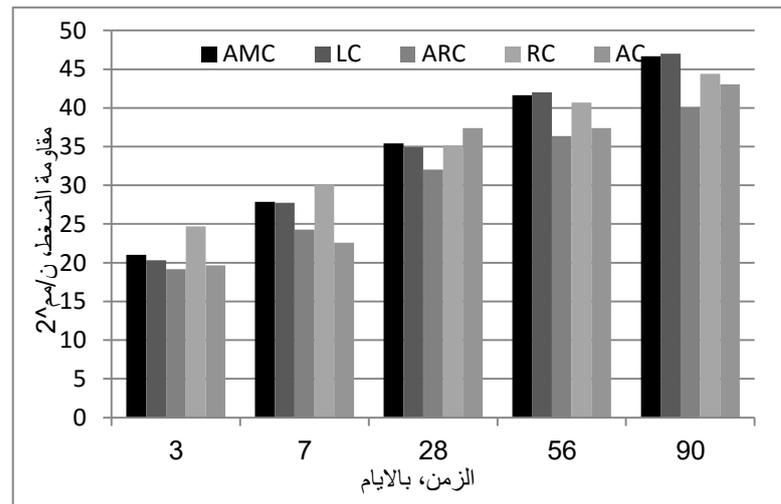
العلاقة بين مقاومة الضغط للمونة الإسمنتية وزمن المعالجة للفترة الزمنية 3 و 7 و 28 يوم ولجميع العينات موضحة في الشكل رقم 11. النتائج تبين أن قيم مقاومة الضغط للمونة في جميع العينات تقع ضمن حدود المواصفات الليبية القياسية رقم (340) لسنة 1997. إسمنت لبدة والإسمنت الروماني حققا أفضل النتائج بعد 3 أيام من المعالجة وذلك بغمر العينات في الماء، بينما عند نهاية الأسبوع الأول من المعالجة تحسنت مقاومة الضغط بالنسبة لإسمنت المرطب بالمقارنة مع إسمنت لبدة إلا أن هذه النتيجة سرعان ما انعكست عند الأسبوع الرابع حيث أظهرت النتائج إرتفاعا ملحوظا في قيم المقاومة بالنسبة لإسمنت لبدة والإسمنت الروماني وحققتا أعلى مقاومة للضغط 47.56 و 47.52 ميغاباسكال على التوالي. من ناحية أخرى نتائج مقاومة الضغط للعينات التي تحتوي على الإسمنت المخلوط كانت متقاربة جدا بالمقارنة مع العينات التي تحتوي على نوعية واحدة من الإسمنت.

9.4 مقاومة الضغط للخرسانة

نتائج اختبار الضغط للخرسانة المصنعة من أنواع مختلفة من الإسمنت المستهدف في هذه الدراسة موضحة في الشكل رقم 12. النتائج تبين تأثير مصدر انتاج أنواع مختلفة من الإسمنت والمستخدم في إعداد خلطات خرسانات بنفس النسب على مقاومة الضغط وفي فترات زمنية مختلفة 3 و 7 و 28 و 56 و 90 يوم. حيث يمكن ملاحظة أن الخلطة الخرسانية التي تحتوي على الإسمنت المصري (AC) والتونسي (ARC) عند نهاية الثلاث الأولى أظهرت أقل مقاومة ضغط بالمقارنة مع العينات التي تحتوي على الأنواع الأخرى من الإسمنت.



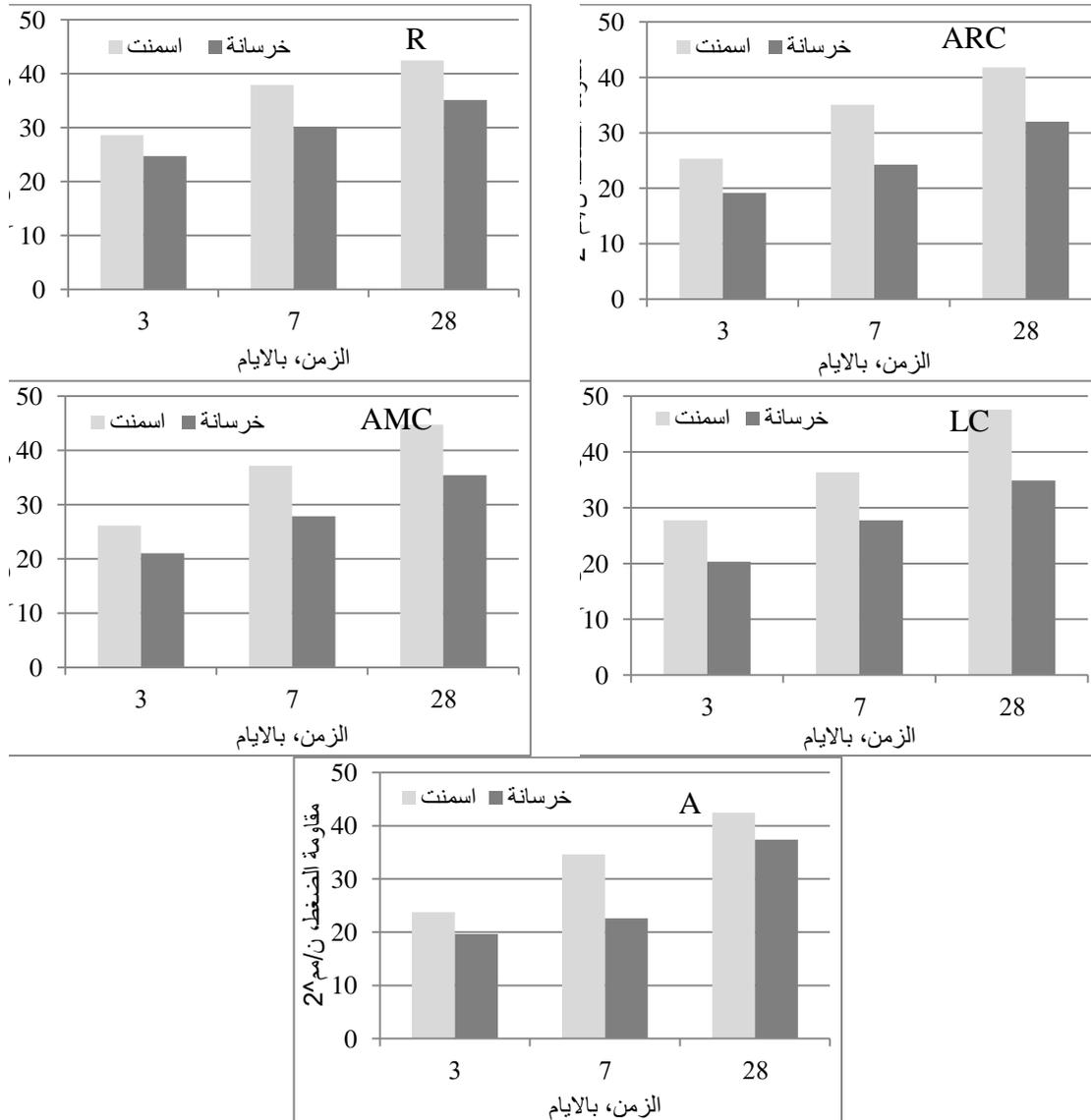
الشكل 11: تأثير مصدر صناعة الإسمنت على مقاومة الضغط للمونة الإسمنتية



الشكل 12: تأثير مصدر صناعة الإسمنت على مقاومة الضغط للخرسانة

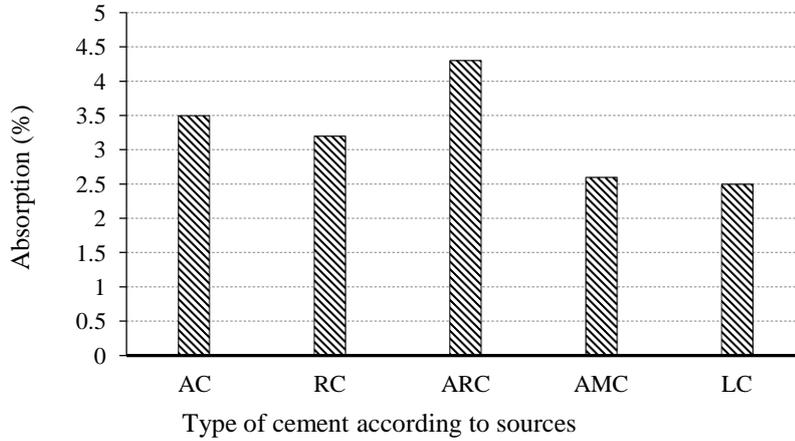
بينما العينات التي تحتوي على الإسمنت الروماني حققت أعلى قيمة لمقاومة الضغط في نفس الفترة الزمنية. فيما بعد تحسن مقاومة الضغط في العينات التي تحتوي على الإسمنت المحلي سواء إسمنت لبدة أو إسمنت المرقب وتضاعفت هذه المقاومة مع الزمن حتى وصلت أعلى قيمة فيما بعد 56 يوم. على الرغم من عدم وجود أي فروق جوهرية بينهما إلا أن إسمنت لبدة كان الأفضل.

الشكل رقم 13 يوضح مقارنات بين مقاومة الضغط للمونة الإسمنتية والخرسانة التي تحتوي على نفس نوعية الإسمنت.



الشكل 13: مقارنة بين مقاومة الضغط للخرسانة والمونة الإسمنتية

تأثير مصدر انتاج الإسمنت على خاصية الإمتصاص بالنسبة للعينات التي تم إعدادها وتحضيرها في هذه الدراسة موضحة في الشكل رقم 14. تم قياس خاصية الإمتصاص للعينات بعد مرور 90 يوم من إعداد وتحضير العينات. النتائج تبين أن العينات التي تحتوي على الإسمنت المحلي أظهرت أقل نسبة امتصاص قدرها 2.5% و 2.6% لإسمنت لبدية وإسمنت المرقب على التوالي بالمقارنة مع العينات الأخرى التي تحتوي على أنواع مختلفة من الإسمنت المستورد. بينما إسمنت الصنوبر سجل أكبر نسبة امتصاص تقريبا 4.3% فقد سجلت، بنسبة زيادة على أقل نسبة امتصاص بحوالي 42%. عموما ربما سبب إنخفاض نسبة الإمتصاص بالنسبة للإسمنت المحلي يرجع للبنية الإنشائية وتكون الجل الناتج عن الإماهة بسبب ارتفاع نسبة (C_2S و C_3S) التي لها دور هام في تشكل نسيج أقوى في الأعمار المتأخرة للخرسانة، أي أن نسبة حجم مركب هيدرات سليكات الكالسيوم أكبر. إضافة إلى المساحة السطحية العالية التي تزيد من فاعلية الإماهة.



الشكل 14: تأثير مصدر صناعة الإسمنت على نسبة الإمتصاص

5 - الخلاصة والإستنتاج

إعتماداً على النتائج العملية التي تم التوصل إليها في هذا البحث و بعد مناقشة هذه النتائج يمكن أن تستخلص الإستنتاجات التالية:

1. أظهرت النتائج أن قوة تصلب الإسمنت المحلي تتشأ بشكل أساسي من المركبين (C_2S, C_3S) بينما ينشأ تصلب الإسمنت الروماني من ارتفاع نسبة (C_3A) في حين باقي الأنواع الأخرى من الإسمنت فإن تطور المقاومة يرجع إلى الدور المتكافئ بين (C_3A, C_2S, C_3S).
2. جميع أنواع الإسمنت أظهر نتائج متفاوتة بسبب تأثير مصدر الإنتاج على الخواص الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية ولكنها كانت ضمن حدود المواصفات القياسية الليبية رقم (340) لسنة 1997.
3. نسبة فقدان عند الحرق للإسمنت المحلي والروماني والمصري كانت ضمن الحدود المحددة في المواصفة القياسية الليبية رقم (340) لسنة 1997 بينما تجاوزت هذه النسبة الحدود في إسمنت الصنوبر وهذا الإرتفاع يعني أن الكلنكر قد تعرض بإفراط لتميو وأن حجر الكلس قد أضيف بكميات غير قياسية.
4. إنخفاض نسبة معامل الألومينا في إسمنت المرقب قد يؤدي إلى زيادة مقاومة الإسمنت للأملاح. بينما ارتفاع هذه النسبة لإسمنت الصنوبر وعين سخنة ربما يؤدي لصعوبة في الحرق واستهلاك كميات أكبر من الوقود.
5. عملية خلط الإسمنت المحلي مع الإسمنت المورد يمكن أن تساهم في تعديل المركبات الأساسية للإسمنت الناتج إضافة إلى تحسين الخواص الفيزيائية.
6. عينات الخرسانة المصنعة من المواد المحلية والتي تحتوي على الإسمنت المحلي أظهرت أعلى مقاومة للضغط عند 90 يوم.
7. العينات التي تحتوي على الإسمنت المحلي سجلت أقل نسبة امتصاص وبشكل عام جميع العينات حققت نسب امتصاص وفق الحدود المنصوص عليها في المواصفات الليبية.

الشكر والتقدير

الباحثان يتقدمان بخالص الشكر والإمتنان إلى الإخوة العاملين في مختبر مصنع إسمنت المرقب وشركة الأشغال العامة بالخمسة والشركة العربية للإسمنت والجهاز التنفيذي للطرق والسكك الحديدية على ما قدموه من مساعدة خلال العمل بهذا البحث، ويخص بالشكر المهندس عبد العاطي كازيرما رئيس وحدة المختبرات بمصنع إسمنت المرقب.

6 - المراجع

1. M. Liska and A. Al-Tabbaa, "Performance of magnesia cements in pressed masonry units with natural aggregates: Production parameters optimization", Construction and Building Materials, 22(2008), pp.1789-1797.
2. M. Sidney and F.J. Young, "Concrete", Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1981.
3. M. J. Vara, A. M. Buergo and R. Fort, "Natural cement as the precursor of Portland cement: Methodology for its identification", Cement and Concrete Research 35(2005), pp.2055 - 2065.
4. A.M. Neville, "Properties of Concrete", Fourth and Final Edition, Longma, 1995.
5. A. Gali, "The Libyan Standard Specifications in the Cement Industry", National Conference of Building Materials and Structural Engineering, Vol. 1, Alkomes, Libya, 2004. pp. 249-255.
6. P. Sandor, "Concrete Materials", 2nd ed., 1992.
7. A.M. Neville, "Properties of concrete", Third Edition, Pitman Books Limited, London, 1982.
8. F.M. Lea, "The chemistry of cement and concrete", 1989.
9. المواصفات القياسية الليبية رقم (97\340)، الإسمنت البورتلاندي، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية، طرابلس، 1997.

تأثير إضافة الملدنات الفائقة على خواص الخرسانة المنتجة باستعمال الخامات المحلية

أحمد محمد بلاش¹، فيصل عبد اللطيف العطشان²، عبد المجيد محمد سالم²
¹ عضو هيئة التدريس، معهد المهن الشاملة - سوكنة
² عضو هيئة تدريس، كلية التقنية الهندسية - هون

الملخص

منذ سبعينات القرن الماضي أو ما يزيد، يشهد العالم سعياً بحثياً حثيثاً لتطوير تقنيات تصنيع الخرسانة وتحسين خواصها بإضافة بعض المركبات الإضافية والتي تعرف بالإضافات (Admixtures). حيث انعكس التطور في علوم أخرى مثل الكيمياء والفيزياء على صناعة الخرسانة باكتشاف إضافات قادرة على تحسين وزيادة فعالية الخرسانة الطازجة والمتصلدة.

إن الحصول على خرسانة عالية المقاومة يتطلب اهتماماً دقيقاً بنوعية ونسب مكوناتها. فعلى سبيل المثال، خفض نسبة الماء إلى الإسمنت (w/c) له أثر إيجابي معروف لإنتاج خرسانة أجود. لكن هذا الخفض يؤدي إلى تقليل سيولة الخرسانة وقابليتها للتشغيل. لهذا يتم اللجوء إلى استخدام نوع من الإضافات يعرف بالملدنات الفائقة (Super Plasticizers) أو مخفضات الماء. وهي من الإضافات التي انتشر استخدامها في السنوات الأخيرة حيث تعمل على تحسين تشغيلية الخرسانة دون الحاجة إلى زيادة نسبة الماء إلى الإسمنت مما ينعكس على تعزيز المقاومة وتحسين الكثافة وتقليل الإمتصاص أيضاً. كما أن من وظائف الملدنات هو استعمالها للحصول على خرسانة ذاتية الدمك ومناسبة أيضاً للأجواء الحارة.

تهدف هذه الورقة إلى دراسة تأثير إضافات الملدنات الفائقة وباستخدام أحد الملدنات التجارية (SIKAMENT_NN) على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة باستخدام مكونات الخرسانة المحلية.

1 مقدمة

إن التركيز على تحسين الخواص الميكانيكية والفيزيائية للخرسانة في المناطق الحارة بدأ يتنامى بشكل متزايد في العقود الأخيرة. يوجد العديد من الطرق التي يمكن أن تستخدم للوصول إلى هذا الهدف ولكن لعل من أكثرها أهمية هو استخدام الإضافات. في ليبيا عموماً وفي منطقة الدراسة (الجفرة) خصوصاً يميل المناخ إلى ارتفاع في الحرارة وانخفاض في الرطوبة، الأمر الذي يحتم دراسة ظروف إنتاج الخرسانة في هذه البيئة القاسية.

تقع الجفرة وسط ليبيا تقريباً على خط عرض 29 شمالاً وخط طول 16 شرقاً وعلى بعد 250 كم من ساحل البحر وأقرب ساحل لها خليج سرت. تبعد عن العاصمة طرابلس شمالاً حوالي 650 كم، وتضم الجفرة كلاً من: (الفقهاء، سوكنة، هون، ودان، زلة) ويقدر عدد سكان الجفرة بنحو 52.92 ألف نسمة وفق إحصاء عام 2006م بكثافة سكانية تقدر بنحو 13 نسمة لكل 1 كم مربع حسب الكثافة الفيزيولوجية الصافية [1].

تعتمد مدن المنطقة على المراد المحلية لتوفير المكونات الطبيعية للخلطات الخرسانية، حيث تحوي على مخزون ضخم جدا من الصخور البركانية والتي تستغل لإنتاج الركام الطبيعي الكبير (الخشن) ذي الجودة العالية للإستخدام الخرساني [2]. كما تحوي المنطقة أيضا على كميات كبيرة من الرمال الطبيعية النظيفة والتي تستخدم كركام صغير (ناعم) ذي جودة عالية خصوصا في منطقتي ودان وزلة. لا تحوي المنطقة على أي مصنع للإسمنت ولكن يتم توريد إسمنت البناء من المصانع المحلية والدولية.

بتوفر هذه المكونات سألغة الذكر يمكن الوصول إلى إنتاج خرسانة ذات جودة عالية، ولكن يبقى التحدي الأكبر لتحقيق هذا الهدف هو التغلب على قسوة الظروف الجوية بالمنطقة كالفرق الواضح في درجات الحرارة خلال ساعات اليوم الواحد. لهذا وفي السنوات الأخيرة بدء اللجوء إلى استخدام الإضافات الخرسانية للتغلب على ارتفاع درجات الحرارة على سبيل المثال.

تعتبر مخفضات الماء (الملدنات والملدنات الفائقة) (Plasticizers and Superplasticizers) من أكثر الإضافات شيوعا في الأجواء الحارة وتكون عادة على الصورة السائلة وتضاف كنسبة من وزن الإسمنت. يحوي السوق على أنواع عديدة مثل أدكريت وكونبلاست وسيكامنت وملمينت [3]. تعمل هذه المركبات على زيادة قابلية التشغيل للخرسانة مما يتيح إمكانية خفض نسبة الماء إلى الإسمنت مما ينعكس على إنتاج خرسانة ذات مقاومة عالية. كما تعمل الملدنات على تقليل النفاذية والإنفصال الحبيبي والنضح. ويرجع هذا التأثير للملدنات والملدنات الفائقة على عملها على توليد تنافر مغناطيسي يؤدي لتشتيت حبيبات الإسمنت المنكثلة وإدخال المياه بينها [3]. تهدف هذه الورقة إلى دراسة تأثير إضافات الملدنات الفائقة (Super Plasticizers_{SP}) السيكامنت_ إن إن (SIKAMENT_NN) على الخواص الميكانيكية للخرسانة الطازجة والمتصلدة والمنتجة باستخدام المكونات المتوفرة محليا في منطقة الجفرة.

2 مجال البحث

يكن مجال البحث في تحديد التغيرات الحاصلة في مقاومة الضغط والشد غير المباشر للخلطات الخرسانية مع الأخذ بعين الإعتبار المتغيرات والمؤثرات التالية - :

- نوع الخرسانة (خرسانة عادية - خرسانة معدلة بالإضافة)
- جرعة السيكامنت _ إن إن % (3.5 - 2.5 - 1.5 - 0.5) (Sikament_NN) من وزن الإسمنت (مضافة إلى ماء الخلط)
- عمر الخرسانة (حيث تم الإختبار عند 7 و28 يوم)

3 المراد المستخدمة والبرنامج العملي

مصادر المراد المستخدمة في البحث:

1. الماء: تم استعمال مياه صالحة للشرب خالية من أي مواد عالقة من شبكة المياه المحلية في مدينة هون.
2. الإسمنت: تم استخدام الإسمنت البورتلاندي العادي. الجدولان 1 و 2 يبينان نعومة الإسمنت حسب المواصفات الأمريكية والبريطانية.

جدول 1: نتائج إختبارات نعومة الإسمنت بناء على المواصفات الأمريكية

الحدود المسموح بها	نسبة المحجوز على المنخل #200 (%)
لا يزيد عن 22%	19.1%

جدول 2: نتائج إختبارات نعومة الإسمنت بناء على المواصفات البريطانية والمصرية

الحدود المسموح بها	نسبة المحجوز على المنخل #170 (%)
لا يزيد عن 10 %	8%

3. الرمل: تم استخدام رمل طبيعي مورء من منطقة وءان وذلك لكونه المصدر الأساسي لرمل البناء في المنطقة. ويتميز هذا الرمل بجودته وتوفره. الجداول 3 و 4 و 5 والشكل 1 تبين بعضا من نتائج إختبارات تم إجراؤها على الركام المستخدم.

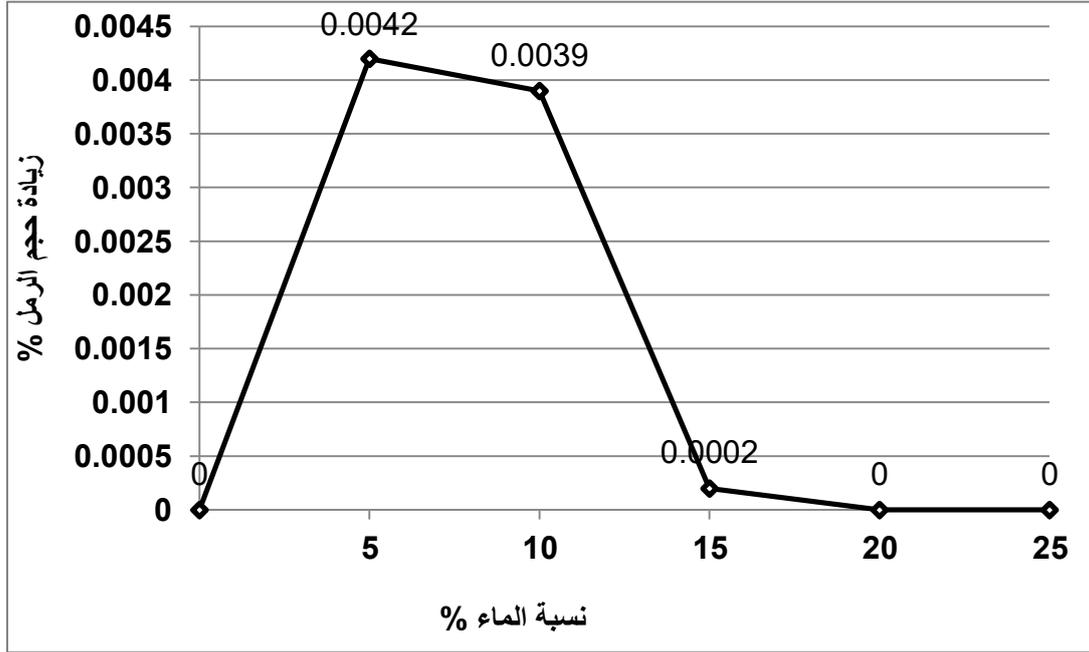
جدول 3: بعض خواص الركام الصغير (الرمل)

الإختبار	النتيجة
نسبة الطين والمواد الناعمة %	0.4
الوزن النوعي (gm/cm ³)	2.6

جدول 4: نتائج إختبار الزيادة الحجمية للركام الصغير

النسبة المئوية للماء % المضاف	النسبة المئوية للزيادة في الحجم %
من وزن الرمل الجاف	
5	0.0042
10	0.0039
15	0.0002
20	0
25	0

4. الركام الكبير: تم استعمال ركام محلي مورء من المحاجر المتواجءة بجبال السوءاء جنوب غرب مءينة سوكنة. هذا الركام هو المصدر الأساسي ويكاد يكون الوحيد لركام البناء في المنطقة. نوع الركام بركاني من صخور البازلت. الجدولان 6 و 7 والشكل 2 تبين نتائج إختبارات الركام الكبير المستخدم في هذه الدراسة.



الشكل (1) زيادة حجم الرمل (الزيادة الحجمية)

جدول 5: التحليل بالمناخل للركام الصغير (الرمل)

نسبة الماء نسبة المار (%)	نسبة المحجوز التراكمي (%)	الوزن التراكمي (gm)	وزن المحجوز (gm)	فتحة المنخل (mm)
99.85	0.154	3.1	3.1	5
99.66	0.339	6.8	3.7	2.5
99.21	0.794	15.9	9.1	1.25
44.85	55.149	1104.1	1088.2	0.63
26.37	73.631	1474.1	370	0.31
8.7	91.263	1827.1	353	0.16
		2002	174.9	Pan

معيار النعومة = مجموع التراكمي المحجوز/100

معيار النعومة = 100/221.33 = 2.2133

جدول 6: نتائج إختبارات الركام الكبير

نتيجة الإختبار	نوع الإختبار
1.4	نسبة الإمتصاص %
2.6	الوزن النوعي
1310	الوزن الحجمي kg/m^3 (للركام المدموك)
1250	الوزن الحجمي kg/m^3 (للركام السائب)
18.4	مقاومة الركام للبري (Abrasion) %

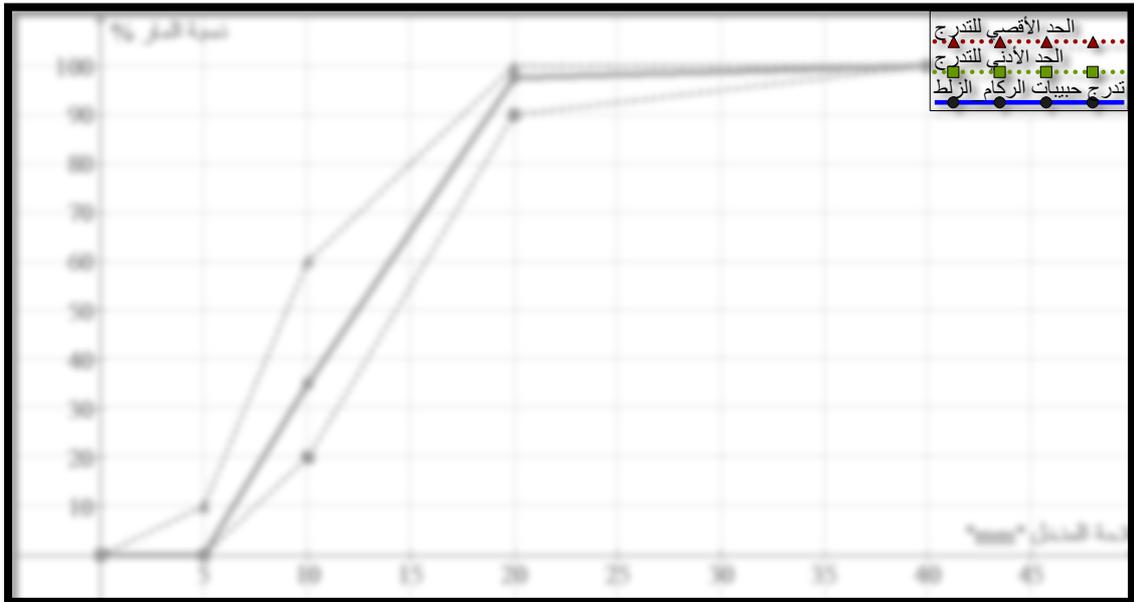
جدول 7: التحليل بالمنخل للركام الكبير

فتحة المنخل (mm)	نسبة المار (%)
40	100
20	97.5
10	35.1
5	0
Pan	

المقاس الإعتباري الأكبر = 20

معيار النعومة = مجموع التراكمي المحجوز/100

$$1.67 = 100/167.4 =$$



الشكل (2) التدرج الحبيبي للركام الكبير

5. الإضافات: تم استخدام منتج تجاري من الملدنات الفائقة نوع السيكامنت_ إن إن (Sikament-NN)

وحسب النشرة الفنية المرافقة [4]، هذه الإضافة هي عبارة عن مادة تضاف للخرسانة للتحسين من خواصها الميكانيكية وخاصة مقاومتها للضغط حيث تعطي خرسانة عالية الكفاءة وتعتبر مخفضة لمحتوى الماء كما تزيد قابلية التشغيل بدرجة فائقة، كما يمكن وصف المادة على أنها سائل ملدن قوى له تأثير مزدوج لإنتاج نوعية خرسانة ذات سيولة وانسيابية عالية وأيضاً عامل عالي الكفاءة لخفض محتوى الماء لتحسين سرعة التصلد وزيادة الإجهادات المبكرة والنهائية طبقاً للمواصفات الأمريكية والبريطانية.

والبيانات الفنية لهذه المادة تدرج في:

اللون: بني غامق.

الكثافة النوعية: 1.20 - + كجم / لتر.

قيمة الأس الهيدروجيني PH: ± 0.17 .

وتحدد المادة كيفية الإستخدام والتطبيق كالتالي:

1. الجرعة: تتراوح الجرعة بين (0.6 - 3) % بالوزن من الإسمنت تبعاً لقابلية التشغيل والقوة المطلوبة ويتوافق السيكامنت_ إن إن (Sikament_NN) مع جميع أنواع الإسمنت البورتلاندي بما فيها الإسمنت المقاوم للكبريتات (R.C.S).

2. التوزيع: يضاف السيكامنت_ إن إن (Sikament_NN) إلى مياه الخلط قبل إضافته للركام أو كما في معظم الحالات يضاف منفصلاً إلى الخرسانة الطازجة حيث يظهر تأثير الملدن بوضوح، وفي حالة الخرسانة الجاهزة تضاف السيكامنت_ إن إن (Sikament_NN) للخرسانة مباشرة قبل تفرغها من الخلاطة وبعد ذلك يتم الخلط لمدة 3 دقائق إضافية.

3. برنامج تقسيم العينات (مجال الدراسة المستهدف)

4 الإختبارات

تم تطبيق اختبار الضغط والشد غير المباشر للعينات القياسية والعينات الأخرى التي تحتوي على نسب مختلفة من الملدنات الفائقة، بمقدار زيادة ثابت 1% في حدود من (0.5% إلى 3.5%) بالنسبة لوزن الإسمنت وعند الأعمار 7 و 28 يوم. تضم هذه العينات مكعبات وإسطوانات بعدد 20 مكعب و 20 إسطوانة كما موضح في الجدول 8.

جدول 8: مكونات خلطات العينات الخرسانية

الخلطات	الملدن الفائق %	الإسمنت (Kg/m ³)	الرمل (Kg/m ³)	الركام (Kg/m ³)	نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C)
القياسية	0	400	800	1200	0.61
العينة 1	0.5	400	800	1200	0.49
العينة 2	1.5	400	800	1200	0.43
العينة 3	2.5	400	800	1200	0.41
العينة 4	3.5	400	800	1200	0.39

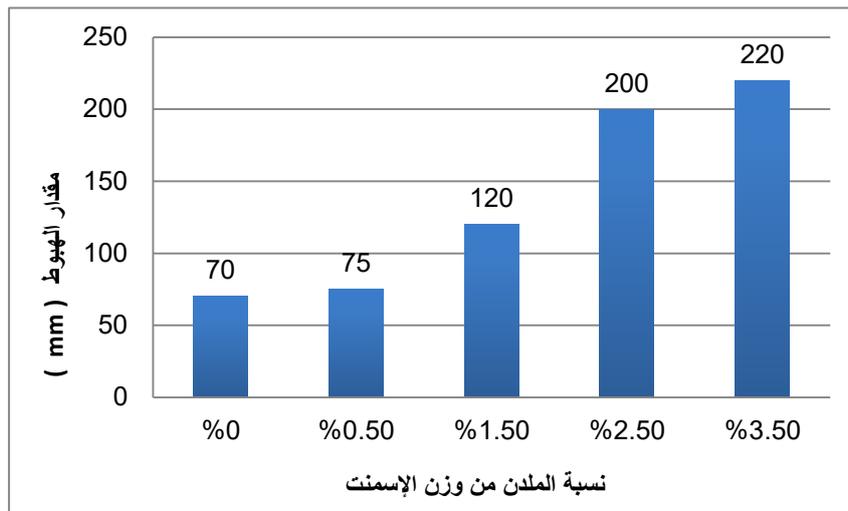
5 مناقشة النتائج

يشمل هذا البند عرض ومناقشة النتائج المتحصل عليها لاختبارات الخرسانة الطازجة والمتصلدة وكذلك المخططات والمنحنيات الخاصة بمقدار الهبوط ومقاومة الضغط والشد غير المباشر للعينات عند الأعمار 7 و28 يوم.

يوضح الجدول 9 نتيجة اختبار الهبوط للخرسانة الطازجة وكما هو متوقع فإن إضافة الملدن الفائت تعمل على زيادة مقدار الهبوط للخرسانة الطازجة، ففي العينة القياسية (0% ملدن) كان مقدار الهبوط 70 مم وفي العينة رقم 1 إزداد الهبوط ليصبح 75mm ويلاحظ إزداد الهبوط أكثر في العينة الثانية فقيم الهبوط المتمثلة في العينة القياسية والعينتان رقم 1 و2 تندرج تحت حدود القوام اللدن (Plastic) ويعتبر هو القوام الأفضل للخرسانة الطازجة. أما بالنسبة للعينة رقم 3 (1.5% ملدن) سجل مقدار الهبوط (200mm) ويعتبر قوامها مبتل (wet) وسجل الهبوط أعلى درجاته في العينة رقم 4 فكان (220mm) وهو قوام رخو (sloppy) كما هو موضح في الشكل (3).

جدول 9: نتائج إختبار الهبوط لعينات الإختبار (الخلطات المختلفة)

العينة (نوع الخلطة)	مقدار الهبوط (mm)	القوام
القياسية	70	لدن - Plastic
العينة رقم 1	75	لدن - Plastic
العينة رقم 2	120	لدن - Plastic
العينة رقم 3	200	مبتل - wet
العينة رقم 4	220	رخو - sloppy



الشكل (3) مخطط نتائج اختبار الهبوط للخرسانة الطازجة

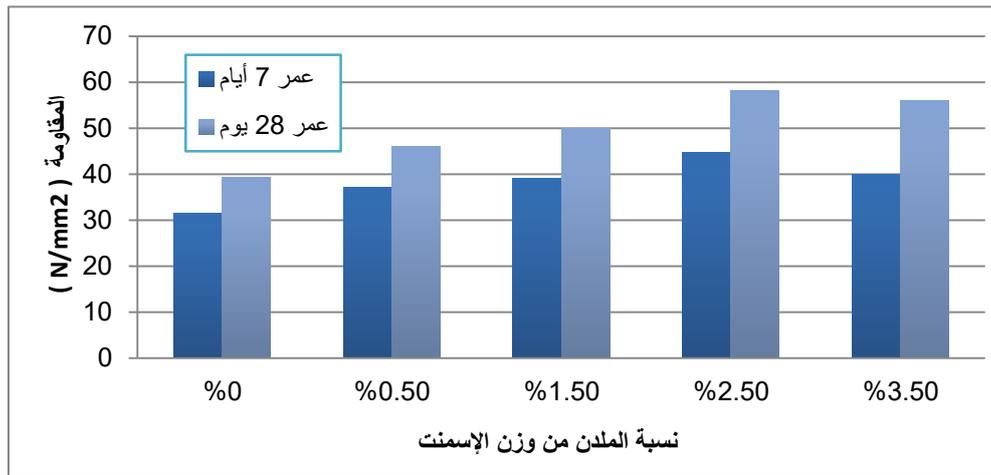
ويرجع السبب في زيادة مقدار الهبوط إلى أن الملدن الفائق يعمل على زيادة سيولة وانسيابية الخرسانة الطازجة أي زيادة قابلية التشغيل مع خفض المحتوى المائي عند كل نسبة من الملدن المضاف للخلطة فيلاحظ أن القوام رخو جدا في العينة رقم 4 والتي بها نسبة الملدن 3.5% من وزن الإسمنت، فهذه النسبة خارج الحدود المسموح بها لهذا الملدن التجاري (Sikament_NN) حيث تتص الحدود من (0.6% إلى 3%) من وزن الإسمنت.

نتائج اختبارات مقاومة الضغط للمكعبات

بعد إجراء اختبارات الضغط على مكعبات العينات المختلفة عند عمر 7 و 28 يوم ، الجدول 10 والشكل 4، تبين أن مقاومة الضغط للعينة القياسية (0% ملدن) هي (39.42N/mm²) بعد 28 يوم بينما ازدادت مقاومة الضغط بشكل ملحوظ في العينة بزيادة نسبة الملدن حتى وصلت في العينة رقم 3 (2.5% ملدن) والتي أعطت أعلى قيمة لمقاومة الضغط (58.16N/mm²) عند عمر 28 يوم بنسبة زيادة 48% عن العينة القياسية. وعلى العكس من ذلك بدأت مقاومة الضغط بالإنخفاض في العينة الرابعة (3.5% ملدن) عن أقصى قيمة لها ويرجع سبب هذا الإنخفاض إلى خروج هذه النسبة عن الحدود المسموح بها للمادة وعليه فإن زيادة هذه المادة عن الحدود المسموحة يؤثر سلبا على مقاومة الضغط للخرسانة حيث تزداد سيولة وانسيابية الخلطة مما يؤدي إلى زيادة مخاطر الانفصال الحبيبي والنضح أو النزيف. ولكن بقيت مقاومة الضغط في العينة الرابعة أعلى من باقي العينات موضوع الدراسة باستثناء العينة الثالثة حيث زادت فيها مقاومة الضغط بنسبة تقدر بـ 42% مقارنة بالعينة القياسية.

جدول 10: نتائج إختبار مقاومة الضغط للعينات القياسية

نسبة الملدن من وزن الإسمنت	العمر (يوم)	متوسط مقاومة الضغط (N/mm ²)	نسبة الزيادة في مقاومة الضغط إلى العينة القياسية عند عمر 7 و 28 يوم	نسبة الزيادة في مقاومة الضغط من عمر 7 إلى عمر 28 يوم	إسم العينة
0.0%	7	31.5	0%	20.1%	قياسية
0.0%	28	39.42	0%		
0.5%	7	37.06	18%	19.3%	العينة 1
0.5%	28	45.95	17%		
1.5%	7	39.06	24%	21.9%	العينة 2
1.5%	28	50.04	27%		
2.5%	7	44.66	42%	23.2%	العينة 3
2.5%	28	58.16	48%		
3.5%	7	39.86	27%	28.8%	العينة 4
3.5%	28	56	42%		



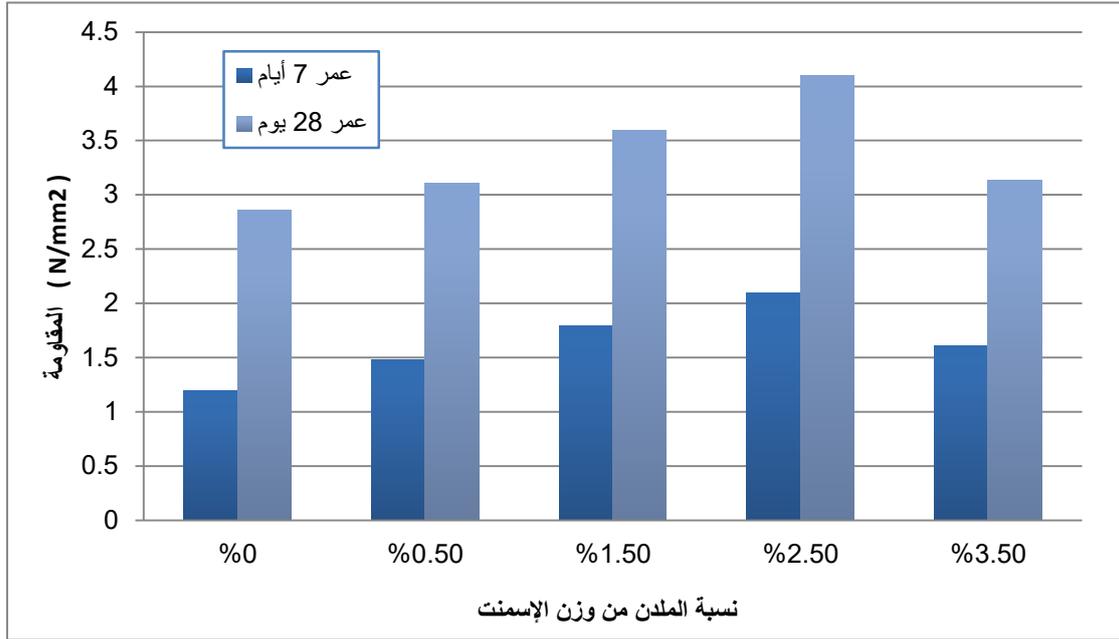
الشكل (4) مخطط نتائج اختبارات مقاومة الضغط للمكعبات عند عمر 7 و 28 يوم

نتائج اختبارات مقاومة الشد غير المباشر للإسطوانات

من المعروف أن الخرسانة ضعيفة المقاومة للشد حيث تتراوح قيمة تحمل الخرسانة للشد حوالي من (8% إلى 12%) من مقاومة الضغط. فبعد إجراء اختبار الشد غير المباشر للعينات المختلفة بعد 7 و 28 يوم، الجدول 11، أوضحت النتائج ارتفاعاً بشكل تدريجي في مقاومة الشد وصولاً لأعلى قيمة لها تم ترجع بالإنخفاض حيث كانت مقاومة الشد في العينة. سجلت العينة بنسبة 2.5% مملدن من وزن الإسمنت أعلى قيمة لمقاومة الشد ويلاحظ إنخفاض ملحوظ في العينة بنسبة 3.5% مملدن. يرجع سبب الإنخفاض في مقاومة الشد للعينة الأخيرة إلى تجاوز نسبة المملدن عن الحدود المسموح بها ولكن بقيت مقاومة الشد لهذه العينة أعلى من العينة القياسية بنسبة 10% عند عمر 28 يوم، كما هو موضح في الشكل (5).

جدول 11: نتائج إختبار الشد غير المباشر للعينات

نسبة الزيادة في مقاومة الشد من عمر 7 إلى عمر 28 يوم	نسبة الزيادة في مقاومة الشد إلى العينة القياسية عند عمر 7 و 28 يوم	متوسط مقاومة الشد غير المباشر (N/mm ²)	العمر (يوم)	نسبة المملدن من وزن الإسمنت	إسم العينة
58.0%	0%	1.2	7	0.0%	قياسية
52.4%	23%	1.48	7	0.5%	العينة 1
	9%	3.11	28		
50.3%	49%	1.79	7	1.5%	العينة 2
	26%	3.6	28		
48.8%	75%	2.1	7	2.5%	العينة 3
	43%	4.1	28		
48.7%	34%	1.61	7	3.5%	العينة 4
	10%	3.14	28		



الشكل (5) مخطط نتائج اختبارات مقاومة الشد غير المباشر للإسطوانات عند عمر 7 و 28 يوم

6 الخلاصة

أجريت هذه الإختبارات بكلية التقنية الهندسية هون، كما تم إجراء بعض الإختبارات المعملية بمعمل الخرسانة بكلية الهندسة جامعة سرت. تهدف هذه الورقة إلى دراسة أثر استخدام نسب مختلفة من الملدنات الفائقة على خواص الخرسانة المنتجة باستعمال الموارد الطبيعية المتوفرة في منطقة الجفرة. تم توظيف المنتج التجاري من الملدنات الفائقة نوع السيكامنت_إن إن (Sikament_NN). أوضحت النتائج المعملية أن مقدار مقاومة الضغط عند العمرين 7 و 28 تزداد تدريجياً من العينة القياسية إلى العينة بـ 2.5% ملدن من وزن الإسمنت تم تخفيض بعد ذلك عند 3.5% ملدن من وزن الإسمنت. كما أبدت نتائج اختبار الشد غير المباشر أيضاً إرتفاع تراتبي في مقاومة الشد وصولاً لأعلى قيمة لها ثم ترجع بالإنخفاض حيث كانت مقاومة الشد في العينة. وهذا التباين في القيم يعود إلى الإرتفاع التدريجي في نسبة المادة الملدنة السيكامنت_إن إن (Sikament_NN) في العينات المختلفة ويتجاوز هذه النسبة عن الحدود المنصوصة في نشرة المنتج نقل مقاومتها الشد والضغط. بصفة عامة تعتبر الملدنات الفائقة (SP) مرتفعة الثمن وبخلاف العوامل الإقتصادية فإن الجرعات الزائدة عن الحد المسموح به من (Sikament_NN) في الخلطة الخرسانية غير مرغوب فيه ولا يعطي القيمة القصوى لمقاومتي الضغط والشد للخرسانة ولكنة ليس بالأمر الخطير إذا حدثت زيادة بالخطأ، فمقاومتها الضغط والشد ستزيدان عن تلك بالخرسانة المنتجة دون إضافات.

7 المراجع

- [1] التعداد العام للسكان 2006، مصلحة الإحصاء والتعداد ليبيا،
<http://bsc.ly/?P=5&sec_Id=18&dep_Id=6#29>
- [2] ALKafri1, Ghusen & Farid, Balsam, 2013, "Quality of Aggregate from Local Sources and Its Effect on The Properties of Concrete", 12th Arab structural engineering conference, Tripoli, Libya.
- [3] محمود أمام، محمد أمين 2008، "خواص المراد واختباراتها"، الطبعة الأولى.
- [4] النشرة الفنية المرفقة بإضافة السيكامنت إن إن (Sikament_NN)، 2013

تأثير درجة حرارة الخرسانة الطازجة على كفاءة الإضافات الكيميائية

م. علي عثمان مسعود
مساعد مدير ضمان وضبط الجودة
شركة الإتحاد العربي للمقاولات
authman_em@yahoo.com

د. علي محمد منصور
محاضر - جامعة طرابلس
طرابلس
bomnadi@yahoo.com

محمد عبد الرحيم أبوظرطور
طالبة بكالوريوس بكلية الهندسة - قسم الهندسة المدنية - جامعة طرابلس - طرابلس

محمد فؤاد عاشو

ملخص

في المناطق الحارة عموماً وليبيا خصوصاً يكون للتعامل مع العوامل البيئية المحيطة أثراً في غاية الأهمية على خواص الخلطة الخرسانية سلباً أو إيجاباً، وتلعب المراد الكيميائية التي تضاف للخرسانة دوراً مهماً للتحكم في هذه الخواص ومنها التشغيلية وقوة تحمل الخرسانة وديمومتها مع الزمن. فهذا التعامل يقصد به النقل والصب والمعالجة، مع الإستعمال الصحيح والأمثل للإضافات الكيميائية مما يتطلب فهماً دقيقاً وجيداً للحصول على أفضل النتائج للخطات الخرسانية المستهدفة.

وتؤثر درجة الحرارة على كفاءة هذه الملدنات المضافة بالتالي على خواص الخرسانة المتمثلة في قوة التحمل ودرجة التشغيل وزمن الشك مما يستوجب ضرورة معرفة تأثير اختلاف درجات الحرارة وتحديد الجرعات المثلى الواجب إضافتها من هذه الإضافات لتلافي أي نتائج عكسية على خواص الخرسانة، ومن هذا المنطلق تناول هذا البحث بالدراسة النظرية والعملية أثر درجات الحرارة المختلفة عند إستعمال الإضافات الكيميائية المصنفة حسب المواصفة الأمريكية (ASTM C494) من النوع (Type F) والنوع (Type G) على خواص الخلطة الخرسانية ويختص منها التشغيلية التي تعبر عن خواص الخرسانة الطازجة، وقوة تحمل الضغط التي تعبر عن خاصية الخرسانة بعد تصلدها.

خلصت الدراسة بان ارتفاع درجة حرارة الخلطة الطازجة يقلل من كفاءة الملدنات المضافة وزمن الإحتفاظ بدرجة التشغيل وخصوصاً عند استخدام الملدن من النوع (Type F) مما يتطلب إنتاج خرسانة ذات درجة حرارة واطئة للرفع من كفاءة هذه الملدنات.

الكلمات الدالة: كفاءة الملدنات - درجات الحرارة - درجة التشغيل.

1- مقدمة

تلعب المراد الكيميائية (الملدنات) التي تضاف للخرسانة دوراً مهماً للتحكم في خواص هذه الخرسانة كقوة تحملها وديمومتها مع الزمن، مما يتطلب فهماً دقيقاً وجيداً للحصول على أفضل النتائج المستهدفة، وتوجد الملدنات بأنواع عديدة ذات سلوك مختلف عن بعضها البعض بالرغم من أن لها نفس التركيب الكيميائي تقريباً حيث تتداخل مع الإسمنت في الخلطة الخرسانية فيزيائياً وكيميائياً في وقت مبكر مما يؤثر على أدائها سلباً أو إيجاباً الأمر الذي

يستوجب ضرورة معرفة توافقها مع الإسمنت المستخدم والعوامل الأخرى المؤثرة على كفاءة أدائها كنسبة الماء للإسمنت وزمن إضافة هذه الملدنات للخلطة كما يجب عدم نسيان العوامل الخارجية المحيطة وما لها من أثر بالغ يبرز أكثر وضوحاً مع درجات الحرارة المختلفة للخرسانة الطازجة، ومن هذا المنطلق تتركز أهداف هذه الورقة في تحديد درجة التشغيل المتحصل عليها ومدة الإحتفاظ بها من خلال إضافة الملدن لخرسانة طازجة ذات درجات حرارة مختلفة واقتراح الحلول المثلى والإقتصادية عند استخدام تلك الملدنات وذلك من خلال إعداد خلطات خرسانية ذات درجات حرارة مختلفة باستخدام المواد المحلية والملدنات المصنفة حسب المواصفة الأمريكية ASTM (C494) النوع (Type F) والنوع (Type G) وإجراء الإختبارات عليها في الحالة الطازجة وتحليل النتائج وصولاً إلى استنتاجات واقتراحات تلي رغبة الباحث والمستهلك.

2- مجال العمل

الطقس الحار أو البارد يمكن أن يؤثر سلباً على خصائص الخرسانة الطازجة والمتصلدة، ومجال هذه الدراسة معرفة أداء الخرسانة الطازجة في المعمل والمعرضة إلى درجات حرارة ساخنة وباردة. وتم اعتماد مدى درجات الحرارة في هذه الدراسة إستناداً على ما يمكن تطبيقه في المعمل، واشتملت الدراسة على قياس التشغيلية ومقدار الإحتفاظ بدرجة التشغيل. نتائج هذه الدراسة مفيدة للجهود الرامية إلى فهم تأثير درجات الحرارة المختلفة على سلوك الخرسانة الطازجة.

3- البرنامج العملي

أستخدمت العناصر الأساسية للخلطة الخرسانية المتمثلة في الإسمنت والركام بنوعيه والإضافات الكيميائية والماء بنسب وزنية للوصول إلى المتطلبات الخاصة بهذه الدراسة وهذه المواد كالتالي:

3-1 المواد الخام:

الإسمنت: تم استخدام الإسمنت البورتلاندي العادي (N 42.5) لجميع الخلطات الخرسانية وهو من إنتاج شركة الإتحاد العربي للمقاولات - مصنع البرج - زليطن، وقد تم اختباره معملياً لتحديد خواصه الفيزيائية والتأكد من مطابقته للمواصفات، وقد تبين أن الإسمنت المستخدم مطابق لما تنص عليه المواصفة القياسية الليبية للإسمنت (م ق ل 340:2009)، والمواصفة الأوروبية (BS-EN 197-1-2000).

الركام الناعم: الركام الناعم الذي تم استخدامه في إعداد الخلطات الخرسانية هو عبارة عن رمل طبيعي جاف وهو خال من الشوائب، ومورد من مدينة زليطن، والركام الناعم له تأثير مهم على خواص الخلطة الخرسانية وعلى الأخص على خاصية التشغيلية ومقاومة الضغط، وقد أجريت عليه الإختبارات المعملية لمعرفة مدى مطابقته للحدود الطبيعية، وهو مطابق لحدود المواصفة الليبية (م ق ل 49:2002).

الركام الخشن: يعتبر الركام الخشن ذا أهمية كبيرة في صنع الخرسانة، حيث يؤثر بشكل كبير على مقاومة الخرسانة، وهو ركام خال من الشوائب والطين والظمي التي تعمل على إضعاف التماسك بين العجينة الإسمنتية والركام، والركام الخشن المستعمل في هذه الدراسة استخدام ركام خشن ذي تدرج من 5 - 20 مم المستعمل من محاجر رأس اللفعة (محجر شركة الإتحاد العربي للمقاولات)، وتم إجراء الإختبارات الفيزيائية والميكانيكية على هذا الركام الخشن وهو مطابق لحدود المواصفة الليبية (م ق ل 49:2002).

الماء: تنص المواصفات عادة على أن الماء المستخدم في خلط الخرسانة يجب أن يكون خال من المواد الضارة مثل الزيوت والشحوم والأملاح والأحماض والقلويات والمواد العضوية والمواد الناعمة سواء كانت هذه المواد ذائبة أو معلقة وخلافها من المواد التي يكون لها تأثير عكسي على الخرسانة من حيث قوة الكسر والمتانة، ويعتبر الماء الصالح للشرب صالحاً لخلط الخرسانة وفقاً للمواصفات الليبية (م ق ل 294).

الإضافات الكيميائية (الملدنات): تعج الأسواق العالمية بمختلف الأنواع من العلامات التجارية للإضافات الخرسانية، وبالرغم من تشعب منتجات الشركات وتنوعها، إلا أن ما هو متوفر في السوق الليبي يكاد يكون محدوداً، ولغرض تنفيذ متطلبات هذه الدراسة، فقد تمت المحاولة قدر الإمكان التوفيق بين أكثر أنواع الإضافات استخداماً في المشاريع الهندسية والمطابقة للمواصفة الأمريكية (ASTM C494) والمتمثلة في:

- إضافة تخفيض ماء خلط الخرسانة عالية الأداء (Type F).
- إضافة تخفيض ماء الخلط عالية الأداء و تأخير زمن الشك (Type G).

3-2 إجراءات نسب الخلط و التجهيز والاختبار:

عن طريق استخدام طريقة المعادلة الحجمية تم تحديد نسب مكونات خلط متر مكعب من الخرسانة الموضحة بالجدول (1) مع ضبط و تعديل نسب الخلط، مع الجدير بالذكر أنه تم الحرص على تثبيت كمية الماء المضافة وتثبيت نسبة هذه الملدنات في كل الخلطات وحيث أنه كان التركيز في هذا البحث على تأثير سلوك الملدنات المضافة للخرسانة الطازجة مع اختلاف في درجة حرارتها أثناء إضافة الملدن، خصوصاً درجة التشغيل (مقدار الهبوط)، مباشرة وبعد مرور 15 و 30 دقيقة من زمن إضافة هذا الملدن، وعليه تم التعامل مع مكونات الخلطة تارة بالتسخين وتارة أخرى بالتبريد عن طريق استخدام جهاز خاص بالتبريد والتسخين للوصول لدرجة الحرارة المستهدفة بحيث تراوحت درجات حرارة الخرسانة الطازجة من 6 إلى 40 درجة مئوية وكذلك تم إجراء كل الخلطات في غرفة مغلقة وتم ضبط حرارتها لتحاكي ظروف العمل في الجو الحار والجو البارد بقدر الإمكان باستخدام أجهزة للتبريد والتسخين والجدير بالذكر أنه تم أخذ 22 درجة مئوية كدرجة حرارة مرجعية لأنها تعبر عن درجة حرارة المعمل.

جدول (1) نسب المواد الداخلة في خلط الخرسانة

الإضافات الكيميائية (كجم/م ³)		الماء (كجم/م ³)	الركام الخشن (كجم/م ³)	الركام الناعم (كجم/م ³)	الإسمنت (كجم/م ³)	وصف المجموعة
Type F	Type G					
0	4.56	180	1110	740	380	(Type G)
3.8	0	180	1110	740	380	(Type F)

4- النتائج ومناقشتها

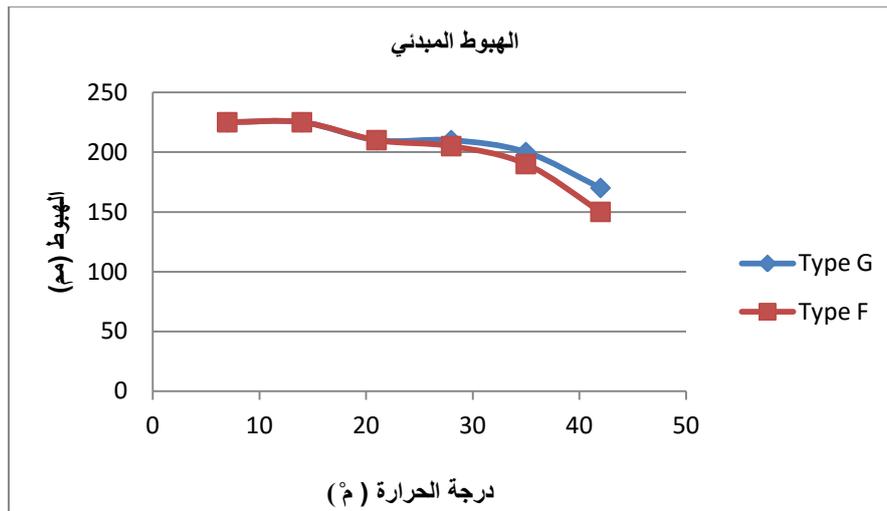
من خلال تجميع نتائج مقدار الهبوط في الجداول (2,3,4,5,6) بالإضافة إلى الأشكال (1,2,3) والتي توضح العلاقات بين درجات الحرارة ودرجة التشغيل يمكن إستنتاج الآتي:

4-1 تأثير درجات الحرارة على مقدار الهبوط المتحصل عليه:

تبين النتائج المتحصل عليها والموضحة بالجدول (2) والشكل (1) أنه كلما زادت درجة الحرارة قل تأثير الملدن ولا يوجد فرق يذكر لسلوك النوعين من الملدنات المضافة (Type F) و (Type G).

جدول (2) سلوك الملدنات مع التغير في درجات حرارة الخرسانة الطازجة

مقدار الهبوط (%)		درجة الحرارة (°م)
الملدن (Type G)	الملدن (Type F)	
225	225	6
225	225	15.7
210	210	22
210	210	29.3
200	190	33.3
170	150	38



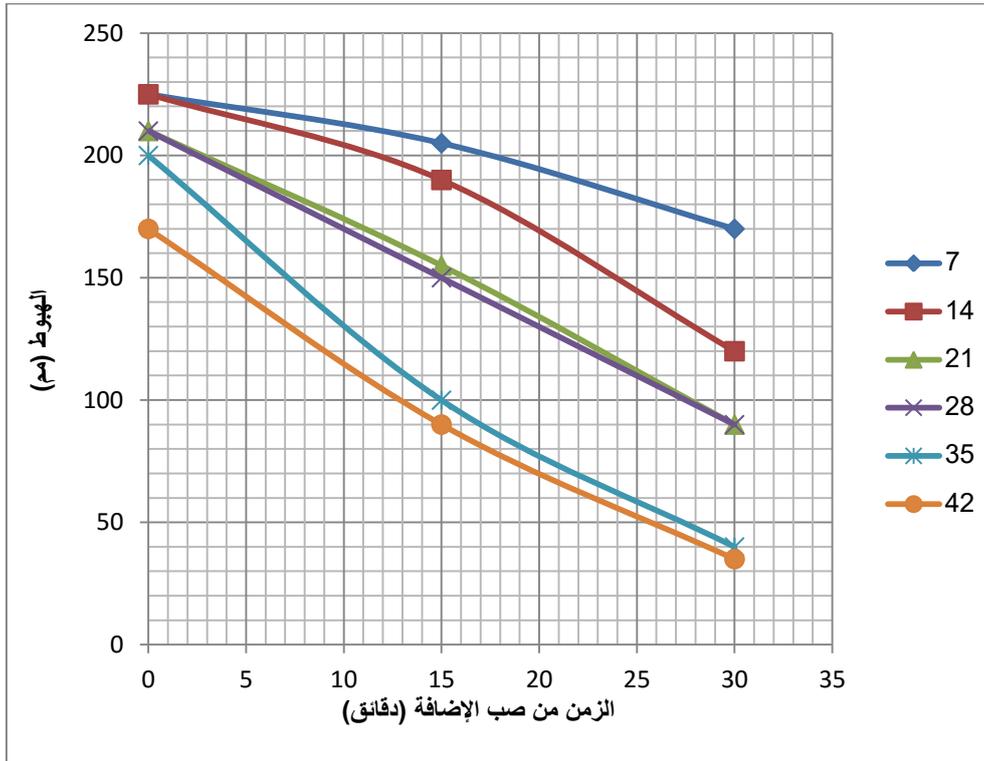
شكل (1) سلوك الملدنات مع التغير في درجات حرارة الخرسانة الطازجة

4-2 تأثير درجات الحرارة على فقدان درجة التشغيل مع مرور الزمن:

من خلال النتائج الموضحة بالجدولين (3،4) والشكلين (3،2) هناك تأثير واضح لدرجات الحرارة على نسبة الفاقد في درجة التشغيل مع الزمن ويزداد هذا التأثير مع ارتفاع درجات الحرارة فقد كانت نسبة الفاقد عند 6 درجات مئوية ويمرور 30 دقيقة حوالي 25%، بينما عند درجة 38 درجة مئوية وصلت نسبة الفاقد في درجة التشغيل إلى حوالي 76% عند نفس الزمن عند استخدام الملدن نوع (Type G) وحوالي 97% عند استخدام الملدن نوع (Type F).

جدول (3) تأثير درجات الحرارة على فقدان درجة التشغيل مع مرور الزمن مع الملدن (Type G)

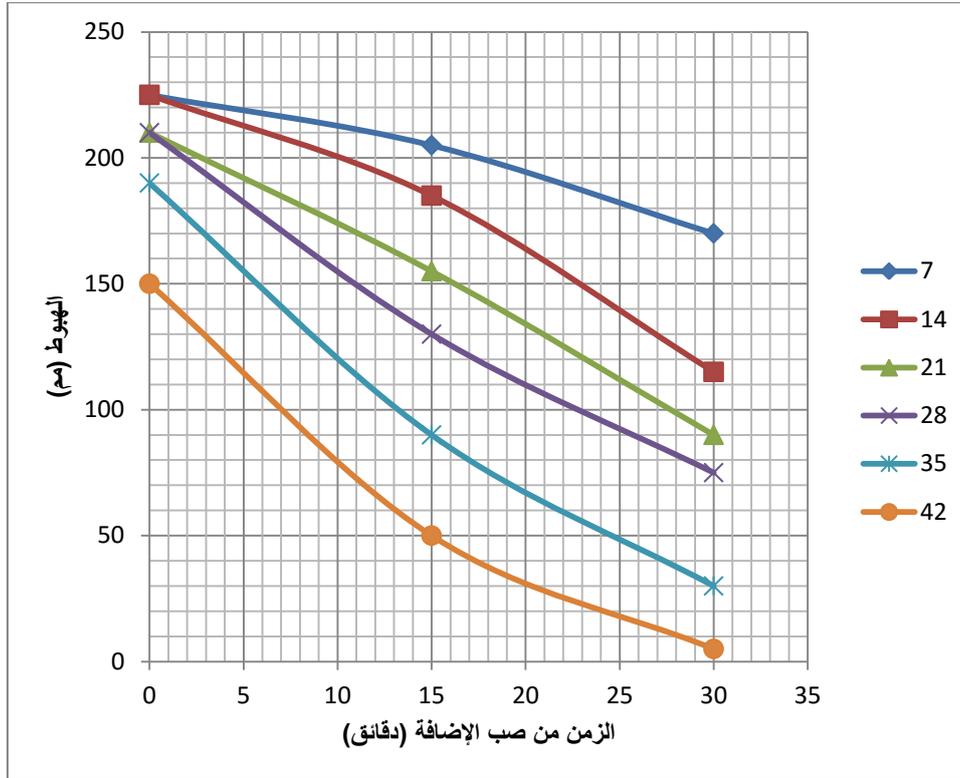
مقدار الهبوط مم			درجة الحرارة (°م)
30 دقيقة	15 دقيقة	5 دقائق	
170	210	225	6
120	190	225	15.7
90	150	210	22
90	155	210	29.3
40	100	200	33.3
40	90	170	38



شكل (2) تأثير درجات الحرارة على فقدان درجة التشغيل مع مرور الزمن مع الملدن (Type G)

جدول (4) تأثير درجات الحرارة على فقدان درجة التشغيل مع مرور الزمن مع الملدن (Type F)

مقدار الهبوط مم			درجة الحرارة (°م)
30 دقيقة	15 دقيقة	5 دقائق	
170	205	225	6
115	185	225	15.7
90	155	210	22
75	130	210	29.3
30	90	190	33.3
5	90	150	38



شكل (3) تأثير درجات الحرارة على فقدان درجة التشغيل مع مرور الزمن مع الملدن (Type F)

وبمقارنة درجة التشغيل المتحصل عليها والفاقد عند درجات الحرارة المختلفة مع درجة حرارة المعمل (22 درجة مئوية) يلاحظ أن درجات الحرارة الأدنى من درجة حرارة المعمل تعطي درجة تشغيل أكبر مع فاقد أقل بعكس درجات الحرارة الأكبر من درجة حرارة المعمل كما هو موضح بالجدولين (6،5).

جدول (5) نسبة الفاقد في مقدار الهبوط عند درجات الحرارة المختلفة مع الملدن (Type G)

نسبة الفاقد في مقدار الهبوط (%)			درجة الحرارة (°م)
30 دقيقة	15 دقيقة	5 دقائق	
+88	+40	+7	6
+33	+27	+7	15.7
0	0	0	22
0	0	0	29.3
-55	-33	-1	33.3
-55	-40	-19	38

جدول (6) نسبة الفاقد في مقدار الهبوط عند درجات الحرارة المختلفة مع الملدن (Type F)

نسبة الفاقد في مقدار الهبوط (%)			درجة الحرارة (°م)
30 دقيقة	15 دقيقة	5 دقائق	
+89	+32	+7	6
+28	+19	+7	15.7
0	0	0	22
-17	-16	0	29.3
-67	-42	-9.5	33.3
-94	-42	-28	38

5- الإستنتاجات

من خلال هذه الدراسة يمكن استنتاج النقاط الآتية:

1. إرتفاع درجة حرارة الخرسانة الطازجة يقلل من درجة التشغيل المتحصل عليها.
2. إرتفاع درجة حرارة الخرسانة الطازجة يقلل من زمن الإحتفاظ بدرجة التشغيل.
3. فقدان درجة التشغيل باستخدام ملدنات تخفيض ماء الخلط عالية الأداء (Type F) أسرع مقارنة باستخدام الملدن المعروف بتخفيض ماء الخلط عالي الأداء و تأخير زمن الشك (Type G).

6- التوصيات

يوصى بضرورة تبريد المكونات للحصول على خرسانة طازجة ذات درجة حرارة أقل من 22 درجة مئوية للإستفادة من كفاءة الملدنات المضافة وإطالة زمن الإحتفاظ بدرجة التشغيل بالنسبة للخرسانة في الجو الحار. وفي الجو الحار يفضل استخدام إضافة تخفيض ماء الخلط و تأخير زمن الشك عالية الأداء (Type G).

7- المراجع

1. المواصفات القياسية الليبية رقم (340)، الإسمنت البورتلاندي، لسنة 2009.
2. المواصفات القياسية الليبية رقم (49) ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية، لسنة 2002.
3. المواصفات القياسية الليبية رقم (294) المياه المستعملة في الخرسانة، لسنة 1990.
4. American Society for Testing and Materials, ASTM - C494 - 12 standard specification for ready - Mixed concrete, 2012.
5. American Society for Testing and Materials, ASTM - C494, specification for chemical Admixtures for concrete, 1990.
6. Soroka & D. Ravina, Hot Weather Concreting with Admixtures, Cement and concrete Composites 20-129-136- published by Elsevier Science Ltd (1998).
7. John Newman & Ban Seng Choo, Advanced Concrete Technology "2003.
8. Nader Ghafoori & Hamidou Diawara, Influence of temperature on fresh performance of self-consolidating concrete, Construction and Building Materials, 24 , 946-955, 2010.
9. American Concrete Institute, "ACI 305 R: Hot Weather Concreting, 1999.
10. American Concrete Institute, "ACI 306 R: Cold Weather Concreting, 1999.

-
11. American Society for Testing and Materials, ASTM C143 / C143M - 10, Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, 2010.
 12. American Society for Testing and Materials, ASTM C1064 / C1064M - 11, Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete, 2011.

الحد من تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة باستخدام تقنية إعادة الهز

د. مصطفى الدلنسي
جامعة مصراتة ، كلية الهندسة

المخلص

إحدى الظواهر التي تخفض من ديمومة الخرسانة هي ظهور تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة. ظهور ونمو تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة يمكن التحكم فيها بالتحكم في الظروف الجوية المحيطة بالخرسانة أو بإضافة الألياف أثناء عملية الخلط. في هذا البحث، تقنية إعادة هز الخرسانة أستخدمت للحد من انتشار تشققات الإنكماش في الخرسانة الطرية وذلك بسبب عدم توفر الألياف في بعض الدول النامية. 90 دقيقة (وقت إعادة الهز) بعد صب الخرسانة في قوالب حسب مواصفات (ASTM) تعرضت الخرسانة لفترة هز ثانية. والفترة اللازمة لإعادة الهز تتراوح من 15 إلى 45 ثانية. للتحقق من تأثير المحتوى المائي على تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة، أختيرت نسب مختلفة من نسبة الماء إلى الإسمنت (0.5، 0.55، 0.6). إضافة إلى ذلك، أستخدمت في هذا البحث طريقة رياضية لتحليل الصور الرقمية لحساب عرض وطول الشقوق الناتجة على سطح العينات. تظهر نتائج الدراسة حدوث انخفاض في تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة اعتماداً على نسبة الماء إلى الإسمنت والفترة اللازمة لإعادة الهز. إضافة الألياف واستخدام تقنية إعادة الهز للخرسانة أظهرت نفس المستوى من الحد من تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة، حيث أن كلتا الطريقتين تقلصان نمو وانتشار تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة بنفس المستوى تقريباً، لكن استخدام تقنية إعادة الهز تكون أكثر فعالية من الناحية الاقتصادية وخاصة في الدول النامية.

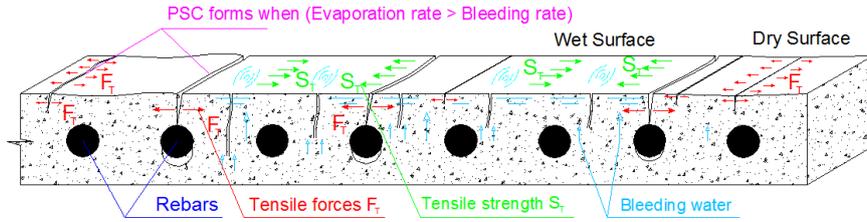
1. المقدمة

ظهور التشققات في عمر مبكر يعتبر مشكلة شائعة في المنشآت الخرسانية والتي بدورها تؤثر بشكل سلبي على ديمومة وأداء الخرسانة. الشقوق قد تؤدي إلى فشل دائم في المنشآت الخرسانية الناتج مثلاً من تآكل حديد التسليح. للتحكم في الآثار الجانبية للشقوق على ديمومة الخرسانة، تعباً هذه الشقوق بمواد خاصة للحد من نموها. واحدة من المشاكل الشائعة في الخرسانة الطرية والتي تحدث بشكل دائم هو حدوث ونمو تشققات الإنكماش المرن والتي تظهر بشكل عشوائي على سطح الخرسانة في الساعات الأولى بعد عملية الصب بينما الخرسانة لا تزال في الحالة الرطبة (24 ساعة بعد عملية الصب). التحكم في حدوث الشقوق المبكرة في الخرسانة يزيد من ديمومة الخرسانة وسلامتها وهو الهدف الرئيسي في هذا البحث.

2. تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة

تحدث تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة نتيجة سرعة فقدان الماء من سطح الخرسانة قبل تصلبها. تحدث الحالة الحرجة لظهور تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة عند تجاوز معدل التبخر (Evaporation rate) في رطوبة سطح الخرسانة معدل النزيف (Bleeding rate) الذي يوفر الرطوبة اللازمة لتحل محل الرطوبة المتبخرة من سطح الخرسانة (NRMCA 1960). الماء المحصور تحت سطح الخرسانة يشكل هلالاً مائياً بين حبيبات

الإسمنت والركام والتي بدورها تسبب في حدوث قوة شد (FT) في طبقات السطح (Wittmann 1976). عند بدء سطح الخرسانة في التصلب تنتج مقاومة لمقاومة قوة الشد (ST)، فإن الشقوق لا تظهر على السطح فجأة ولكن عند جفاف سطح الخرسانة قبل أن تتصلب فإن الشقوق لا تتكون مباشرة بل تتكون عندما تبده الخرسانة في التصلب بشكل سريع لأن مقاومة الخرسانة لقوة الشد تكون ضعيفة في هذه الحالة (Ravina&Shalon 1968). الشكل (1) يوضح مراحل تطور تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة.



الشكل (1): تطور تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة

تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة تحدث عند درجات حرارة مرتفعة للخرسانة (T_c in $^{\circ}C$) وسرعة عالية للرياح (V in km/h) ودرجات منخفضة لحرارة الجو (T_a in $^{\circ}C$) ورطوبة نسبية منخفضة (r in %) حيث أن كل هذه العوامل تساعد علي تسريع عملية تبخر الماء من سطح الخرسانة وتنتج معدل انكماش عال. Uno (1998) طور المعادلة التالية لربط هذه العوامل من أجل التنبؤ بمعدل التبخر (E) لسطح الخرسانة اعتماداً على مخططات الجمعية الوطنية الأمريكية للخرسانة الجاهزة (NRMCA 1960).

$$E = 5([T_c + 18]^{2.5} - r[T_a + 18]^{2.5})(V + 4) * 10^{-6} \dots (1)$$

معدل التبخر (E) يحسب من المعادلة السابقة ليساعد الباحثين للتنبؤ عن حدوث تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة. وبشكل عام، الجمعية الوطنية الأمريكية للخرسانة الجاهزة (NRMCA) تحدد أن تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة تحدث عند تجاوز معدل التبخر ($E=1.0 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$)، وفي مثل هذه الحالة بعض الإجراءات الاحترازية يجب أن تؤخذ في عين الاعتبار مثل استخدام مصدات للرياح، تبريد الخرسانة، استخدام نظام رش أو صب الخرسانة في الليل. عندما يكون معدل التبخر بين ($E=0.5-1.0 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$) فإن حدوث تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة محتمل. لكن بعض الباحثين وجدوا أن تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة يمكن أن تحدث حتى تحت معدل تبخر أقل من المعدلات المحددة من قبل الجمعية الوطنية الأمريكية للخرسانة الجاهزة (Almusallam et al. 1998).

3. هز وإعادة هز الخرسانة

هز الخرسانة هو تقنية تساعد الخرسانة الطرية على الشك بتسليط نبضات هز سريعة على حبيبات مزيج الخرسانة. إعادة هز الخرسانة هي عملية إعادة هز للخرسانة المصبوبة بعد فترة معينة من الصب وأحياناً بعد اكتمال عملية الهبوط. هز وإعادة هز الخرسانة هي عملية طرد الهواء من الخرسانة الطرية المصبوبة قبل التصلب النهائي للخرسانة وتعيد توزيع حبيبات المزيج الخرساني بشكل متقارب مع بعضها البعض مما يزيد في كثافة الخرسانة. هز وإعادة هز الخرسانة يزيد بشكل ملحوظ مقاومة الضغط للخرسانة و يحسن عملية الالتصاق بين الخرسانة وحديد التسليح. كذلك يزيد مقاومة الإمتصاص وديمومة الخرسانة ويقلل النفاذية ويتحكم في الإنكماش والزحف في

الخرسانة. الهز الجيد للخرسانة يؤكد إمتلاء القالب بشكل جيد وبالكامل، وعملية الإنهاء لوجه الخرسانة تكون بشكل عمودي علي السطح. بعد صب الخرسانة العادية في القوالب وخصوصا التي تمتاز بالهبوط البسيط أو العالي فإنها تحتوي على هواء محصور داخل الخرسانة من 5% الي 20% من الحجم. هز الخرسانة في معظم المنشآت الخرسانية يكون عن طريق استخدام الهزازات الداخلية مثل إبرة الهز (Needle Vibrator) (CCAA2006). الفترة اللازمة للهز المبدئي باستخدام إبرة الهز والتي تضمن هز كامل للخرسانة المحيطة بإبرة الهز لا يمكن تحديدها بشكل دقيق حيث أنها تعتمد على قابلية تشغيل الخلطة الخرسانية، حجم الإبرة وحجم الخرسانة المصبوبة. مدة الهز الإبتدائي بعد صب الخرسانة يتراوح من 5 إلى 10 ثانية للخرسانة التي تعطي مقدار الهبوط من 25 الي 75 ملم. عمليا تعتبر 10 ثوان مدة هز إبتدائي مقبول لمعظم الأعمال الخرسانية (CCANZ 2006 and CCAA 2006). وقت الهز اللازم لهز الخرسانة بعد مضي فترة من صبها (وقت إعادة الهز) يعتبر أكثر تعقيدا ومن الصعب تحديده، حيث أنه لا يعتمد فقط على العوامل السابقة التي تساعد في تحديد زمن الهز الإبتدائي بل يعتمد أيضا على الوقت المطلوب بعد عملية الصب لتعريض الخرسانة لعملية إعادة الهز وخبرة المهندس أو الملاحظات أثناء غرز الهزاز في جسم الخرسانة الطرية. عدد كبير من الباحثين قاموا بدراسة إعادة الهز للخرسانة وتأثيرها على بعض خواص الخرسانة بتعريض خلطات خرسانية مختلفة للهز في أوقات مختلفة بعد الصب ووجد أن كثافة الخرسانة ومقاومة الضغط للخرسانة تتحسن عندما تتعرض الخرسانة لإعادة الهز بعد صبها (Sawyer & Lee 1956, Vollick 1958, MacInnis & Kosteniuk, 1979 Aldalinsi et al. 2003, and Krishna et al. 2008).

4. الهدف من البحث

تقنية إعادة هز الخرسانة تستخدم لتحسين الديمومة وبعض خواص الخرسانة وكذلك من ناحية تقليل كلفة تصميم الخلطات الخرسانية. هذا البحث يعتمد بشكل أساسي على معالجة ظاهرة تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة بتعريض الخرسانة للهز بعد مضي ساعة ونصف من صبها للحد من ظهور أو نمو تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة. كذلك مدد هز مختلفة للخرسانة تم اعتمادها لفهم تأثيرها على نمو تشققات الإنكماش المرن لنسب مختلفة من الماء إلى الإسمنت.

5. البرنامج العملي للبحث

قابلية التشغيل للخرسانة (workability) توصف عن طريق اختبار الهبوط (slump test) وتحسب مقاومة الضغط للخرسانة (compressive strength) عن طريق اختبار الضغط القياسي. مراقبة تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة تكون في المرحلة اللدنة (Plastic) للخرسانة بعمر (24±2 ساعة). حيث أنه لا يوجد اختبار قياسي لتقييم تأثير إعادة الهز للخرسانة على نمو تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة، أتبع طريقة اختبار المعهد الأمريكي لاختبار المواد (ASTM C1579) لأنها توفر قالباً بحجم خرسانة جيد لتسهيل عملية الهز باستخدام هزاز داخلي. بعض التعديلات في هذه الطريقة تم اعتمادها لتسهيل القيام بالبرنامج العملي للبحث. أولاً، التحكم في الظروف الجوية المحيطة بالخرسانة المدروسة كان في غرفة تحكم بحجم (2x3.5 m) بدلاً من حجم غرفة التحكم المنصوص عليها في مواصفات المعهد الأمريكي لاختبار المواد (ASTM C1579) لتسهيل عملية الهز وإعادة الهز للخرسانة المدروسة وكذلك للحد من اختلافات معدل التبخر بين العينات حيث أن كل العينات تم

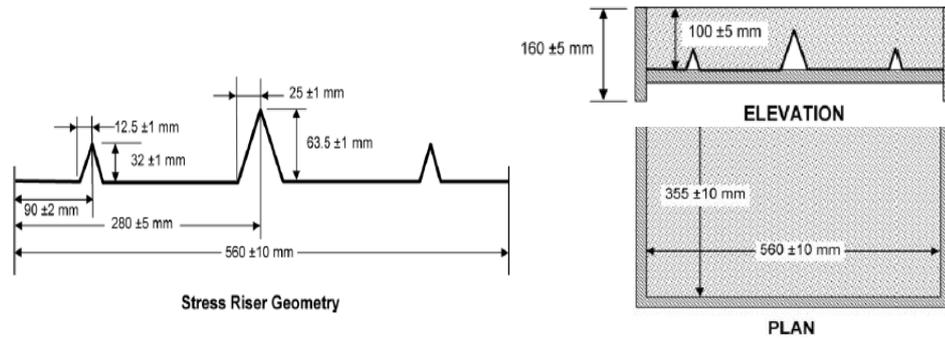
اختبارها تحت نفس الظروف الجوية وفي نفس الوقت. ثانياً، تأثير الهبوط والتغير في الحجم للخرسانة على تشققات الإنكماش المرن لم يتم اعتبارها. فقط تم اعتبار تأثير الظروف الجوية المحيطة على تشققات الإنكماش. ثالثاً، حيث أن وقت الشك النهائي للخرسانة الطرية يمكن اعتباره حتى 6 ساعات بعد عملية الصب للخرسانة العادية وعملية إعادة الهز للخرسانة تم اختياره بعد 90 دقيقة من صب الخرسانة، عليه لا حاجة لتحديد زمن الشك النهائي للخلطات الخرسانية المستخدمة في البحث (PCA 2003, Qi et al. 2003 & 2005 and TRC 2006). رابعاً، استخدام هزاز داخلي والذي يوافق متطلبات الهز حسب مواصفات المعهد الأمريكي لاختبار المواد (ASTM C192) بدلاً من طاولة الهز المعتمدة في المواصفات آنفة الذكر.

1.5. نسب الخلط و أبعاد العينة

تم إنتاج خرسانة عادية بنسب مختلفة من نسبة الماء إلى الإسمنت (0.5، 0.55، 0.6) باستخدام (Type I&II) إسمنت بورتلاندي ورمل (C-33) وحصى بحجم أقصى 19 ملم و ماء الشرب. نسب خلط الخرسانة المستخدمة في هذه الدراسة موضحة في جدول (1). أيضاً، خلطات خرسانية مضاف إليها ألياف (FPF) (Fibrillated Polypropylene Fiber) بنسبة 0.9 كلجم لكل متر مكعب تم إنتاجها باستخدام نفس نسب الخلط الموضحة في الجدول (1). المعهد الأمريكي لاختبار المواد (ASTM C 1579) يستخدم قالباً مصنوعاً من الخشب (Plywood) كما موضح في الشكل (2) لتقييم تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة وهو نفس القالب الذي تم اعتماده في هذا البحث. إضافة إلى ذلك، القالب الإسطواني بحجم (30x15 سم) تم استخدامه لتحديد مقاومة الضغط للخرسانة حسب مواصفات المعهد الأمريكي لاختبار المواد (ASTM C 39).

جدول (1) نسب الخلط الخرسانة

w/c ratio	Cement, kg/m ³	Water, kg/m ³	Gravel, kg/m ³	Sand, kg/m ³
0.5	279	139.4	1067.9	947.5
0.55	279	153.7	1048.3	929.7
0.6	279	167.3	1048.9	893.5



الشكل (2) أبعاد القالب القياسي المستخدم في البحث (ASTM C1579)

2.5. مدة الهز الإبتدائي ووقت إعادة الهز

إستخدام الهزاز الداخلي لهز الخرسانة والذي يعطي نفس التردد المطلوب حسب المواصفات (CCAA 2006 و ASTM 2012 و CCANZ2006, CVH 2003). الهز الإبتدائي كان مباشرة بعد الصب لفترة من 3 إلى 5 ثوان للعينات الإسطوانية الخاصة بدراسة مقاومة الإنضغاط للخرسانة والعينات الخاصة بدراسة تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة. وقت الإنتظار بعد صب العينات وقبل عملية إعادة الهز أختيرت لتكون 90 دقيقة إعتقادا على البحوث السابقة (Vollick 1958, Aldalinsi et al. 2003 and Krishna et al. 2008). لتقييم تأثير المدة الزمنية اللازمة لإعادة الهز، أختيرت ثلاث فترات زمنية لوقت إعادة الهز: 15، 30 و 45 ثانية. أثناء عملية الهز لوحظ بشكل نظري أن هذه الفترات الزمنية تبين تناسقا ودمكا جيدا في سطح الخرسانة.

3.5. الظروف الجوية المحيطة بالعينة

الظروف الجوية الجافة تعتبر هي الظروف التي تحفز على ظهور ونمو تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة وتظهر هذه الشقوق إعتقادا على مجموعة من المتغيرات وهي درجة حرارة الجو (Ta)، الرطوبة النسبية (r)، درجة حرارة الخرسانة (Tc) وسرعة الرياح (V). توجد مجموعة من المعطيات التي تنتج ظروفًا جوية جافة. قيم درجة حرارة الجو والرطوبة النسبية وسرعة الرياح داخل غرفة التحكم تم تسجيلها لكل ساعة. درجة حرارة الخرسانة تم قياسها مباشرة بعد عملية الصب. التفاوت في قيم درجة حرارة الجو والرطوبة النسبية داخل غرفة التحكم تم السيطرة عليها ضمن الحدود المسموح بها حسب مواصفات (ASTM C1579) وهي $\pm 3^{\circ}\text{C}$ لدرجة حرارة الجو و $\pm 10\%$ للرطوبة النسبية. الجدول (2) يلخص القيم المتوسطة من درجة حرارة الجو، الرطوبة النسبية، سرعة الرياح و درجة حرارة الخرسانة. الجدول يبين أيضا معدلات التبخر المحسوبة حسب المعادلة (1). حسب NRMCA 1960 فإن قيم معدلات التبخر تشير إلى أن تشققات الإنكماش المرن في الخرسانة سوف تحدث.

الجدول (2) الظروف الجوية المصممة ومعدلات التبخر المحسوبة من معادلة (1)

w/c ratio	Ta, °C	r, %	V, kg/hr	(Tc), °C	E, kg/m ² /hr
0.5	29.4	40	13	26.7	0.61
0.55	18.3	50	13	21.7	0.51
0.6	30.5	55	13	29.4	0.55

4.5. تجهيز العينة

تم خلط الخرسانة في الخلاط المركزي الخاص بالشركة الموردة للخرسانة حسب مواصفات (ASTM و ACI) من أجل التحكم في التباين بين الخلطات الخرسانية والتفاوت في الظروف الجوية المحيطة. عليه تعتبر كل العينات لكل نسبة ماء إلى الإسمنت تحت نفس الظروف الجوية. العينات التي تحتوي على الألياف تم تجهيزها بإضافة الألياف إليها وخطها يدويا حسب النسبة المذكورة سابقا. تم صب الخرسانة في القوالب الإسطوانية والبلاطية وتعريضها إلى هز إبتدائي يتراوح من 3 إلى 5 ثانية باستخدام الهزاز الداخلي. بعد عملية الهز الإبتدائي تم نقل العينات البلاطية إلى غرفة التحكم لتعريضها إلى الظروف الجوية المصممة لإنتاج معدل التبخر الذي يحفز على ظهور تشققات الإنكماش المرن. بعد ساعة ونصف من صب الخرسانة، تم تعريض العينات البلاطية إلى اهتزازات أخرى (إعادة الهز) لفترات زمنية محددة. ثلاث عينات بلاطية لم يتم تعريضها لفترة هزة ثانية، تم إعادة هز ثلاث

عينات لكل مدة زمنية مقترحة للهبز (15، 30 و 45 ثانية) وتم إضافة الألياف لثلاث عينات بلاطية. بشكل عام، 15 بلاطة تم تحضيرها لكل نسبة ماء إلى الإسمنت. بشكل مشابه تم تحضير العينات الإسطوانية، أي أن هناك 15 عينة إسطوانية لكل نسبة ماء إلى الإسمنت، لكن العينات الإسطوانية تم فك القوالب من عليها بعد مضي 24 ساعة من صب الخرسانة وتم معالجتها بغمرها في حوض ماء عند درجة حرارة $21 \pm 2^\circ \text{C}$ لمدة 28 يوم لتجهيزها لاختبار مقاومة الضغط للخرسانة.

5.5. إختبار الهبوط

طبقا للموصفات (ASTM 2012 - ASTM C143/C143M)، إختبار الهبوط أستخدم لوصف قابلية تشغيل الخلطات الخرسانية المقترحة في هذا البحث. جدول (3) يعرض قياسات الهبوط في الخلطات الخرسانية المستخدمة ووصف قابلية التشغيل لكل الخلطات. من الجدول، تتراوح قابلية التشغيل للخلطات الخرسانية المستخدمة في البحث من قابلية تشغيل متوسطة إلى قابلية تشغيل عالية كما هو معرف من قبل العالم (Nevile-2011)، عليه فإن الخلطات الخرسانية في حالة تسمح بإعادة هزها بعد مرور فترة زمنية من الصب.

الجدول (3) قيم الهبوط ووصف قابلية التشغيل للخلطات الخرسانية

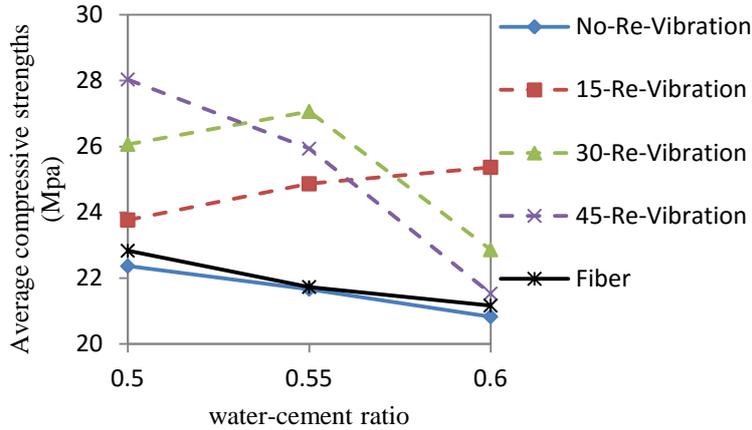
w/c ratio	Slump, mm	Description of workability
0.5	68	Medium
0.55	85	High
0.6	102	High

6.5. إختبار الضغط القياسي

أجري اختبار الضغط القياسي في هذا البحث لغرض التأكد من أن مقاومة الخرسانة للإنبضاغ تزداد عند تعرض العينات الإسطوانية لإعادة الهز بعد فترة زمنية (وقت إعادة هز الخرسانة) من صبتها. إختبار مقاومة الخرسانة للإنبضاغ أجري طبقا لـ للمواصفة (ASTM 2012 - ASTM C39/C39M). القيم المتوسطة لمقاومة الخرسانة للإنبضاغ بعد عمر 28 يوم من الصب لكل العينات الإسطوانية معروضة في الجدول (4). الملاحظات العامة من الجدول تتمحور في: (1) مقاومة الإنبضاغ إزدادت حتى 7% عند انخفاض نسبة الماء إلى الإسمنت وعدم تعرض الخلطات الخرسانية لهز ثان (إعادة هز). (2) كما هو متوقع، عند نسبة معينة من الماء إلى الإسمنت، زادت مقاومة الإنبضاغ حتى 20% عند تعرض الخلطات الخرسانية لهز ثان (إعادة هز). (3) زيادة الألياف للخلطات الخرسانية لا تظهر تأثيرا مهما على مقاومة الإنبضاغ. القيم المتوسطة لمقاومة الخرسانة للإنبضاغ مقابل نسب الماء إلى الإسمنت المستخدمة لكل فترات إعادة الهز المختلفة (للخرسانة العادية والخرسانة المضاف إليها الألياف) معروضة في المخطط المبين في الشكل (3). الشكل يبين أن مقاومة الإنبضاغ للخرسانة المعرضة لإعادة الهز تعتمد على نسب الماء إلى الإسمنت وطول فترة إعادة الهز.

جدول (4) متوسط مقاومة الإنبضاغ للإسطوانات الخرسانية في حالة الهز الإبتدائي، إعادة الهز ومضاف إليها الألياف

w/c ratio	Average values of 28 days compressive strength (fc'), Mpa				
	Initial vibration	Lengths of re-vibration time (seconds)			Fiber
		15	30	45	
0.5	22.37	23.77	26.07	28.03	22.83
0.55	21.67	24.87	27.07	25.93	21.73
0.6	20.83	25.37	22.87	21.53	21.17



الشكل (3) متوسط مقاومة الخرسانة للإنضغاط بعمر 28 يوم مقابل نسبة الماء إلى الإسمنت

6. تقييم الشقوق

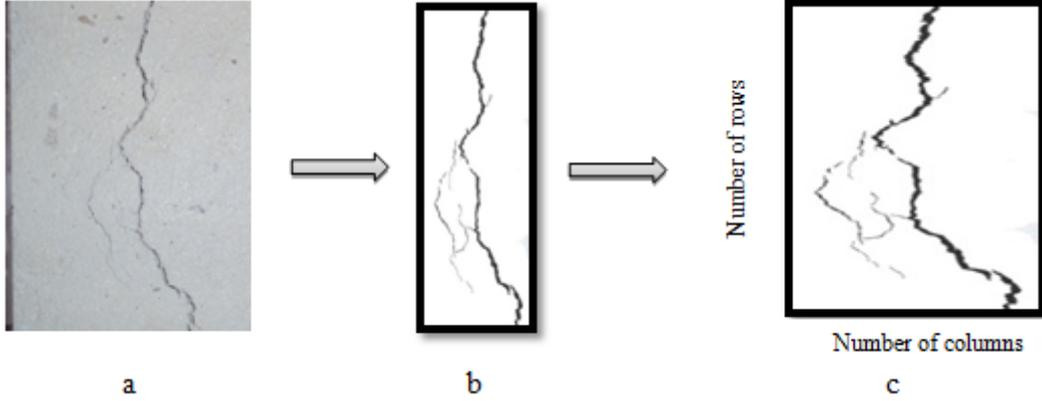
بعد ساعة ونصف من صب الخرسانة، البلاطات المصبوبة تم تعريضها لفترة هز ثانية وتشطبيها داخل غرفة التحكم. مراقبة شقوق الإنكماش المرن كان داخل غرفة التحكم كل ساعة لفترة 6 ساعات مباشرة بعد التشطيب، وبعد مرور 6 ساعات الأولى تركت العينات تحت الظروف الجوية العادية لغرفة التحكم لمدة 18 ساعة. من الفترة 6 إلى 24 ساعة لم يتم ملاحظة تغير كبير في الشقوق الناتجة. لذلك في حالة المرونة للخرسانة والتي تنتهي في 24 ± 2 ساعة بعد صب الخرسانة، تصبح العينات جاهزة لقياس طول وعرض الشقوق. أوقات ظهور الشقوق أثناء الإختبار كان كالتالي: عينات الخرسانة غير المعرضة لعملية إعادة الهز، تقريبا 30 دقيقة بعد صب الخرسانة، ظهرت بها شقوق صغيرة يمكن ملاحظتها فوق التسليح (الممثل بقطعة الخشب مثلثة الشكل والمبينة في مقطع البلاطة القياسية) وبشكل مستقل عن نسبة الماء إلى الإسمنت المستخدمة في الخلط. هذه الشقوق الصغيرة بشكل مبدئي تتكون نتيجة الهبوط المبدئي للخرسانة، وهذه الشقوق تستمر في النمو بمرور الوقت بينما العينة لازالت تحت ظروف التجفيف، عينات الخرسانة المعرضة لعملية إعادة هز، تقريبا 30 دقيقة بعد إعادة الهز والتشطيب (ساعتان بعد الصب) ظهرت بها شقوق صغيرة يمكن ملاحظتها أيضا فوق التسليح في بعض العينات بشكل مستقل عن نسبة الماء إلى الإسمنت في الخلطة ووقت إعادة الهز. بخصوص عينات الخرسانة المضاف إليها الألياف، سطح الخرسانة يبدو لفترة أطول بدون شقوق من العينات التي لم تتعرض لعملية إعادة هز. في كل الحالات، الشقوق تنمو على طول التسليح المقترح.

7. تحليل الصور الرقمية لقياس شقوق الإنكماش المرن على سطح الخرسانة

أستخدم التحليل الرياضي للصور الرقمية لقياس طول وعرض الشقوق لكل العينات (البلاطات). الشكل (4 أ) يبين مثلا لصور رقمية ألتقطت لسطح البلاطة فوق التسليح. كل صورة تم معالجتها لتنظيف عيوب السطح باستخدام برنامج (Photoshop) كما هو مبين في الشكل (4 ب). بنقل الصور المعالجة إلى برنامج (Matlab) تم قياس أبعاد الشق لكل عينة كما هو مبين في الشكل (4 ج). وللد من تأثير حواف العينة المعالجة حذف من الحسابات 25 ملم من كل حافة من الحواف الخارجية للبلاطة. حيث أن الصور أعتبرت فقط لـ 300 ملم من مسار الشق كما هو موصى به حسب (ASTM).

1.7. تحديد أبعاد الشقوق

وصف الشقوق يكون عن طريق تحديد طول وعرض الشق حيث أن عرض وطول الشق أثناء عمر المنشأ يزداد بسبب الأحمال الدائمة. في هذا البحث، حدد طول وعرض الشق النهائي في كل بلاطة في نهاية فترة المرونة للخرسانة (أي بعد 24 ± 2 ساعة من الصب). أثناء الإختبارات العملية كانت بعض الشقوق قصيرة وغير مستمرة بينما البعض الآخر كانت طويلة و مستمرة كما هو مبين في الشكل (4). لقياس طول وعرض الشقوق، كل الشقوق الصغيرة وغير المستمرة والموازية للشق الرئيسي أخذت في عين الإعتبار أثناء عملية القياس.



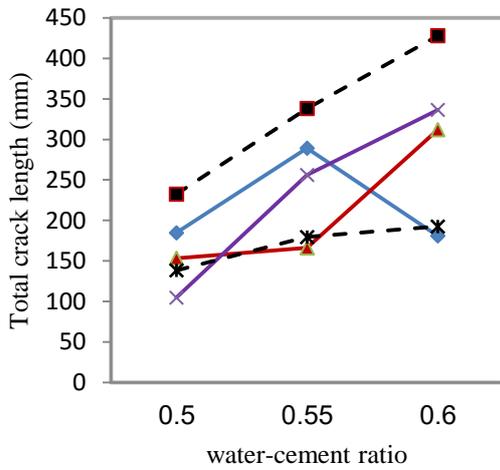
الشكل (4) الصورة الرقمية الأصلية (a) ، الصورة بعد المعالجة الرقمية (b) و قياسات الشق (c)

2.7. متوسط العرض والطول الكلي للشقوق

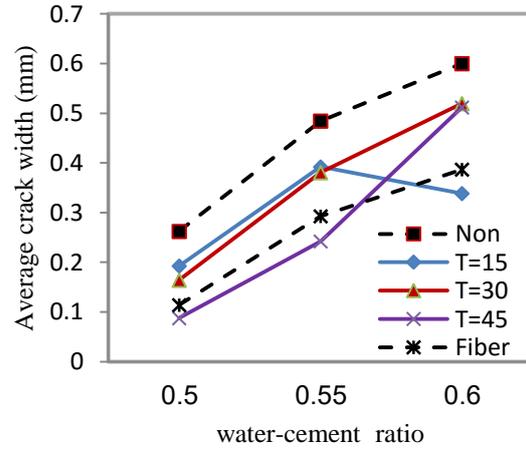
القيم المتوسطة لمتوسط عرض الشقوق (C_w) والطول الكلي لشقوق (L_w) لكل البلاطات الخرسانية مبينة في الجدول (5). كل قيمة من هذه القيم حسبت عن طريق أخذ متوسط نتائج ثلاث عينات من الخرسانة غير المعرضة والمعرضة لهز لفترة ثانية (إعادة هز) والخرسانة المضاف إليها الألياف. من الجدول يمكن ملاحظة التالي: كلما كانت نسبة الماء إلى الإسمنت منخفضة كلما كان طول وعرض الشق أصغر. النتائج أيضا تبين أن لكل نسبة ماء إلى الإسمنت هناك وقت هز يعطي مقاسات أصغر للشق مقارنة مع المقاسات في البلاطة الخرسانية المضاف إليها الألياف. إنخفاض مستوى الشقوق في العينات الخرسانية المعرضة لإعادة الهز يحدث بسبب أن عملية إعادة الهز تساعد في استخراج مياه النزف (bleeding water) الزائدة والتي تكون محصورة بين حبيبات الركام، وتساعد عملية إعادة الهز أيضا في تخفيف إجهاد الشد الذي يحدث نتيجة صعود مياه النزف إلى الطبقات العليا. كذلك يحدث انخفاض مستوى الشقوق في العينات الخرسانية المضاف إليها الألياف (FPF) نتيجة تزويد الألياف تسليحا للخرسانة في الطبقات العليا في الأماكن التي ينتج فيها إجهاد شد. الشكل (5) يبين بالشكل البياني متوسط عرض الشقوق وطول الشقوق الكلي كدالة من نسب الماء إلى الإسمنت المستخدم وطول فترة الهز. لنسبة ماء إلى الإسمنت مساوية لـ 0.6، أصغر عرض وطول للشقوق كان عند إعادة هز الخلطة الخرسانية لمدة 15 ثانية. ولنسبة ماء إلى الإسمنت مساوية لـ 0.55، أصغر عرض وطول للشقوق كان عند إعادة هز الخلطة لمدة 45 و 30 ثانية على التوالي. و لنسبة ماء إلى الإسمنت مساوية لـ 0.5، أصغر عرض وطول للشقوق كان عند إعادة الهز للخلطة لمدة 45 ثانية.

جدول (5) القيم المتوسطة لمتوسط عرض الشقوق والطول الكلي للشقوق (مم)

w/c ratio	Non-re-vibrated specimens		15 second re-vibrated specimens		30 second re-vibrated specimens		45 second re-vibrated specimens		Fibered specimens	
	C _w	L _w	C _w	L _w	C _w	L _w	C _w	L _w	C _w	L _w
0.5	0.26	232.5	0.19	184.7	0.16	153.4	0.09	104.7	0.11	138.4
0.55	0.48	338.3	0.39	289.2	0.38	166.2	0.24	256.2	0.29	179.5
0.6	0.6	428.1	0.34	181	0.52	312.1	0.51	336.6	0.39	192.5



(b)



(a)

الشكل (5) القيم المتوسطة لمتوسط عرض الشقوق (a) والطول الكلي للشقوق (b) لكل العينات مقابل نسب الماء إلى الإسمنت

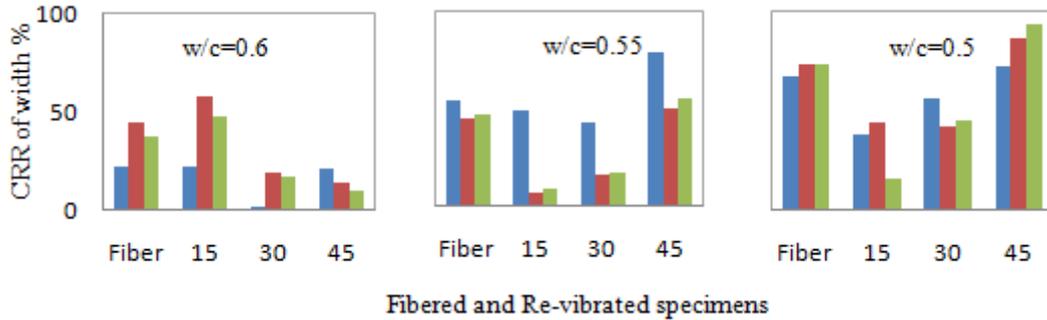
3.7. نسبة تقلص الشق

لتحديد تأثير إضافة الألياف وتطبيق تقنية إعادة الهز للخرسانة على الحد من شقوق الإنكماش المرنة في الخرسانة، (ASTM) يوصي باستخدام دليل يسمى نسبة إنخفاض الشق (CRR). حسابات (CRR) تمت باستخدام المعادلة التالية (معادلة 2) لبعدي الشق (متوسط عرض الشق و طول الشق الكلي).

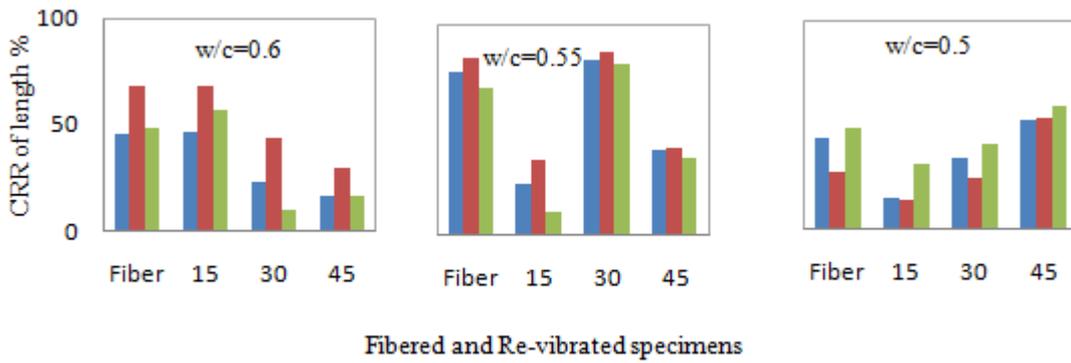
$$CRR = \left[1 - \frac{\text{Avg. crack width or total crack length of re-vibrated or fibered slabs}}{\text{Avg. crack width of non-re-vibrated slabs}} \right] \dots \dots \dots (2)$$

نسب (CRR) لمتوسط عرض الشقوق و طول الشقوق الكلي لكل نسب الماء إلى الإسمنت مبينة في الأشكال 6 و 7 على التوالي. في هذه الأشكال أعلى CRR لمتوسط عرض الشقوق وطول الشقوق الكلي للعينات المصبوبة بنسبة ماء إلى الإسمنت مساوية لـ 0.6 والمعرضة لفترة إعادة هز 15 ثانية. وأعلى CRR لمتوسط عرض الشقوق وطول الشقوق الكلي للعينات المصبوبة بنسبة ماء إلى الإسمنت مساوية لـ 0.55 و المعرضة لفترات إعادة هز 45

و30 ثانية علي التوالي. وأعلى CRR لمتوسط عرض الشقوق وطول الشقوق الكلي للعينات المصبوبة بنسبة ماء إلى الإسمنت مساوية لـ 0.5 و المعرضة لفترة هز 45 ثانية.



الشكل (6) نسبة تقلص الشق (CRR) لمتوسط عرض الشقوق للعينات المصونة والعيّنات المعرضة لإعادة هز



الشكل (7) نسبة تقلص الشق (CRR) لطول الشقوق الكلي للعينات المصونة والعيّنات المعرضة لإعادة هز

8. الإستنتاجات

1. الخلطات الخرسانية الناتجة من نسب مختلفة من الماء إلى الإسمنت مقاومة إنضغاطها تزداد حتى 20 % عند تطبيق تقنية إعادة الهز .
2. تطبيق تقنية إعادة الهز على العينات الخرسانية تخفض متوسط عرض الشقوق و طول الشقوق الكلي كالتالي: بالنسبة للعينات الخرسانية المصنوعة من نسب ماء إلى الأسمنت مساوية لـ 0.5 و 0.55، متوسط عرض الشقوق إنخفض 65% و 50% على التوالي عند إعادة هز العينات لمدة 45 ثانية وطول الشقوق الكلي إنخفض بمقدار 55% و 51% عند إعادة هز العينات لمدة 30 و 45 ثانية على التوالي. بالنسبة للعينات الخرسانية المصنوعة من نسبة ماء إلى الإسمنت مساوية لـ 0.6، متوسط عرض الشقوق وطول الشقوق الكلي إنخفض بمقدار 43% و 58% على التوالي عند إعادة هز العينات لمدة 15 ثانية.
3. إضافة الألياف (FPF) إلى الخلطات الخرسانية يخفض متوسط عرض الشقوق للعينات الخرسانية المصنوعة من نسب ماء إلى الإسمنت مساوية لـ 0.5، 0.55 و 0.6 بمقدار 57%، 40% و 35% على التوالي ويخفض طول الشقوق الكلي بمقدار 40%، 47% و 55% على التوالي.
4. بالرغم من أن نسب (CRR) لمتوسط عرض الشقوق وطول الشقوق الكلي قريب جدا من بعضها البعض عند إعادة هز العينات الخرسانية أو إضافة الألياف إليها، إلا أن إعادة هز الخرسانة يفضي إلى أفضل مقاومة إنضغاط

للخرسانة إذا ما قورنت بإضافة الألياف إليها. لذلك فإن الطريقة المقترحة في هذا البحث هي طريقة بديلة عن إضافة الألياف للخرسانة للتحكم في شقوق الإنكماش المرن في الخرسانة وخاصة في الدول النامية.

9. المراجع

- “Concrete Vibration Handbook”, (CVH), (2003).
http://www.multiquip.com/multiquip/pdfs/Concrete_vibrators_1003_handbook_DataId_25124_Version_1.pdf (Oct. 2003).
- Aldalinsi, M. A., Al-Zahra, S. M., and Hana, S. Y.(2003) “Re-vibration of Concrete”, Bachelor’s thesis, Higher Institute of Engineering at Hoon, Libya.
- Almussalam, A. A., Maslehuddin, M., Abdul-Waris, M., and Khan, M. M., (1998), “Effect of Mix Proportions on Plastic Shrinkage Cracking of Concrete in Hot Environments”, Construction and Building Materials, No. 12, pp. 353-358.
- American Concrete Institute (2000), Cement and Concrete Technology, (ACI 116R-00).
- American Concrete Institute (2001), Control of Cracking in Concrete Structures, (ACI 224R-01).
- American Society for Testing and Materials (ASTM), (2012), “Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement concrete”, C143/C143, M-12, West Conshohocken, Pa.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), (2012), “Standard Practice for Making and Curing Concrete Test specimens in the Laboratory”, C192/C192, M-12, West Conshohocken, Pa.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), (2012), “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”, C39/C39, M-12, West Conshohocken, Pa.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), (2013), “Standard test method for Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete”, C-1579-13, West Conshohocken, Pa.
- Cement & Concrete Association of New Zealand (CCANZ).(2006), “Vibration of Concrete”, Information Bulletin: IB 46, www.ccanz.org.nz
- Cement Concrete & Aggregates Australia (CCAA), (2006), “Compaction of Concrete”, Data Sheet, June, www.ccaa.com.au
- Krishna, M. V., Kumar, P. R., and Bhaskar, B. N., (2008), “Effect of Re-vibration on Compressive Strength of Concrete”, Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing), 9 (3), 291-301.
- MacInnis, C., and Kosteniuk, P. W. (1979), “Effectiveness of Re-vibration and High-Speed Slurry Mixing for producing High-Strength Concrete”, ACI Journal, No. 76, pp. 1255-1265.
- National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA).(1960), “Plastic Cracking of Concrete”, Engineering information, July, Soroka I, Concrete in hot environments, London: Chapman and Hall, 1992:13-24.

- Neville, A. M.(2011), Properties of Concrete, 5th Ed., Pearson Education Limited, England.
- Portland Cement Association (PCA), (2003), "Design and Control of Concrete Mixtures", 14th edition, Engineering Bulletin 001.
- Qi, C., Weiss, J., and Olek, J., (2003), "Characterization of Plastic Shrinkage Cracking in Fiber-Reinforced Concrete Using Semi-Automated Image Analysis", RILEM Materials and Structures, 36 (260), 386-395.
- Qi, C., Weiss, J., and Olek, J., (2005), "Statistical Significance of the Restrained Slab Test for Quantifying Plastic Cracking in Fiber Reinforced Concrete", Journal of ASTM International, 2 (7), Paper ID JA112242.
- Ravina, D. and Shalon, R., (1968), "Plastic Shrinkage Cracking", ACI Journal, 65(22), 282-291.
- Sawyer, D. H., and Lee, S. F., (1956), "The Effect of Re-vibration on Properties of Portland Cement Concrete", presented at the annual meeting of the American Society for Testing and Materials.
- Transportation Research Circular (TRC), (2006), Control of Cracking in Concrete, Number E-C107, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC., www.TRB.org, (Oct. 2006).
- Uno, P. J., (1998), "Plastic Shrinkage Cracking and Evaporation Formulas", ACI Materials Journal, 95(4), 365-375.
- Vollick, C. A., (1958), "Effects of Re-vibrating Concrete", ACI Journal, 54, 721-732.
- Wittmann, F. H., (1976), "On the Action of Capillary Pressure in Fresh Concrete", Cement and Concrete research, 6, 49-56.

الإنكماش في الخرسانة البوزلانية

أ. د. عبد السلام المبروك عكاشة

أستاذ

قسم الهندسة المدنية

كلية الهندسة - جامعة سبها

م. إبراهيم أحمد المختار الحضيبي

باحث

قسم الهندسة المدنية

كلية الهندسة - جامعة سبها

ملخص

حظيت منطقة الجنوب بالإهتمام من قبل مركز البحوث الصناعية حيث قام المركز منذ زمن بإجراء العديد من الدراسات الجيولوجية عن الرواسب المعدنية بالمنطقة، وقد أشارت تلك الدراسات إلى توفر العديد من الخامات الأولية التي تدخل في صناعة مواد البناء من أهمها الطينيات أو ما يعرف بالبوزولانا حيث تتوفر وبشكل كبير حول منطقة سبها وبراك الشاطيء. وتعتبر البوزولانا من المواد التي يستهدف دائما إضافتها إلى الإسمنت والذي يعتبر المكون الرئيسي والمادة الرابطة في المونة الإسمنتية أو الخرسانة وذلك بهدف تحسين بعض الخواص للخرسانة المنتجة من جهة وتقليل تكلفة المتر المكعب من جهة أخرى، وتنقسم البوزولانا إلى قسمين الطبيعي منها والصناعي. في هذا البحث سيتم عرض النتائج العملية والخالصة لبحث تم القيام به بقسم الهندسة المدنية - كلية الهندسة - جامعة سبها على عجائن إسمنتية مصنعة من الإسمنت المخلوط بالكاولينة تم أخذها من خمسة مواقع مختلفة بمدينة سبها وما حولها لمعرفة مدى تأثيرها على الإنكماش.

الكلمات الدالة: البوزلانا، الإنكماش بالخرسانة، الخرسانة البوزلانية

مقدمة

خاصية الإنكماش (shrinkage) في الخرسانة تتسبب عادة في ظهور شروخ (cracks) دقيقة نتيجة تقلص المادة الحجمية لمكوناتها بسبب فقد الماء الحر من العجينة الطرية عن طريق التبخر وهبوط المكونات الصلبة (الركام) للأسفل وهو ما يعرف بـ (الإنكماش اللدن plastic shrinkage)، كذلك تحدث هذه الظاهرة نتيجة التفاعل الكيميائي (الإماهة) بين الإسمنت والماء (الإنكماش الذاتي Autogenous shrinkage) بالإضافة إلى فقد الماء كنتيجة طبيعية لعملية الجفاف (إنكماش الجفاف Drying shrinkage)، وهو موضوع الدراسة في هذه الورقة. وهذه الشروخ لا تظهر إلا إذا كان هناك قيد على الحركة يسبب إجهادات شد داخل الخرسانة، مما يؤدي بالنهاية إلى التأثير على متانتها (Durability) وطول عمرها الافتراضي من خلال تأثير قدرتها على مقاومة الظروف المحيطة بها. ويتم عادة إضافة بعض المواد لمكونات الخرسانة لتكسيبها صفات ومميزات ذات قيمة تشغيلية أو قيمة اقتصادية، ومن أهم تلك المواد هي المواد البوزلانية سواء كانت طبيعية أو صناعية. والمواد البوزلانية بشكل عام هي مواد لا تمتلك خاصية المواد الإسمنتية بمفردها، ولكن بوجود الرطوبة فإنها تتفاعل كيميائياً مع هيدروكسيد الكالسيوم في درجات الحرارة الإعتيادية منتجة مركبات ذات خصائص إسمنتية.

تتناول هذه الدراسة تأثير إضافة المواد البوزلانية المستخرجة من بعض المحاجر الموجودة في منطقة الجنوب بليبيا، وبناء على دراسات لمركز البحوث الصناعية أكدت وجود تأثير لهذه المواد على خاصية الإنكماش الجاف

للخرسانة؛ حيث تضاف تلك المواد بنسب وزنية محددة لدراسة مدى تحسينها لمتانة الخرسانة (Durability) بشكل عام من خلال التقليل من عملية الإنكماش، وذلك اعتماداً على نتائج مقاومة الإنضغاط وحساب النتائج المتوقعة عن طريق المعادلات التجريبية، وذلك بعد معالجتها وفق ظروف معينة وعلى فترات زمنية مختلفة. وقد أظهرت بعض الدراسات^[1] وجود تحسن بخواص الإسمنت عند إحلال نسبة معينة من تلك المواد البوزلانية بدل الإسمنت، وقد تناولت المواصفة (ACI 209.2R-08)^[2] طرقاً لحساب وتمثيل الإنكماش والزحف للخرسانة المتصلبة، حيث احتوت على أربع طرق مختلفة من بينها طريقة (GL2000) التي سوف تستخدم لحساب الإنكماش المتوقع، حيث تعرّف هذه الطريقة على النحو التالي :

$$\varepsilon_{sh}(t,tc) = \varepsilon_{shu} \cdot \beta(h) \cdot \beta(t - tc)$$

حيث:

$\varepsilon_{sh}(t,tc)$	إجهاد الإنكماش (مم / مم $\times 10^{-6}$) حسب عمر الخرسانة بالأيام
tc	عمر الخرسانة (بالأيام) مقياس منذ بداية الجفاف
ε_{shu}	أقصى إجهاد الإنكماش وفق الشروط القياسية ($10^{-6} \times 1/2 (30/f_{cm28}) (900 k)$)
K	ثابت الإنكماش ويعتمد على نوع الإسمنت
f_{cm28}	متوسط مقاومة الضغط للخرسانة بعد 28 يوم (ميغاباسكال)
$t - tc$	الزمن من نهاية المعالجة وبداية الجفاف (بالأيام)
$\beta(h)$	معامل تصحيح لتأثير الرطوبة = $(1 - 1.18h4)$
h	الرطوبة النسبية
$\beta(t - tc)$	معامل تصحيح لتأثير زمن التجفيف على الإنكماش
(V/S)	نسبة الحجم للسطح (مم)
	$= ((t - tc)/(t - tc) + 0.12 (V/S)^2) / 2$

مناطق إستخراج المواد البوزلانية

تم استخراج المواد المستخدمة في هذه الدراسة من المنطقة الجنوبية بليبيا كما هو موضح بالجدول التالي:

جدول (1) مواقع أخذ العينات

ر.م	الرمز	المنطقة	عمق الحفر(م)	وصف الموقع
1	A	سبها	4	10 كم من مدينة سبها على بعد 100م يمين الطريق
2	B	تمنهنت	0.5	10 كم من تمنهنت في اتجاه الشمال من الطريق المعبد
3	C	العافية	0.5	على يسار الطريق المعبد، بجانب الخزان
4	D	آقار	1.0	بجوار الطريق المعبد مقابل محطة الكهرباء
5	E	تاروث	0.5	أمام مفرق تاروث القديمة والجديدة على بعد 10م



الشكل (1) خريطة تبين المواقع المستهدفة بالدراسة



الشكل (2) صور لبعض المواقع التي أخذت منها العينات: يمين؛ تمنهنت - يسار؛ سبها

إعداد العينات

1. الحرق : تم حرق العينات المستخرجة بعد تكسيرها إلى أحجام صغيرة في حدود " 1 بوصة " في أفران بدرجة حرارة 800 درجة مئوية ولمدة ساعتين .
2. الطحن : يتم طحن المواد بعد حرقها حتى تصل درجة نعومة كافية وذلك بمرورها من خلال منخل رقم 200 .



الشكل (3) عمليات التكسير والإعداد للحرق

المواد المستخدمة ونسب الخلط

- المواد المستخدمة في إنتاج الخلطات المدروسة والخلطة المرجعية هي من المواد المتوفرة محلياً والمتمثلة في:
- 1- الإسمنت: تم استخدام الإسمنت البورتلاندي العادي المنتج من أحد المصانع المحلية (البرج - زليتن) بعد فحصه فيزيائياً وكيميائياً ومطابقته بالمواصفات: (ASTM C150-03)، والموصفة القياسية الليبية (97/340). الجدول (1) والجدول (2) يوضحان نتائج الفحص.
 - 2- الركام الناعم: والمتوفر في منطقة رمال زلاف من الناحية الشمالية لمدينة سبها، وذلك بعد غسله للتخلص من المواد الطينية، والتأكد من مطابقة تدرجه للمواصفات. ونسبة خلط الإسمنت إلى الرمل هي (1) : (2.75) بالوزن.
 - 3- الماء: ماء الشرب الإعتيادي، وذلك باستخدامه في الخلط والمعالجة، وإضافته بنسبة ثابتة (w/c) تساوي (0.49).
 - 4- المادة البوزلانية: وهي المستخرجة من المحاجر المحلية في المناطق المذكورة سابقاً (سبها - تمنهنت - العافية - آقار - تاروت) وذلك بعد إجراء التحاليل اللازمة عليها والموضحة في الجدولان (3) و(4) وحرقتها وطحنها وإجراء الفصل المنخلي وإضافتها بالنسب الوزنية (10% ، 15% ، 20%) إلى الخرسانة.

الإختبارات المعملية

أجريت الإختبارات لدراسة التركيب الكيميائي والخواص الفيزيائية للإسمنت البورتلاندي العادي والبوزلانا لغرض استيفاء المتطلبات العامة لمواصفات الجمعية الأمريكية للإختبارات والمواد (ASTM) والمواصفات القياسية الليبية وكانت على النحو التالي:

جدول (2) المتطلبات الكيميائية للإسمنت البورتلاندي العادي

المتطلب	القيمة الفعلية	إصفة ASTM C150-03	المواصفة 97/340
أكسيد المغنيسيوم	2.01	> 6 %	> 5 %
ثالث أكسيد الكبريت	1.66	> 3 %	> 3 %
الفاقد عند الحرق	1.8	> 3 %	> 3 %
الغير قابل للذوبان	0.39	0.75	

جدول (3) الخصائص الفيزيائية للإسمنت البورتلاندي العادي

المتطلب	القيمة الفعلية	لمواصفة ASTM C150-03	المواصفة 97/340
النعومة	326	< 280 م ² /كجم	< 250 م ² /كجم
زمن الشك الابتدائي	249	< عن 45 دقيقة	< عن 45 دقيقة
زمن الشك النهائي	299	> عن 375 دقيقة	> عن 600 دقيقة
الوزن النوعي	3.15	لا يوجد	لا يوجد
لقاومة الضغط عند 28 يوم	39.37	< 28 ن/م ²	< 39 ن/م ²

جدول (4) المتطلبات الكيميائية للبولزانا الطبيعية

ASTM C618-03 المواصفة	القيمة الفعلية					المتطلب
	تاروت	آقار	العافية	تمننت	سبها	
< 70 %	93.1	95.1	92.4	96.7	95.2	كاسيد (السيلكون، الألومنيوم، الحديد)
> 4 %	0.319	---	0.28	0.016	3.033	ثالث أكسيد الكبريت
> 3 %	---	---	---	---	---	المحتوى المائي
> 1.5 %	0.93	0.22	0.35	0.35	0.22	لقلويات (أكسيد الصوديوم)
---	71.88	58.46	57.95	70.33	53.42	ثاني أكسيد السيلكون
---	20.2	34.36	24.52	25.32	40.84	ثالث أكسيد الألومنيوم
---	1084	2.266	9.973	1.05	0.975	ثالث أكسيد الحديد
---	0.35	0.28	0.724	0.14	0.13	أكسيد الماغنسيوم
---	0.163	0.162	0.133	0.0801	0.1	أكسيد الكالسيوم
---	1.06	1.44	2.919	0.366	0.16	أكسيد البوتاسيوم
---	0.966	1.37	1.12	1.51	3.019	ثاني أكسيد التيتانيوم
---	0.36	0.11	0.241	---	0.137	خامس أكسيد الفوسفور
---	0.028	---	0.034	---	0.0088	أكسيد المنجنيز
---	---	---	---	0.011	---	ثالث أكسيد الكروم
---	0.036	0.0209	0.0167	0.0063	0.034	أكسيد السترانشيوم
> 6 %	1.06	1.25	1.68	0.76	0.88	الفقدان بالحرق L . O . I

كما تم إعداد عينات بمكعبات قياسية مقاس (50 * 50 * 50) مم، وكل مكعب يمثل حالة خاصة من الخلطات، والمعالجة بالماء تتم بعد مرور 24 ساعة من عملية الصب ولمدة 27 يوماً يتم بعدها رفع العينات لإجراء الاختبارات اللازمة.

حساب الإنكماش المتوقع

من خلال النتائج المدونة بالجدول رقم (5) والتي تعطي القيم المتوسطة للإجهاد لعينات الخرسانة المدروسة بعد مرور 28 يوم، وبمعرفة قيم الحد (ϵ_{shu}) - الجدول رقم (6) - والحد ($\beta(t - tc)$) - الجدول رقم (7) - وبعض المعلومات اللازمة المدرجة بالجدول رقم (8)؛ يمكن حساب الإنكماش بواسطة المعادلة المذكورة سابقاً كما هو مّدون بالجدول رقم (9).

جدول (5) القيم المتوسطة للإجهاد (f_{cm28}) بعد مرور 28 يوم (MPa)

تاروت			آقار			العافية			تمننت			سبها			لطة المرجعية
%20	%15	%10	%20	%15	%10	%20	%15	%10	%20	%15	%10	%20	%15	%10	
40.49	43.20	46.70	31.42	42.15	44.01	39.09	42.41	39.74	41.39	39.29	45.16	43.81	39.58	45.20	39.37

جدول (6) القيم المحسوبة للحد (ϵ_{sh})

تاروت			أقار			العافية			تمننت			سبها			الخلطة المرجعية
%20	%15	%10	%20	%15	%10	%20	%15	%10	%20	%15	%10	%20	%15	%10	786
775	750	721	879	759	743	788	757	782	766	786	734	745	784	733	

جدول (7) القيم المحسوبة للحد $\beta(t - tc)$

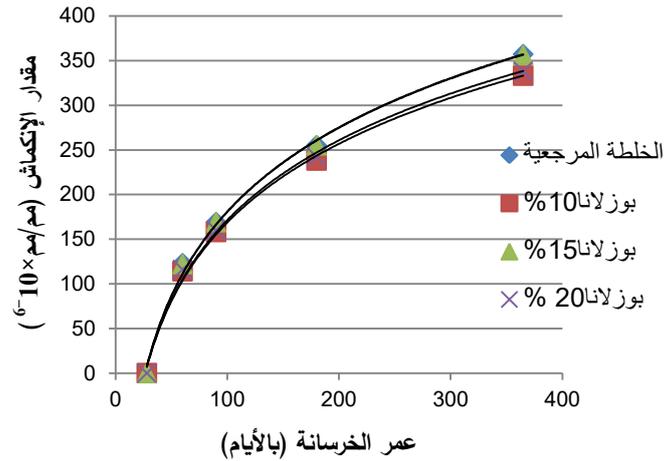
$\beta(t - tc)$	عمر الخرسانة (t) بالأيام
0.000	28
0.161	60
0.222	90
0.335	180
0.468	365

جدول (8) قيم المعاملات

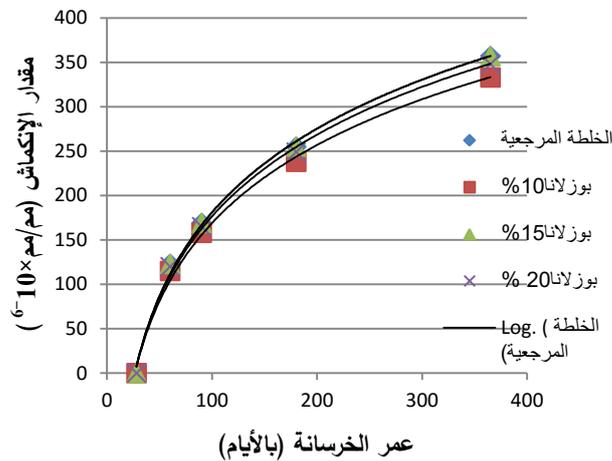
w/c	0.49
K	1
$\beta(h)$	0.9698
v/s	100 mm
h	40 %

جدول (9) الإنكماش المحسوب من المعادلة

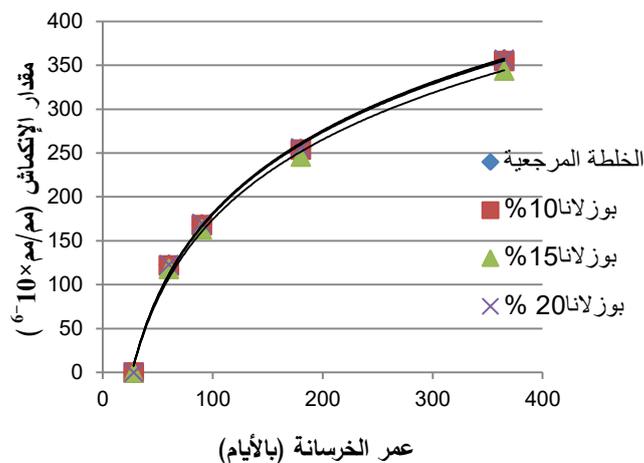
$\epsilon_{sh}(t,tc) \times 10^{-6}$																عمر الخرسانة (t) بالأيام
تاروت			أقار			العافية			تمننت			سبها			الخلطة المرجعية	
%20	%15	%10	%20	%15	%10	%20	%15	%10	%20	%15	%10	%20	%15	%10	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28
121	117	113	137	119	116	123	118	122	120	123	115	116	122	114	123	60
167	161	155	189	163	160	170	163	168	165	169	158	160	169	158	169	90
252	244	234	286	247	241	256	246	254	249	255	238	242	255	238	255	180
352	340	327	399	344	337	357	344	355	348	357	333	338	356	333	357	365



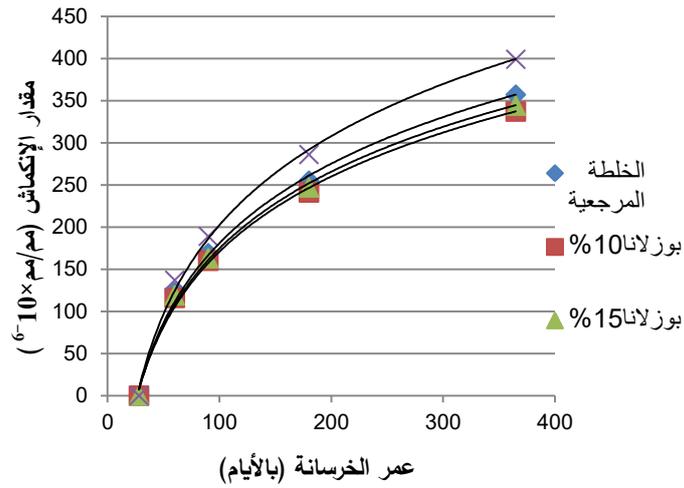
شكل (4) مقارنة الإنكماش لموقع سبها مع الخلطة المرجعية



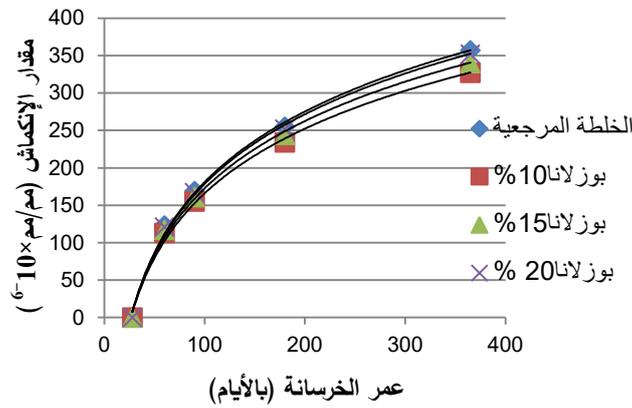
شكل (5) مقارنة الإنكماش لموقع تمنهنت مع الخلطة المرجعية



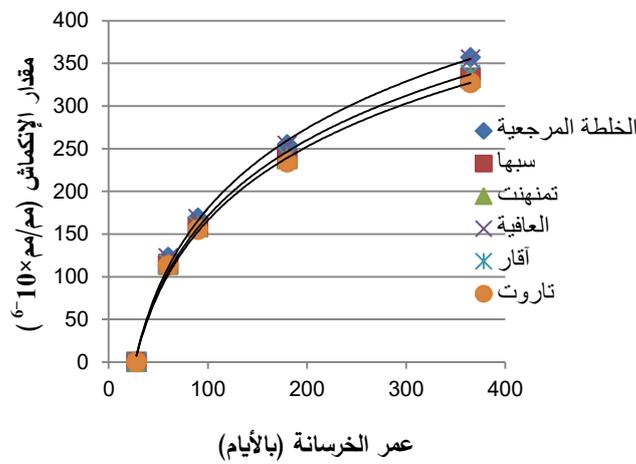
شكل (6) مقارنة الإنكماش لموقع العافية مع الخلطة المرجعية



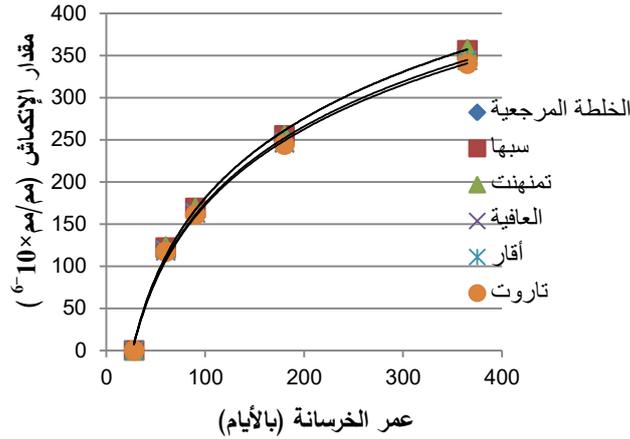
شكل (7) مقارنة الإنكماش لموقع أقار مع الخلطة المرجعية



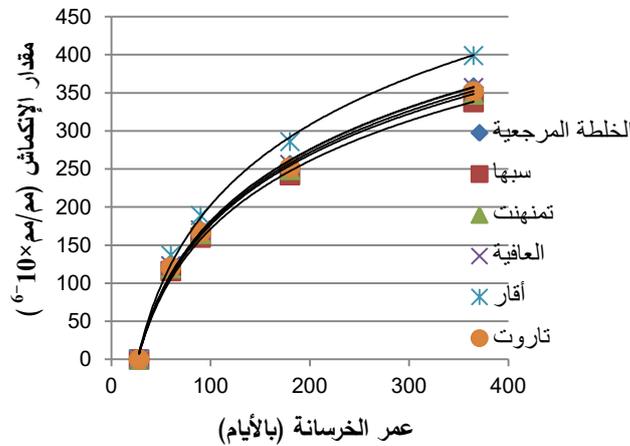
شكل (8) مقارنة الإنكماش لموقع تاروت مع الخلطة المرجعية



شكل (9) مقارنة إنكماش المواقع بنسبة 10% مع الخلطة المرجعية



شكل (10) مقارنة إنكماش المواقع بنسبة 15% مع الخلطة المرجعية



شكل (11) مقارنة إنكماش المواقع بنسبة 20% مع الخلطة المرجعية

الخلاصة

من خلال الجدول رقم (10) يلاحظ تقارب قيم الإنكماش إلى حد كبير عند جميع الأعمار بين الخلطة المرجعية وإضافة نسبة 15% من البوزلانا المستخرجة من موقعي سبها وتمهننت، الشكل (4) والشكل (5)، في حين أن هذا التقارب بين قيم الإنكماش يكون عند إضافة بوزلانا بنسبة 10% و 20% مستخرجة من موقع العافية، الشكل (6)، وإلى حد ما عند إضافة بوزلانا بنسبة 20% مستخرجة من موقع تاروت، الشكل (8). كما تلاحظ زيادة قيم الإنكماش بشكل واضح عن قيم إنكماش الخلطة المرجعية وذلك عند إضافة بوزلانا بنسبة 20% المستخرجة من موقع أقار، الشكل (7)، وبشكل عام فإن الإنكماش يقل عند إضافة البوزلانا إلى المونة الإسمنتية مقارنة بإنكماش الخلطة المرجعية عدا النسبة المذكورة سابقاً.

المراجع

- [1] Hamza M. A. "Use of Local Pozzolan Materials For Concrete Production", Sebha University, Msc. Thesis, May 2008.
- [2] ACI Committee 209 (2008), "Guide for Modeling and Calculating Shrinkage and Creep in Hardened Concrete", (ACI 209.2R-08), American Concrete Institute.

تأثير الخواص الريولوجية للمونة الإسمنتية على عملية الحقن لإنتاج الخرسانة مسبقة وضع الركام

د. عبد الحميد إبراهيم قنار
قسم الهندسة المدنية - جامعة المرقب
engnaw@yahoo.ca

الملخص

تعتبر قابلية التشغيل للمونة الإسمنتية هي العامل الأساسي لإنتاج الخرسانة مسبقة وضع الركام، وذلك لأن المونة عليها ملء الفراغات بين حبيبات الركام الخشن. الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير الخواص الريولوجية للمونة الإسمنتية على عملية الحقن لإنتاج الخرسانة مسبقة وضع الركام. تم استعمال أربعة أنواع مختلفة التدرج الحبيبي من الركام الناعم مع نسب مختلفة من الماء للإسمنت ونسبتي إسمنت للركام بدون استعمال أي إضافات في البداية، ثم أستعملت الملدنات عالية الكفاءة عند نسب 1% و 2% من وزن الإسمنت. وأخيرا تم استبدال 20% من الإسمنت برماد الوقود المحروق في وجود 1% من الملدنات عالية الكفاءة.

من خلال النتائج تم إيجاد العلاقات بين الخواص الريولوجية للمونة الإسمنتية ونسبة الحقن لكل خلطة؛ حيث تم تحديد نقطة الإنعطاف التي بعدها لا يتم حقن المونة الإسمنتية خلال فراغات الركام الخشن بصورة كاملة لكل من اللزوجة البلاستيكية وإجهاد الخضوع، كما وجد أن إجهاد الخضوع هو الخاصية التي تعطي نقطة إنعطاف ثابتة لجميع الخلطات بغض النظر عن المواد المضافة للخلطة الخرسانية لإنتاج الخرسانة مسبقة وضع الركام.

الكلمات الدالة: الخواص الريولوجية، الخرسانة مسبقة وضع الركام، حقن المونة الإسمنتية، إجهاد الخضوع واللزوجة البلاستيكية.

1. المقدمة

يتم إنتاج الخرسانة مسبقة وضع الركام بدمك الركام الخشن في القالب المراد صبه ثم تحقن الفراغات المتبقية بين حبيبات الركام الخشن بمونة إسمنتية ذات قابلية تشغيل عالية (1). بناء على ذلك فإن قابلية التشغيل للمونة الإسمنتية هي التي تتحكم في جودة الخرسانة. يمكن الحصول على مونة إسمنتية ذات قابلية تشغيل عالية بخلط الركام الناعم والإسمنت والماء بخلطة سريعة جدا، أو باستعمال الإضافات الكيميائية في الخلطة لتحسين خواصها (2). تقاس قابلية التشغيل للمونة الإسمنتية الخاصة بإنتاج الخرسانة مسبقة وضع الركام بواسطة الزمن اللازم لتفريغ قمع قياسي مملوء بالمونة (3)، (4). كما يمكن قياسها بواسطة قياس المسافة التي تتسببها كمية معينة من المونة عبر قناة أفقية قياسية (5)، وعلى الرغم من استعمال هذا الإختبار الشائع في السابق إلا أنه تم استبعاده في المواصفات حديثا بسبب طول القناة المحدود وهو 70 سم مما يعني عدم إمكانية قياس الخلطات عالية التشغيلية (6). لكي يتم فهم كامل لقوام المونة عالية التشغيلية المستعملة لإنتاج الخرسانة مسبقة وضع الركام فإنه يجب قياس الخواص الريولوجية وهما إجهاد الخضوع واللزوجة البلاستيكية. جهاز (الفسكومات ن ت) يمكنه قياس معاملات إجهاد الخضوع واللزوجة البلاستيكية للمونة الإسمنتية شرط ألا يزيد قطر حبيبات الركام الناعم عن 2 مم (7). الركام الخشن المستعمل في إنتاج الخرسانة مسبقة وضع الركام يجب أن يكون صلبا ونظيفا من الشوائب وأن يكون ثابتا كيميائيا، كما لا يجب إستعمال الحبيبات الطويلة والمفلطحة لأنها تعمل على تضيق المسارات التي

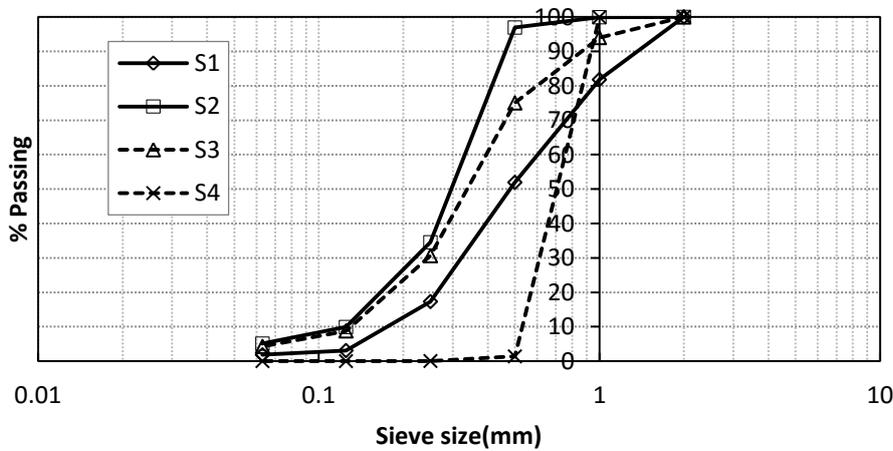
قد تعيق تدفق المونة الإسمنتية(8). للحصول على أقل نسبة فراغات بين حبيبات الركام الخشن يمكن دمك الركام وذلك لتقليل حجم المونة المستعملة وذلك لتقليل التكلفة ولتقليل الحرارة المنبعثة عند صب المنشآت الضخمة. محتوى الفراغات عموما للخرسانة مسبقة وضع الركام عادة ما يكون بين 35% إلى 50% تبعا لتدرج الركام الخشن.

الغرض من هذا البحث هو دراسة الخواص الريولوجية للعديد من خلطات المونة الإسمنتية مختلفة القوام باستعمال الإضافات وعدمها ثم دراسة تأثير تلك الخلطات على عملية الحقن خلال الفراغات بين حبيبات الركام الخشن. تم قياس قوام المونة الإسمنتية بواسطة قمع التدفق واختبار القناة المفتوحة، وأخيرا أستعمل جهاز الفسكومات لقياس الخواص الريولوجية لكل خلطة. بالرغم من عدم إستمرار العمل باختبار القناة المفتوحة خاصة للخلطات عالية الإنسياب فقد تم تعديل الإختبار لكي يصلح لقياس الخلطات عالية قابلية التشغيل، حيث تم تسجيل الزمن اللازم للمونة لقطع مسافة معينة لكل خلطة فبالتالي يمكن حساب سرعة الإنسياب للمونة، وبهذا التعديل أمكن التغلب على القصور الحاصل في طول القناة. تم إنتاج مونة إسمنتية بدون أي مواد مضافة في البداية ثم أستعملت الملدنات فائقة الكفاءة بنسبة 1% ثم 2% وأخيرا أستبدل 20% من وزن الإسمنت برماد الوقود المحروق مع وجود 1% من الإضافات فائقة الكفاءة.

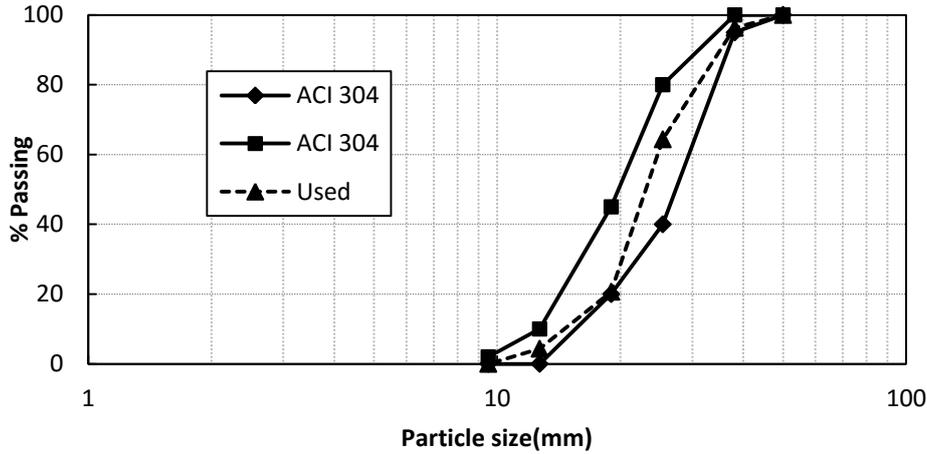
2. البرنامج العملي

1.2 المواد المستعملة:

تم استعمال الإسمنت البورتلاندي العادي لعمل المونة الإسمنتية، كما تم جلب رماد الوقود المحروق من شركة (دراقس) ببريطانيا وكان الفاقد بالحرق أقل من 7. أما الإضافات عالية الكفاءة فكانت (قلينيوم سي 315) والتي تم توريدها من شركة (باسف) المحدودة ببريطانيا، والتي تتماشى مع جميع أنواع الإسمنت حسب المواصفة الأوروبية (أي إن 934 الجزء الثاني)(9). وتم استخدام أربعة أنواع مختلفة التدرج من الركام الناعم كما هو موضح في شكل 1. أما بالنسبة للركام الخشن المستعمل في إنتاج الخرسانة فهو مدور الشكل ذو مقاس أقصى 38.1 مم، وتدرجه يقع ضمن المواصفات الخاصة بالخرسانة مسبقة وضع الركام كما هو موضح في شكل 2.



شكل 1. تدرج الركام الناعم



شكل 2. تدرج الركام الخشن

2.2 نسب الخلط:

تم استعمال عشر خلطات فيهن خمس نسب ماء للإسمنت هي 0.40، 0.45، 0.50، 0.55 و 0.60 ونسبتي إسمنت للرمل هما 0.6/1 و 0.9/1 وتم إجراء هذه النسب لكل نوع من أنواع الرمل؛ أولاً بدون إضافات تم أعيد العمل بالكامل عند استعمال المدونات فائقة الكفاءة بنسبة 1% ثم 2%، وأخيراً أستبدل 20% من وزن الإسمنت برماد الوقود المحروق مع وجود 1% من المدونات.

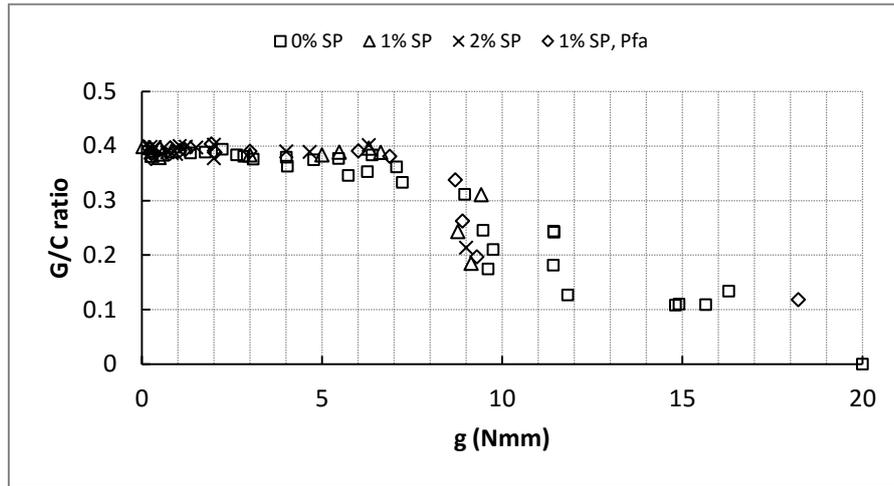
3.2 تجهيز العينات والإختبار:

تم وضع أنبوب بلاستيكي صلب ذي قطر داخلي مقاس 20 مم وارتفاعه 2 متر في منتصف قالب مكعب الشكل ذي مقاس 150 مم بحيث لا يلامس السطح الداخلي لأرضية القالب لكي يسمح بمرور المونة من أسفل، تم ملئ القالب حول الأنبوب بركام خشن مشبع بالماء معلوم الوزن، وأخيراً تم ضخ المونة الإسمنتية تحت تأثير وزنها من ارتفاع 2 متر عبر قمع مثبت أعلى الأنبوب (1)، (10)، (11). نظراً لاختلاف درجات التشغيل للمونة الإسمنتية فقد حصل حقن كامل للبعض وجزئي للبعض الآخر، و بناء على ذلك فقد تم وزن العينات بعد 24 ساعة حيث أمكن حساب كمية المونة المحقونة لكل درجة تشغيل لأن وزن الركام معلوم قبل عملية الحقن.

3. مناقشة النتائج

1.3 العلاقة بين إجهاد الخضوع للمونة الإسمنتية ونسبة الحقن:

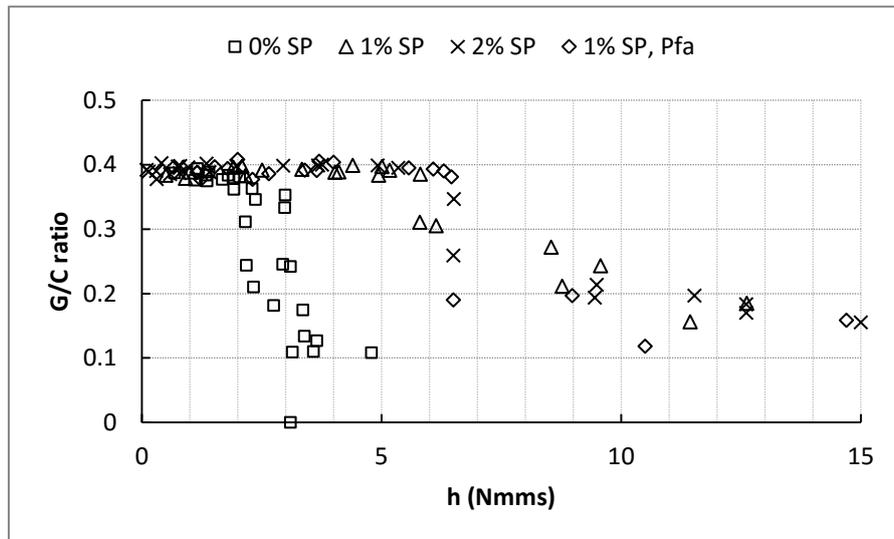
من العلاقة بين نسبة المونة المحقونة إلى الخرسانة وإجهاد الخضوع لجميع الخلطات، كما هو موضح في شكل 3، يتبين أنه كلما زاد إجهاد الخضوع حصل حقن كلي للمونة بنسبة ثابتة حوالي 40% إلى أن يصل الإجهاد حوالي 6 إلى 7 ن-م فيحصل عند هذه القيم انعطاف في نسبة الحقن والتي لا يتم الحقن كلياً بعدها. من الجدير بالذكر أن قيمة الإنعطاف ثابتة لجميع الخلطات بغض النظر عن الإضافات المستعملة والنسب.



شكل 3. العلاقة بين نسبة المونة المحقونة للخرسانة وإجهاد الخضوع

2.3 العلاقة بين اللزوجة البلاستيكية للمونة الإسمنتية ونسبة الحقن:

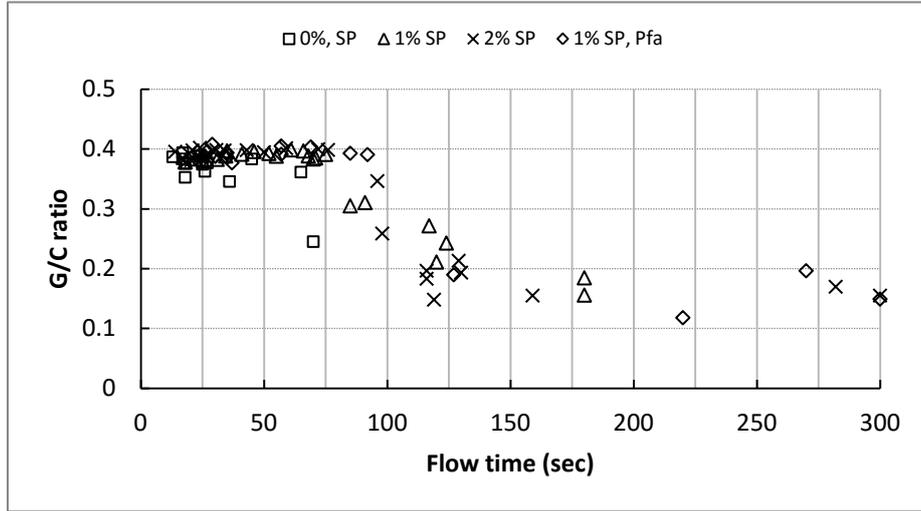
من العلاقة بين نسبة المونة المحقونة إلى الخرسانة واللزوجة البلاستيكية لجميع الخلطات، كما هو موضح في شكل 4، يتبين أنه كلما زادت اللزوجة حصل حقن كلي إلى أن يحصل حقن عند قيم مختلفة تبعاً للمواد المضافة، فيحصل عند هذه القيم إنعطاف في نسبة الحقن والتي لا يتم الحقن كلياً بعدها. فمثلاً قيمة الإنعطاف تساوي 6 ن.مم.ث للخلطات التي بها ملدنات، بينما قيمة الإنعطاف هي 2 ن.مم.ث لغير المحتوية على أي إضافات؛ هذا الاختلاف يمكن أن ينسب للتماسك العالي للخلطات المحتوية على إضافات فيحصل حقن أعلى من غيرها ويمكن استخلاص أن اللزوجة البلاستيكية ليست هي الخاصية التي تعبر عن جميع الخلطات كما في حالة إجهاد الخضوع.



شكل 4. العلاقة بين نسبة المونة المحقونة للخرسانة واللزوجة البلاستيكية

3.3 العلاقة بين زمن التدفق للمونة الإسمنتية ونسبة الحقن:

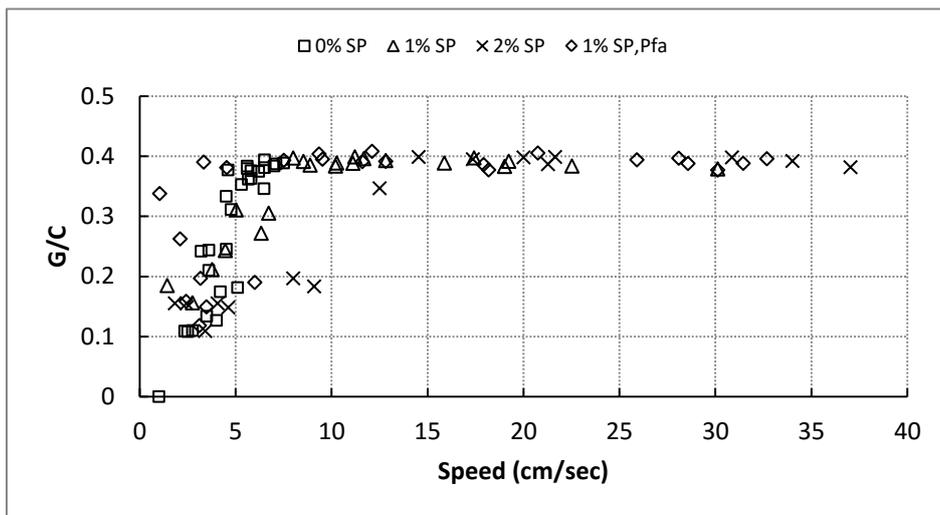
من العلاقة بين نسبة المونة المحقونة إلى الخرسانة وزمن التدفق، كما هو موضح في شكل 5، يتبين أنه كلما زاد زمن التدفق حصل حقن جزئي بعد قيم إنعطاف مختلفة للمونة. الزمن الذي لا يحدث فيه حقن كامل يتراوح من 70 إلى 90 ثانية، فالخطات التي بها ملدنات لها نفس الإنعطاف بينما تختلف الأخرى.



شكل 5. العلاقة بين نسبة المونة المحقونة للخرسانة وزمن التدفق

4.3 العلاقة بين سرعة الإنسياب للمونة الإسمنتية ونسبة الحقن:

من الشكل 6 للعلاقة بين نسبة المونة المحقونة إلى الخرسانة وسرعة إنسياب المونة يتبين أنه كلما زادت سرعة الإنسياب تزداد نسبة الحقن حتى يحصل حقن كلي عند حوالي 7 سم/ثانية والتي يتم الحقن كليا بعدها. من الجدير بالذكر أن الخلطات التي أستعمل بها الرماد المحروق تم ضخها كليا عند سرعات أقل من 7 سم/ثانية.



شكل 6. العلاقة بين نسبة المونة المحقونة للخرسانة وسرعة الإنسياب

4. الخلاصة

من خلال دراسة العلاقات بين الخواص الريولوجية للمونة الإسمنتية وكمية الحقن خلال كتلة من الركام الخشن كنسبة بين وزن المونة إلى الخرسانة يستنتج الآتي:

- يمكن التنبؤ بكمية المونة المحقونة خلال الركام الخشن من خلال معرفة الخواص الريولوجية للمونة الإسمنتية، وتعتبر خاصية إجهاد الخضوع هي الخاصية الأشمل والتي من خلالها يمكن إيجاد نقطة إنعطاف موحدة لجميع الخلطات حتى لو اختلفت المواد المستخدمة في الخلطات.

- يعتبر حساب سرعة المونة في القناة المفتوحة محدودة الطول عن طريق قياس الزمن اللازم لقطع مسافة معينة قد أنهى محدودية استخدام هذا الإختبار وبذلك يمكن قياس قوام جميع الخلطات وحتى عالية قابلية التشغيل التي تستخدم في الحقن لإنتاج الخرسانة مسبقة وضع الركام.

5. المراجع

1. Abdelgader H., "Experimental-Mathematical Procedure of Designing The Two-Stage Concrete", Doctoral Thesis, Gdansk, November 1995.
2. Neville A., "Properties of Concrete", Fourth Edition, Longman group limited, England, 1995.
3. ASTM - C 939 "Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method)", 2002.
4. Warner J., "Grouting; soil, rock, and structures", Hand book, first edition, John and Wiley and sons, Inc, New Jersey, 2004.
5. ACI 304.1 R-69" Preplaced aggregate concrete for structural and mass concrete", ACI 304.1R, 1969
6. ACI 304.1 R-92 (Reapproved 1997), "Preplaced Aggregate Concrete for Structural and Mass Concrete", ACI 304 R, 1989, chapter 7.
7. Tattersall, G. H. and Banfill, P. F. G., "The Rheology of Fresh Concrete" Handbook, first edition, Pitman Books Limited, London, 1983.
8. Littlejohn, G. S., "Grouted Pre-placed Aggregate Concrete", Concrete in the Ground Conference, the Concrete Society, London, May, 1984.
9. BASF, chemical company, " High range water reducing superplasticizing admixture" Glenium C315, BASF report, August, 2010, UK.
10. Nowek A., Kaszubski P., Abdelgader H., and Gorski J., " Effect of admixtures on fresh grout and two-stage (Pre-Placed aggregate) concrete", Structural Concrete, V. 8, No. 1, 2007.
11. Ganaw A., "Rheology of grout for preplaced aggregate concrete", PhD Thesis, University of Bradford, 2012, UK.

تأثير درجات الحرارة على الخواص الميكانيكية للخرسانة عالية المقاومة

أ.د. مختار معمر أبوراوي م. مفتاح محمد سريح م. هيثم عبدالهادي كلوب

sryh1@yahoo.com aburawi2010@yahoo.com

قسم الهندسة المدنية - كلية الهندسة - جامعة المرقب

الملخص

تعتبر الخرسانة مادة مهمة في صناعة التشييد بما تتميز به من خواص ميكانيكية من أهمها مقاومتها العالية للضغط. وحيث أن معظم الدراسات السابقة إهتمت بدراسة هذه الخواص في درجات الحرارة العادية ولم تركز على تأثير هذه الخواص عند درجات الحرارة العالية التي ربما تتعرض لها بعض المنشآت الخرسانية، وعلى سبيل المثال الخرسانة المستخدمة في أساسات وتبطين الأفران الحرارية، والخرسانة المستخدمة في أجزاء المفاعلات النووية وفي بعض الصوامع وفي المنشآت الخرسانية المجاورة للأفران أو الإنشاءات التي تحتوي على الآليات التي تصدر عنها حرارة عالية، إضافة إلى تأثير اندلاع الحرائق بداخل المنشآت والمباني الخرسانية.

تهدف هذه الدراسة للبحث في العوامل المختلفة التي تؤثر في فقدان الخرسانة لجزء من مقاومتها الأصلية للضغط وذلك عند تعرضها إلى درجات الحرارة العالية بسبب الحرائق. تتلخص نتائج هذا البحث في أن درجات الحرارة العالية تؤثر بشكل كبير على متانة الخرسانة، ومع زيادة ارتفاع درجات الحرارة ومدة تعرضها تنخفض مقاومة الخرسانة للضغط. كما لوحظ عند اختبار المتانة أن هناك تغيراً في سرعة الموجة فوق الصوتية المارة خلال العينات المعرضة للحرارة توضح مدى تأثير البنية الداخلية للخرسانة بسبب الشروخ والتشققات الداخلية الناتجة عن الإجهادات الحرارية داخل العينة، إضافة إلى أن الخرسانة لا تحتفظ بلونها الطبيعي عند تعرضها لدرجات الحرارة العالية، حيث لوحظ أن اللون الرمادي والطبيعي للخرسانة يتغير إلى اللون الوردي الفاتح والغامق واللون الزهري (كريمي) تدريجياً مع ارتفاع درجات حرارة التعرض. وبشكل عام أغلب العينات أظهرت تشققات على سطح الخرسانة عند درجات الحرارة المنخفضة وانهايار جوانب العينات عند درجات الحرارة المرتفعة.

المقدمة

الخرسانة مادة إنشائية شائعة الاستخدام في صناعة التشييد ويعزى ذلك بشكل كبير إلى خواصها الميكانيكية المتميزة والتي من أهمها مقاومتها العالية للضغط. وبما أن معظم الدراسات السابقة إهتمت بشكل كبير بدراسة الخواص الميكانيكية للخرسانة في درجات الحرارة العادية، بينما البيانات المتعلقة بتأثير درجات الحرارة العالية غير كافية وتحتاج للمزيد من الدراسات المعملية لمعرفة قيم المقاومة المتبقية وتأثيرها على الديمومة. المنشآت الخرسانية التي تتعرض لدرجات الحرارة العالية على سبيل المثال الخرسانة المستخدمة في أساسات وتبطين الأفران الحرارية والخرسانة المستخدمة في المراحل وفي أجزاء المفاعلات النووية وفي بعض الصوامع وفي المنشآت الخرسانية المجاورة للأفران أو المنشآت التي تحتوي على الآليات التي يصدر عنها حرارة عالية، إضافة إلى تأثير اندلاع الحرائق داخل المنشآت والمباني الخرسانية.

الخرسانة لا يحدث لها تمدد عند تعرضها لدرجات الحرارة العالية كما يتبادر إلى الذهن إلا إذا كانت حرة الحركة وغير معرضة لأحمال الضغط. أما الخرسانة التي ترتفع درجة حرارتها تحت الضغط فإنها تنكمش ولا تتمدد. والواقع أن انفعال الخرسانة المعرضة للحرارة يتكون من جزأين هما الإنفعال الحراري للخرسانة غير المحملة (تمدد) والإنفعال الحراري نتيجة التحميل (إنكماش) وهذا الإنفعال الكلي يصبح انكماشاً عند مستوى إجهاد يبلغ 15% من مقاومة الخرسانة للضغط أو أكثر حيث يزيد عن الإنفعال الحر الناتج عن تمدد الركام^[1]. أجريت دراسة على سلوك الخرسانة في المناخ الصحراوي بشمال أفريقيا والذي تتراوح فيه درجات الحرارة على سطح خرساني إلى ما بين 15 م في الليل و 90 م في النهار والتي يمكن تمثيلها بدورة حرارية واحدة. ومن خلال النتائج التي أفرزتها التجارب العملية على تأثير درجات الحرارة المتوسطة ما بين 30-100 م على الخرسانة العادية والخرسانة عالية المقاومة بعد تعريضها إلى 30 دورة حرارية لوحظ تحسن الخواص الميكانيكية للخرسانة بفعل درجات الحرارة الخارجية والتي تساهم بشكل فعال في استكمال وتعجيل عملية الإماهة. و بعد مرور 90 دورة حرارية يحدث تدهور في بعض الخواص وهذا ربما بفعل التشققات الدقيقة والتي عادة ما تتكون بين العجينة الإسمنتية والركام نتيجة الفرق في معامل التمدد الحراري لكل من العجينة الإسمنتية والركام. وهذه التشققات تساهم قليلاً في إضعاف متانة الخرسانة ولكن يبقى تأثيرها بسيطاً إذا ما قورنت بالنتائج الأولية أي بدون دورات حرارية^[2].

إختصت بعض الدراسات على دراسة تأثير درجة الحرارة المرتفعة على المقاومة وشكل التشوهات لخرسانة مقاومتها تتفاوت من 31-89 ن/مم²، تعرضت لدرجات حرارة تراوحت ما بين 23-800 م°، حيث بينت نتائج هذه الدراسة أن تعرض الخرسانة لدرجات حرارة في مدى 100-300 م° يقلل من مقاومة الضغط بالنسبة للخرسانة عالية المقاومة بحوالي 15-20%. وعند تعرضها لدرجات حرارة في مدى 400-800 م° فإن مقاومة الضغط تنخفض بنسبة 30% من مقاومتها بالمقارنة مع العينات المعرضة لدرجة حرارة الغرفة، كما لوحظ أيضاً أن أغلب العينات فشلت بطريقة إنفجارية خلال فترة التسخين وبقية العينات أظهرت فقدان أقل للمقاومة مقارنة بالعينات غير المحملة مسبقاً، كما أن نتائج هذه الدراسة بينت أن التعرض لدرجات حرارة مرتفعة يقلل من معامل المرونة للخرسانة بغض النظر عن حالة التحميل ومقاومة الخرسانة^[3]. ويمكن تلخيص نتائج هذه الدراسة في النقاط التالية:

تم تعريض العينات لدرجات حرارة حتى 800 درجة مئوية لدراسة ومعرفة تأثيرات درجات الحرارة على مقاومة الخرسانة للضغط ومساميتها ومعامل نفاذيتها. والنتائج لم تبين أي تغيرات كبيرة في مقاومة الضغط ومتوسط نصف قطر المسامات ومعامل النفاذية وخاصة عند تعريض العينات لدرجات حرارة حتى 400 درجة مئوية^[4]. وفي دراسة أخرى^[5] أجريت للبحث في تأثير درجات الحرارة العالية على سلوك الكمرات الخرسانية المدعمة بعد تعرضها إلى النار لفترات زمنية مختلفة؛ فإن مقاومة الضغط المقاسة عن طريق مطرقة الإرتداد إنخفضت مع ازدياد وقت التعرض إلى النار. هذا الإنخفاض كانت نسبته ما بين 42-73% من القيمة الأصلية. كما وجد أن سلوك مقاومة الخرسانة تحت تأثير درجات حرارة عالية تصل إلى 1600 درجة مئوية تعتمد على حالة تحميل العينات أثناء إجراء الإختبارات^[6].

أهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة للبحث في العوامل المختلفة التي تؤثر في فقدان الخرسانة لجزء من مقاومتها الأصلية للضغط وذلك عند تعرضها إلى درجات حرارة عالية بسبب الحرائق أو غيرها من الظروف. والعوامل المؤثرة على نسبة الفاقد في المقاومة بعد تعرضها لدرجات الحرارة العالية يمكن تلخيصها في الآتي:

- تأثير رتبة الخرسانة (قيمة المقاومة الأصلية للخرسانة).
- تأثير مدة تعرض الخرسانة للحرارة.

البرنامج العملي

تم إعداد وصب 252 عينة مقاس $150 \times 150 \times 150$ ملم وبعد 24 ساعة تم فكها من القوالب ووضعها في أحواض المعالجة بالماء وبدرجة حرارة الغرفة 22-27 م° حتى تاريخ الإختبار 28 يوم من تاريخ الصب. تم تقسيم العينات إلى ثلاث مجموعات رئيسية تعتمد أساساً على قيمة المقاومة التصميمية للضغط. تم استخدام فرن كهربائي سعته الحرارية حتى 1000 درجة مئوية حيث تعرضت المجموعة الأولى لدرجة حرارة 250 درجة مئوية والثانية لدرجة حرارة 500 درجة مئوية والثالثة لدرجة حرارة 750 درجة مئوية؛ وعند كل درجة حرارة تم تعريض العينات لفترات زمنية مختلفة، وفي هذه الدراسة كانت الفترات الزمنية لتعريض العينات هي 20 و40 و60 دقيقة، والعامل الأساسي هو طريقة التبريد بعد تعرض العينات للحرارة قبل اختبار مقاومتها للضغط، وقد تم تبريد نصف العينات بالتبريد التدريجي في الهواء حتى الوصول إلى درجة حرارة الغرفة، والعينات الأخرى تم تبريدها بشكل مفاجئ بالغمر في الماء فور إخراجها من الفرن. تم استخدام الأجهزة والأدوات المتاحة بمعمل الخرسانة بكلية الهندسة جامعة المرقب لإجراء الإختبارات الأولية لمكونات الخرسانة ولصب وتجهيز العينات اللازمة لهذه الدراسة، كما تم استخدام فرن كهربائي درجة حرارته ترفع تدريجياً. وبعد تسخين وتبريد العينات تم اختبار المقاومة التقديرية للضغط باستخدام مطرقة الإرتداد وجهاز الموجات فوق الصوتية ومن تم اختبار نفس العينات لحمل ضغط حتى الإنهيار.

مكونات الخلطات الخرسانية

تم توريد الإسمنت البورتلاندي المستخدم في هذه الدراسة من مصنع زيتن للإسمنت أحد مصانع الشركة الأهلية للإسمنت في ليبيا والمطابق للمواصفات الليبية رقم 240، والركام الناعم من محاجر بمدينة زيتن، والركام الخشن من محجر الزيانية بمدينة زيتن، وللحصول على ركام خشن ضمن الحدود المسموح بها فقد تم خلط نوعين من الركام الخشن مقاس 10مم و15مم بنسبة 1.2:1.0 على التوالي. وأجري عدد من الإختبارات الفيزيائية والكيميائية للركام الناعم والخشن وكانت النتائج وفق المواصفات البريطانية (BS 882:1992).

تصميم الخلطات الخرسانية

تم تصميم ثلاثة أنواع من الخلطات الخرسانية تختلف باختلاف مقاومتها المميزة. وصممت هذه الخلطات بالطريقة البريطانية^[7]. الجدول رقم 1 يوضح نسب الخلط للخلطات الخرسانية الثلاث.

جدول 1: الخلطات الخرسانية المستهدفة في الدراسة

مقاومة الضغط 28 يوم ن/مم ²	مقدار الهبوط مم	نسبة الماء للإسمنت	نسبة الإسمنت للركام	الركام الخشن الكلبي كجم/م ³	الركام الخشن كجم/م ³		الركام الناعم كجم/م ³	الإسمنت كجم/م ³	الخلطة الخرسانية
					حجم 10 مم	حجم 15 مم			
49	120	0.6	4.59	1720	563	675	482	375	الخلطة 1
56	100	0.56	4.21	1693	562	674	457	402	الخلطة 2
63	80	0.51	3.75	1654	564	676	414	441	الخلطة 3

تحليل ومناقشة النتائج

النتائج التي تم الحصول عليها من الإختبارات فقد تم تحليلها لاستنتاج بعض العلاقات للعوامل المؤثرة على مقاومة الضغط وفهم سلوك الخرسانة أثناء وبعد تعرضها لدرجات الحرارة المختلفة، والنتائج دلت وبوضوح على تغير مقاومة الخرسانة للضغط بعد تعرضها لدرجات الحرارة العالية، وبعض العينات أظهرت حالات فشل مفاجئ وانفجاري عند تعرضها لدرجات الحرارة العالية ولهذا السبب لم يتم التسجيل نتائج حقيقية يمكن الإستفادة منها.

التشغيلية

تم تعيين قابلية التشغيل للخرسانة الطازجة باختبار مقدار الهبوط لجميع الخلطات حسب المواصفات القياسية البريطانية [BS 1881: Part 2:1970]، ومن خلال النتائج، لوحظ أن مقدار الهبوط يقل مع انخفاض نسبة الماء للإسمنت وزيادة كمية الإسمنت، إضافة على ذلك لوحظ أن مقدار الهبوط يزيد مع زيادة نسبة الركام للإسمنت؛ وباعتبار أن كمية الماء ثابتة في جميع الخلطات فكان التأثير فقط مع زيادة كمية الإسمنت، حيث كانت زيادة كمية الإسمنت سببا في عدم قدرة الخلط على تحقيق التشغيلية المطلوبة بالمقارنة مع الخلطات الأخرى، ويتبين ذلك في مقدار الهبوط الحاصل في الخلطات حيث أن انخفاض نسبة الماء للإسمنت بمقدار 6-9% وزيادة كمية الإسمنت بنسبة 7-10% ساهم في انخفاض معدل الهبوط بنسبة 16-20% وبذلك يمكن أن يستخلص من هذه النتائج أن زيادة كمية الإسمنت، أي زيادة المراد الناعمة في الخلطة، لها انعكاس سلبي على التشغيلية وخاصة المراد الناعمة التي تخضع للتفاعل مع الماء.

مقاومة الخرسانة للضغط

أجري هذا الإختبار لتحديد مقاومة الخرسانة للضغط على جميع العينات وفق المواصفات البريطانية (BS1881: Part 116:1983) وذلك بتعريض جميع العينات لمعدل تحميل ثابت قدره 0.35 كن/مم²/ثانية، وتم رصد جميع النتائج ومقارنتها مع نتائج العينات المرجعية للخلطات الأولى والثانية والثالثة والتي كانت على التوالي 49 و56 و63 كن/مم². حيث بينت النتائج زيادة ملحوظة في مقاومة الخرسانة للضغط في الخلطات الثلاث مع زيادة كمية الإسمنت وانخفاض كمية الماء، والنتائج بينت أيضا إنخفاضاً في المقاومة مع الزيادة في مقدار التشغيلية، فعلى سبيل المثال مقدار التشغيلية في الخلطة الأولى تقريبا 120 مم بينما في الخلطة الثالثة تقريبا 80 مم، والسبب يرجع إلى زيادة المحتوى الإسمنتي في الخلطة الثالثة وتأثيره على زيادة المقاومة وانخفاض التشغيلية بالمقارنة مع نتائج الخلطة الأولى.

حالات الإنهيار بالنسبة للعينات المرجعية كانت إعتيادية، ولم يلاحظ أي تغير في شكل الإنهيار عما سبق عند اختبار المكعبات تحت تأثير قوى الضغط الموزعة بانتظام على كامل سطح المكعب، وبالمقارنة مع حالات الإنهيار بالنسبة للعينات التي تعرضت لدرجات الحرارة المختلفة قبل الإختبار لوحظ وبشكل متكرر على العينات المعرضة لدرجات حرارة 250 م° ، 500 م° عند فترات التعرض للحرارة المختلفة هو انتظام شكل الإنهيار عند اختبارها لمقاومة الضغط كما هو مبين في الشكل رقم 1. أما فيما يخص العينات المعرضة لدرجة حرارة 750 م° فالأمر مختلف عن سابقتها وبخاصة للعينات المختبرة وهي ساخنة، فهناك عينات انفجرت تحت الإختبار وشكل انهيارها كان غير اعتيادي كما هو موضح في الشكل رقم 2.



شكل 1: شكل الإنهيار تحت اختبار الضغط لعينات معرضة لدرجات حرارة 250 م° و 500 م°



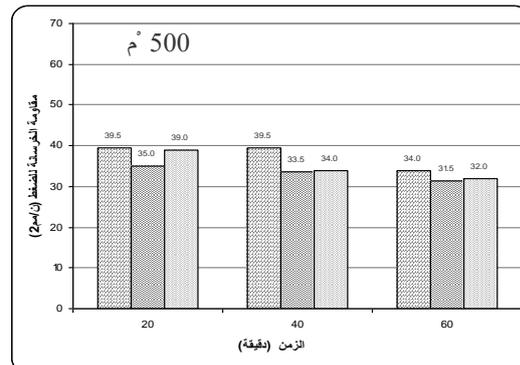
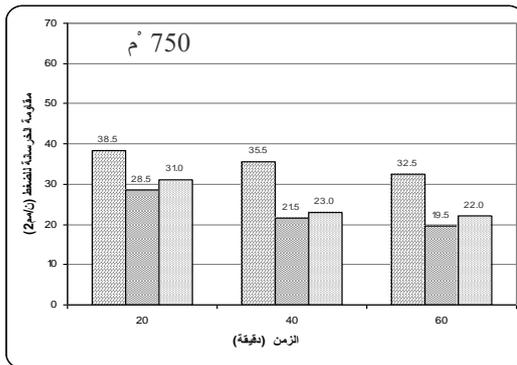
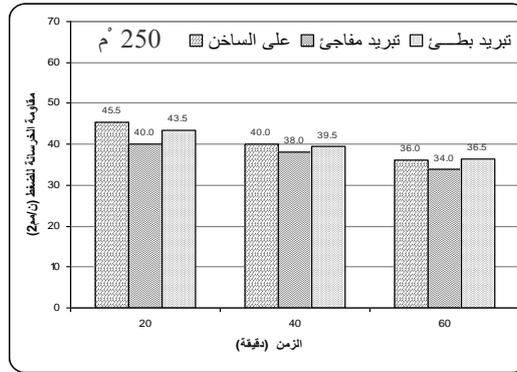
شكل 2: شكل الإنهيار تحت اختبار الضغط لبعض العينات المعرضة لدرجات حرارة 750 م°

دراسة تأثير زمن التعرض للحرارة على مقاومة الخرسانة للضغط

الفترة الزمنية التي تتعرض لها الخرسانة للحرارة لها تأثير واضح على مقاومتها للضغط، والأشكال 2 و 3 و 4 توضح العلاقة بين زمن التعرض ومقاومة الخرسانة للضغط لكل خلطة. والنتائج تبين أنه كلما زاد زمن تعرض العينات للحرارة قلت مقاومتها للضغط بشكل واضح سواءً وهي ساخنة، والتي تمثل حالة المنشأ لحظة تعرضه للحرارة، أو للعينات التي تم تبريدها فجائياً بغمورها في الماء بعد تعرضها للحرارة والتي تمثل الحالة عند إطفاء الحرائق بالماء بعد وقوعها، أو للعينات التي تركت معرضة للهواء الطبيعي لترجع إلى حرارتها الطبيعية والتي تمثل الحالة التي يتم فيها إطفاء الحرائق في المباني الخرسانية باستعمال المساحيق الخاصة بذلك.

تصل قيمة الفاقد في مقاومة الخرسانة للضغط عند تعرضها إلى درجة حرارة 250° م ولمدة 20 و 40 و 60 دقيقة بالنسبة للخلطة التصميمية الأولى إلى 7 و 18 و 27% على التوالي للعينات المختبرة وهي ساخنة بالمقارنة مع نتائج العينات المرجعية. أما بالنسبة للعينات التي بردت بالماء فجائياً فتصل نسبة الفاقد في المقاومة إلى 18 و 22 و 31% على التوالي. في حين أن العينات التي تركت لتبرد بالهواء وصلت نسبة الفاقد إلى 11 و 19 و 26% وبهذا يلاحظ أن نسبة الفاقد في المقاومة عن المقاومة الأصلية تكون أكبر ما يمكن عند التبريد فجائياً بالماء ثم يليها التبريد البطيء ثم العينات التي اختبرت وهي ساخنة.

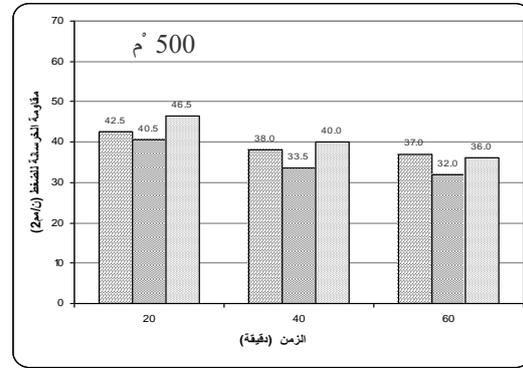
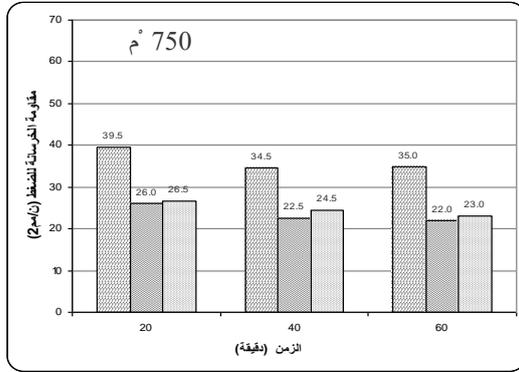
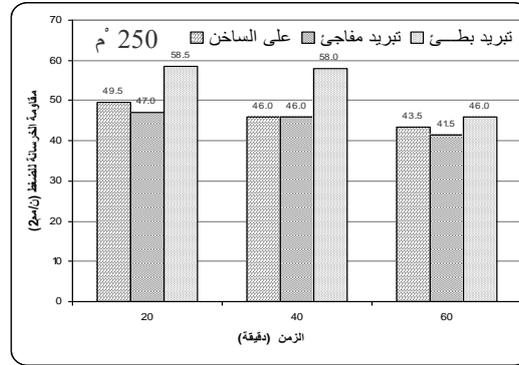
الشكل رقم 3 يوضح تأثير زمن تعرض العينات لدرجات الحرارة المختلفة على مقاومة الخرسانة للضغط بالنسبة للخلطة رقم 1 والنتائج تبين أنه كلما زاد زمن التعرض للحرارة تقل قيم المقاومة وهذا التأثير فقط يلاحظ حتى درجات الحرارة إلى 500° م وفيما بعد يكون زمن التعرض له تأثير بسيط وغير متباين وخاصة عند درجة حرارة 750° م عندها يلاحظ أن زمن التعرض 40,60 دقيقة ليس له فروق جوهرية بين قيم المقاومة وهذا يدل على أن العينات التي تحتوي على أقل محتوى رطوبي وعند تعرضها لدرجات حرارة عالية تفقد مقاومتها خلال الدقائق الأولى من زمن التعرض.



شكل 3: تأثير زمن التعرض على مقاومة الخرسانة للضغط لعينات الخلطة التصميمية الأولى

الشكل رقم 4 يوضح تأثير زمن تعرض العينات لدرجات الحرارة المختلفة على مقاومة الخرسانة للضغط بالنسبة للخلطة رقم 2 والتي تحتوي على محتوى رطوبي نسبته للإسمنت 0.56 وهذه النسبة تعتبر الأقل بالمقارنة مع الخلطة رقم 1 وهنا يلاحظ أن قيم المقاومة، وخاصة عند درجات الحرارة المنخفضة، هي الأفضل إضافة إلى أن تأثير زمن التعرض ليس كبيراً جداً كما لوحظ في الخلطة رقم 1. بارتفاع درجات الحرارة من 500° م حتى 750° م

لوحظ أن زمن التعرض كان تأثيره فقط خلال الدقائق الأولى وفيما بعد كان التأثير بسيطاً جداً ولا يذكر عند درجات الحرارة 750 م°.

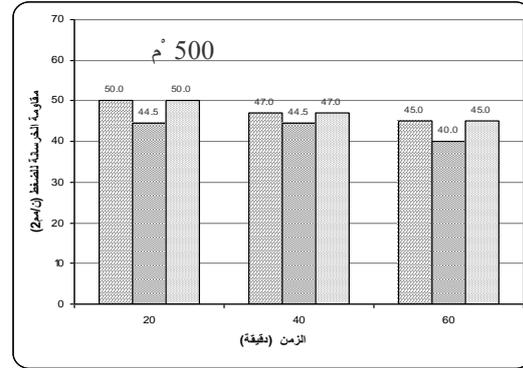
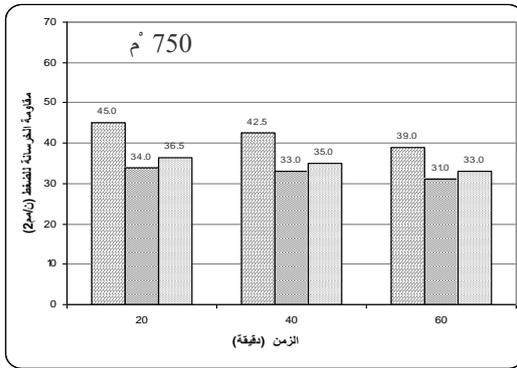
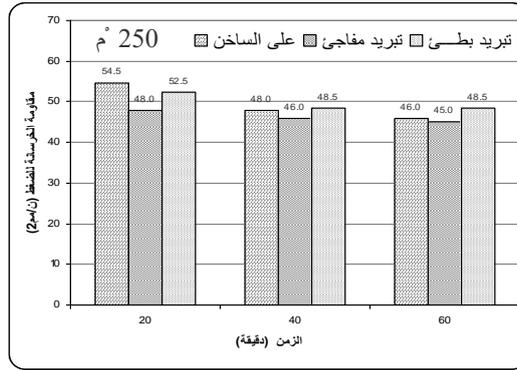


شكل 4: تأثير زمن التعرض على مقاومة الخرسانة للضغط لعينات الخلطة التصميمية الثانية

الشكل رقم 5 يوضح تأثير زمن تعرض العينات لدرجات الحرارة المختلفة على مقاومة الخرسانة للضغط بالنسبة للخلطة رقم 3. والنتائج تؤكد ما سبق أي أنه مع انخفاض نسبة الرطوبة إلى الإسمنت تتحسن المقاومة بسبب قلة نسبة البخر الناتج من المحتوى الرطوبي الحر الذي تنتشع به العينات وبذلك نرى زيادة زمن التعرض يسمح بزيادة نسبة البخر وبالتالي حجم الفراغات يزيد وتقل مقاومة الخرسانة للضغط، هذا إضافة إلى التشققات الداخلية الناتجة عن التغير في درجات الحرارة داخل العينات، وهذا سبب آخر في ضعف المقاومة.

الخلاصة

درجات الحرارة العالية تؤثر بشكل كبير على متانة الخرسانة ويزداد تلف الخرسانة بزيادة ارتفاع درجة الحرارة وبزيادة مدة التعرض.



شكل 5: تأثير زمن التعرض على مقاومة الخرسانة للضغط لعينات الخلطة التصميمية الثالثة

1. تتخضع مقاومة الخرسانة للضغط عند تعرضها لدرجات الحرارة العالية، وتصل نسبة الفاقد في المقاومة (10-30)% للخرسانة المعرضة لدرجة حرارة حتى 250°م، وعندما تصل درجة الحرارة إلى 500°م وتتجاوزها تصل نسبة الفاقد في المقاومة إلى نسبة (30-60)% من مقاومتها الأصلية.
2. تفقد الخرسانة مقاومتها للضغط مع زيادة فترة التعرض لأكثر من 20 دقيقة، ودون ذلك تحتفظ الخرسانة بمقاومتها عند تبريدها ببطء في الهواء.
3. تظهر التشققات على سطح الخرسانة عند تعرضها لدرجة حرارة تتجاوز 250°م وتشاهد بوضوح عند درجات الحرارة (500-750)°م. ويعتمد ذلك على معدل ارتفاع درجة الحرارة وفترة التعرض وعلى طريقة التبريد وبشكل عام التبريد المفاجئ بالماء يعتبر سببا مباشرا في ظهور التشققات على سطح الخرسانة.
4. عند تعرض الخرسانة للحرارة يتغير لونها ويصبح ورديا فاتحا عند 250°م، وعندما تزيد درجات الحرارة وتتجاوز 500°م يزداد اللون غمقا ويصبح رماديا فاتحا وعند درجة حرارة 750°م يصبح لونها زهريا إلى كريميا.

التوصيات

تم إجراء هذه الدراسة على عينات غير محملة (غير مجهدة) بسبب عدم توفر الإمكانيات اللازمة. لذلك يوصى بإجراء دراسة مشابهة تكون فيها العينات المعرضة للحرارة محملة بأحمال تمثل حالتها في المنشأ.

المراجع

1. أ.د. شريف أبو المجد، أ.د. حسن حسني، حرائق المنشآت الخرسانية، الطبعة الأولى، دار النشر للجامعات - مطبعة الوفاء، القاهرة، 1994 ف.
2. د. فرحات غريبي فرحات، د. سامي عمر الصياد، تأثير الحرارة علي الخواص الميكانيكية للخرسانة العادية وعالية المقاومة، المؤتمر الوطني الثالث لمواد البناء والهندسة الإنشائية 21-23 الحرث 2006 ف، مصراتة- ليبيا.
3. Carlos Castillo, and A. J. Durrani, "Effect of Transient High Temperature on High-Strength Concrete", ACI Materials Journal, Title no. 87-M7, January-February 1990.
4. Abdel-Azzem A., "Behavior of RC Beams after Exposure to Fire", M.Sc. Thesis, Cairo University, Faculty of Engineering, 1991.
5. Abrams M. S., "Compressive Strength of Concrete at Temperature to 1600 °F", Temperature and concrete, 5P-25 American Concrete Institute, Detroit, 1971.
6. M. L. Gambhir, "Concrete Technology", Second Edition, McGraw-Hill, USA, 1986.

دراسة لبعض المعايير التصميمية لمقاومة العناصر الخرسانية للحريق

د/ صالح يحيى الباروني
الأكاديمية الليبية (جنزور - ليبيا)
(sybarony@yahoo.com)

م/ فاطمة محمد أبوجهة
جامعة الزيتونة (ترهونة - ليبيا)
(fatmaabojbha@yahoo.com)

الملخص:

منذ آلاف السنين وحتى عصرنا هذا، ما زالت النار تخيف الإنسان وتدمر حياته وممتلكاته في حالة حدوث حريق. وبالرغم من تطور وسائل السيطرة عليها في المنشآت فما زالت تشكل خطراً كبيراً، وتنتشر انتشاراً سريعاً، نتيجة استعمال مواد قابلة للاشتعال سواء في البناء أو الإيواء أو التخزين. ورغم استعمال الخرسانة كمادة ذات مقاومة عالية للحريق في المنشآت فإن هذا لم يحد من خطره، لكن التطور الحديث لهندسة أمان الحريق أوجد أسساً ومعايير فتحت إمكانيات جديدة لتحسين أداء المباني والمنشآت بدون نقص في متطلبات الأمان وبأقل التكاليف؛ حيث أن كود البناء هو مجموعة القوانين والنظم الفنية والعلمية والإدارية التي تعتمدها إدارة حكومية مختصة بالبناء والمبينة على الأسس العلمية والظروف الطبيعية والقواعد الهندسية وخواص المواد والمخاطر الطبيعية كالزلازل والرياح والحرائق لضمان الحد المقبول من السلامة والحماية من الحريق والأخطار الطبيعية. إن إتباع المواصفات والمعايير القياسية يؤدي إلى الإقلال من انتشار الحرائق، حيث أن معايير مقاومة الحرائق المطلوبة لمختلف عناصر الإنشاءات بموجب مدونات المباني هي قياس التحمل أو الكلال الذي تحتاجه للمحافظة على الإستقرار الإنشائي لمبنى ما أثناء حدوث حريق ومنع انتشار الحريق للأجزاء الأخرى من المبنى.

1- المقدمة

إن الحرائق تصيب الناس بالذعر، ورغم استعمال الخرسانة ذات المقاومة العالية للحريق في المنشآت فإن هذا لم يحد من خطره. لا شك أن طريقة التصرف حيال المشكلة، هو أحد أسباب تفاقمها، فمعظم الناس وشركات البناء تفضل أن تتحمل مخاطر محسوبة وتقلل التكلفة بدلاً من تزويد المنشأ بوسائل الحماية الحديثة. و لن تجدي الجهود المكثفة التي بذلت منذ بداية القرن الماضي في الاختبارات الممكنة للحد من خطورتها. إذ في كل يوم تأتي الأخبار بحريق وقع في مكان ما من العالم، فهناك العديد من الحوادث التي تذكر ويذكرها العالم بأسره، كانهيار برج التجارة العالمي الحدث الذي أذهل العالم، وعلى الصعيد المحلي فقد تحولت بعض المنشآت جراء الحريق إلى مجرد منشآت خاوية تنتظر قرار الإزالة، أو مباني أصبح اسمها مجرد إسم لمكان قد كان في الماضي. وجراء مثل هذه الأحداث، بدأت التجارب العملية والأبحاث لدراسة تأثير الحريق على مواد البناء، فقد قطعت الدول المتقدمة شوطاً بعيداً في دراسة تأثير الحريق، وفي وضع مواصفات لحماية المباني من خطره، ولكن في الدول العربية ما زالت الأبحاث قاصرة عن مواكبة التقدم العالمي في هذا المجال، وما زالت الكثير من الدول لم تصدر فيها مواصفة لحماية المباني من الحريق [1].

ولأن الدول العربية ما زالت متأخرة في هذا المجال و نظراً لأهميته، ولكي تكون هناك مواصفة خاصة بالحريق، كان من الواجب دراسة وتتبع آخر الأبحاث التي وصل إليها العالم في هذا المجال، وتقديمها باللغة العربية كدراسة تأثير الحرائق على المنشآت الخرسانية، والتي تصنف من المواد غير القابلة للاشتعال. حيث من حسن الحظ أن أغلب المنشآت المستعملة في ليبيا من الخرسانة، مما يعطي المزيد من الإطمئنان، و لكن ليس لفترة طويلة، فغالبية

المباني المقامة خالية من أبسط أساليب الوقاية، وهي تحتوي على عيوب في التصميم أو التنفيذ، أو أن عمرها الافتراضي قد إنتهى، ناهيك عن أساليب الإطفاء المستعملة والمحدودة، والتي قد تكون سببا في تقادم الحالة السيئة للحريق. لذلك يجب أن تشيد المباني بالطرق التي تناسب طرق الوقاية من الحريق وسهولة مكافحتها، ويجب أن يظهر ذلك في تصميمها وتشييدها وفي اختيار موادها أيضا. بالإضافة إلى تجهيز المبنى بالأدوات والأجهزة الخاصة للكشف عن الحريق وإطفائه. ولمعرفة الأصول الخاصة لنظم الوقاية من الحرائق يجب دراسة كل من أنواع الحرائق وأسبابها ونظرية إطفاء الحرائق وأنظمة إطفاء الحرائق ووسائل الإنذار والتنبيه ببداية الحريق في المباني. بالرغم من تزايد الإهتمام بالجانب المعماري للمنشآت وإبداعات المهندسين وشدة التنافس في المجال، وكل الجهود المبذولة في التصميم والتنفيذ الإنشائي والتي قد تستغرق وقتا طويلا فإنها للأسف قد تنهار خلال ساعات أو اقل إذا تعرضت هذه المنشآت إلى حريق مدمر يزهق الأرواح والممتلكات وتكون الخسائر باهضة. ولكن بأخذ اعتبارات تصميمية هادفة أثناء التنفيذ قد يكون لها مردود ايجابي يتم بها تجنب هذه الخسائر أو التقليل من ضررها. ومن هنا يمكن اللجوء إلى دراسة تفصيلية لأثار الحرائق على المنشآت، وعلى ضوء ذلك اقتراح معايير بعد الإطلاع على بعض المواصفات العالمية ودراستها وأخذ في الإعتبار الأوضاع والظروف المحلية.

2 - أسباب الحرائق

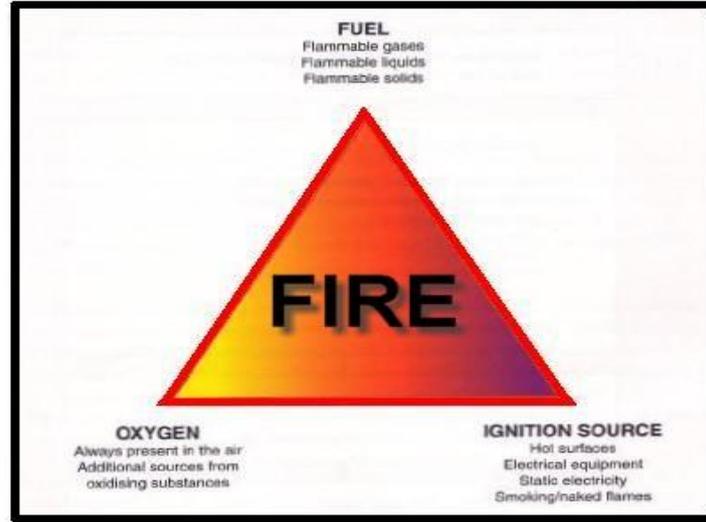
من أهم الأسباب التي تؤدي إلى حدوث الحرائق وخاصة في المواقع الصناعية ما يلي:-

- 1- الجهل والإهمال واللامبالاة والتخريب.
 - 2- التخزين السيئ والخطر للمواد القابلة للإشتعال أو الانفجار.
 - 3- سوء إستخدام الأجهزة والتركيبات والتמידات الكهربائية والأعطال الكهربائية أو وجود مواد سهلة الإشتعال بالقرب منها وزيادة الأحمال عن الحد المسموح أو سوء حالة المادة العازلة له.
 - 4- العبث أو إشعال النار لغرض التدفئة أو بالقرب من الأماكن الخطرة أو إلقاء بقايا السجائر المشتعلة وترك المهملات والفضلات القابلة للإشتعال بمكان العمل والتي تشتعل ذاتيا.
 - 5- وجود المواد الملتهبة والقابلة للإشتعال في أماكن بها مصادر إشعال أو وجود النفايات السائلة والزيوت والمواد الكيميائية وتفاعلها مع المواد القابلة للإشتعال وتشبع أو تسرب المكان بالأبخرة والغازات القابلة للإشتعال في وجود سوء التهوية.
 - 6- حدوث شرر أو ارتفاع كبير في درجات الحرارة نتيجة الإحتكاك في الأجزاء الميكانيكية أو أثناء القطع.
 - 7- عدم الإلتزام بتطبيق قواعد وإرشادات السلامة وقوانين وأنظمة العمل والنظافة والترتيب.
- علما بأن هناك أسبابا مساعدة على سرعة إنتشار الحريق بالمباني مثل:
- إستخدام مواد البناء القابلة للإشتعال السريع دون إتخاذ الإحتياطات اللازمة لوقايتها من التعرض المباشر للحريق، وقابلية مواد الإنشاء أو التشطيب في خصائصها وشكلها للإحتراق وسهولة إنهارها أو إنصهارها واشتعالها وسرعة إنتشار الحريق فيها.
 - عدم تزويد المبنى بالوسائل الملائمة للإنذار بالحريق أو بطء التبليغ عنه، وعدم توفر وسائل الإطفاء السريعة ذات الكفاءة المناسبة لنوع المبنى ودرجة تعرضه للحريق أو بدائية هذه الوسائل إن وجدت، وضعف كفاءة المسؤولين عن مكافحة الحريق بالمبنى وقلة تدريبهم وعدم درايتهم بأساليب الأمن والسلامة مع التراخي والإهمال.

- ارتفاع المبنى أو تجاوز أبعاده وحجمه لوسائل الإطفاء المزود بها، وغياب الإعتبارات التصميمية لتلافي الحريق أو التحكم فيه وحصره في مكانه وتسهيل خروج الأشخاص منه.

3- عملية الإحتراق (نظرية الإشتعال)

تبنى نظرية إشتعال الحرائق على الظاهرة الكيميائية التي تحدث نتيجة إتحاد المادة القابلة للاشتعال بالأكسجين الجوي تحت تأثير درجة حرارة معينة وبذلك يوجد أن لاشتعال الحرائق ثلاثة عوامل رئيسية لحدوثها وهو ما يسمى بمثلث الإشتعال، حيث أنه يجمع كل من المادة القابلة للاشتعال وهي الوقود (الخشب والورق والقماش والشحوم بأنواعها والزيوت..... إلخ)، والحرارة المناسبة للإحتراق (شرر كهربائي أو اللهب أو الاحتكاك أو أشعة الشمس أو التفاعلات الكيميائية..... إلخ)، والأكسجين كما هو موضح في الشكل (1)، ونتيجة هذا الإتحاد تتصاعد الغازات الخانقة من هذا الحريق [1].



الشكل (1) مثلث الإشتعال [1]

4_ إنتشار اللهب أو الحريق

ينتشر الحريق وفق المعطيات التالية:

- أ_ إنتشار اللهب على أسطح مستمرة قابلة للاشتعال؛ حيث هنا ينتشر اللهب في اتجاهين الأفقي والعمودي.
- ب_ إنتشار الحريق عبر مواد متصلة قابلة للاشتعال؛ حيث هذه وسيلة إنتشار الحريق من الأرضية إلى السقف حتى ولو لم يصل اللهب إلى السقف أو الجدران، مثل إحتراق مواد تغطية الحوائط عندما ترتفع حرارة الغرفة بدرجة كافية، ومن ثم إلى السقف. كما أن كثافة المادة القابلة للإشتعال تؤثر على سرعة إنتشار الحريق فكلما انخفضت كثافة المادة كلما قلت الحرارة المطلوبة لإحتراق وحدة الحجم.
- ج _ انتشار الحريق عبر مواد غير متصلة؛ لكي يتقدم الحريق في حالة وجود فاصل لا بد له من القفز عبر المسافة الفاصلة بين المواد القابلة للإشتعال، ويتم القفز هنا إما أن ترتفع درجة حرارة الغرفة إرتقاعا يؤدي إلى

اشتعال المواد غير المتصلة بالحريق إشتعالا ذاتيا، أو ينتشر الحريق على السقف ثم يحدث الإشعاع الحراري لأسفل مما يؤدي إلى انتشار الحريق بسرعة كبيرة. هذا ومن المفيد بأن الحرارة تنتقل من الجسم الساخن إلى الجسم الذي يقل عنه في درجة الحرارة ويحدث ذلك بإحدى الوسائل المتعارف عليها وهي التوصيل أو الحمل أو الإشعاع.

5 _ الوقاية من الحرائق

يتم تعريف الوقاية من الحريق على أنها كافة الإجراءات المتخذة منذ بداية التصميم والتنفيذ والإنشاء للمبنى ونوعية الإشغال والصيانة الدورية المستمرة بحيث تمنع وتقلل من خطر حدوث الحريق قدر الإمكان، وبين تلك الإجراءات ما يلي:

- المواصفات الفنية للمبنى.
 - المواد الداخلة في التشطيب والإنشاء.
 - معيار مقاومته للحريق ومواصفات المبنى من حيث فتحات التهوية والنوافذ وما إلى غير ذلك من صيانة للمبنى ومراقبه.
 - أنظمة الخدمات من تكييف وتهوية وغيرها.
- ويتم تعريف الحماية الذاتية من الحريق على أنها كافة الأنظمة التي يتم تركيبها في المبنى للحد من انتشار الحريق ومكافحته حال حدوثه لا قدر الله والحد من الخسائر في الأرواح والممتلكات، ومنها أنظمة الإنذار المبكر من الحريق وأنظمة مكافحة الحريق والطفايات اليدوية والإشارات الدالة على المخارج وإنارة الطوارئ. وكوسيلة للأمان ضد الحريق توجد هناك عدة ممارسات يمكن لها أن تقلل من نشوب الحريق وهي:
- النظافة والترتيب والصيانة الدورية للأجهزة والمعدات.
 - توعية القاطنين والعاملين بالسلام .
 - مراقبة جميع أنواع المواد القابلة للإشتعال وكمياتها وطريقة توزيعها.
 - إعداد لوحات إرشادية لتحديد الأماكن الأكثر خطورة.
 - ربط نظام تكييف الهواء مع نظام إنذار الحريق وذلك لمنع إنتشار اللهب والدخان من خلال قنوات التكييف إلى الأجزاء الأخرى من المبنى.
 - وضع معدات مكافحة الحريق في أماكن معروفة وواضحة لجميع الأفراد في المبنى.
 - الرجوع إلى لوائح السلامة في تصميم وتشغيل جميع أنواع الأجهزة الكهربائية المطابقة للمواصفات والمقاييس والمصنعين.
 - معاينة وصيانة معدات مكافحة الحريق دوريا واستبدال غير الصالح منها[2].

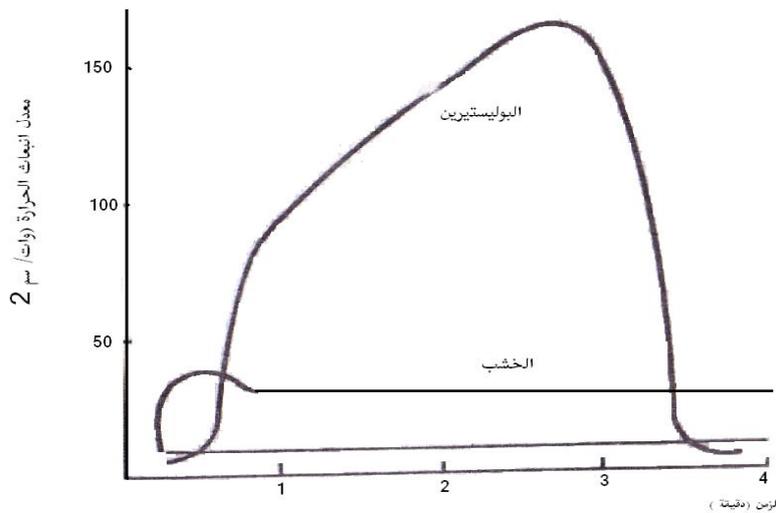
6 - طرق إطفاء الحرائق (نظرية الإطفاء)

تعتمد نظرية إطفاء الحريق على الحد أو إقصاء عامل أو أكثر من عوامل الإشتعال الأربعة السابق ذكرها المسببة للحريق، أي أن نظرية الإطفاء تعتمد على كسر مثلث الإشتعال بإزالة أحد أضلاعه أو كل أضلاعه، وتتم عملية الإطفاء بأحد الطرق المتمثلة في تبريد الحريق أو خنق الحريق أو تجويع الحريق أو كسر سلسلة التفاعل الكيميائي.

7 - المواد الإنشائية ودورها في التقليل من آثار الحريق

إن المواد الإنشائية بما تملكه من خصائص وبما يطبق عليها وعلى مواد الإنهاء من إجراءات حماية لهو الكفيل بإعاقه الحريق والحؤول دون انتشاره، حيث يمكن للحرارة الناتجة من الحريق أن تصل إلى ما يقارب 1200 درجة مئوية إذا لم تتخذ إجراءات سريعة لإخماد النيران التي تسبب انتقال الحرارة بعد ذلك خلال الحوائط والأرضيات والأسطح، آكلة في طريقها مواد أخرى فيتصدع المبنى ومن ثم ينهار. وإذا سلط رجل الإطفاء خرطوم المياه على عنصر إنشائي حرارته عالية جدا تعرض العنصر لتبريد فجائي، يؤدي فيما بعد إلى إضعاف مقاومة العنصر للأحمال التصميمية، وحيث أن الحريق ينتشر نتيجة ظاهرتي الإشعاع والانتقال الحراري المتولدتين عن حيز مشتعل وتقوم الغازات الساخنة برفع درجة حرارة مواد أخرى قابلة للإشتعال بدورها، كالأبواب المحترقة والنوافذ المحطمة، نتيجة لدورها في دخول الهواء للفراغ وبالتالي إنتشار الحريق واشتداده.

ورغم أن الحد من إستعمال الخشب في البناء واستبداله بالخرسانة المسلحة والأحجار الطبيعية، والقوالب الإسمنتية قد أدى إلى انخفاض عدد الحرائق بسبب مقاومة مواد البناء إلا أن التوسع في استعمال اللدائن والألياف الصناعية سريعة الإشتعال في التشطيب قد زاد من خطورة الحرائق بدرجة كبيرة، كما أن إنبعاث الدخان من اللدائن المحترقة والمواد الأخرى يزيد من خطورة الحريق، ويؤدي استعمال المواد الحديثة إلى زيادة إنتشار اللهب إلى ثلاثة أضعاف المسموح به، ومن خلال التجربة ثبت أن مادة البوليستيرين يبدأ احتراقها ببطء ثم يزداد المعدل زيادة كبيرة بعد دقيقة واحدة، بحيث يصبح معدل إنبعاث الحرارة منها ثلاثة أمثال معدل إنبعاثها من الخشب الذي له معدل إنبعاث ثابت كما في الشكل (2). كما أن إنبعاث غاز السيانوجين وغاز كلوريد الهيدروجين من احتراق بعض أنواع اللدائن، حيث أن هذه الغازات سامة تؤثر على الأفراد أو رجال الإطفاء على حد سواء، لذا فمن الضروري إتخاذ إجراءات تحد من استخدام هذه المواد واستبدالها بمواد من شأنها إعاقه الحريق[3].



الشكل (2) معدل إنبعاث الحرارة[3]

8- مقاومة الخرسانة للحريق

تأتي أهمية معرفة سلوك الخرسانة أثناء تعرضها للحريق ومدى تحملها إلى تعدد المنشآت التي تتعرض بحكم طبيعة إستخدامها ووظيفتها لدرجات حرارة عالية ولأزمنة مختلفة. وهناك أمثلة لبعض المنشآت التي تحتاج إلى مقاومة عالية للحريق مثل أساسات الأفران والمراجل والمفاعلات الذرية وقواعد إطلاق الصواريخ[4].

ويمكن القول عموماً، أن لخواص الخرسانة مقاومة جيدة للحريق، أي مقاومة لتلك الفترة التي تقع فيها تحت تأثير الحريق بحيث تسلك سلوكاً مقبولاً، مع عدم إنبعاث الأدخنة الخائفة. ويعني السلوك المقبول في هذه الحالة، القدرة على تحمل الأحمال ومقاومة تغلغل اللهب ومقاومة إنتقال الحرارة عند استخدام الخرسانة كمادة واقية للصلب. وكان ذلك أحد أسباب إنتشار إستخدامها كمادة إنشائية منذ أوائل القرن الماضي، ولكن ذلك لا يعني أنها لا تتصدع إذا تعرضت لحريق يدوم عدة ساعات. لذلك يجب دراسة تأثير درجات الحرارة المرتفعة على الخرسانة وصلب التسليح بهدف معرفة مدى التصدع وانخفاض المقاومة إذا تعرض المنشأ للحريق، وكذلك لتصميم الأعضاء الخرسانية التي تقاوم الحريق لمدة معينة ضمن حدود المواصفات[5].

عند تعرض الخرسانة لحريق تتعدى درجة حرارته 300 م° تفقد مقاومتها للضغط بسرعة، ويفقد حديد التسليح نصف مقاومته للشد عندما تصل درجة الحرارة إلى 500-600 م° ولكنه يستعيد ما عندما لا تتعدى 700 م°، أي أن الخرسانة المسلحة في حالة الحريق تضعف مقاومتها للأحمال إلى حد كبير، تصل تقريباً إلى نصف المقاومة الأصلية.

8 - 1 مميزات الخرسانة

تتميز الخرسانة كمادة بالآتي:

- * غير قابلة للإحترق ولا تنتج دخاناً.
 - * ذات موصلية منخفضة ولا تدعم إنتشار الحريق.
 - * ليست مكوناً من مكونات حمل الحريق.
 - * تحتفظ بأغلب مقاومتها أثناء الحريق وعند إضافة الألياف للخرسانة يتم منع التشطي.
 - * يمكن تصميم خلطة خرسانية لتحسين أدائها في الحريق وأن تتحمل أحمال الحريق المتطرفة.
 - * لها استعمالات واسعة والإهيار أقل ما يمكن ولا تحتاج لإضافات.
 - * الإهيار أقل ما يمكن وتحتاج الخرسانة أحياناً إلى تنظيف سطحي بسيط.
 - * الوصلات المصنوعة من الخرسانة ذات أداء جيد في الحريق.
- ولمعرفة مقاومة العنصر للحريق في المنشآت الخرسانية يجب معرفة الموقع والوظيفة ومستوى التسليح وبالطبع الحجم والشكل، وبالتالي يجب تجنب التغيرات الآتية :-
- * فقد مقاومة (العزم، القص، الضغط) في الخرسانة.
 - * فقد قوة الربط بين الخرسانة والتسليح[6، 7].
- ولأي عنصر هناك مقياسان يجب أخذهما في الإعتبار:
- 1- الحرارة في الخرسانة خلال المقطع والتي يجب ألا تصل لدرجة الحرارة الحرجة.
 - 2- متوسط الغطاء الخرساني الذي لا يسمح بوصول حرارة التسليح إلى 500 م° للقضبان العادية، أما القضبان سابقة الإجهاد فلا يجب أن تصل إلى 350 م°[8].

8 - 2 العوامل التي تتوقف عليها مقاومة الخرسانة للحريق

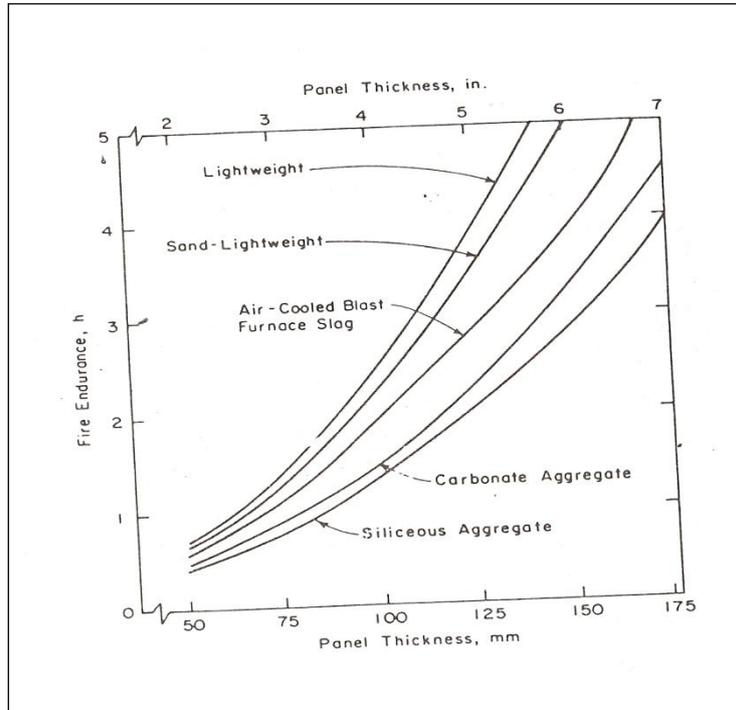
أ- نوع الركام:

هناك بعض أنواع من الركام يعطي مقاومة عالية للحريق وأهم هذه الأنواع هو الركام خفيف الوزن وينقسم إلى ثلاثة أقسام:

- ركام طبيعي مثل الدياتوميت والبوزولانا والحجر الخفاف.
- ركام متخلف من بعض الصناعات مثل كلنكر الأفران وخبث الأفران العالية المنفوش والرماد المتطاير.
- ركام صناعي مثل البرليت والفيرموكليت والليكا.

وترجع زيادة مقاومة الركام الخفيف للحريق إلى أن معامل التوصيل الحراري ومعامل التمدد الحراري أقل من الركام العادي نتيجة أنه سبق حرقه قبل ذلك لدرجات حرارة أعلى من 1100 درجة مئوية في بعض الأنواع. وقد وجد بالتجارب أنه لنفس قيمة مقاومة الحريق فإن سمك الخرسانة خفيفة الوزن (أي التي يدخل في تكوينها ركام خفيف الوزن) يقل 20% تقريبا عن الخرسانة عادية الوزن، كما في الشكل (3).

كما أنه تم عمل تجربة على عينة خرسانية عادية الوزن وخرسانة خفيفة الوزن في غرفة تم رفع درجة حرارتها إلى 650 درجة مئوية ووجد أن الخرسانة خفيفة الوزن فقدت 15% من مقاومتها، أما الخرسانة عادية الوزن فقدت من 35% إلى 75% من مقاومتها. كما وجد أن التبريد الفجائي للخرسانة خفيفة الوزن أثناء الحريق يعطي تهشما أقل من الخرسانة عادية الوزن [5، 7].



الشكل (3) تأثير سمك القطاع الخرساني ونوع الركام

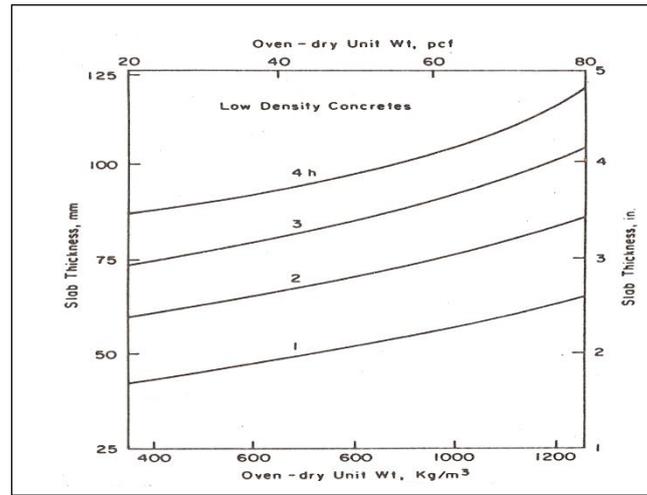
على مدى تحمل الخرسانة للحريق [7]

ب - تأثير نوع الأسمنت وكميته:

إن مقاومة الخرسانة للحريق تزداد بزيادة محتوى الإسمنت بالخرسانة، ولكن الحرارة العالية تؤثر تأثيراً سيئاً في حالة الإسمنت البورتلاندي العادي نظراً لوجود الجير الذي يتكلس ويعاود الإتحاد مع الماء مما يسبب زيادة في حجم الخرسانة وبالتالي تتولد إجهادات داخلية تعمل على تشرخ الخرسانة. لذلك فإن الإسمنت الحديدي أو الإسمنت المخلوط بالمواد البوزولانية أفضل من الإسمنت البورتلاندي العادي في مقاومته للحريق، كما يعتبر أكثر أنواع الخرسانة مقاومة للحريق تلك المصنوعة من الإسمنت الألوميني وذلك نظراً لعدم احتوائه على مادة الجير. أما إذا تعرض الإسمنت بالخرسانة المتصلة إلى درجات حرارة عالية فإنه ينكمش ثم يتمدد بعد ذلك مما يسبب تقطت الخرسانة وخاصة نتيجة لتوصيلها الرديء للحرارة والذي يؤدي إلى فرق كبير بين داخل الخرسانة وخارجها تنتج عنه إجهادات داخلية تسبب شروخاً.

ج - تأثير سمك المنشأ الخرساني:

تزداد مقاومة الخرسانة للحريق كلما زاد سمك المنشأ، لذلك يراعى في بعض المنشآت الخرسانية ذات السمك الصغير عمل غطاء مناسب فوق حديد التسليح وفوق الأسلاك المستخدمة في الخرسانة سابقة الإجهاد ويكون الغطاء بطنقة من الخرسانة. فعندما تكون سماكة العنصر الإنشائي الخرساني أقل من حد معين فمن الممكن أن تنهار الخرسانة أثناء تعرضها للحريق قبل وصول حديد التسليح لدرجة حرارته الحرجة [7]. أما الغطاء الخرساني لحديد التسليح فيتم حسابه بحيث يحمي الحديد من ارتفاع درجة حرارته لمدة معينة فوق الدرجة الحرجة لحديد التسليح، وذلك لضمان استقرار المنشأ، وعندما يزداد سمك الغطاء الخرساني عن 40 مم فيجب وضع تسليح إضافي ضمن هذا الغطاء لمنعه من التقطت (خاصة في حالة إستعمال الركام السليسي) وهي أسلاك بقطر 2 مم بتباعدات لا تتعدى 100 مم. كذلك فإن المقاومة تزداد بزيادة الوزن النوعي للخرسانة كما هو موضح في الشكل (4).



الشكل (4) تأثير الوزن النوعي وسمك القطاع على تحمل الخرسانة للحرارة [7]

9 - دراسة لبعض المعايير التصميمية لمقاومة العناصر الخرسانية للحريق

كود البناء هو مجموعة القوانين والنظم الفنية والعلمية والإدارية التي تعتمد عليها إدارة حكومية مختصة بالبناء والمبينة على الأسس العلمية والظروف الطبيعية والقواعد الهندسية وخواص المواد والمخاطر الطبيعية كالزلازل والرياح والحرائق لضمان الحد المقبول من السلامة والحماية من الحريق والأخطار الطبيعية. إن إتباع المواصفات والمعايير القياسية يؤدي إلى الإقلال من إنتشار الحرائق والتاريخ مليء باللحظات التي عدلت فيها القوانين والمعايير حيث ثم تغيير الكود والمعايير التصميمية فورا بعد الحرائق الكبيرة، ولكن بعد دفع الثمن من الأرواح والممتلكات [9].

إن كودات البناء للوقاية والحماية من الحريق وتصميم المباني أعطت صورة واضحة لتحديد ملامح الإنشاء الضرورية للحماية من الحريق لشاغلي المبنى. كما تنظم مدونات المباني على مستوى الدول والبلديات عبر البلدان مقاومة الحرائق لمختلف العناصر والهيكل الإنشائية (الأعمدة والكمرات)، والأرضيات وأنظمة السقف والحوائط الحاملة يجب أن تكون قادرة على الصمود وتحمل الإجهادات والإنفعالات المفروضة بحرائق كاملة التطور وأن تتصل أحمالها الساكنة والأحمال المتراكبة بدون حدوث إنهيار لها. إن معايير مقاومة الحرائق المطلوبة لمختلف عناصر الإنشاءات بموجب مدونات المباني هي قياس التحمل أو الكلل الذي تحتاجه للمحافظة على الإستقرار الإنشائي لمبنى ما أثناء حدوث حريق ومنع إنتشار الحريق للأجزاء الأخرى من المبنى.

وفي بعض الأحيان، قد تشير المتطلبات المتعلقة بمقاومة الحرائق إلى نظام آخر للإنشاء ليكون أكثر مناسبة وشمولية، وأن العناصر الإنشائية التي لها مقاومة حرائق حسبها هو مبين في مدونات المباني قد تختلف بشكل كبير في متطلباتها من حيث الأبعاد عن تلك التي يتم التنبؤ بها فقط اعتمادا على معايير المقاومة وفقا للمواصفات. إن المسؤولين عن المباني المطلوب منهم العمل على تنفيذ الإشتراطات الأكثر صرامة ودقة [10].

9-1 مجال المواصفات القياسية (الكودات) وتطبيقها

تحدد المواصفات القياسية (الكود) الأحكام والتوصيات الدنيا التي يجب إتباعها في حساب المنشآت الخرسانية المسلحة وتصميمها وتنفيذها. وهي تشمل القواعد التطبيقية لاستعمال مواد الخرسانة المسلحة ومواصفاتها وتشغيلها، وتتضمن طرق الإختبار والتفتيش بشرط ألا تكون المنشآت معرضة تعرضا مستمرا لحرارة تزيد عن 50 م، أو تعرضا متقطعا لأوقات تزيد عن الربع ساعة لحرارة درجتها 70 م. كما أن المواصفات تعد جزءا من أنظمة البناء وقوانينه في معظم الدول العربية بالإضافة للمواصفات القياسية (الكودات) البريطانية والأمريكية، وتطبق هذه المواصفات على المنشآت ذات الطابع الخاص، كالعقود وجسور المواصلات والخزانات والمداخن والصوامع والوحدات الخرسانية سابقة الصنع والقشريات، عندما لا تتعارض بنوده مع المميزات الخاصة لهذه المنشآت.

كذلك فإن المواصفات تحدد المؤثرات والقوى الخارجية من أحمال وتحميلات وتشكيلات مفروضة، التي تؤثر على المنشآت الخرسانية، وتؤخذ أساسا للتصميم من أنظمة وقوانين البناء واشتراطات التصميم المعترف بها قانونا، في حال وجودها، كما تؤخذ خواص المواد ومقاومتها وطرق إختبارها من المواصفات القياسية والإشتراطات المعترف بها.

9-2 أغراض المواصفات القياسية

الغرض الرئيسي من هذه المواصفات القياسية هو أن يحقق المنشأ في أجزائه المختلفة وفي مجموعها بصفاتها وحدة متكاملة في البناء، متطلبات الإستثمار والتشغيل التي أنشئ من أجلها، طوال الفترة المفروضة لبقائه صالحا

للإستثمار مع توفير معامل أمان كاف ضد الإنهيار وعدم الإلتزان والتشكل (التشوه) أو التشقق المعيب. كما أن الغرض من دراسة المواصفات والإعتبارات التصميمية هو أن يدرك المصمم أهمية تحديد متطلبات مقاومة الحرائق، لأنه متشابك جدا ومعقد ولا تتجه النية هنا إلى التعامل مع الخصائص الفيزيائية (الطبيعية) أو الكيمياءية للنيران ولا بسلوك الإنشاءات في الأوضاع الحقيقية عند إندلاع الحرائق؛ بدلا من ذلك فإن المستهدف هو تقديم معلومات أساسية كمساعدة للمصممين لوضع تلك الملامح المميزة لغرض الحماية من النيران للإنشاءات والتي قد تؤثر على عملهم أثناء التصميم الإنشائي[10].

9 - 3 ضعف الكودات

إن الكود العربي هو محاولة جديدة لاستعراض خبرة دول تحاول وضع مواصفات وأسس مقاومة الحريق منذ تسعين عاما مما يساعد في الوصول إلى كود عربي موحد يتلافى عيوب الكودات الأجنبية ويستفيد من أخطاء الآخرين. ومن أحد عيوب الكودات الحالية أنها لا تولي الإهتمام لمحتويات المنشأ من حيث مواد تغطية الحوائط والأثاث كما تركز على المنشأ نفسه وبذلك تصبح المحتويات هي نقطة الضعف في سلسلة إجراءات الوقاية من الحريق، وهذه مشكلة صعبة لأن المحتويات وخاصة الأثاث يتغير حسب رغبة الساكن وحسب نوع خدمة المبنى حيث أنه لا يوجد كود في العالم لمقاومة الحريق يحدد الأثاث والموجودات والتي هي أكبر مساهم لسرعة وانتشار الحريق، ويصعب على الإدارات الخاصة بالوقاية من الحريق متابعتها. فالكود نفسه لا يجد من يتابع تطبيقه بدقة وهذا هو أحد العيوب الأخرى، فالإدارات الحكومية المسؤولة عن تطبيق الكود غالبا ما تكون تقفقر للعدد المطلوب من الموظفين، إضافة إلى كونهم ليسو ذوي خبرة ويمكن التأثير عليهم ليتغاضوا عن الكثير من الإحتياطات المكلفة، ولكن لا شك أن إنخفاض نسبة الحرائق في المنازل في بلدان كثيرة التي وضعت كود الحريق موضع التنفيذ يدل على أهمية وجود مثل هذا الكود. وبناء عليه يتطلب الأمر توحيد الجهود باعتماد الكودات والمواصفات الفنية العامة لتنفيذ المباني والإنشاءات والحد من إستمرار الخطر والوقاية من الحرائق التي تهدد أمن الأرواح والممتلكات.

10 - النتائج

من خلال الدراسات والأبحاث السابقة تم التوصل إلى عدة نتائج منها:

10 - 1 مقاومة الخرسانة للحريق

إن للخرسانة قدرة عالية على مقاومة الحريق مع عدم إنبعاث الأدخنة الخائفة، وتعتبر الخرسانة خفيفة الوزن أفضل أنواع الخرسانة مقاومة للحريق، كما أن معدل زيادة الحرارة خلال مقطع الخرسانة بطيء نسبيا فالمناطق الداخلية لا تصل إلى حرارة الطبقة الخارجية المعرضة للهب مباشرة، وبعد وقت طويل تبقى درجة حرارة الخرسانة الداخلية منخفضة نسبيا وبالتالي فإن الخرسانة تعتبر من عناصر الفصل للحرائق. أما عند درجات الحرارة العالية جدا فلها تأثير كبير ويعتمد ذلك على درجة الحرارة القصوى، ومعدل ارتفاع درجة الحرارة ومدة تعرض الخرسانة للحريق ونوعية الركام، وهل الخرسانة المعرضة للحريق تحت تأثير أحمال أم لا؟

وبصورة عامة يمكن القول بأن الخرسانة المعرضة للحريق تفقد جزءا من مقاومتها عندما تتعدى درجة الحرارة 250 م، والتصدع يبدأ من درجة حرارة 300 م عندما يبلغ الفاقد في المقاومة حوالي 30%، وعندما ترتفع أكثر وفي حالة وصولها إلى 700 م يحدث الترخيم الكبير الذي يشاهد في الأعضاء الخرسانية بعد الحريق، والتي ربما يوصل العنصر الخرساني إلى حالة الإنهيار وفقدان المقاومة للأحمال المسلطة عليه.

10- 2 المواصفات والمعايير القياسية (الكودات)

كل الكودات التي تم التعرض إليها بشكل مختصر (الكود العربي السوري والكود البريطاني (BS)، والكود الأمريكي (ASTM E119)) تدرس عناصر الإنشاء كل من (الكمرات، الأعمدة، الجدران، وبلاطات الأسقف والأرضيات) المقاومة للحريق لفترات متشابهة من (0.5 إلى 4) ساعة. وهناك عامل آخر يجب أخذه في الإعتبار وهو أن الغطاء الخرساني لكافة العناصر الإنشائية وكيفية حسابه بالطرق المعروفة منها (ACI 318) والطرق التقريبية يجب أن تتساوى أو تتجاوز متطلبات الحد الأدنى للغطاء الخرساني في كافة المواصفات لكافة الكودات. كما يجب دمج كافة الحالات للدراسات السابقة مع عدم الإهمال لأي حالة، بل تكون الكودات السابقة مكملة لبعضها البعض لأنها تبين حالات مختلفة من حيث نوع الخرسانة ونوع التعرض للحريق ونسبة الركام في الخرسانة، وكذلك بالنسبة للكمرات والبلاطات من حيث نوع المسند (بسيط أم مستمر)، وكذلك بالنسبة للأبعاد فهي تدرس العناصر الإنشائية مختلفة الأبعاد في كل حالة مما يشجع المصمم على تقييم البدائل.

11- التوصيات

- 1- يجب أن تجهز كافة المباني وخاصة العامة منها بوسائل الوقاية من الحريق وأنظمة المكافحة سواء التقليدية أو الحديثة.
- 2- تحدد إرتفاعات المباني بحيث تتناسب مع فرق الإطفاء في حالة حدوث حريق، وفي حالة المباني المرتفعة يجب أخذ الإحتياجات اللازمة.
- 3- العلامات الإرشادية لا بد من أن تكون واضحة في كافة الأماكن العامة مثل مسالك الهروب والمخارج، وطرق فتح الأبواب وكيفية إستعمال أجهزة الإنذار.
- 4- تحديد نظام الإنذار الذي يتناسب مع طبيعة المبنى، وطريقة توزيع أجهزة الإنذار داخله، مع أخذ الترتيبات اللازمة لصيانة الأجهزة وقت اللزوم وتحديد عبواتها ووجود كميات من العبوات بصفة إحتياطية.
- 5- المتابعة المستمرة لكافة المباني والتأكد من أنها تتفق وفق الإشتراطات الوقائية اللازمة من الحريق، وكذلك في مرحلة التشغيل للتأكد من إستمرار التشغيل حسب الإشتراطات الأساسية وعدم إحداث أي تغييرات أو إضافات تتسبب.
- 6- نشر الوعي الوقائي ومبادئ السلامة بين الأفراد، وعمل لوحات إرشادية، ونشرات وقائية مبسطة، وعقد ندوات توعية في كل من الإذاعتين المرئية والمسموعة، وخاصة لرجال الإطفاء ورجال الدفاع المدني والمختصين بالسلامة، وكذلك لرجال الشرطة.
- 7- تصميم الهيكل الإنشائي للمبنى والحوائط الخارجية من مواد غير قابلة للإشتعال ومقاومة للحريق، وتحديد نوع مواد البناء المستخدمة في إنهاء الحوائط والأسقف والأرضيات طبقاً للمواصفات والمعايير المحددة، وكذلك تحديد نوع وطبيعة المواد التي يحتويها كل مبنى أثناء التجهيز، مع عدم إهمال نوع الخرسانة وتأثير كل نوع منها بالحريق.
- 8- الإهتمام بكافة المواصفات والمعايير وسن قوانين تلزم شركات البناء بالتقيد بتلك المواصفات القياسية أثناء التصميم والتنفيذ حفاظاً على سلامة الأرواح والممتلكات.
- 9- توجيه شركات البناء أثناء التصميم والتنفيذ لضرورة التوفيق بين شروط مواصفات المبنى من حيث ألواح التحكم وأجهزة الإنذار وأجهزة ومعدات ومكافحة الحريق ومتطلبات مقاومة عناصر إنشاء المباني للحريق من

- حيث فواصل الحريق وحوائط الحريق وحواجز الدخان وأعمال نهو الأسطح وغيرها الكثير، مع المواصفات والمعايير التصميمية لمقاومة العناصر الخرسانية من الناحية الإنشائية للحريق.
- 10- الحاجة إلى عمل دراسات مستقبلية لدراسة تأثير الحريق على المنشأ بأكمله وتأثير الحريق على كل عنصر في المنشأ وتأثيره على بقية المنشأ بالكامل.
- 11- إستحداث مكتبة إلكترونية علمية خاصة بدراسة تطور الحرائق في أنواع مختلفة من المباني والإطلاع على الكودات الأجنبية ذات الخبرة العالمية.
- 12- إستحداث برامج جديدة على مستوى التعليم الجامعي والأكاديمي كمواد أو تخصص في هندسة الحرائق.
- 13- عمل كود وطني مع الإستفادة من الكودات الأجنبية لأنها ذات خبرة كبيرة.

12- المراجع

- 1- د. فاروق عباس حيدر - الموسوعة الحديثة في تكنولوجيا " تشييد المباني"، الهندسة الصحية والتركيبات الصحية، توزيع منشأة المعارف- الإسكندرية -، الطبعة الثالثة، 1989.
- 2- مجلس وزراء الإسكان والتعمير العرب، جامعة الدول العربية - الكودات العربية الموحدة لتصميم وتنفيذ المباني "كود السلامة العامة في تنفيذ المشاريع الإنشائية"، مطابع جامعة الدول العربية، 2000.
- 3- مجلس وزراء الإسكان والتعمير العرب، جامعة الدول العربية - الكودات العربية الموحدة لتصميم وتنفيذ المباني "الكود العربي الوقاية والإنذار من الحريق"، الجزء الأول متطلبات المبنى للوقاية من أخطار الحريق، مطابع جامعة الدول العربية، أبريل 2001.
- 4- د. شريف أبو المجد، د. حسن حسني، " حرائق المنشآت الخرسانية الحكم عليها وإصلاحها- تصميم المنشآت الآمنة من الحريق"، دار النشر للجامعات المصرية، مكتبة الوفاء، الطبعة الأولى، 1994.
- 5- م . سيد الشريف، بالتعاون والتنسيق مع جمعية المقاولين، الإمارات العربية المتحدة، "الأمان والإقتصاد في الخرسانة المسلحة"، 1988.
- 6-A.M .Neville and J.J.Brooks, "Concrete Technology", Longman Group, 22 UK Limited- 1993
- 7- م . سعيد علي خطاب، "عزل وحماية المنشآت الخرسانية، طبقاً لأحدث المواصفات العالمية"، جهاز إدارة المدن التاريخية، الطبعة الثانية، 1998.
- 8- م. عباس بن رضي الشماسي، م. صالح بن محمد اليامي، الهيئة الملكية للجبيل وينبع الإدارة العامة بالجبيل، الإدارة الهندسية، "إعتبرات السلامة في تصميم المباني لتقادي الحريق"، المملكة العربية السعودية، 22 شوال 1424هـ.

التركيب الحبيبي للتربة الرملية بمناطق جنوب ليبيا

د. مسعود فرج أبوكليش
أستاذ مساعد في الهندسة المدنية
كلية الهندسة والعلوم التقنية - جامعة سبها

ملخص

في ليبيا تنتشر أنواع مختلفة من التربة وفي العديد من المناطق وهذه الأنواع من التربة تنقسم إلى التربة الرملية، التربة الطمية والتربة الطينية. والتربة الرملية في ليبيا تتواجد بكثرة على السطح أو في الأعماق، ونظرا للإستخدامات المتعددة لهذه الأنواع من التربة في أعمال البناء والإنشاء فإنه من الأهمية معرفة تركيبها الحبيبي وخصائصها الهندسية، وحيث أن سلوك وخصائص التربة غير المتماسكة له علاقة كبيرة بحجم الحبيبات وبنسب أحجام الحبيبات الداخلة في تركيب التربة وبشكل الحبيبات؛ عليه فإن هذه الورقة البحثية تتطرق إلى دراسة التركيب الحبيبي لعينات من التربة الرملية (40 عينة) من مناطق مختلفة بجنوب ليبيا (براك، الجفرة، سبها، الزلاف، غات، تهالة، تكريبة، الأبيض، مرزق) أخذت من أعماق تتراوح بين (0.00 و 3 أمتار) وأجريت لها إختبارات التحليل المنخلي، وتم تحديد نسب مكوناتها (%الحصى، %الرمل الخشن ومتوسط الخشونة، %الرمل الناعم، %الطمي، %الطين) وحساب معاملات التدرج والإنتظام (Cc, Cu) وإجراء تصنيف هندسي لهذه العينات من التربة. وتتضمن هذه الورقة تحليلاً لنتائج الإختبارات مع الإستنتاجات والتوصيات المستخلصة من الدراسة.

الكلمات الدالة: التربة الرملية، التركيب الحبيبي للتربة، التحليل المنخلي للتربة، التصنيف الهندسي للتربة.

المقدمة

بشكل عام تقسم التربة إلى تربة خشنة الحبيبات غير متماسكة وتربة ناعمة الحبيبات متماسكة، وتربة عضوية. وبناء على أحجام الحبيبات ووفقاً للتصنيفات الهندسية المختلفة (USCS, AASHTO, ASTM,...) فإن التربة تنقسم إلى تربة طينية (clay)، طمية (silt)، رملية (sand)، حصى (gravel) وأحجام أكبر (cobble & boulders). دراسة التركيب الحبيبي للتربة له أهمية في معرفة السلوك والخصائص وقد تناول العديد من الباحثين [1]، [2]، [3]، [5]، [8] وآخرون هذا الموضوع. ويعتمد التركيب الحبيبي للتربة على نوع التربة ومنشأ التربة وبواسطة اختبار التحليل المنخلي للتربة غير المتماسكة يمكن معرفة أحجام وأقطار الحبيبات الداخلة في تركيب التربة ونسب مكونات التربة من حصى، رمل، طمي وطين، فمنحنيات التدرج الحبيبي للتربة تعطي بيانا واضحا لمختلف أحجام الحبيبات داخل التربة، وأشكال منحنيات التدرج الحبيبي للتربة يمكن وصفها والتعبير عنها بمعامل التدرج (Cc) ومعامل الإنتظام (Cu) ومعرفة أنواع تدرجات التربة (Well graded, Gap graded, Poorly graded soil) وبناء على نتائج إختبارات التركيب الحبيبي للتربة يمكن تصنيف التربة والتعرف عليها. بالنسبة لدولة ليبيا ونظرا لانتشار أنواع مختلفة من التربة وخاصة التربة الرملية فإنه من الأهمية عمل إختبارات و دراسات على التربة وفي مختلف مناطق ليبيا لمعرفة تركيبها الحبيبي وخصائصها الهندسية.

العينات واختباراتها

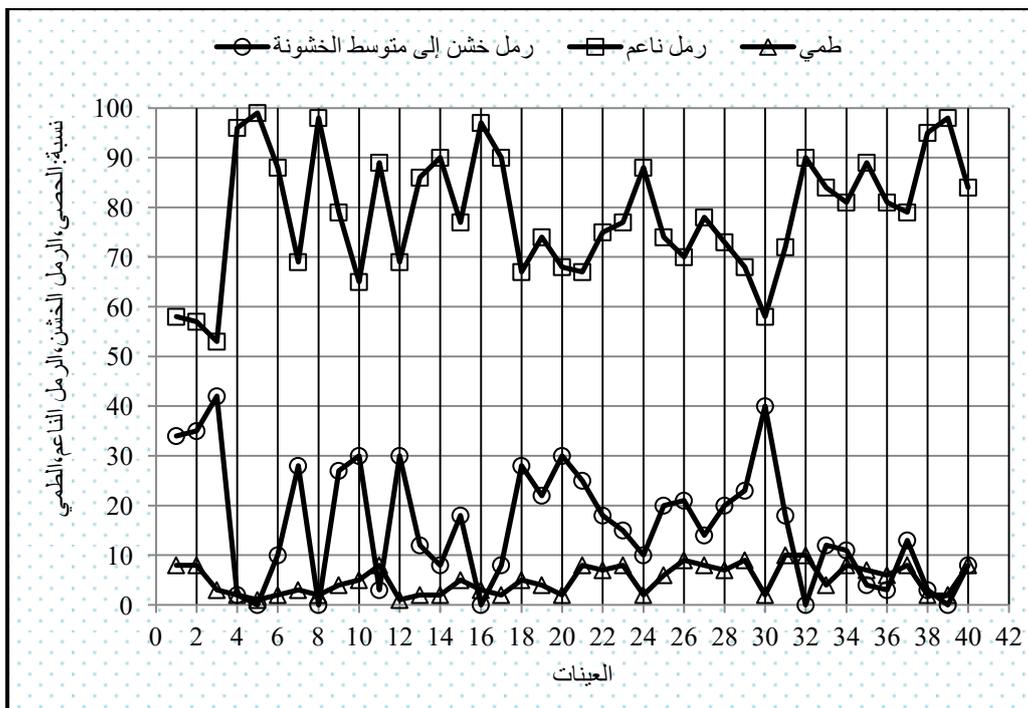
تم أخذ عدد (40 عينة) من التربة الرملية من مناطق مختلفة من جنوب ليبيا شملت (براك، الجفرة، سبها، الزلاف، غات، تهالة، تركزية، الأبيض، مرزق) ومن أعماق تراوحت بين (0.00 و 3 أمتار) وكما هو مبين بالجدول (1). وجميع العينات أجري لها اختبار التحليل المنخلي طبقا لطريقة (ASTM) وباستخدام مناخل قياسية تراوحت أقطارها ما بين (4.75mm) و (0.075mm) لتحديد أحجام و أقطار حبيباتها (D10, D30, D60 & D50) ونسب مكوناتها من (الحصى، الرمل، الطمي، و الطين) ومعرفة نوع تدرجها وتصنيفها بواسطة نظام (USCS).

جدول (1) مناطق أخذ العينات وعدد العينات وأعماقها

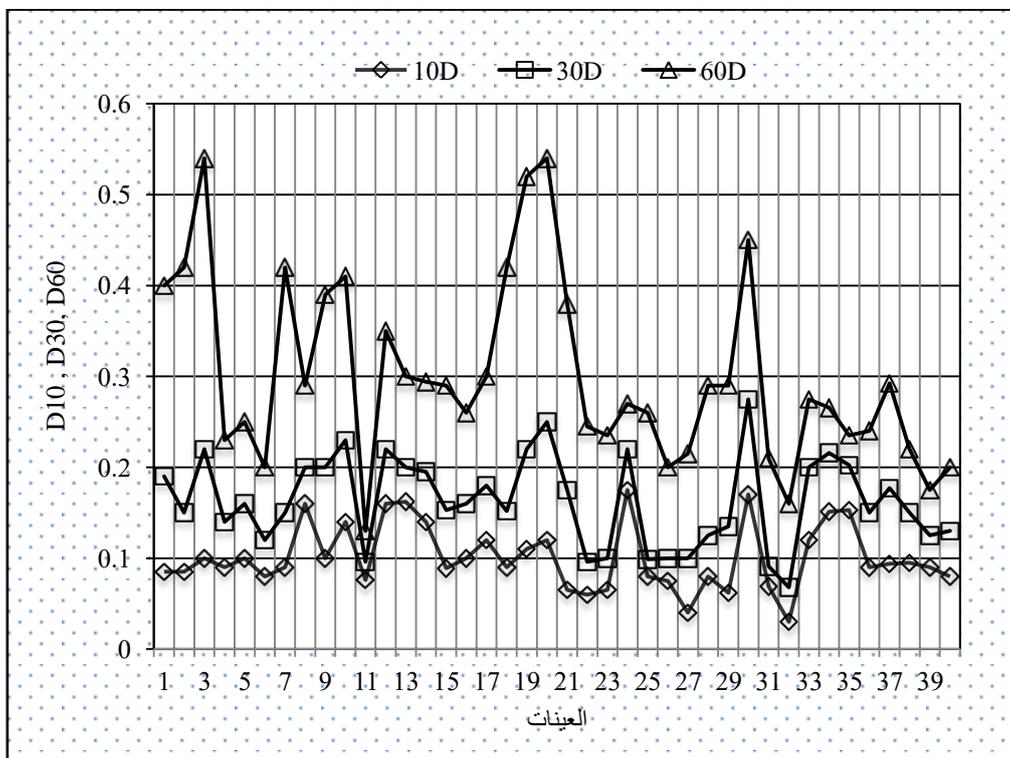
عدد العينات	العمق (cm)	المناطق
5	(50-200)	براك
3	(50-150)	الجفرة
5	(100-300)	سبها
5	(0.00)	الزلاف
2	(200-250)	غات
6	(100-200)	تهالة
3	(0.00-50)	تركزية
5	(100-150)	الأبيض
6	(100-200)	مرزق

نتائج الإختبارات وتحليلها

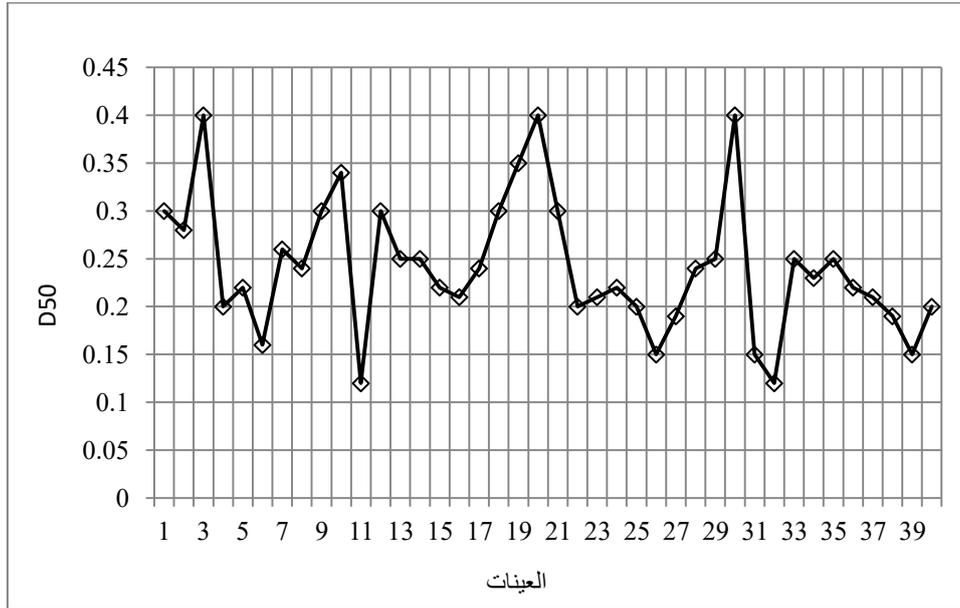
الأشكال من شكل (1) إلى شكل (5) تبين منحنيات التركيب الحبيبي لبعض العينات من مناطق (براك، الجفرة، الأبيض، تركزية، غات، سبها)؛ ولجميع العينات التي أختبرت فإنه من خلال منحنيات التركيب الحبيبي فإن عينات التربة هي عبارة عن تربة رملية ناعمة الحبيبات إلى متوسطة الخشونة وبها قليل من الطمي وتكاد تكون خالية من الحصى وخالية من الطين، وكما هو مبين بالشكل (6)، حيث أن نسبة الرمل الناعم تراوحت بين (53% إلى 99%) ونسبة الرمل الخشن إلى متوسط الخشونة بين (0.00 إلى 40%) ونسبة الطمي تراوحت بين (1% إلى 10% كحد أقصى) ونسبة الحصى بين (0.00 إلى 2% كحد أقصى). وبالنظر إلى أقطار الحبيبات (D10, D30, D60, D50) وكالمبين بالشكل (7) والشكل (8) فإن (D10) تراوحت بين (0.03mm) إلى (0.18mm)، (D30) تراوحت بين (0.07mm) إلى (0.28mm)، (D60) تراوحت بين (0.13mm) إلى (0.54mm)، (D50) تراوحت بين (0.12mm) و (0.40mm). و يبين الشكل (9) قيم معامل التدرج (Cc) ومعامل الإنتظام (Cu) حيث تراوحت قيم معامل التدرج بين (0.10) و (1.24) وقيم معامل الإنتظام تراوحت بين (1.53) و (5.40) فجميع العينات المختبرة لها تدرج رديء (Poorly graded). وباستخدام نظام التصنيف الموحد (USCS) فإن عينات التربة هي عبارة عن (SP) وقليل منها تصنيفها (SP-SM).



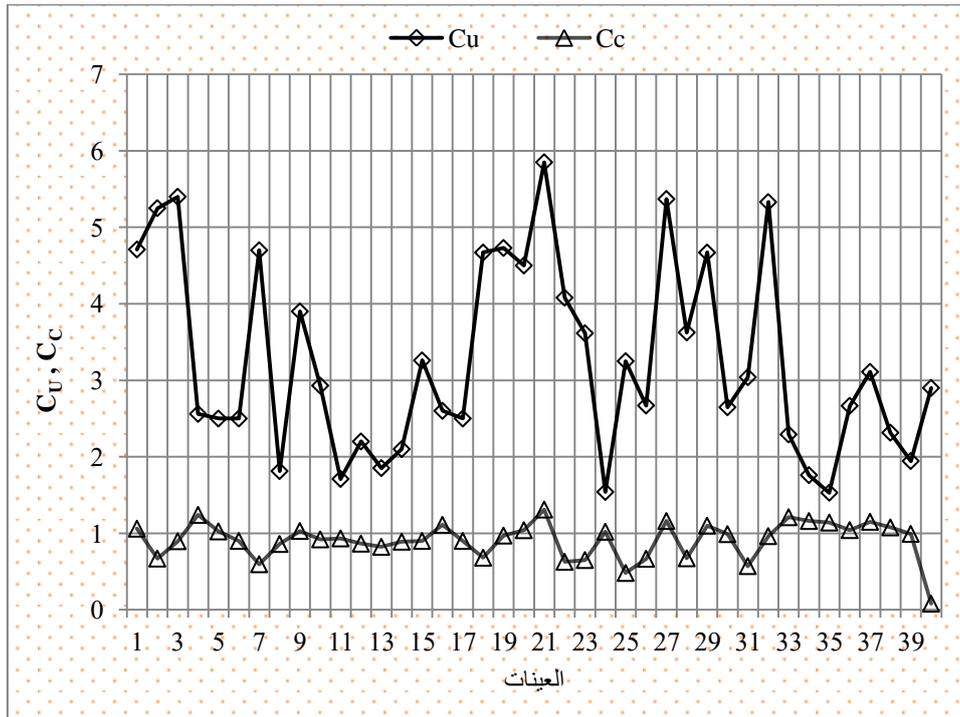
شكل (6) نسب وحدود مكونات العينات من الطمي، الرمل الناعم والرمل الخشن ومتوسط الخشونة



شكل (7) قيم وحدود (D10, D30, D60) لعينات التربة



شكل (8) قيم وحدود (D50) لعينات التربة



شكل (9) قيم وحدود معامل التدرج (Cc) ومعامل الانتظام (Cu) لعينات التربة

الإستنتاجات والتوصيات

1. من خلال نتائج هذه الدراسة يتضح أن التركيب الحبيبي لعينات التربة الرملية ومن المناطق المختلفة بجنوب ليبيا متشابه، فهي عينات تربة رملية ناعمة الحبيبات إلى قليلة ومتوسطة الخشونة وبها قليل من

1. الطمي وخالية من الطين ومعظمها لا يحتوي على حصى، وتتشابه في تصنيفها ولجميع العينات كانت نسبة الرمل الناعم بين 60% إلى أكثر من 90%، و نسبة الرمل الخشن إلى متوسط الخشونة معظمها بين 10% إلى 30%، أما نسبة الطمي فلا تتعدى 10%.
2. معظم عينات التربة الرملية التي تمت دراستها بمناطق الجنوب لها تدرج رديء (Poorly graded)، فمعامل الإنتظام لجميع العينات كان بين $(1 < C_u < 6)$ ، ومعامل التدرج بين $(0.48 < C_c < 1.3)$ ومعظم العينات تصنيفها (SP) وقليل منها تصنيفها (SP—SM).
3. تم تحديد قيم وحدود أقطار الحبيبات (D10, D30, D60, D50) لجميع العينات حيث كانت كالتالي:
 $(0.03 \leq D_{10} \leq 0.175)$ ، $(0.068 \leq D_{30} \leq 0.275)$ ، $(0.13 \leq D_{60} \leq 0.54)$ ، $(0.10 \leq D_{50} \leq 0.40)$.
4. عينات التربة الرملية التي تمت دراستها من السطح أو من الأعماق تتشابه في تركيبها الحبيبي وفي تصنيفها.
5. يوصى بالإهتمام بإنشاء مراكز للبحث للدراسات الجيوتقنية بليبيا وتقديم الدعم للباحثين المتخصصين.
6. يوصى بتكثيف الدراسة والبحث من أجل الوصول إلى إيجاد دليل إسترشادي يبين التركيب الحبيبي وبعض الخصائص الهندسية للتربة الرملية ولأنواع الأخرى من التربة بليبيا.

المراجع

1. مسعود أبوكليش وشادي خليل، "تربة الكثبان الرملية بمناطق جنوب ليبيا وأهم خصائصها الهندسية"، مجلد الأبحاث العلمية، المؤتمر الوطني الثاني لمواد البناء و الهندسة الإنشائية، جامعة المرقب، 2004.
2. الهادي عمران التومي، بشير محمد الصلاي وصلاح محمد دخيل، "التباين في بعض الخواص الهندسية للتربة (A3)"، مجلد الأبحاث العلمية، المؤتمر الوطني الثاني لمواد البناء و الهندسة الإنشائية، جامعة المرقب، 2004.
3. M.S. Nouaouria, A. Rouiguia and I. Jefferson, "Engineering Properties of Loess in Algeria", 1st International Conference of Civil Engineering Science, ICCES1, vol.1. , 2003.
4. Bell, F.G, "Engineering Properties of Soils and Rocks", 3rd Ed, Oxford, U.K; Butterworth-Heinemann, 345pp, 1992.
5. K. R .Ben Mahmoud and G.M. Abdulgaud, "Nature and Properties of Selected Desert soils of the Fezzan area of Libya", Journal of Basic and Applied Science, National Academy of Scientific Research, Issue No.1-3rd, Tripoli,1995.
6. American Society for Testing and Materials, (ASTM).
7. Das, B.M., "Principles of Geotechnical Engineering", 3rd Edition, PWS Kent Publishers, 1994.
8. Holtz, Robert D, "An Introduction to Geotechnical Engineering", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J.07632, 1981.

إمكانية استخدام تقنية الطوب الإسمنتي المسلح للحوائط الحاملة في ليبيا

د/ صالح يحيى الباروني / م/ أبو القاسم يحيى أبوصبيح
sybarony@yahoo.com abulgasemyaha@yahoo.com

ملخص

البناء بطريقة الحوائط الحاملة أسلوب قديم بل هو أول طريقة بناء ما زالت تستخدم حتى يومنا هذا وتعمل بكل كفاءة ومثانة دون أي مشاكل، ونظراً لظهور المباني العالية فقد ظهرت الحاجة للهيكل الخرساني بدلاً من الحوائط الحاملة بسبب عدم مواكبة تقنيات البناء التقليدية بالحوائط الحاملة لمتطلبات التصميم وبالذات في المناطق المعرضة لظروف طبيعية كالزلازل؛ ومع ظهور هذه المباني العالية ظهرت مشاكل إرتفاع الأسعار للهيكل الخرساني المسلح مما جعل الباحثين يفكرون في إعادة النظر في إمكانية دراسة تطور استخدام الطوب مع استخدام حديد التسليح للوصول إلى تكاليف اقتصادية في أعمال تنفيذ المباني بأقل التكاليف وخصوصاً في المباني ذات الدور والدورين.

نتيجة للطلب المتزايد على البناء في ليبيا خلال السنين الأخيرة على المباني ذات الدور والدورين ومالها من الناحية الاقتصادية من مردود لتوفير الخرسانة والتخلص من المشاكل المصاحبة مثل تآكل حديد التسليح وظهور مشكلة التشققات الخرسانية ونقص العمر الافتراضي لعدد من هذه المباني، برزت فكرة استخدام الطوب المسلح في البناء والهدف الأساسي منه هو خلق بناء قادر على مقاومة التعرض الإضافي إلى القوى وتحويل الحوائط الفاصلة في مباني الخرسانة الهيكلية إلى حوائط حاملة وإلغاء الهيكل الخرساني للمبنى المتمثل في الأعمدة والكمرات. يقدم البحث دراسة معملية لإمكانية تحسين مقاومة الطوب لغرض زيادة قوة تدعيم الحوائط الحاملة. لهذا الغرض تم إضافة أسياخ تسليح حديد، ولأول مرة يتم التفكير في استبدال قضبان التسليح بمواسير بلاستيكية لتخفيض تكلفه والمحافظة على الديمومة وإمكانية استخدام هذا النوع من البناء في ليبيا، حيث أظهرت النتائج المعملية بوادر إيجابية يمكن الإعتماد عليها من جهة واستمرار البحث في هذا الجانب من جهة أخرى.

الكلمات الدالة: الطوب الإسمنتي، مقاومة الضغط للمنشور، حوائط الطوب الإسمنتي المسلح، كمرات الطوب الإسمنتي المسلحة.

1- المقدمة

لا شك أن الأسلوب التقليدي في البناء المعتمد أساساً على الخرسانة وفولاذ التسليح أثبت من السابق أنه أسلوب بناء مكلف ويستغرق وقتاً طويلاً في الإنجاز والتنفيذ، وظهرت مؤخرًا الزيادة في التكلفة جلية وواضحة بعد ارتفاع أسعار حديد التسليح في ليبيا إلى أكثر من الضعف مع ارتفاع أسعار الإسمنت والخرسانة الأمر الذي يتحتم استعمال نظام الحوائط الحاملة بعد أن اندثر، حيث تم تطوير هذا الأسلوب وتحديثه ليتوافق مع أساليب البناء الحديثة والمتطورة خاصة وأن البناء في ليبيا في الغالب من دور ودورين.

إن استخدام الأعمدة والكمرات لحمل الأسقف، وهو الأسلوب الشائع في البناء، يتطلب تنفيذ أحزمة ربط أرضية لحماية المبنى من الهبوط الجزئي وأساسات منفصلة من الخرسانة المسلحة مما يزيد من الجهد المبذول في التنفيذ ويرفع التكلفة الإجمالية للمباني محدودة الإرتفاع.

والحوائط الحاملة هي كل ما يبني من الطوب الذي يتم تصنيعه من الطوب الإسمنتي أو الطوب الترابي المضغوط أو أي نوع آخر من الطوب لتشكيل حائط يكون حاملاً للمبنى؛ والطوب من مواد البناء المُصنعة المهمة في البناء ولها مواصفات خاصة للحوائط الحاملة، حيث يهدف هذا النوع من البناء إلى تقديم السكن الإقتصادي مع تحقق القدر الممكن من المرونة والمتانة والقوة. في هذه الدراسة سيتم التطرق إلى إمكانية إستعمال نظام الحوائط الحاملة المسلحة في الطوب الإسمنتي في إنشاء المباني في ليبيا من دور أو دورين نظراً للزيادة العمرانية في المساكن، الأمر الذي يحتم ضرورة إستعمال هذا النظام في البناء حيث أن تكاليف هذا البناء إقتصادي، وإمكانية تطويره لغرض استعماله في المباني السكنية قليلة الأدوار والتي لها أسقف قصيرة البحور.

1-1 الحوائط الحاملة المسلحة

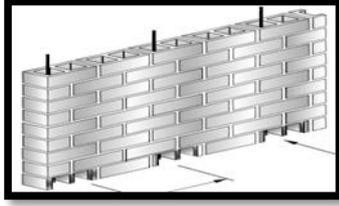
الحوائط الحاملة المسلحة هي مبان من الطوب المفرغ يتم وضع أسياخ من الفولاذ في فراغ الطوب ثم يملأ بمونة الحقن على مسافات معينة وفق المواصفة وهي الحوائط الداخلية والخارجية والتي يتركز عليها المبنى، وتقوم بنقل جميع الأحمال الميتة (أرضيات، أسقف) والأحمال الحية (الأشخاص، الأثاث) إلى التربة التي تقع تحت هذه الحوائط مباشرة، وارتفاع المباني ذات الحوائط الحاملة يكون دائماً محدوداً بالإعتماد على الأحمال الميتة والحية وكذلك قوة تحمل التربة الواقعة تحتها؛ ولربط أجزاء المبنى بعضها مع بعض فإن الأحزمة الأرضية "الميدات" الخرسانية يمكن عملها تحت هذه الحوائط [2,1]. ويتلخص الهدف من التصميم الإنشائي للحائط الحامل تحديد السمك اللازم لمقاومة الأحمال الراسية والأفقية التي يتعرض لها المبنى وبالتالي الحائط بما يوفي بالمواصفات القياسية. كما تعتمد خطوات التصميم على ما يلي:

- 1- خواص المواد الداخلة في تركيب مونة البناء ومونة الحقن ووحدات البناء وتحديد العوامل التي تؤثر عليها وبالتالي تحديد خواص المواد ومقاومتها للضغط.
- 2- القوى الخارجية والأحمال الثابتة والمتحركة التي تؤثر على المنشأ أثناء تشييده وتشغيله وتحديد قيمها في ظروف التشغيل طبقاً للكود المتبع لحساب الأحمال والقوى في الأعمال الإنشائية وأعمال المباني.
- 3- القوى الداخلية في عناصر المنشأ المختلفة (عزوم الإنحناء - قوى القص وعزوم اللي - القوى المحورية) الناجمة عن القوى والأحمال.

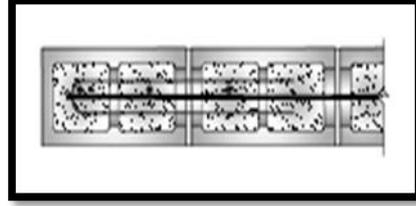
1-2 تسليح الطوب الإسمنتي المفرغ بالفولاذ ومواسير البلاستيك

التسليح معناه الإنشائي زيادة عزم المقاومة في القطاعات في حالي الشد والضغط وربط وحدات المادة ببعضها بحيث يمكنها أن تعمل متضامنة على مقابلة القوى المنقولة إليها [3]، ويدفن فولاذ التسليح في طبقات المونة أو مادة الحقن أفقياً في الحائط كما بالشكل رقم (1-1) ورأسياً كما بالشكل رقم (2-1) فيما يجعل الحائط يعمل كوحدة واحدة، وقطر أسياخ الفولاذ الذي يتم استعماله لا يقل عن 10 مم ولا يزيد عن 16 مم، ونظراً لظهور المواد المستخدمة في تدعيم الحوائط من الطوب فقد تم في هذا البحث أخذ فكرة وضع مواسير البلاستيك في الإتجاه العمودي في وسط الطوبة مع تعبئة المواسير بمونة الحقن وفارغة على مسافات محددة، وشكل المواسير المستخدمة والشريط البلاستيكي كما في الشكلين رقم (3-1) و(4-1) ووضع شريط بلاستيك في الإتجاه الأفقي، وذلك لمعرفة مقاومة الضغط للطوب عند تدعيم الطوب بالشريط البلاستيكي في الوضع الأفقي ومواسير البلاستيك في الوضع

الرأسي لمعرفة مدى قيمة القوة المكتسبة للطوب ومقارنتها مع الطوب المسلح بأسياخ المعدن وغير المسلح وذلك بهدف التقليل من التكاليف لتنفيذ مثل هذا النوع من البناء ومعرفة مدى كفاءتها وإمكانية استخدامها .



شكل (2-1) دفن فولاذ التسليح رأسياً



شكل (1-1) الفولاذ أفقياً



شكل (4-1) شريط البلاستيك



شكل (3-1) المواشير البلاستيك المستخدم

ولوضع الفولاذ ومواشير البلاستيك داخل الطوب الإسمنتي في الحوائط الحاملة المسلحة يتم استعمال نوعين من مونة الحقن وتعبئة الطوب عند وضع الفولاذ أو المواشير البلاستيك بهما حقن مونة ناعمة أو خشنة حيث يتم تعبئة المونة في فتحة الطوب لملا كل الفراغ لتثبيت الفولاذ في وضعه العمودي. في المباني الحاملة؛ الحوائط والأسقف منفصلة في البناء وربط البناء الإنشائي في التقاطعات يحتاج عند الزوايا إلى ربط بالفولاذ حتى يسمح بانتقال قوى القص من حائط لآخر. وتم اختبار جودة المواد المستخدمه بالطوب الإسمنتي المفرغ وأنواعه والمون المستخدمة في بناء الحوائط وحديد التسليح المستخدم ومونة الحقن وخواصهما واختبارات هذه المواد.

3-1 إختبارات المواد الداخلة في تصنيع الطوب والحائط

3-1-1 إختبارات الرمل: نتائج الإختبار وفق المواصفات لوزن وحدة الحجم (ASTM C29)، للإمتصاص (ASTM C12)، الوزن النوعي للرمل (ASTM C128) والمواصفة الليبية (2002/251) للتحليل المنخلي.

3-1-2 إختبارات الإسمنت: نتائج الإختبار وفق المواصفة الليبية (1997/340).

3-1-3 إختبارات المونة الإسمنتية: نتائج الإختبار كما في الجدول (1-1).

المونة الإسمنتية المستعملة في تنفيذ الحوائط الحاملة المسلحة هي خليط من الإسمنت والرمل والماء ونسبة (1:3:1)، ويتم تشكيلها والمتطلبات المطلوبة للمونة حسب المواصفة الأمريكية (ASTM C270) الخاصة بالبناء، ويجب أن تتوفر في المونة الطازجة خصائص القوام المناسب.

جدول (1-1) إختبارات مقاومة الضغط للمونة (المواصفة ASTM C270)

المواصفات	متوسط مقاومة الضغط (N/mm^2)	مدة الإختبار
لا تقل عن 12.402 (MPa)	9.636	7 أيام
بعد 28 يوم	16.18	28 يوم

1-3-4 إختبار أسياخ فولاذ التسليح: تم أخذ حديد مصنع مصراتة قطر 12مم وكانت النتائج وفق المواصفات الليبية.

1-3-5 إختبار مونة الحقن: عبارة عن مونة تجويف الطوب الذي يتم تسليحه في الحوائط باتباع أسلوب الحقن وهي خليط من الإسمنت البورتلاندي والرمل والركام الناعم مع الماء ذو قوام ودرجة الهبوط من 20.3سم إلى 27.9سم يستعمل لملاّ التجويف في الطوب الإسمنتي كما في الشكل رقم (1-5)، والذي يتم تسليحه في الحوائط المسلحة لزيادة مقاومتها وقدرتها على التماسك ولتثبيت حديد التسليح في أماكنه. وهناك نوعان من مونة الحقن حسب المواصفة (ASTM C476):

1- مونة ناعمة لتعبئة تجويف الطوب

2- مونة خشنة لتعبئة تجويف الطوب

والركام الناعم والركام الخشن المستعمل لزوم خليط المونة له تدرج حسب المواصفة (ASTM C404) وتم إجراء إختبار التدرج الحبيبي للركام الناعم الخاص بمونة الحقن حسب المواصفة (ASTM C404) الخاص بمونة الحقن، ومقاومة الضغط لمونة الحقن كما في الجدول رقم (1-2)، وتم أخذ النسب التالية:

إسمنت : رمل : ركام ناعم : ماء = 1 : 2.5 : 1.5 : 0.9

جدول رقم (1-2) إختبار مقاومة الضغط لمونة الحقن (المواصفة ASTM C1019)

المواصفات	متوسط مقاومة الضغط (N/mm ²)	مدة الإختبار
لا تقل عن 13.79 MPa	9.636	7 أيام
بعد 28 يوم	14.986	28 يوم

1-4 إختبار مقاومة الضغط للطوب الإسمنتي المفرغ

تم إجراء الإختبارات على الطوب الإسمنتي حسب المواصفات الليبية رقم 47 لسنة 2002 والمواصفة رقم 48 لسنة 1974 لعينات أخذت من ستة مصانع لإجراء إختبار مقاومة الضغط على الطوب الإسمنتي، وكانت النتائج التي تم إعتماؤها لمصنعين فقط والتي أعطت مقاومة ضغط تتناسب مع المواصفات وذلك بواقع 3.74 نيوتن/م².

1-5 إختبار مقاومة الضغط لمنشور المباني

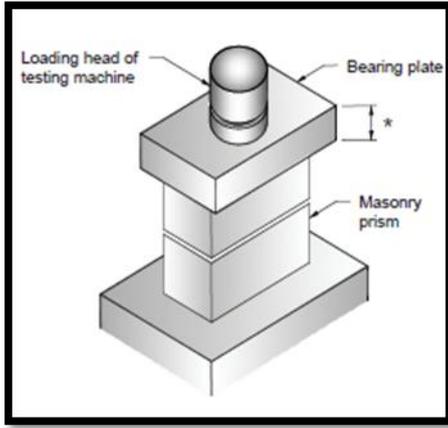
تعتمد مقاومة الحائط من المباني على عدة عوامل منها مقاومة ضغط وحدة البناء المستخدمة وخصائص المونة المستعملة وكذلك على مقاومة الحقن في حال استخدامه وتعيين مقاومة الضغط للحائط عن طريق إختبار منشور المباني، حيث يتم إعداد المنشور حسب ما تنص عليه المواصفة (ASTM C1314) وتحدد مقاومة الضغط المميزة للمباني (f_m) والتي تحسب على أساسها الإجهادات المسموح بها حيث يتم بناء طوبة فوق الأخرى مع وضع مونة إسمنتية بين الطوبتين كما في الشكل رقم (1-5)، مع وضعهما في آلة إختبار مقاومة الضغط كما في الشكل (1-6). ويتم التحميل والحصول على نتائج مقاومة الضغط للمنشور بعد الضرب في معامل التصحيح وفق المواصفة.

ويتم تعيين مقاومة الضغط لمنشور المباني = حمل إنهيار المنشور / مساحة المقطع

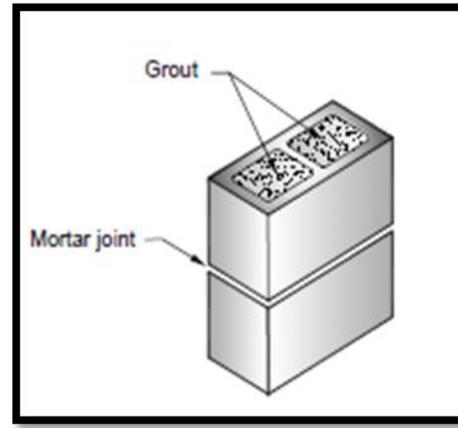
ومساحة المقطع = المساحة الكلية في حالة الطوب المصمت

= المساحة الصافية في حالة الطوب المفرغ

من نتائج إختبار مقاومة الضغط للطوب وفق المواصفة الليبية تبين أن المصنع رقم (1) و (2) هما الأفضل وبالتالي تم إختيارهما.



شكل (1-6) عينة وضع إختبار المنشور داخل ماكينة الضغط



شكل (1-5) مونة الحقن في الطوبة

لإجراء إختبار المنشور للمباني من أجل معرفة إجهادات الضغط الأساسية المسموح بها وفق نسب المونة الإسمنتية؛ تم عمل نموذج طوبة مفرغة ونموذج طوبة مملوءة بالحقن ونموذج نصف طوبة مع التسليح في وسط الطوبة بالحديد ومواسير البلاستيك.

1-5-1 النموذج الأول (إختبار الطوبة الفارغة): تم إختبار العينة شكل رقم (1-7)، وكانت النتائج والإنهيار كما في الجدول رقم (1-3) وشكل رقم (1-8).



شكل (1-8) الإنهيار في العينة الثانية مصنع (2)



شكل (1-7) الطوبة فارغة مع البناء

1-5-2 النموذج الثاني (إختبار الطوبة مملوءة بمونة الحقن): تم إختبار العينة شكل رقم (1-9)، وكان شكل الإنهيار شكل رقم (1-10).



شكل (1-10) الإنهيار في الطوب المملوءة بالحقن



شكل (1-9) النموذج الثاني مملوءة بمونة الحقن

3-5-1 النموذج الثالث (إختبار نصف طوبة مملوءة بمونة الحقن مع تسليح في الوسط بأسيخ الفولاذ ومواسير البلاستيك)

1-3-5-1 الإختبار بتسليح الطوب بالفولاذ: تكون الطوبة مملوءة بمونة الحقن مع تسليح الطوبة بالحديد في وسط الطوبة وبناء الطوبة بمونة البناء كما بالشكل رقم (11-1)، والشكل رقم (12-1) يبين الإنهيار في العينة واختبار مقاومة الضغط لمنشور الطوب مملوءة حسب المواصفة (ASTM C1314) وكانت النتائج كما في الجدول رقم (3-1).



شكل (12-1) الانهيار في العينة الأولى



شكل (11-1) مملوءة بالحقن مع التسليح بأسيخ الفولاذ

1-3-5-2 الإختبار بالتسليح بمواسير البلاستيك: تم عمل الإختبار على عينة المنشور وتسليح الطوب بمواسير البلاستيك ومواسير فارغة ومملوءة بالمونة كما في الشكل رقم (13-1) وشكل (14-1)، وشكل الإنهيار كان كما في الشكل رقم (15-1) وشكل (16-1). ونتائج الإختبار كما في الجدول رقم (3-1).



شكل (14-1) المواسير مملوءة بالمونة



شكل (13-1) مواسير البلاستيك العمودية فارغة في الطوبة



شكل (16-1) الإنهيار للعينة والمواسير مملوءة



شكل (15-1) الإنهيار للعينة والمواسير فارغة

وكانت نتائج الإختبارات التي تم إجراؤها على الطوب الإسمنتي من مصنع (1) ومصنع (2) كما هي بالجدول رقم (3-1).

جدول رقم (3-1) نتائج إختبارات مقاومة الضغط للطوب والإمتصاص وفق المواصفة الليبية ومقاومة الضغط للمنشور وفق المواصفة (ASTM C1314)، مصنعا رقم (1) ورقم (2)

إختبار نسبة الإمتصاص وفق المواصفة الليبية (%)	إختبار مقاومة الضغط للمنشور للطوب وفق المواصفة ASTM (C1314) (N/mm ²)				إختبار مقاومة الضغط للطوب وفق المواصفة الليبية (N/mm ²)		مصنع الطوب
	نصف الطوبية مملوءة بالمونة مع وضع ماسورة بلاستيك مملوءة بالمونة	نصف الطوبية مملوءة بالمونة مع وضع ماسورة بلاستيك فارغة	نصف الطوبية مع تسليح الفولاذ مملوءة بالمونة	الطوبية مملوءة بالمونة	الطوبية فارغة	الطوبية مملوءة بالحقن	
4.38	4.885	4.703	5.806	4.55	4.469	-	مصنع الطوب رقم 1
4.529	5.636	7.356	5.606	5.63	6.1	9.158	مصنع الطوب رقم 2

2- الدراسة المعملية

توضح الدراسة المعملية للإختبارات التي تم إجراؤها على الطوب المستعمل وحوائط الطوب لكي يتم التعرف على مدى فعالية وأمان هذه الحوائط بتقنية الطوب المسلح؛ حيث تتعرض المنشآت الهندسية من حيث تركيبها الإنشائي لإجهادات مختلفة يذكر منها الآتي [4]: إجهاد الإنحناء وإجهاد الشد وإجهاد الضغط وإجهاد القص. تتحمل عناصر المبنى حسب تكوينها وخواص موادها تلك الإجهادات أو بعض منها بدرجات متفاوتة، فالخرسانة المسلحة مثلا تتحمل إجهادات الشد والضغط والقص؛ بينما الحوائط المبنية من الطوب لها خاصية تحمل إجهادات الضغط بصفة عامة أما تحملها لإجهاد القص فضعيف، لذلك يجب عند استخدامها كحوائط حاملة أن تحسب أبعادها. ولكن في هذا البحث تم العمل على إضافة تسليح الطوب بقضبان المعدن ومواسير البلاستيك في الإتجاه العمودي المقاوم للقص والإتجاه الأفقي والمقارنة بينهما في القوة المكتسبة. وتم العمل على دراسة السلوك الإنشائي للعناصر الإنشائية المصنوعة من الطوب حيث أن الحوائط الحاملة من أول الأنظمة الإنشائية التي عرفها الإنسان واستعملها؛ فقد حظيت باهتمام كبير من جانب الباحثين وبقيت مشكلة الفتحات وخاصة الكبيرة منها كعائق لنجاح نظام الحوائط، لذلك كان الإضطراب لاستخدام الكمرات والأعتاب [5]. ومن هنا نشأت فكرة التعرف على السلوك الإنشائي للكمرات المسلحة والمصنوعة من الطوب الإسمنتي تحت تأثير الإنحناء، وتم إعداد ثلاثة نماذج من الحوائط (حائط بدون تقوية، وحائط تم تقويته بالفولاذ على مسافات أفقياً ورأسياً، وحائط بمواسير البلاستيك رأسياً والشريط أفقياً).

1-2 التحليل النظري

تم حساب مقاومة الإنحناء النظرية للكرمرات ومقاومة الضغط على الحوائط عن طريق استخدام نظرية الخرسانة المسلحة ومقاومة الضغط للمنشور للمباني، وكانت مقاومة الضغط النظرية للحائط المستخدم معملياً 1.62 N/mm^2 .

2-2 إختبارات الكمرات المصبوبة

تم صب الكمرات المسلحة وغير المسلحة وفق الجدول رقم (1-2)، وشكل الكمرات كما هو في الشكل من رقم (1-2) إلى الشكل (3-2)، والنتائج معطاة وفق الجدول (1-2). شكل الإنهيار في الكمرات المسلحة وغير المسلحة كان كما هو في الشكل من (4-2) إلى الشكل (6-2).

جدول رقم (1-2) تفصيل ونتائج إختبارات الكمرات المسلحة بالفولاذ والمواسير أفقياً ورأسياً وغير المسلحة

رقم الكمرة	طول الكمرة (cm)	عرض الكمرة (cm)	إرتفاع الكمرة (cm)	عمق التسليح (cm)	عدد الأسياخ في الوضع الأفقي	الحقن بالمونة	عدد الأسياخ في الوضع الرأسي	متوسط مقاومة الإنحناء N/mm^2
1	120	20	20	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	1.25
2	80	20	20	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	0.6
3	120	20	23	20	121Φ	يوجد	121Φ	4.108
4	120	20	23	20	121Φ	يوجد	121Φ	
5	120	20	23	20	1 شريط	يوجد	2 ماسورة بلاستيك	1.531



شكل (1-2) كمرة من الطوب فقط، شكل (2-2) كمرة من الطوب المسلحة بالفولاذ، شكل (3-2) كمرة مسلحة بشريط بلاستيكي



شكل (2-4) كمرة بدون تقوية

شكل (2-5) كمرة مسلحة بالفولاذ

شكل (2-6) كمرة مسلحة بشريط

3-2 إختبارات نماذج الحوائط

تم عمل ثلاثة نماذج للحوائط من الطوب الإسمنتي ولاتوجد فيها فتحات في الحائط، بطول الحائط 80 سم وارتفاعه 80 سم وعرضه 20 سم على النحو التالي:

- 1-3-2 حائط الطوب الإسمنتي بدون أي تقوية: تم بناء حائط بدون أي تقوية كما في الشكل رقم (2-8).
- 2-3-2 حائط الطوب الإسمنتي بتقوية الفولاذ: تم وضع مونة الحنن في مكان تسليح الطوبة الأفقي والرأسي كما في الشكل (2-9).
- 3-3-2 حائط من الطوب الإسمنتي بتقوية مواسير البلاستيك: الحائط كما في الشكل رقم (2-10) مسلح بالشريط والمواسير أفقياً ورأسياً.



شكل (2-10) حائط مسلح بالمواسير

شكل (2-9) حائط مسلح بالفولاذ

شكل (2-8) حائط من الطوب

3- مناقشة نتائج

3-1 مناقشة نتائج الكمرات

توضح هذه النتائج بأن هناك زيادة عالية في مقاومة الإنحناء بالنسبة للكمرات المسلحة بالفولاذ ومواسير البلاستيك مقارنة مع الكمرات غير المسلحة وهذا يكون طبيعياً؛ فعندما تكون هناك زيادة في مقاومة الشد وكذلك في مقاومة الضغط تكون هناك زيادة في مقاومة الإنحناء، حيث كانت مقاومة الإنحناء للكمرات المسلحة بالفولاذ في الكمرات رقم (3) 4.53 N/mm^2 مقارنة مع الكمرات رقم (1) غير المسلحة حيث كانت مقاومة الإنحناء 1.275 N/mm^2 ، أي أن الكمرات المسلحة بالفولاذ تزيد عن الكمرات غير المسلحة 75% وتزيد عن الكمرات المسلحة بمواسير البلاستيك وشريط البلاستيك 65%. وكذلك كانت أقصى قوة للتشقق النظرية 28.07 kN وكانت أقصى قوة في الكمرات المسلحة بالفولاذ معملياً 42 kN ، وهذا يدل على أن الكمرات المسلحة بالفولاذ لها مقاومة أعلى من الكمرات الأخرى. ومن خلال التجارب فإن عملية الشقوق تحدث في العينتين الأولى والثانية غير المسلحتين حيث الشقوق في مونة البناء والإنهيار كان فجائياً وسمك التشقق تراوح من 1 مم إلى 10 مم كما في الشكل رقم (2-4). أما بالنسبة للكمرات المسلحة بالفولاذ في العينتين الثالثة والرابعة فكان التشقق في الطوبة فقط وسمك التشقق 1 مم ولم يحدث إنهيار للكمرات.

بالنسبة للكمرات المسلحة بمواسير البلاستيك في العينة الخامسة فكانت ضعيفة مقارنة بالكمرات المسلحة بالفولاذ حيث أن الشقوق في المونة الإسمنتي كانت بسمك 2 مم، أما بالنسبة لكمرات التسليح الأفقي بالفولاذ كما في العينة السادسة فكان التشقق في الطوبة فقط وسمك التشقق 1 مم. ومن هذه النتائج الخاصة بالكمرات يتضح أن الكمرات المسلحة بقضبان الفولاذ أفضل من تسليح مواسير البلاستيك، حيث يتبين أن التشقق في الكمرات المسلحة بالفولاذ

في الطوبة، أما بالنسبة إلى الكمرات المسلحة بمواسير البلاستيك مع شريط البلاستيك فيحدث التشقق في فاصل المونة الإسمنتية والإنهيار يكتمل بعد أقصى قوة. وبالتالي فإن مقاومة الشد تكون أفضل في الكمرات المسلحة بالحديد من التسليح بالمواسير.

2-3 نتائج إختبارات الحوائط

توضح النتائج المعطاة بالجدول (2-2) أن الحائط بدون تسليح كانت التشققات في الحائط بالكامل كما بالشكل (1-3)، أما الحائط المسلح بالفولاذ فأعطى أفضل طبيعة إنهيار كما بالشكل رقم (2-3). أما الحائط المسلح بالبلاستيك فإن مقاومة الضغط كانت جيدة مقارنة بالمسلح بالفولاذ ولكن شكل الإنهيار كان كبيراً جداً كما بالشكل (3-3).

الجدول (2-2) نتائج إختبارات الحوائط

رقم الحائط	التسليح	أقصى قوة (KN)	مقاومة الضغط للحائط (N/mm ²)	شكل الكسر
1	بدون تسليح	270.75	1.735	حدوث شقوق كثيرة
2	تسليح بالفولاذ	306.438	1.964	حدوث كسر في الطوبة العلوية فقط دون حدوث أي كسر في باقي الحائط وأعطى أفضل شكل للإنهيار
3	تسليح بالبلاستيك	307.031	1.968	حدوث شقوق في كامل الحائط



شكل (1-3) إنهيار الحائط بدون تقوية شكل (2-3) إنهيار الحائط المسلح بالفولاذ شكل (3-3) إنهيار الحائط المسلح بمواسير

4 الخلاصة

من دراسة نتائج التجارب التي تم إجراؤها من خلال هذا البحث والمتمثلة في التعريف بالحوائط المسلحة الحاملة ومتطلباتها بالإضافة إلى تقديم فكرة جديدة حول تسليحها كبديل عن أسياخ الفولاذ وجد الآتي:

- 1- تبين أن مقاومة الإنحناء المعملية أعلى من مقاومة الإنحناء النظرية في الكمرات المسلحة بالحديد والكمرات المسلحة بالشريط ومواسير البلاستيك والكمرات غير المسلحة.
- 2- مقاومة الضغط المعملية للحائط المسلح بأسياخ الفولاذ أعلى من الحائط غير المسلح والحائط المسلح بمواسير البلاستيك.
- 3- أظهرت النتائج كفاءة عالية للتسليح بالفولاذ في تقوية الطوب الإسمنتي المفرغ وأن إضافة حديد التسليح الرأسي والأفقي، مقارنة بالكمرات غير المسلحة والكمرات المسلحة بالمواسير البلاستيكية، يؤدي إلى زيادة كبيرة في مقاومة الإنحناء وأن التسليح بالفولاذ هو الذي يعيق توسيع الشقوق.

- 4- صلابة الإنحناء في مرحلة التشقق للكمرة المسلحة بالفولاذ أكبر من تلك غير المسلحة.
- 5- مقاومة الإنحناء لكمرات الطوب المسلحة بأسياخ الفولاذ أعلى من الكمرات المسلحة بالمواسير البلاستيكية.
- 6- كمرات الطوب المسلحة يقل فيها الشقوق مقارنة بالكمرات غير المسلحة التي يحدث فيها الشقوق والإنهيار المفاجئ.
- 7- زيادة التسليح الأفقي يؤدي إلى زيادة في مقاومة الإنحناء.
- 8- تدعيم الطوب الإسمنتي بمونة الحقن أثبتت كفاءة عالية من نتائج مقاومة الضغط للطوب المحقون حيث أن مونة الحقن مقاومتها عالية وقدرتها على التماسك جيدة.
- 9- أظهرت النتائج أن عينة المنشور المسلحة بمواسير البلاستيك التي يتم وضعها في الوضع الرأسي تعطي نتائج مقبولة لمقاومة الضغط مقارنة بعينة المنشور المسلحة بالفولاذ؛ ولكن شكل الإنهيار يكون شقوقاً كبيرة في كامل العينة ولا تتماسك العينة.
- 10- أظهرت النتائج العملية إمكانية استعمال الطوب الإسمنتي المسلح في الحوائط الحاملة، ويخضع تصميم هذه الحوائط إلى أسس وقواعد هندسية، وأصبح من الضروري الإهتمام بهذا النوع من البناء نظراً لانخفاض تكلفة البناء بالحوائط الحاملة عن نظام الهيكل الخرساني لما يوفر من كميات الحديد والإسمنت في الخرسانة وسرعة التنفيذ.

5- التوصيات

- 1- للحصول على قيم الإجهادات من الموصفات يلاحظ أنها تعتمد على مقاومة الضغط للطوب ونوع المونة المستخدمة، وبالتالي الأمر يتطلب مزيداً من البحث والدراسة في نسب مختلفة من المونة الإسمنتية؛ حيث أن مقاومة الحائط تعتمد عليها.
- 2- تعتبر النتائج العملية والمدونة في هذا البحث مفتاحاً لدراسة تأثير القص على الحوائط، والمطلوب استكمال البحوث العملية والنظرية بالخصوص.
- 3- التوسع في إمكانية استخدام دراسة الحوائط التي بها فراغات مثل الأبواب والشبابيك للتعرف على السلوك الإنشائي للكمرات أعلى الفتحات من الطوب الإسمنتي تحت تأثير إجهادات الإنحناء والقص.
- 4- التوسع في استخدام الشريط البلاستيكي الأفقي بدلاً من الحديد أو استخدام الأنابيب المصممة في كل من التسليح الرأسي والأفقي.
- 5- نظراً للصعوبة التي واجهت البحث من الناحية العملية فإنه يوصى بتجهيز معامل مواد بناء في الجامعات والمراكز البحثية بالتجهيزات التي تتناسب مع التجارب المطلوبة لمواد البناء.
- 6- التوصية بتعميم استخدام نظام الحوائط الحاملة بالطوب الإسمنتي المدعمة بطرق مختلفة في البحوث والدراسات لإمكانية استخدام هذا النوع من البناء وفق مواد البناء المتوفرة في ليبيا.
- 7- زيادة التوسع في استخدام البناء بالحوائط الحاملة من الطوب المسلح في المشاريع من قبل الدولة.
- 8- التوصية باستخدام نظام الشد اللاحق للمباني في البحوث وإمكانية استخدامه في ليبيا.

6 - المراجع

- 1- ميشيل لطيف، شريف على، شريف حسن؛ "المنشآت من الحوائط الحاملة"، مركز بحوث الإسكان والبناء والتخطيط العمراني، مصر، 1974.
- 2- الكود المصري لتصميم وتنفيذ أعمال البناء كود رقم 204، 2005.
- 3- نادر جود النمرة؛ "التصميم المعماري وتكنولوجيا البناء"؛ مصر، 1976.
- 4- محمد على؛ "البناء بالطوب، هندسة وتكنولوجيا"، كفر الشيخ، مصر، 2000.
- 5- محمد أحمد محمد؛ "السلوك الإنشائي للكمرات المصنوعة من الطوب الخرساني المسلحة تحت تأثير إجهادات الإنحناء والقص"؛ مشروع تخرج لنيل درجة الماجستير في الهندسة الإنشائية بقسم الهندسة المدنية جامعة القاهرة، 1997.

متانة المونة البوزلانية ضد هجومات الكبريتات

أ. د. عبد السلام المبروك عكاشة
أستاذ - قسم الهندسة المدنية
كلية الهندسة - جامعة سبها

م. جمال محمد عبد الله
باحث - قسم الهندسة المدنية
كلية الهندسة - جامعة سبها

ملخص

زاد الإهتمام خلال العقود الأخيرة نحو استخدام المواد الإسمنتية المكملة سواءً أكانت طبيعية أو صناعية أو مخلفات سعياً لإنتاج إسمنت مخلوط (Blended Cement) و يعزى هذا الإهتمام لدوافع بيئية وأسباب إقتصادية ومتطلبات تحسين خواص الجودة للخرسانة. من بين هذه المواد الرماد المتطاير (Fly ash) وغبار السيليكا (Silica fume) والمواد البوزلانية الطبيعية (Natural pozzolan) وغيرها. وتتميز هذه المواد عموماً بخواص تعمل على تحسين جودة و متانة الخرسانة عند إضافتها جزئياً للخلطة الخرسانية أو الإسمنتية وذلك بسبب أن هذه المواد تعطي حرارة إماهة (Hydration) أقل ومقاومة للكبريتات أعلى وتشغيلية أفضل ومقامة نهائية أكبر ونفاذية أدنى، كما أنها تستهلك هيدروكسيد الكالسيوم الناتج من تفاعلات الإسمنت بالتفاعل معه. تتوفر بالجنوب الليبي في مناطق حول مدينة سبها وبرك الشاطئ محاجر للبوزلانا الطبيعية (الكاولينة)، وقد أثبتت التجارب المعملية بدراسات سابقة⁽¹⁾ مطابقة التركيب الكيميائي للمواد البوزلانية بهذه المحاجر للمواصفة (ASTM C 618-3) وبالتالي إمكانية استخدامها كبديل جزئي للإسمنت لتحسين خواص و متانة الخرسانة وذلك بعد حرقها وطحنها، كما أظهرت نتائج هذه التجارب والتي أجريت على عينات من مونة إسمنتية زيادة المقاومة الميكانيكية (الضغط والشد) وزمن الشد الإبتدائي والنهائي والكثافة وذلك مقارنة بعينات تكون خالية من المواد البوزلانية (عينات قياسية). تهدف هذه الورقة إلى التحقق من تأثير مادة الكاولينة (Metakaolin) على تحسين متانة الخرسانة (Durability) المتمثلة في مقاومة الخرسانة للكبريتات وذلك عند إضافتها للخلطة الخرسانية كبديل لجزء من الإسمنت وذلك لخامات مأخوذة من خمسة محاجر هي محجر انحو لمدينة سبها (سبها وتمنهنث) وثلاثة أخرى حول مدينة براك (أقار والعافية وتاروت). يتم بهذه الدراسة غمر عينات إسمنتية بمحلول من كبريتات الصوديوم بتركيز 5% وبنسبة إضافة للبوزلانا 10% ، 15% ، 20% للإسمنت وذلك بعد حرق الكاولينة لدرجة حرارة 800 مئوية لتحويلها إلى الميتاكاولين النشطة وطحنها لنعومة عالية لتمر من المنخل 150 ميكروميتر وتتم مراقبة تدهور الخرسانة لمدة سنة، ومقارنتها بعينة قياسية لا تحوي أي إضافة للبوزلانا (0.0 %) و ذلك بقياس التغير في الطول والكتلة والمقاومة وبدء تكون الشقوق وتطورها خلال عام للتأكد من فعالية إضافة البوزلانا الطبيعية من المحاجر الخمسة في مقاومة تدهور الخرسانة الناجم عن هجوم الكبريتات.

الكلمات الدالة : خرسانة - البوزلانا الطبيعية - كبريتات.

1. مقدمة

تضع جميع الإصدارات الحديثة من المواصفات العالمية والمحلية إشتراطات ومحددات تضمن متانة الخرسانة (Durability) وديمومتها للعمل ضمن الوسط المحيط بها طيلة عمرها التشغيلي المصممة له؛ فقد زاد استخدام

الإسمنت المخلوط ليوافق توصيات المواصفات لمقاومة الخرسانة للأوساط العدوانية والهجومية على الخرسانة خصوصاً في المنشآت المدفونة في التربة أو الملامسة لها والمنشآت الغاطسة في المياه أو الحاملة لمواد أو سوائل ذات طبيعة ضارة للخرسانة كالكبريتات والأحماض والأملاح والمخلفات الصناعية والكيميائية، ويعتبر هجوم الكبريتات من أشد الأوساط ضرراً للخرسانة وتعتمد شدة التدهور على الخواص الكيميائية للتربة وللمياه الجوفية وتركيب ماء البحار وتركيز محلول الكبريتات أو أبخرته. ويعزى هجوم الكبريتات التي تتواجد في الغالب على شكل كبريتات كالسيوم و صوديوم وبوتاسيوم وماغنسيوم إلى تفاعل هذه الكبريتات مع هيدروكسيد الكالسيوم وكالسيوم الوميناهيدرات الناجمان عن إماهة الإسمنت، ويتكون نتيجة هذا التفاعل الجبسوم (Gypsum) و الاترينجات (Ettringate) وهاتان المادتان تشغلان حجماً أكبر من حجم المواد المكونة لهما (1.2 - 2 مرة) وبذلك تولدان ضغطاً داخلياً بالخرسانة يؤدي إلى تمددها وانتفاخها وبالتالي إلى تشققها وتشظيها (scaling) وهذا يؤدي إلى تدهور الخرسانة وربما إنهيارها حيث تزيد نفاذية الخرسانة ويتآكل حديد التسليح كنتيجة لذلك⁽⁴⁾.

علاوة على ذلك فإن هجوم الكبريتات يؤدي إلى نقص مقاومة الخرسانة وزيادة كتلتها، كما أنه من الجدير بالذكر كذلك أن جزء من التدهور سببه هجوم الكبريتات وتكون مادتي الجبسوم والاترينجيت وما يتبعه من تمدد وانتفاخ للخرسانة يكون بسبب انحلال (Degradation) هلام كالسيوم سيليكاتهدرات (C-S-H gel) من خلال رشح (Leaching) لمركبات الكالسيوم، وهذه العمليات تؤدي إلى فقدان هلام (C-S-H) لصلابته وإلى التدهور الكلي للمعينة الإسمنتية⁽⁹⁾.

إن التفاعلات الكيميائية لهجوم الكبريتات هي عمليات معقدة تعتمد على العديد من المتغيرات منها تركيز أيونات الكبريتات، الحرارة المحيطة، نوع الإسمنت وتركيبه، نسبة الماء للإسمنت، ووجود مواد بوزلانية مخلوطة جزئياً بالخلطة الإسمنتية أو الخرسانية. ورغم ما جاء ببعض الأبحاث من أن استعمال نسبة منخفضة للماء للإسمنت واستخدام الإضافات (Admixtures) من الإجراءات الفعالة لحماية الخرسانة من التدهور الناجم عن هجوم الكبريتات إلا أن كل المواصفات والكودات الحديثة توصي باستخدام المواد البوزلانية في الأوساط العدوانية على الخرسانة بسبب وجود الكبريتات في التربة أو الماء، ولذلك فقد زاد الإهتمام مؤخراً باستغلال هذه المواد البوزلانية الطبيعية ومن بينها مادة الكاولينة (Metakaolin) وذلك كمادة بديلة لجزء من الإسمنت في صناعة الخرسانة⁽⁸⁾ بعد أن تحرق لدرجات حرارة ما بين 700 - 900 درجة مئوية لتكسير الروابط الكامنة في ما بين مكوناتها وبين الماء الرابط كيميائياً لها ولتكسير البنية البلورية لها، وتطحن هذه المادة بعد حرقها لدرجة نعومة عالية. ونظراً لخواص هذه المادة في تحسين جودة ومتانة الخرسانة فأنها تستخدم وبشكل مطرد في إنتاج الخرسانة عالية المقاومة والخرسانة عالية الأداء مع متانة محسنة. ورغم اهتمام العديد من البحوث والدراسات⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾ بالخصائص المختلفة لمونة وخرسانة الميتاكاولينة (MK) كالمسامية وحجم المسامات وتوزيعها والتفاعلات البوزلانية ومقاومة الضغط والانحناء وشقوق الإنكماش إلا أن البحوث في مجال تأثير إضافة الميتاكاولينة في مقاومة الكبريتات لا تزال محدودة. وقد قام الباحثان⁽²⁾ Wild و Khatib بدراسة تأثير إضافة أنواع مختلفة من الإسمنت ذات محتوى مختلف من ثلاثي سليكات الكالسيوم (C₃A) في مقاومة مونة الميتاكاولينة لهجوم الكبريتات، وقام الباحث Nabil⁽³⁾ بدراسة تأثير إضافة الميتاكاولينة للخرسانة في وجود ملدنات فائقة (Superplasticizer) ولم يتم التحقق من تأثير العوامل التجريبية كنسبة الماء للمادة الرابطة (w/b). هذه الدراسة تمت بمعامل كلية الهندسة بجامعة سبها لدراسة تأثير إضافة نسب مختلفة من الماء للمادة الرابطة (w/b) تحت تأثير نفس الظروف لمونة إسمنتية من ظروف ونوع المعالجة، ويتم قياس مدى مقاومة العينات الإسمنتية لهجوم الكبريتات على مدار عام من خلال:-

- قياس التغير في الطول للموشورات.
- قياس النقص في المقاومة للمكعبات
- قياس التمدد في العينات للمكعبات والموشورات
- الفحص البصري و مراقبة تكون الشقوق لجميع العينات

2. البرنامج العملي

1.2 المواد

1.1.2 الإسمنت

تم استخدام الإسمنت البورتلاندي العادي (Type 1) من مصانع البرج (زليتن) في هذه الدراسة والمطابق لمواصفة جمعية المواد والإختبارات الأميركية رقم (ASTM C150) وللمواصفات الليبية رقم 97/340، ويعطي الجدولان أدناه الخواص الكيميائية والفيزيائية له.

جدول (1) التركيب الكيميائي للإسمنت المستعمل

المحددات طبقاً للمواصفة ASTM C150-3 للإسمنت نوع Type1 (%)	القيمة المقاسة %	الأكاسيد
3.0	1.66	SO ₃ , max (%)
6.0	2.01	MgO, max (%)
3.0	1.8	Loss on ignition, max (%)
0.75	0.39	Insoluble residue, max (%)

جدول (2) الخواص الفيزيائية والميكانيكية للإسمنت المستعمل

المحددات طبقاً للمواصفة ASTM C150-3 للإسمنت نوع Type1	القيمة المقاسة	الخاصية
45	249	زمن الشك الابتدائي (دقيقة)
375	299	زمن الشك النهائي (دقيقة)
2800	3260	السطح النوعي (سم ² /جرام)
.....	3.15	الوزن النوعي
28	39.37	مقاومة الضغط (MPa) عند 28 يوم طبقاً للمواصفة (C109-03)

2.1.2 الرمل

تم استخدام الرمل القياسي المستخدم وهو الرمل السيليكوني (silica sand) ويتكون في الغالب من حبيبات طبيعية مدورة من الكوارتز الصافي تقريباً والذي تم أخذه من محاجر رمال صحراء زلاف الواقعة على بعد 30 كلم تقريباً من مدينة براك.

الترج الحبيبي للرمال المجمع من الحجر يقع خارج حدود التدرج المحددة بالمواصفة (ASTM C778-03) ولكن تم تعديلها لتطابق الرمل القياسي حسب المواصفة المشار إليها آنفاً.

3.1.2 الميتاكاولينية (MK)

التربة الطينية للعينات تم أخذها من خمسة مواقع مختلفة حول مدينتي سبها وبراك كما بالجدول التالي:

جدول (3) مواقع أخذ العينات

رمز المحجر	الموقع	المعادن في الطين
A	يبعد 10 كيلومترات شمال مدينة سبها: على عمق 4 أمتار من سطح التربة بالقرب من جانب طريق سبها/تمنهنث المعبد	كاولينية (Kaolinite) 95% ، الكوارتز (Quartz) 5%
B	يبعد 10 كيلومترات شمال منطقة تمنهنث (سبها): على عمق 0.5 متر من سطح التربة بالقرب من جانب الطريق المعبد	كاولينية (Kaolinite) 50% ، الكوارتز (Quartz) 50%
C	منطقة العافية (براك): على عمق 0.5 متر من سطح التربة بالقرب من جانب الطريق المعبد	كاولينية (Kaolinite) 54% ، الكوارتز (Quartz) 46%
D	منطقة أقر (وادي الشاطي): على عمق 1 متر من سطح التربة بالقرب من جانب الطريق المعبد	كاولينية (Kaolinite) 90% ، الكوارتز (Quartz) و Illite 10%
E	منطقة تاروث (وادي الشاطي): على عمق 0.5 متر من سطح التربة بالقرب من تلة مرتفعة بقرية تاروث	كاولينية (Kaolinite) 30% ، الكوارتز (Quartz) 70%

أخذت عينات جافة متماسكة من الأعماق المذكورة أعلاه، ولسهولة التعامل المخبري معها تم تقطيعها لأحجام ما بين 0.635 إلى 1.27 سم و تم حرقها بعد ذلك لمدة ساعتين تحت درجة حرارة 800 درجة مئوية قبل أن يتم طحنها لتصل لنعومة تمكنها من المرور من منخل 150 ميكرومليمتر .

التحليل الكيميائي للعينات تم إجراؤه بتقنية XRF (X-Ray Fluorecence) في مركز البحوث الصناعية بتاجوراء/طرابلس، وتوضح التحاليل في الجدول أدناه أن نسبة المادة الفعالة للبولزانا الطبيعية وهي مجموع المواد (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃) للعينات المطحونة (A,B,C,D,F) أعلى من الحد الأدنى الموصى به في مواصفات ASTM C- (618) وهو 70% وأن نسبة ثالث أكسيد الكبريت (SO₃) هي أقل من الحد الأعلى المسموح به في هذه المواصفات وهو 5% وبالتالي فإن التحليل الكيميائي لكل العينات يطابق المواصفة (ASTM C618-03).

جدول (4) التحليل الكيميائي للطين المحروق

الأكاسيد	النسب المئوية في عينات الطين المحروق للمحاجر الخمسة				
	A	B	C	D	E
SiO ₂	53.42	70.33	57.95	58.46	71.88
Al ₂ O ₃	40.84	25.32	24.52	34.36	20.20
Fe ₂ O ₃	0.975	1.05	9.973	2.266	1.84
Total SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	95.20	96.70	92.4	95.1	93.1
MgO	0.13	0.14	0.724	0.28	0.35
CaO	0.1	0.0801	0.133	0.162	0.163
K ₂ O	0.16	0.366	2.919	1.44	1.06
Na ₂ O	0.22	0.35	0.35	0.22	0.93
SO ₃	0.033	0.016	0.280	000	0.319
TiO ₂	3.019	1.51	1.12	1.37	0.966
MnO	0.0088	000	0.034	000	0.028
P ₂ O ₅	0.137	000	0.241	0.11	0.36
Cr ₂ O ₃	000	0.011	000	000	000
SrO	0.034	0.0063	0.0167	0.0209	0.036
L.O.I	0.88	0.760	1.680	1.25	1.06

4.1.2 الماء

تم استخدام الماء المقطر في كل الإختبارات.

2.2 تفاصيل الخلطات

تم إعداد ثلاث نسب خلط للمادة البوزلانية (MK) بنسبة 10%، 15%، و20% وذلك للخمس مواقع المستهدفة في هذه الدراسة إضافة إلى العينة القياسية بنسبة خلط 0.0 % من المادة البوزلانية حسب الجدول التالي:-

جدول (5) نسب خلط الإسمنت المخلوط

Sample/mix	Symbol	(Clacined clay MK%)	Portland cement (%)
OPC	Control	0	100
Sebha sample (A)	AI	10	90
	AII	15	85
	AIII	20	80
Temenhint sample (B)	BI	10	90
	BII	15	85
	BIII	20	80
Alafya sample (C)	CI	10	90
	CII	15	85
	CIII	20	80
Agar sample (D)	DI	10	90
	DII	15	85
	DIII	20	80
Tarout sample (E)	EI	10	90
	EII	15	85
	EIII	20	80

3.2 تجهيز العينات

تم إعداد العينات المذكوره أعلاه باستبدال جزء من وزن الإسمنت حسب النسب الموضحة بمادة الميثاكاولينة وبنسبة ماء للمادة الرابطة (w/b) تساوي 0.49. وبعد خلط المادة الرابطة الاسمنتية المخلوطة والرمال القياسي بنسبة 1:2.75 بالوزن تم إعداد مكعبات من المونة الإسمنتية بأبعاد 5 سم طبقاً للمواصفة (ASTM C109-03) ومشورات خرسانية بأبعاد 2.5×2.5×28.5 سم طبقاً للمواصفة (ASTM C1012-04) و المواصفة (ASTM C490)، وقد تم تجهيز ثلاث عينات لكل عينة للمحاجر الخمسة حيث تستخدم المكعبات لقياس النقص في المقاومة والمشورات لقياس التغير في الطول.

بعد صب المونة في القوالب تمت تغطيتها بالخيش المبلل لمدة 24 ساعة وتم فكها بعد ذلك لتتم معالجة العينات بغمرها في الماء لمدة 28 يوم في درجة حرارة 35 درجة مئوية.

3. تجهيز العينات والإختبارات

تم تجهيز و خلط المونة الإسمنتية باستخدام خلاطة أتوماتيكية طبقاً للمواصفة (ASTM C305-03) وبعد أن تمت معالجة جميع العينات يتم غمرها في محلول من كبريتات الصوديوم (Na_2SO_4) بتركيز 5% أي 50.0 جرام من كبريتات الصوديوم ذائبة في 900 ملي لتر من الماء المقطر ويحفظ عادة في درجة حرارة 23 مئوية ويجب الحفاظ

على قيمة (pH) ما بين 6.0 و 8.0 ويتم تغيير المحلول إذا تجاوزت هذه الحدود، وتكون نسبة حجم المحلول إلى حجم العينات المغمورة عند 4 أضعاف من المحلول إلى حجم واحد من العينات الإسمنية وذلك طبقاً للمواصفة (ASTM C1012-04).

يتم تغطية أسطح المشورات الإسمنتية بطبقة من الإيبوكسي أو تغمر فيها مسامير (ASTM C490) لضمان قياس تغير الطول من نفس النقطة في كل مرة حيث يتم قياس المقاومة بعد 28 ، 90 ، 180 يوماً. التغير في الطول يتم قياسه كل شهر ويجب ملاحظة أن بعض العينات القياسية من المكعبات تبقى في الماء المقطر لمراقبة النقص في مقاومة الضغط.

جدول (6) عدد العينات المختبرة

إسم العينة	إسم الخلطة	عدد المكعبات لكل خلطة	عدد المشورات لكل خلطة
الإسمنت البورتلاندي العادي (OPC)	Control	24	3
عينات موقع سبها (A)	AI	12	3
	AII	12	3
	AIII	12	3
عينات موقع تمنهنت (B)	BI	12	3
	BII	12	3
	BIII	12	3
عينات موقع العافية (C)	CI	12	3
	CII	12	3
	CIII	12	3
عينات موقع آقار (D)	DI	12	3
	DII	12	3
	DIII	12	3
عينات موقع تاروث (E)	EI	12	3
	EII	12	3
	EIII	12	3
مجموع العينات		204	48

ويتم قياس التغير في مقاومة الضغط للمكعبات والذي يفترض أن يكون أقل في الإسمنت البوزلاني عند تعرضه لهجوم الكبريتات من المعادلة التالية⁽³⁾ :-

حيث σ_m متوسط مقاومة الضغط للمكعبات الخرسانية المغمورة في الماء المقطر عند نهاية فترة الاختبار (MPa)، و σ_s متوسط مقاومة الضغط لثلاث عينات مغمورة في محلول كبريتات الصوديوم عند نهاية كل فترة اختبار (MPa).

ويتم قياس التغير في الطول للمشورات طبقاً للمواصفة (ASTM C 1012) والتي تهتم بقياس التغير في طول المشورات المجهزة من مونة إسمنتية معرضة لمحلول كبريتي وذلك حسب المعادلة:-

حيث:

 ΔL : التغير في الطول عند عمر العينة x (%). L_x : طول العينة عند العمر x . L_i : الطول المبدئي للعينة. L_g : الطول الإعتيادي لقالب العينة أو 250 مم.

4. النتائج والمناقشة

مقاومة الخرسانة لهجوم الكبريتات يجب أن تتعكس في محدودية التمدد ونقص المقاومة مع قلة أو إنعدام تدهور الخرسانة، ونظراً لقصر فترة الإختبار سيتم مناقشة النتائج المبدئية خلال فترة الثلاثة أشهر الأولى. يتضح من النتائج المبدئية أن تمدد العينات الإسمنتية المغمورة في محلول الكبريتات يزداد مع الوقت بشكل مستمر ومستقر بسبب بطء استمرار إنتشار أيونات الكبريتات بالعينات وبصفة عامة مقاومة المونة البوزلانية للكبريتات تكون أعلى من مقاومة المونة القياسية وتزداد بازدياد نسبة المواد البوزلانية (MK). ويمكن تعليل ذلك بحدوث: أولاً أن استبدال جزء من الإسمنت البورتلاندي بالميتاكويلينة يقلل من الكمية الكلية لمركب هيدرات ألومينات الكالسيوم الثلاثية (tricalciumaluminte hydrate) في العجينة الإسمنتية وثانياً أن المادة البوزلانية (MK) تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم (calciym hydroxide) خلال عمليات إمهاة الإسمنت وتستهلك جزءاً من هيدروكسيد الكالسيوم وبالتالي فإن كمية الجبسوم (gypsum) المتمدد والمتكون من تفاعل هيدروكسيد الكالسيوم يكون أقل في الخرسانة البوزلانية عنه في الخرسانة العادية؛ إضافة إلى ذلك فإن تكون مركب (C-S-H) في مرحلته الثانية (تفاعل البوزلانا) ورغم أنه أقل كثافة من مادة (C-S-H) في مرحلتها الإبتدائية (إمهاة الإسمنت) إلا أنه يكون فعالاً في ملء المسامات الكبيرة وتجزئتها إلى مسامات وشعيرات صغيرة وبالتالي فإن نفاذية الخرسانة البوزلانية تقل ومتانتها تزيد. ونظراً لأن عملية إقتحام أيونات الكبريتات لداخل الخرسانة هي عملية بطيئة جداً فإن عمليات الإمهاة (hydration) تتأثر بشكل أكبر وأسرع في البداية من تأثير إنتشار أيونات الكبريتات وخصوصاً خلال الثمانية والعشرين (28) يوماً الأولى ولذلك لا يوجد تأثير سلبي ملحوظ لهجوم الكبريتات خلال الفترة الأولى لعينات الدراسة. وتوضح الدراسات السابقة أن التمدد في الخرسانة⁽¹⁾ يقل عن 0.1% في الشهرين الأولين، أما النقص في مقاومة الخرسانة فهو أقل من 0.08% في نفس الفترة ولا يلاحظ أي تشققات أو تشوهات في العينات خلال هذه الفترة.

جدول (7) متوسط مقاومة الضغط

	Control	AI	AII	AIII	BI	BII	BIII	CI	CII	CIII
أيام 3	21.17	24.50	20.64	21.40	24.50	20.90	21.81	25.15	25.34	21.37
أيام 7	33.59	35.11	31.66	34.21	34.71	29.45	31.33	33.31	34.20	29.87
يوم 28	39.37	45.20	39.58	43.81	45.16	39.29	41.39	39.74	42.41	39.09

جدول (7) - تابع متوسط مقاومة الضغط

	Control	DI	DII	DII	EI	EII	EIII
3 أيام	21.17	25.74	22.67	17.85	26.55	24.74	22.83
7 أيام	33.59	34.61	32.75	25.22	40.77	34.15	34.55
28 يوم	39.37	44.01	42.15	31.42	46.70	43.20	40.49

باستخدام الصيغة التجريبية (Jambor's Model)⁽⁴⁾ يمكن تقييم درجة التآكل المسببة بالكبريتات (Degree Of Sulphate-Induced Corrosion) للخرسانة عند هجوم الكبريتات وفي وجود المواد البوزلانية كالتالي:-

حيث: DC درجة التآكل

S تعبر عن تركيز أيونات الكبريتات لمحلول الإختبار و تقاس بـ (mg/l)

t زمن الغمر ويقاس بالأيام

C₃A النسبة المئوية لمركب ألومينات الكالسيوم الثلاثية في الإسمنت البورتلاندي

وتعبر المعادلة أعلاه عن كمية الكبريتات المقيدة بالمادة الصلبة خلال الزمن. حيث وجد الباحث وجود ارتباط

بالكبريتات المقيدة الناتجة مع بيانات التغير الحجمي.

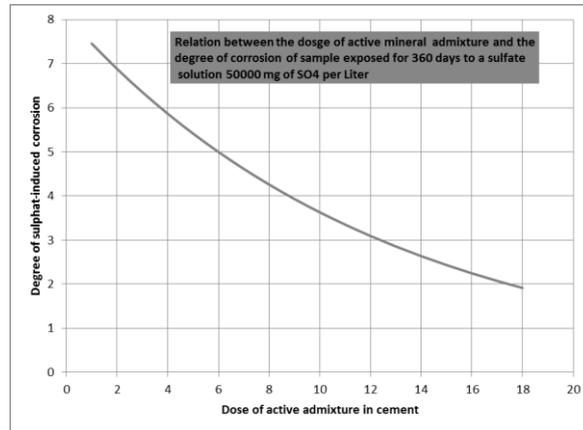
ويتم ضرب المعادلة أعلاه في العامل (η_a) في حال وجود مواد إسمنتية بديلة كالبوزلانا.

حيث A النسبة المئوية لكمية المواد المضافة بالنسبة للإسمنت البورتلاندي.

ويكمن ملاحظة أن درجة التآكل ترتبط بتركيز الكبريتات ومحتوى C₃A للإسمنت

وبتطبيق المعادلات أعلاه على العينات المدروسة لفترة 365 يوم و تركيز من الكبريتات مساوي لـ (50000 ملي

جرام/لتر) وتركيز ألومينات الكالسيوم الثلاثية مساوي لـ 7% يتم الحصول على المنحنى التالي:



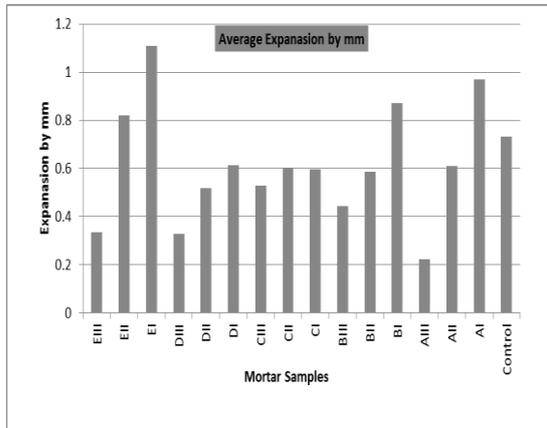
الشكل (1) التمدد في مكعبات إسمنتية لعينات مغمورة في مياه المعالجة لمدة 28 يوم

جدول (8) التمدد لعينات مكعبية للمونة الإسمنتية

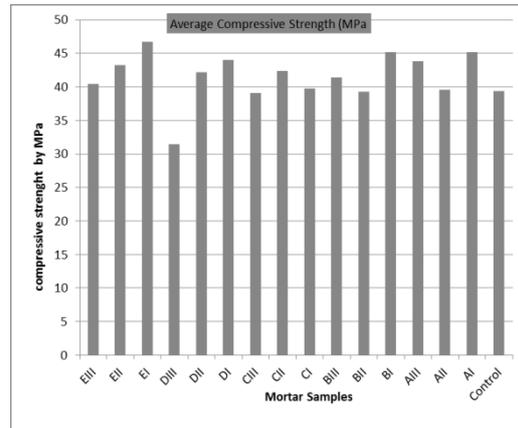
Control	AI	AII	AIII	BI	BII	BIII	CI	CII	CIII
0.733	0.970	0.610	0.225	0.870	0.585	0.445	0.595	0.600	0.530

Control	DI	DII	DIII	EI	EII	EIII
0.733	0.615	0.520	0.330	1.110	0.820	0.335

ومن خلال الجدول (7) يمكن الحصول على المخطط، شكل 2، لمقاومة الخرسانة على الضغط بعد 28 يوم؛ والجدول (8) الذي يوضح نتائج التمدد لعينات مكعبية لمونة إسمنتية بعد 28 يوم في ماء المعالجة فإنه يمكن الحصول على المخطط، شكل 3.



شكل (3) التمدد لعينات مكعبية للمونة الإسمنتية



شكل (2) متوسط مقاومة الضغط

5. الخلاصة

1. توصي كافة المواصفات بضرورة إجراء الإختبارات لمدة سنة كاملة على الأقل للتأكيد على فعالية البوزلانة الطبيعية في مقاومة هجوم الكبريتات ولذلك فإن النتائج التي سيتحصل عليها بعد عام ستكون هي الحكم على فعالية مادة الميتاكاولينة في تحسين متانة الخرسانة طبقاً لنسبة إضافتها.
2. بالمقارنة بمتطلبات المواصفة (ASTM C 618) والخاصة بخواص المواد البوزلانية الممكن إضافتها للخرسانة ومن خلال الجدول (4) يتضح مطابقة كل العينات للمواصفة المذكورة وإمكانية إستخدامها كماد إضافية للإسمنت للحصول على الإسمنت (Type 5) طبقاً للمواصفة (ASTM C 150) أو عند الحاجة لتحسين خواص الإسمنت ومتانة الخرسانة.
3. توضح النتائج الأولية والنتائج المأخوذة من الدراسات السابقة أن إضافة البوزلانا ستعمل على تحسين مقاومة الخرسانة لهجوم الكبريتات وهذا ما يظهر من منحنى المعادلة التجريبية؛ لكن مع التوضيح أنه لا يمكن الذهاب بعيداً في إضافة مادة الميتاكاولينا أكثر من 35% حسب ما يوصي به الكود الأمريكي في المواصفة (ACI 201.2R) تقادياً لاستنفاد هيدروكسيد الكالسيوم الناتج من إماهة الإسمنت وبقاء مواد طينية (البوزلانا) في الخرسانة دون تفاعل مما يؤثر على مقاومة ومتانة الخرسانة سلباً.

4. النتائج المبثنية خلال 28 يوم توضح أن أعلى مقاومة هي للعينة (EII) وأقل تمدد هو للعينة (AIII) مما يعطي مؤشراً على أفضلية العينة (AIII) خصوصاً وأنها تملك رابع أفضل مقاومة، وتتضمن على أعلى نسبة من المواد البوزلانية حسب التحليل الكيمائي للعينات الخمس في الجدول (4).
5. عند زيادة تركيز الكبريتات عن (10000 ppm) أي (Class 3 exposure) فإن دليل المواصفات الأميركية (ACI) لمتانة الخرسانة (ACI 201.2R) يوصي باستخدام الإسمنت (Type V) وهو إسمنت مخلوط بالبوزلانا أو لتحسين خواص الإسمنت نوعي (Type I & Type II) وذلك بنسبة ما بين 20% إلى 50% .

6. المراجع

1. Hamza M. A. Alamin, "Use Of Local Pozzolanic Material For Concrete Production", Sebha University, (2008).
2. J. M. Khatib, S. Wild, "Sulfate resistance of metakaolin concrete", Cement and Concrete Research, 28, (1) (1998) 83-92.
3. Nabil M. Alakhras, "Durability of Metakaolin to Sulfate Attack", Cement and Concrete Research", 36, (2006) 1727-1734 .
4. Jan S. Kalny, Jacques Marchand, Ivan Odler, "Sulfate Attack On Concrete", Spon Press, (2002) .
5. S. U. Al-Dulaijan, M. Maslenuddin, M. M. Al-Zahrani, M. Shameem, M. Ibrahim, "Sulphate Resistance Plained Blended Cement Exposed To Varying Concentration Of Sodium Sulphate", Cement and Concrete Composite Journal". 25, (2003) 421-437.
6. Rafat Siddique, Juvas Klaus, "Influence Of Metakaolin on the Properties of Mortar and Concrete", Applied Clay Science Journal, 43, (2009), 392-400.
7. Burak Felkohl, Kambiz, Kamil Tosun, Baris Musal, "Sulfate Resistance of Different Types of Portland Cement By Selecting The Appropriate methods", Construction And Building Journal, 20, (2006), 819-823.
8. N. Kaid , M. Cyr, S. Julien, H Khelafi, "Durability of Concrete Containing a Natural Pozzolan As Defined By A Performance-based Approach", Construction and Building Material Journal, 23, (2009).
9. Chiara F. Ferris, Paul E. Stutzman, Kenneth A. Snyder, "Sulfate Resistance of Concrete", Portland Cement Association (PCA), 2006.

صلاحية تربة منطقة الجبل الأخضر لأعمال الردم في الطرق والمنشآت

د. عمر رمضان الزروق
أستاذ مساعد
omerelzaroug@yahoo.com

د. عبد الخالق سلوم مهدي
أستاذ مساعد
abdulkhalekmahdi@ymail.com

قسم الهندسة المدنية - كلية الهندسة - جامعة عمر المختار - البيضاء - ليبيا

ملخص

المناطق الجبلية هي المصدر الأساسي للتربة والركام الحجري التي تُعد مواد أولية لتنفيذ أعمال الهندسة المدنية مثل المباني والطرق وشبكات الأنابيب والمشاريع المائية وغيرها حيث تدخل في تنفيذ طبقات الطرق والمطارات وتسوية أرضيات المباني وكذلك السدود وأنابيب الماء والصرف الصحي وهي أيضاً عنصر أساسي من مكونات الخرسانة. تعتبر منطقة الجبل الأخضر مصدراً غنياً لهذه المواد، وتختلف الصخور والأحجار المكونة لتربة هذه المنطقة من حيث التركيب والتكوين الجيولوجي بين مصدر وآخر.

يتضمن البحث دراسة صلاحية تربة عدد من المحاجر الواقعة ضمن هذه المنطقة لغرض إستعمالها في تنفيذ الأعمال الترابية لمختلف المشاريع: الطرق، أنابيب الماء والصرف الصحي، طبقات تسوية أرضيات المباني. تم إجراء الإختبارات اللازمة لغرض تصنيف التربة وتحديد درجة صلاحيتها لهذه الأعمال بموجب المواصفات العالمية المعتمدة.

من خلال النتائج تبين أن هنالك إختلاف بين تربة المحاجر حيث أن بعض أنواع التربة صالحة للإستعمال في تنفيذ أعمال الردم لمطابقتها للمواصفات المطلوبة بالرغم من الإختلاف في درجة الصلاحية (ممتاز إلى مقبول)، وبعض الأنواع غير صالحة بسبب عدم مطابقتها لهذه المواصفات.

1. المقدمة

يستخدم الركام الحجري لمختلف أعمال الهندسة المدنية حيث أن هنالك عدداً من المواصفات العالمية المعتمدة في تحديد خواص الركام المناسبة والصالحة لهذه الأعمال، وللأعمال الترابية في الردم وطبقات الطرق تكون هذه الخواص متعلقة بالترج الحبيبي والقوام والدمك الموقعي والمعملي^[1, 2] والتآكل^[3] وتستخدم عادةً مواصفات نظام آشتو ومواصفات النظام الموحد^[4] الخاصة بهذه الأعمال، وتجرى عادة الإختبارات المعملية والموقعية لتحديد تلك الخواص.

الجدول (1) يبين وصف مجاميع التربة لأعمال الردم وطبقات الطرق^[4] والمصنفة بموجب المواصفات المذكورة أعلاه والجدول (2) و (3) توضح المواصفات المعتمدة في أعمال الردم الترابي والطبقات الترابية للطرق^[3]. الشكل (1) يمثل مخطط اللدونة (القوام) للتربة^[5].

• متطلبات إضافية

1. نسبة التآكل (لوس أنجلوس) للركام الخشن لا تزيد عن 50%.
2. نسبة الحبيبات العابرة من غربال قياس 0.075 مم لا تزيد عن 3/2 من نسبة الحبيبات العابرة من غربال قياس 0.425 مم.

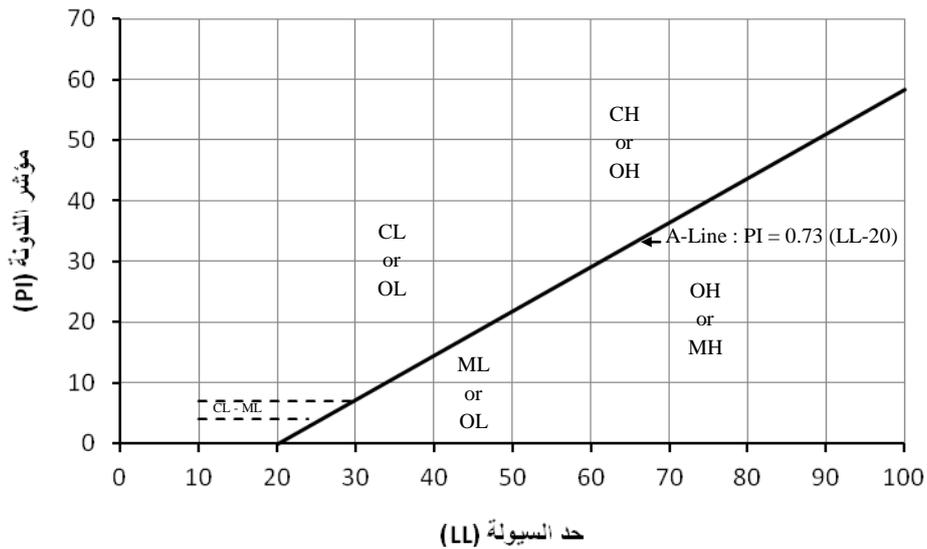
3. حد اللدونة لا يزيد عن 25% ومؤشر اللدونة لا يزيد عن 6% للحبيبات العابرة من غربال قياس 0.425 مم.

جدول (1): وصف صلاحية التربة لأعمال الردم وطبقات الطرق

نظام التصنيف	الإستخدام	الوصف العام	نسبة تحمل كاليفورنيا
A5, A6, A7	أساس ترابي	ضعيفة جداً	3 - 0
A4, A5, A6, A7	أساس ترابي	ضعيفة إلى مقبولة	7 - 3
A2, A4, A6, A7	تربة تحت الأساس	مقبولة	20 - 7
A1b, A2-5, A3, A2-6	تربة أساس وتحت الأساس	جيدة	50 - 20
A1a, A2-4, A3	تربة أساس وتحت الأساس	ممتازة	أكثر من 50

جدول (2): المواصفة الخاصة بطبقات الأساس وتحت الأساس لأعمال الطرق آشتو (M 147)

النسبة العابرة (%)						قياس الحبيبة
تدرج F	تدرج E	تدرج D	تدرج C	تدرج B	تدرج A	(مم)
-	-	-	-	100	100	50
100	100	100	100	95 - 75	-	25
-	-	60-100	50-85	75 - 40	65 - 30	9.5
70-100	55-100	50-85	35-65	60 - 30	55 - 25	4.75
55-100	40-100	40-70	25-50	45 - 20	40 - 15	2.00
30-70	20-50	25-45	15-30	30 - 15	20 - 8	0.425
8-25	6-20	5-20	5-15	20 - 5	8 - 2	0.075



شكل (1): مخطط اللدونة للتربة ناعمة الحبيبات

جدول (3): تصنيف وتسمية التربة بموجب مواصفة آشتو (M 145)

التصنيف العام	مواد حبيبية (35% أو أقل تمر من غربال رقم 200)							مواد طينية طميية (أكثر من 35% تمر من غربال رقم 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
تصنيف المجموعة	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
	التحليل الحبيبي (%)											
غريال قياس 2.00 مم	50 أقصى	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
غريال قياس 0.425 مم	30 أقصى	أقصى 50	51 أدنى	...	...	...	...	...	...	...	...
غريال قياس 0.075 مم	15 أقصى	أقصى 25	أقصى 10	أقصى 35	أقصى 35	أقصى 35	أقصى 35	أدنى 36	أدنى 36	أدنى 36	36 أدنى	
خصائص الحبيبات العابرة من غربال قياس 0.425 مم												
LL حد السيولة	...	...	أقصى 40	أدنى 41	أقصى 40	أدنى 41	أقصى 40	أدنى 41	أقصى 40	أدنى 41	41 أدنى
PI مؤشر اللدونة	6 أقصى	غير عجينية	أقصى 10	أقصى 10	11 أدنى	11 أدنى	أقصى 10	أقصى 10	أدنى 11	أدنى 11	11 أدنى	
المادة الرئيسية في تكوين التربة	أحجار، حصى ورمل		رمل ناعم	حصى طيني أو طمي ورمل			تربة طميية		تربة طينية			
التقويم العام كأساس ترابي	ممتازة إلى جيدة						مقبولة إلى رديئة					

2. البرنامج العملي

تم إختيار 24 عينة تربة ردم و20 عينة تربة طبقة أساس وطبقة تحت الأساس من مختلف مصادر الركام الحجري (المحاجر) الواقعة ضمن منطقة الجبل الأخضر، حيث أخذت عينات التربة [6، 7] وأجريت عليها الإختبارات المعملية اللازمة لغرض تحديد صلاحيتها وهي التحليل الحبيبي [8، 9] وحدود القوام [10، 11] ونسبة التآكل [12] المبينة نتائجها لاحقاً.

بالإعتماد على المواصفات (AASHTO M147 – AASHTO M145) المذكورة سابقاً تم تصنيف وتسمية عينات التربة ثم تحديد صلاحيتها لمختلف أعمال الردم الترابي ولطبقات الأساس وتحت الأساس في أعمال الطرق.

3. النتائج والمناقشة

1. أغلب عينات الردم الترابي هي صالحة للأعمال الخاصة بالاملاءات الترابية في المنشآت والطرق، بينما كان عدد قليل منها غير صالحة لهذه الأعمال (جداول 4 و5 و6). لوحظ أن العينتين (18 و23) قابلة للذوبان نسبياً في الماء وذلك لاحتوائها على نسبة معينة من ركام الحجر الطيني.

2. عينات الردم الترابي الصالحة كانت غالباً تمثل خليطاً من الحصى والرمل أو تربة رملية وتحتوي بعض العينات على نسبة قليلة من الغرين أو الطين، بينما العينات غير الصالحة فتمثل تربة غرينية أو طينية (جدول 6).
3. عينات تربة طبقة الأساس وطبقة تحت الأساس كانت أغلبها غير صالحة (جداول 7 و 8 و 9) حيث أن قسماً من هذه العينات (جدول 9) لم تحقق شرط التطابق مع إحدى المجموعات القياسية الخاصة بالتدرج الحبيبي للمواصفة (M 147) إضافة إلى عدم تحقيقها بعض الشروط المتعلقة بالمتطلبات الإضافية، والقسم الآخر من العينات لم تحقق أحد هذين الشرطين.
4. أجري إختبار التآكل (لوس أنجلوس) فقط على العينات التي حققت الشروط الأخرى للمواصفة (M 147) وكانت نسبة التآكل لهذه العينات هي ضمن حدود المواصفة المذكورة (جدول 8).
5. لوحظ في العينات (رقم 2 و 19 و 20) لتربة طبقة الأساس وطبقة تحت الأساس (جدول 8) أن هنالك إنحرافاً في واحد من شروط المتطلبات الإضافية للمواصفة (M147) المتعلق بمؤشر اللدونة واعتُبرت هذه العينات صالحة حيث أن نسبة الإنحراف قليلة لا تتجاوز 15%، وهذا يعتمد على أهمية المشروع ورأي الكادر الهندسي المشرف.
6. بصورة عامة فإن عدم صلاحية العينات لأعمال الردم الترابي أو طبقات الأساس وتحت الأساس لأعمال الطرق يمكن أن يكون ناتجاً من عدم إتباع الخطوات الهندسية اللازمة لعملية خلط الأحجام القياسية لحبيبات عينات التربة مما يسبب إنحرافاً في التدرج الحبيبي و/أو زيادة نسبة التربة الناعمة الحاوية على مواد طينية تساعد على زيادة قوام (لدونة) التربة، وبالتالي تكون العينات خارج حدود المواصفة المعتمدة.

جدول (4): نتائج إختبار التدرج الحبيبي لعينات الردم الترابي

رقم العينة	النسبة العابرة (%)			
	غريال 0.075 مم	غريال 0.425 مم	غريال 2.00 مم	غريال 4.75 مم
1	24.9	38.1	73.0	99.8
2	32.4	42.4	51.9	62.3
3	19.1	32.1	78.6	96.5
4	37.7	49.2	62.4	70.1
5	27.7	42.2	53.9	60.7
6	16.7	31.7	85.5	100
7	24.9	38.1	73.0	99.8
8	74.5	79.1	82.0	84.4
9	12.5	17.4	31.2	44.2
10	18.8	32.8	42.0	47.0
11	24.4	37.7	71.3	98.1
12	36.1	48.0	75.3	95.1
13	25.3	41.5	79.6	100
14	23.6	39.7	75.5	96.9
15	19.9	29.2	44.1	52.8
16	24.0	37.1	54.4	63.0

جدول (4) - تابع: نتائج إختبار التدرج الحبيبي لعينات الردم الترابي

النسبة العابرة (%)				رقم العينة
غريال 0.075 مم	غريال 0.425 مم	غريال 2.00 مم	غريال 4.75 مم	
33.0	45.0	62.6	78.8	17
اكتر من 50%	-	-	-	18
60.3	72.4	83.7	89.8	19
28.5	44.3	59.7	68.5	20
31.6	50.1	65.0	74.3	21
22.8	36.3	47.8	55.9	22
36.9	45.4	54.2	61.9	23
12.5	17.4	31.2	44.2	24

جدول (5): نتائج إختبار حدود القوام لعينات الردم الترابي

القوام	حدود القوام (%)			رقم العينة
	مؤشر اللدونة (PI)	حد اللدونة (PL)	حدد السيولة (LL)	
غير لدنة	0	19.5	19.5	1
غير لدنة	0	23.6	23.6	2
غير لدنة	0	18.5	18.5	3
واطئة اللدونة	7.8	25.0	17.2	4
غير لدنة	0	17.6	17.6	5
غير لدنة	0	17.3	17.3	6
غير لدنة	0	19.5	19.5	7
لدنة نسبياً	18.5	15.0	33.5	8
واطئة اللدونة	11.1	15.9	27.0	9
غير لدنة	0	20.8	20.8	10
واطئة اللدونة	9.9	15.0	24.9	11
واطئة اللدونة	14.4	19.0	33.4	12
واطئة اللدونة	8.2	15.2	23.4	13
واطئة اللدونة	11.1	19.5	30.6	14
واطئة اللدونة	8.6	14.1	22.7	15
غير لدنة	0	18.0	18.0	16
واطئة اللدونة	12.4	14.7	27.1	17
واطئة اللدونة	14.4	22.7	37.1	18
واطئة اللدونة	12.5	20.7	33.2	19
غير لدنة	0	14.8	14.8	20
غير لدنة	0	15.7	15.7	21
غير لدنة	0	21.5	21.5	22
واطئة اللدونة	13.5	19.6	33.1	23
واطئة اللدونة	11.1	15.9	27.0	24

جدول (6): تصنيف وتسمية عينات الردم الترابي (المواصفة M145 AASHTO)

رقم العينة	إسم المجموعة	التسمية	الوصف العام	الصلاحية
1	A-1-b	رمل حصوي	ممتاز	صالحة
2	A-2-4	خليط من الحصى والرمل الغريني	جيد	صالحة
3	A-1-b	خليط من الحصى والرمل	ممتاز	صالحة
4	A-2-4	خليط من الحصى والرمل الغريني	جيد	صالحة
5	A-4	تربة غرينية	ضعيف	غير صالحة
6	A-1-b	تربة رملية	جيد	صالحة
7	A-1-b	رمل حصوي	ممتاز	صالحة
8	A-6	طين غريني	ضعيف	غير صالحة
9	A-2-6	خليط من الحصى والرمل الطيني	جيد	صالحة
10	A-1-b	خليط من الحصى والرمل	ممتاز	صالحة
11	A-2-4	رمل غريني طيني	جيد	صالحة
12	A-6	تربة طينية	ضعيف	غير صالحة
13	A-2-4	رمل غريني طيني	ضعيف	صالحة
14	A-2-6	رمل حصوي طيني	جيد	صالحة
15	A-2-4	خليط من الحصى والرمل الغريني الطيني	جيد	صالحة
16	A-1-b	رمل حصوي	ممتاز	صالحة
17	A-2-6	خليط من الحصى والرمل الطيني	جيد	صالحة
18	A-6	تربة طينية	ضعيف	غير صالحة
19	A-6	تربة طينية	ضعيف	غير صالحة
20	A-2-4	خليط من الحصى والرمل الغريني	جيد	صالحة
21	A-2-4	خليط من الحصى والرمل الغريني	جيد	صالحة
22	A-1-b	خليط من الحصى والرمل	ممتاز	صالحة
23	A-6	تربة طينية	ضعيف	غير صالحة
24	A-2-6	خليط من الحصى والرمل الطيني	جيد	صالحة

جدول (7): نتائج إختبار التدرج الحبيبي لعينات تربة الأساس وتحت الأساس

رقم العينة	النسبة العابرة (%)						
	غريال 0.075	غريال 0.425	غريال 2.00	غريال 4.75	غريال 9.5 مم	غريال 25 مم	غريال 50 مم
1	12.4	14.6	18.1	21.4	26.6	42.7	84.6
2	6.6	9.6	18.6	26.2	47.2	85.6	100
3	3.4	4.5	16.5	27.8	38.7	70	100
4	13.4	18.2	25.8	34.4	45.4	77.9	98.7

جدول (7) - تابع: نتائج إختبار التدرج الحبيبي لعينات تربة الأساس وتحت الأساس

النسبة العابرة (%)							رقم العينة
غريال 0.075	غريال 0.425	غريال 2.00	غريال 4.75	غريال 9.5 مم	غريال 25 مم	غريال 50 مم	
15.5	21.4	34.1	40.8	43.4	68.1	100	5
10.8	16.9	28.5	33.5	40.4	68.9	100	6
37.8	43.6	49.1	52.8	58.0	68.9	84.2	7
22.6	31.3	40.3	46.7	54.7	71.2	88.3	8
32.5	41.9	54.1	61.8	69.1	82.0	93.2	9
22.0	27.6	36.1	43.3	52.0	71.8	91.8	10
24.6	36.4	46.6	52.9	59.3	72.3	93.0	11
18.9	23.6	30.7	36.3	43.8	61.9	86.7	12
6.5	16.8	31.8	41.2	42.1	69.3	100	13
16.9	23.3	31.2	39.2	48.0	72.1	96.0	14
16.5	23.6	31.3	38.8	46.2	63.8	100	15
12.1	17.5	27.1	32.9	45.8	91.8	100	16
2.6	4.1	17.4	32.1	45.2	76.6	100	17
11.0	14.8	21.4	29.1	43.3	91.2	100	18
9.2	13.7	19.0	24.2	35.4	76.7	100	19
13.6	19.6	28.4	36.6	49.6	84.0	100	20

جدول (8): نتائج إختبار حدود القوام ونسبة التآكل لعينات تربة الأساس وتحت الأساس

نسبة التآكل (%)	حدود القوام (%)			رقم العينة
	مؤشر اللدونة (PI)	حد اللدونة (PL)	حدد السيولة (LL)	
-	18.8	22.3	41.1	1
24.0	6.6	23.4	16.8	2
-	8.3	15.4	23.7	3
-	9.0	18.7	27.7	4
-	6.6	17.4	24.0	5
-	10.5	29.4	18.9	6
-	16.6	19.1	35.7	7
-	11.0	15.5	26.5	8
-	12.3	17.6	29.9	9
-	13.0	16.8	29.8	10
-	9.6	13.2	22.8	11
-	12.6	15.8	28.4	12
-	9.9	16.0	25.9	13
33.0	0	16.5	16.5	14
-	0	15.9	15.9	15
-	10.6	17.7	28.3	16
-	0	16.4	16.4	17

جدول (8) - تابع: نتائج اختبار حدود القوام ونسبة التآكل لعينات تربة الأساس وتحت الأساس

نسبة التآكل (%)	حدود القوام (%)			رقم العينة
	مؤشر اللدونة (PI)	حد اللدونة (PL)	حد السيولة (LL)	
34.3	6.0	13.1	19.1	18
40.0	6.9	13.4	20.3	19
38.8	6.9	15.5	22.4	20

جدول (9): تصنيف وتسمية تربة الأساس وتحت الأساس (المواصفة AASHTO M147)

رقم العينة	مجموعة التدرج الحبيبي	المتطلبات الإضافية	الصلاحية
1	-	غير مطابقة	غير صالحة
2	A	مطابقة	صالحة
3	-	غير مطابقة	غير صالحة
4	B	غير مطابقة	غير صالحة
5	B	غير مطابقة	غير صالحة
6	-	غير مطابقة	غير صالحة
7	-	غير مطابقة	غير صالحة
8	-	غير مطابقة	غير صالحة
9	-	غير مطابقة	غير صالحة
10	-	غير مطابقة	غير صالحة
11	-	غير مطابقة	غير صالحة
12	-	غير مطابقة	غير صالحة
13	A	غير مطابقة	غير صالحة
14	B	مطابقة	صالحة
15	-	غير مطابقة	غير صالحة
16	B	غير مطابقة	غير صالحة
17	-	غير مطابقة	غير صالحة
18	B	مطابقة	صالحة
19	A	مطابقة	صالحة
20	B	مطابقة	صالحة

4. الخلاصة والتوصيات

يتطرق البحث إلى التعرف على مدى صلاحية تربة منطقة الجبل الأخضر لأعمال الردم الترابي حيث تم أخذ عينات (عدد 20) من مختلف المحاجر لغرض إجراء اختبارات التحليل الحبيبي وحدود القوام ونسبة التآكل ثم تصنيفها بموجب المواصفتين (AASHTO M145 - AASHTO M147).

تمثلت التربة بعينات لأعمال الردم التريبي في الطرق والمنشآت وعينات لطبقتي الأساس وتحت الأساس لأعمال الطرق حيث كانت أغلب عينات تربة أعمال الردم الترابي هي صالحة بينما كانت أغلب عينات تربة طبقتي الأساس وتحت الأساس غير صالحة نتيجةً إلى الانحراف في التدرج الحبيبي أو تجاوز قيم حدود القوام للعينة عن تلك

المحددة في المواصفة، وعادةً يكون السبب ناتج من الخلل في عملية خلط مختلف الأحجام القياسية لحبيبات التربة وكذلك في طريقة أخذ العينات من الموقع.

يمكن التوصية بمعالجة الخلل المذكور أعلاه وذلك بالإشراف الهندسي في عملية خلط الأحجام القياسية لحبيبات التربة وطريقة أخذ العينات، كذلك يوصى بإجراء إختبارات أولية لتربة المحاجر قبل إعتماها للإستعمال في أعمال الهندسة المدنية.

5. المراجع

- [1] Lambe, T. W. and Whitman, R. V., 1979, "Soil Mechanics, SI Version", John Wiley & Sons, New York.
- [2] Head, K. H., 1984, "Manual of Soil Laboratory Testing Vol. 1", ELE International Limited, PENTECH PRESS, London.
- [3] Atkins, H. N., 1983, "Highway Materials, Soil and Concretes", Prentice Hall.
- [4] Bowles, J. E., 1986, "Engineering Properties of Soils and Their Measurement", McGraw-Hill Book Company, New Delhi.
- [5] Das, B. M., 2002, "Soil Mechanics: Laboratory Manual", Oxford university Press.
- [6] American Society for Testing Materials: ASTM D 420: Field collection of soil samples.
- [7] American Association of State Highway and Transportation Officials: AASHTO T86; Field collection of soil samples.
- [8] American Society for Testing Materials: ASTM D 421- D 422; Standard practice for grain size analysis of soil.
- [9] American Association of State Highway and Transportation Officials: AASHTO T87- 88; Standard practice for grain size analysis of soil.
- [10] American Society for Testing Materials: ASTM 4318; Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soil.
- [11] American Association of State Highway and Transportation Officials: AASHTO T89- 90; Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soil.
- [12] American Society for Testing Materials: ASTM C131-96; Standard test methods for abrasion test.

الجدوى الاقتصادية من استعمال السقوف ثنائية الأعصاب بالبلوكات المفرغة

أ. عماد عبد المجيد ياسين السعدي (العراق) د. محمد سلمان اللامي (العراق) د. مسعود حركات رحومة (ليبيا)
أستاذ مساعد أستاذ مساعد أستاذ مساعد

كلية الهندسة صبراتة - جامعة الزاوية (ليبيا)

mhrhuma@yahoo.com msallamy56@yahoo.com iaa56@yahoo.com

ملخص

يهدف البحث إلى إجراء دراسة كمية حجم الخرسانة ومساحة حديد التسليح المستعملتين في السقوف ثنائية الأعصاب بالبلوكات المفرغة "Two way Ribbed slabs & Hollow Blocks" ومقارنتها مع نظيرتها في السقوف المصمتة ثنائية الإتجاه "Two way solid slabs" من خلال تحليلها إنشائياً بالطرق التالية:

1- طريقة التحليل كسقوف ثنائية الأعصاب بالبلوكات المفرغة

2- طريقة المعاملات M2 "Coefficient Method 2" سقوف مصمتة ثنائية الإتجاه

3- طريقة التصميم المباشر "Direct Design Method" DDM كسقوف مصمتة ثنائية الإتجاه

تضمنت الدراسة تحليل و تصميم عدد (68) سقف الموضح إحداهما في الشكل (1) مع كمراتها الساقطة بعدد (272) و كمرات أعصابها بعدد (272)، حيث تختلف السقوف بمواصفاتها التالية:

• الأحمال - وتضمنت حالتين من التحميل - حالة التحميل الأولى $(WU=5.8 - 8.7) KN/m^2$ - الحمل الكلي يتكون من الأحمال الميتة الممثلة بالوزن الذاتي للسقف فقط (S.W) والأحمال الحية ($WL=2 KN/m^2$)، وحالة التحميل الثانية $(WU=10.6-13.5) KN/m^2$ - الحمل الكلي يتكون من الوزن الذاتي للسقف و حمل إضافي مقداره $(4 KN/m^2)$ والأحمال الحية $(WL = 2 KN/m^2)$.

• نسبة بعدي كل لوح - تم اختيار نسبة طول البعد القصير إلى البعد الكبير (صغيرة، متوسطة وكبيرة)
 $r=0.5,0.7,1.0$

• طول البعد الطويل لفضاءات ألواح السقف- تم اختيار الأطوال الصغيرة والمتوسطة والكبيرة نسبياً $L1= 4m, 6m, 7m, 8m$

وتم التوصل إلى أن طريقة المعاملات M2 تفضل في التحليل و التصميم لسهولتها و اقتضا ديتها في كمية حديد التسليح بنسبة فرق تراوحت ما بين (10.0 - 42.80)% لحالة التحميل الأولى و (14.30 - 38.80)% لحالة التحميل الثانية مقارنة مع نظيرتها.

المقدمة

تعتبر السقوف الخرسانية المسلحة (البلاطات) "Reinforced concrete slabs" من أكثر العناصر الإنشائية شيوعاً لتحمل الأحمال العمودية التي تسلط على سطحها، مثل سقوف المباني والمنشآت، و تعتبر معظم العناصر الخرسانية غير محددة إستاتيكية بسبب صب عناصرها مدمجة مع بعضها البعض ملينياً " monolithic structures"، و تتركز هذه السقوف إما على جدران "Walls" أو كمرات ساقطة و تسمى ظاهرياً (بارزة من السقف) "Project Beams or Drop Beams" أو على الأعمدة مباشرة، و تعتبر الكمرات الحاملة للسقوف أكثر

جساءة من السقوف نفسها حيث يحدث لها ترخيم غير نسبي بالمقارنة بالترخيم المناظر للسقوف المسلطة عليها، وفي الغالب تكون السقوف مستطيلة الشكل وأحيانا مثلثية أو دائرية أو شبه منحرفة. إن الأحمال المسلطة على السقوف تنتقل إلى مساند الكمرات (الركائز) المحمولة عليها عن طريق عزوم الإنحناء "Bending Moments" وقوى القص "Shear Forces" وقوى اللي "Twisting Moments".

أنواع السقوف الخرسانية المسلحة

من أهم أنواع السقوف الخرسانية المسلحة "R . C . Slabs":

أولا : السقوف المصمتة و تصنف إلى ما يلي

1- السقوف المصمتة أحادية الإتجاه (ذات الإتجاه الواحد) "One - way slabs"

وتكون مستطيلة الشكل مستندة على جانبن متوازيين فقط وتقاوم الأحمال المسلطة عليها بالإنحناء في الإتجاه العمودي علنالمساند، وغالبا ما يمكن اعتبارها كمرات ضحلة "Shallow Beams" من ذات العرض الكبير أو تكون مستندة على أربعة جوانب إذا ما كان طولها كبيرا جداً بالمقارنة بعرضها أي أن نسبة طول البعد الكبير إلى الصغير أكبر من (2).

2- السقوف المصمتة ثنائية الإتجاه (ذات الاتجاهين) "Tow - way slabs"

وتكون مستطيلة الشكل ذات الطول غير الكبير نسبيا مقارنة بعرضها أي أن نسبة البعد الكبير إلى البعد القصير أصغر أو تساوي (2) وتستند هذه السقوف على أربعة جوانب و تقاوم الأحمال المسلطة عليها عن طريق الإنحناء في الاتجاهين المتعامدين.

3- السقوف المصمتة المسطحة (اللاكمرية ، الفطرية)

وهذا النوع من السقوف يكون مستندا مباشرة على الأعمدة بدون كمرات وهي على نوعين: النوع الأول يسمى "Flat Plate slab" وهذا النوع يكون طول الفضاءات ليس كبيرا والأحمال المسلطة على السقوف ليست عالية أيضا، أما النوع الثاني فيسمى "Flat slabs" و يستخدم هذا النوع في المساحات الكبيرة وفي حالات الأحمال العالية ولذا تتولد في هذا السقوف عزوم إنحناء وقوى قص كبيرة في المناطق المجاورة وحول الأعمدة المستندة عليها وعليه يتطلب عمل ما يسمى بالتاج عند نهاية الأعمدة المتصلة بالسقوف، وفي حالة إجهادات الإنحناء وقوى القص على الأعمدة كبيرة ولا يمكن لسلك السقوف مقاومتها فيتم زيادة سمك السقوف حول تيجان الأعمدة وما يسمى بالـ "drop" لغرض تقليل إجهادات الإنحناء و القص .

ثانيا : السقوف غير المصمتة و تصنف إلى ما يلي

1-السقوف وافل "Waffle Slabs": و في هذا النوع من السقوف يتم عمل تجاويف منتظمة في داخل سمك السقوف المسطحة والتي بدورها تنشأ مجموعتين من الأعصاب في الإتجاهين المتعامدين بداخل سمك السقف ويمكن تشكيل التجاويف المستعملة بالبلوكات والتي يمكن إزالتها أو تركها في أماكنها في السقوف، وهذا النوع من السقوف غير محدد إستاتيكية بدرجة عالية نتيجة لوجود بداخلها مجموعة كمرات متقاطعة (أعصاب) بمسافات متقاربة مما يسبب في تولد مسارات متعددة لسريان الأحمال، و تكون طرق التحليل المرن الخاص بهذه السقوف في غاية التعقيد خاصة عند تعرضها للأحمال غير المنتظمة ومعقدة وذات

حالات نهايات معقدة في صورة شبكة، لذا تطبق طريقتا العناصر "Finite Elements Method" وطريقة الفروقات المحددة "Finite differences Method" وتطبق نظرية خط الخضوع "Yield Line Theory" وطريقة الشرائح "Strip Method" لتحديد حمل الإنهيار "Collapse Load" وشكل آلية الإنهيار (الغسل) أي تحديد أبعاد خطوط الخضوع في هذه السقوف.

2- السقوف ذات الأعصاب: وتسمى أيضا ذات البلوكات المفرغة وتكون على نوعين إما سقوف أحادية الأعصاب وتكون ذات كمرات صغيرة باتجاه واحد، والنوع الثاني سقوف ثنائية الأعصاب وتكون ذات كمرات صغيرة في الإتجاهين المتعامدين. وفي كلا النوعين تكون المسافة ما بين كل عصبين متجاورين لا تزيد عن واحد متر. وعند استعمال هذا النوع من السقوف يتم تجميع حديد تسليح منطقة الشد في السقوف المصممة و جعله في صورة كمرات الأعصاب "Ribs" و تصب مليثيا مع شفة خرسانة السقف المعرضة للضغط "Compression Flange" لتوفير الخرسانة المستعملة في منطقة الشد، مما يؤدي لتخفيف الوزن المسلط المصمت الثقيل للسقف و يجعلها أيضا تتحمل كثافة كبيرة. و عند تنفيذ هذا النوع من السقوف تكون البلوكات المفرغة تعمل كقوالب دائمة (مثل بلوكات الهوردي) وهذا مما يعطي أسفل السقف شكلا أفقيا مسطحا وهذا ما تتطلبه كثير من المباني وخاصة المنازل السكنية والمنشآت الإدارية، ويمتاز هذا النوع من السقوف بالعزل الحراري؛ أو تعمل البلوكات كقوالب مؤقتة حيث يتم إزالتها بعد انتهاء عملية الصب والمعالجة ورفع القوالب ولكن هذا النوع يتطلب إنهاء جيد جدا، وتستند هذه السقوف بأنواعها على جدران أو على كمرات بنفس سمك السقف "Hidden Beams" أو على كمرات بارزة عن السقف و تسمى كمرات ساقطة "Drop Beams". و غالبا ما يستعمل هذا النوع من السقوف في المساحات ذات البحور (5m - 7m) بدون كمرات ساقطة وفي حالة الأحمال الحية العالية، وتستعمل السقوف ثنائية الأعصاب لمساحات أكبر (36m²) وبفضاءات (6m X 6m) فأكثر وحتى مساحات حوالي (100m²). ومن مساوئ سقوف الأعصاب بصورة عامة عدم مقاومتها للأحمال الميكانيكية.

3- سقوف ذات كمرات متصلبة في الإتجاهين مستندة على كمرات ساقطة أو جدران بالإضافة إلى كمرات الأعصاب، والمسافة بين الأعصاب تزيد عن واحد متر وغالبا ما تكون (1.5m - 3m).

التحليل والتصميم الإنشائي للسقوف

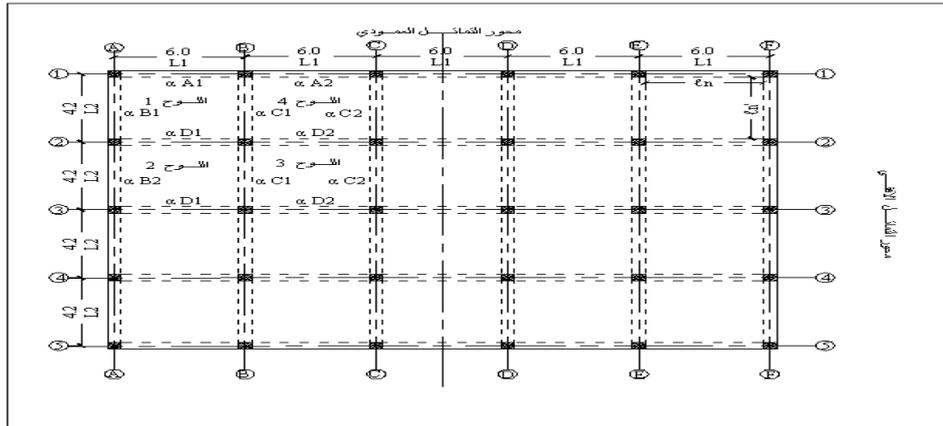
1- طريقة تحليل السقوف ثنائية الأعصاب بالبلوكات المفرغة -- "TW-R" (13.9.8.7)

في هذا النوع من السقوف تكون الأعصاب "Ribs" في الإتجاهين المتعامدين (الطويل والقصير)، الشكل (1)، ويكون اتجاه الأحمال بنفس اتجاه الأعصاب في الإتجاهين الطويل والقصير، ويعتمد على أبعاد البلوكات الخرسانية المفرغة المستعملة فيه وكما موضح في الشكل (2). والجدول رقم (1) يوضح وزن المتر المربع للسقف.

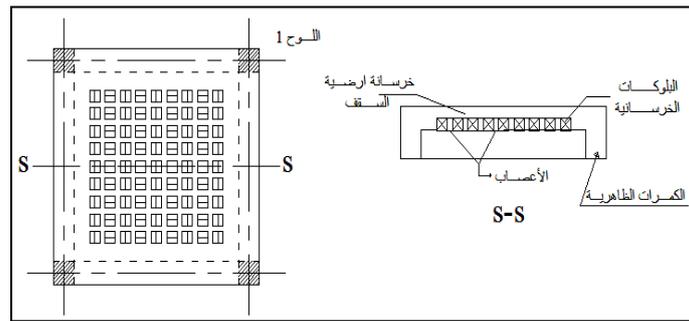
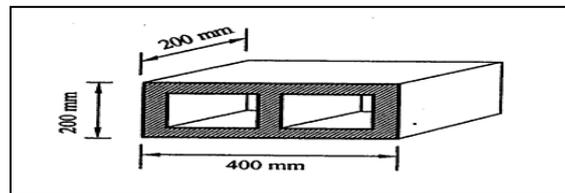
تفاصيل السقف

تعتمد على الشروط التالية والموضحة تفصيلها في الشكل (3)

1- أقصى مسافة بين الأعصاب $e \leq 700\text{mm}$ ، وتم استعمال طول البلوكة $e = 400\text{mm}$



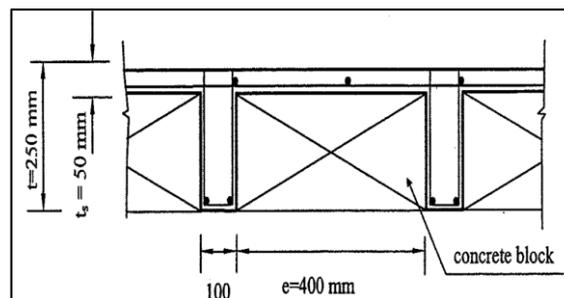
شكل (1) المسقط الأفقى لسقف بأبعاد الألواح (6م X م 4.2) $r = 0.7$



شكل (2) أبعاد البلوكات الخرسانية المفرغة المستعملة وتوزيع البلوكات والأعصاب والكمرات الظاهرية لأحد ألواح السقف ثنائية الأعصاب

جدول (1) أبعاد البلوكات الخرسانية المفرغة ووزن المتر المربع للسقف "WB"

وزن المتر المربع "WB" (KN/m^2)	البلوكات الخرسانية
3.36	400x200x150
3.80	400x200x200
4.78	400x200x250
1.2	500x400x200



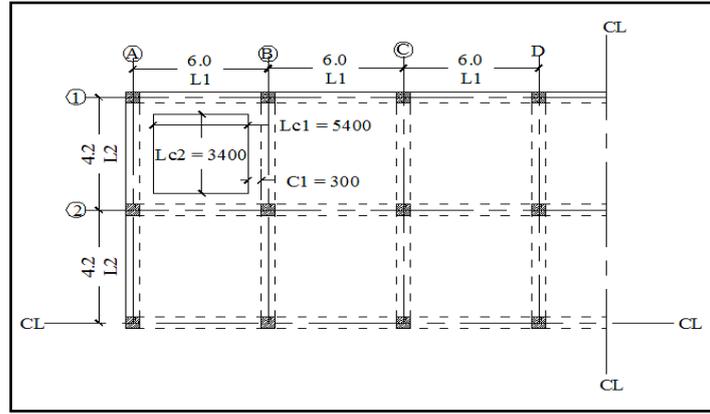
شكل (3) تفاصيل السقف

2- سمك خرسانة أرضية السقف فوق الأعصاب:

3- السمك الكلي للسقف (سمك خرسانة أرضية السقف + سمك العصب):

4- عرض كمرات الأعصاب:

5- النسبة بين البعد الطويل إلى البعد القصير لا تتجاوز (1.5) : $6r = L1/L2 < 1.5$ - عدد كمرات الأعصاب ما بين الكمرات الظاهرية NR تعتمد على المسافة الصافية ما بين الكمرات الظاهرية Lc_i والمسافة ما بين الكمرات الظاهرية ووجه البلوكة المجاورة لها C_i وتتراوح قيمة C_i ما بين (300 - 500) mm ولكل اتجاه والشكل (4) يوضح ذلك، وتحسب من $Lc_i = Li - 2C_i, Lc_i = 500 * NR + 400$



شكل (4) مواقع المسافة (C1, C2, Lc1, Lc2) للوح 1 للسقف بأبعاد الألواح (4.2m x 6m) $r = 0.7$

6- أحمال السقف:

$$WU = 1.2 * [\text{weight of blocks} + \text{flooring} + \text{additional loads}] "WB" + 1.6 * WL$$

7- تسليح خرسانة أرضية السقف ثنائية الأعصاب في الإتجاهين المتعامدين (الطويل والقصير) بحديد تسليح في الطبقة السفلى بعدد (5Ø8) لكل متر طول.

تحليل هذا النوع من السقوف يعتمد على نوع الكمرات المستعملة فيها وتكون على نوعين:

- 1- السقوف ذات الكمرات المخفية Hidden Beams تعامل على أنها سقوف مسطحة Flat Slabs.
- 2- السقوف ذات الكمرات الظاهرية Project Beams وتقسّم إلى حالتين إعتقاداً على الأحمال الحية ونوع منطقة الضغط في الشفة Flange، والجدول رقم (2) يوضح ذلك. وفي البحث تم اعتماد النوع الثاني في تحليل السقف حيث إن شفة غير كاملة الضغط "غير تام".

جدول (2) طرق التحليل اعتمادا على الأحمال الحية المسلطة على السقف

Compression flange case نوع الضغط في الشفة	Live load value	
Complete Compression flange شفة كاملة الضغط " تام "	Use Marcus تطبيق طريقة ماركس	Use Grashoff تطبيق طريقة كراشوف
Incomplete Compression flange شفة غير كاملة الضغط " غير تام "	Use Grashoff	Use Grashoff

الكمرات

1- الأحمال:

أ- تحسب الأحمال التصميمية للأعصاب في الإتجاه الطويل وفي الإتجاه القصير من العلاقتين التاليتين على التوالي:

$$WU_{\alpha/Rib} = \alpha * WU * (e + b_{rib}) \quad \text{الإتجاه القصير}$$

$$WU_{\beta/Rib} = \beta * WU * (e + b_{rib}) \quad \text{الاتجاه الطويل}$$

قيم المعاملات (α, β) بطريقة كراشوف (Grashoff) تعتمد على نسبة أبعاد لوح السقف الموضحة في الجدول رقم (3).

الجدول (3) قيم معاملات (α, β) الأحمال على كمرات الأعصاب لطريقة كراشوف للسقوف ثنائية الأعصاب

r	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
	0.500	0.595	0.672	0.742	0.797	0.834	0.867	0.893	0.914	0.928	0.941
	0.500	0.405	0.328	0.258	0.203	0.166	0.133	0.107	0.086	0.072	0.059

ب- تحسب الأحمال التصميمية للكمرات الظاهرية "Project beams" في الإتجاه الطويل وفي الإتجاه القصير من العلاقتين التاليتين:

$$WU_{\alpha/Rib} = \alpha * WU_{RIB} * SPACING + 1.2 (bw * hw * \gamma_c) \quad \text{الإتجاه القصير}$$

$$WU_{\beta/Rib} = \beta * WU_{RIB} * SPACING + 1.2 (bw * hw * \gamma_c) \quad \text{الإتجاه الطويل}$$

قيم المعاملات (α, β) بطريقة كراشوف (Grashoff) تعتمد على نسبة أبعاد لوح السقف الموضحة في الجدول رقم (4).

الجدول (4) قيم معاملات (α, β) الأحمال على كمرات الظاهرية لطريقة كراشوف للسقوف ثنائية الأعصاب

r	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
	0.667	0.725	0.769	0.803	0.830	0.853	0.870	0.885	0.897	0.908	0.917
	0.500	0.554	0.582	0.615	0.642	0.667	0.688	0.706	0.722	0.737	0.750

$$M_u = \frac{WU_{\alpha \text{ or } \beta} * L^2}{K} \quad \text{-2 العزوم: تحسب من العلاقة}$$

حيث أن K تمثل معاملات العزوم، والشكل (5) يوضح مواقعها على الكمرات الظاهرية و كمرات الأعصاب .

-24	-9	-24	فضائين مستمرين
△ +11	△ +11	△	
-24	-10	-12	ثلاثة فضاءات
△ +10	△ +12	△	مستمرة أو أكثر

شكل (5) معاملات العزوم K

3- التسليح الرئيسي: أعتمدت في البحث العلاقات $f'c = 27.5 \text{ MPa}$, $f_y = 420 \text{ MPa}$

$$d = KI \sqrt{\frac{M_u}{f'c * B}} , A_s = \frac{M_u}{j * d * f_y} , A_{s-\min} = 2\phi 10 , A_{s-\max} = 2\phi 22$$

4- تسليح القص: تسليح كمرات الأعصاب بحديد تسليح القص (5Ø8).

ونظمت نتائج إجمالي مساحات حديد تسليح الأعصاب وعدد الأعصاب لحالتي التحميل في الجدول رقم (5).

جدول (5) عدد الأعصاب ومساحة حديد تسليح الأعصاب في الاتجاهين الطويل والقصير لحالتي التحميل الأولى والثانية

الإتجاه القصير					الإتجاه الطويل					r	أبعاد اللوح (m)
حالة التحميل الثانية		حالة التحميل الأولى		عدد الأعصاب	حالة التحميل الثانية		حالة التحميل الأولى		عدد الأعصاب		
مساحات	مساحات	مساحات	مساحات		مساحات	مساحات	مساحات	مساحات			
حديد تسليح	حديد تسليح	حديد تسليح	حديد تسليح	عدد الأعصاب	حديد تسليح	حديد تسليح	حديد تسليح	حديد تسليح	عدد الأعصاب	0.7	2.8X4.0
العصب	العصب	العصب	العصب		العصب	العصب	العصب	العصب		1.0	4.0X4.0
جميع الأعصاب	الواحد	جميع الأعصاب	الواحد		جميع الأعصاب	الواحد	جميع الأعصاب	الواحد		0.7	4.2X6.0
(cm ²)	(cm ²)	(cm ²)	(cm ²)		(cm ²)	(cm ²)	(cm ²)	(cm ²)		1.0	6.0X6.0
37.68	3.14	37.68	3.14	12	94.2	3.14	94.2	3.14	30	0.7	2.8X4.0
75.36	3.14	75.36	3.14	24	94.2	3.14	94.2	3.14	30	1.0	4.0X4.0
75.36	3.14	75.36	3.14	24	157	3.14	157.0	3.14	50	0.7	4.2X6.0
125.60	3.14	125.60	3.14	40	157	3.14	157.0	3.14	50	1.0	6.0X6.0
87.92	3.14	87.92	3.14	28	188.4	3.14	188.4	3.14	60	0.7	4.9X7.0
156.19	3.25	150.72	3.14	48	196.8	3.28	188.4	3.14	60	1.0	7.0X7.0
113.04	3.14	113.04	3.14	36	254.8	3.64	219.8	3.14	70	0.7	5.6X8.0
220.86	3.94	175.84	3.14	56	278.6	3.98	219.8	3.14	70	1.0	8.0X8.0

2- تحليل و تصميم السقوف ثنائية الإتجاه بطريقة المعاملات (M2)⁽¹¹⁾ [Coefficients Method 2]

شروط ومحددات الطريقة

1- يقسم السقف إلى مجموعة ألواح مستتدة على كمرات (مساند) عند الجوانب الأربعة كما موضح في الشكل (1).

2- يكون السقف مصمما أو مزلعا "Solid or Ribbed" وبألواح غير مستمرة (منفصلة) أو مستمرة "Continuous or Discontinuous" ومستندا من جميع الجوانب على جدران أو كمرات (مساند) مصبوبة مدمجة مع السقف أو غير مدمجة.

3- اللوح ذو نسبة الطول القصير إلى الطول الطويل ($r = L2/L1$) أكبر أو تساوي (0.5) فيعامل اللوح كسقف ثنائي الإتجاه، ويقسم اللوح إلى شريطين عموديين "Tow Column Strip" مجاورين لمسندي اللوح CS ببعده يساوي ربع طول اللوح القصير وشريط وسطي "Middle Strip" ms بطول يساوي الطول الباقي من اللوح لكل إتجاه بموجب الكود الأمريكي⁽³⁾.

4- تعتمد الطريقة في التحليل على مجموعة معاملات لعزوم الشريط الوسطي ms لمختلف حالات الإسناد للألواح، حيث تكون معاملات العزوم السالبة عند نهايتي اللوح "عند وجهي المسندين الداخليين"، و معاملات العزوم الموجبة على طول مركز اللوح في الإتجاهين القصير والطويل، وتعتمد معاملات العزوم على النسبة (r) لكل لوح من ألواح السقف. والأخذ بنظر الإعتبار تعديل العزوم السالبة للألواح المتجاورة.

$$M_{ms-s \text{ or } L} = C_f * WU * L_s^2 \text{ (اللوحة من العلاقة } M_{ms} \text{)}$$

حيث أن :-

$$C_f \text{ : معامل عزم الشريط الوسطي ، } C_{f-s} \text{ : الإتجاه القصير ، } C_{f-L} \text{ : الإتجاه الطويل}$$

$$L_s \text{ : القيمة الأصغر من العلاقتين } L_s = \ell_n' + 2hs \text{ ، } L_s = L2$$

ويتم إيجاد قيم معاملات العزوم لنسبة (r) غير الموجودة في الجدول بتطبيق الإستكمال على العلاقة الخطية لقيم

$$M_{CS-SorL} = \frac{1}{3} * M_{ms-SorL} \text{ العلاقة } M_{CS} \text{ لعمود شريط العمود}$$

5- يحسب سمك السقف h_s حسب الكود الأمريكي⁽³⁾ الفقرة 9.5.3.3 والتي بموجبها يتم حساب الحد الأدنى لسمك السقف الذي يكون ضمن حدود الإنحراف وكما يلي:-

. عندما تكون قيمة α_m أصغر من أو تساوي 0.2 فتطبق الفقرة 9.5.3.2 لحساب السمك.

. عندما تكون قيمة α_m أكبر من 0.2 وأصغر من 2.0 فيحسب السمك من العلاقة التالية:-

$$hs \geq \frac{\ell_n(0.8 + fy/1400)}{36+5\beta(\alpha_m - 0.2)} \geq 125mm$$

. عندما تكون قيمة α_m أكبر من 2.0 فيحسب السمك من العلاقة التالية :-

$$hs \geq \frac{\ell_n(0.8 + fy/1400)}{36 + 9\beta} \geq 90mm$$

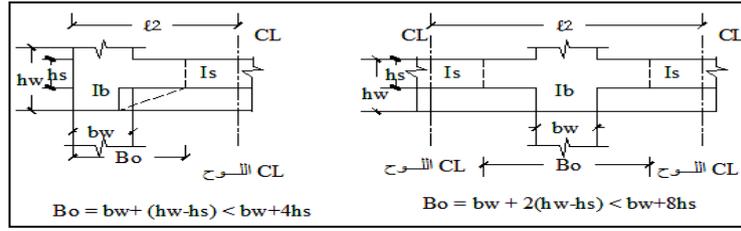
. في حالة عدم إستمرارية جوانب السقف المستندة على كمرات ونسبة جساءة الكمرات الخارجية (edge beam)

لا تقل عن ($\alpha = 0.8$) أو الحد الأدنى للسمك المحسوب من العلاقتين السابقتين فيجب زيادته بمقدار لا يقل

عن 10 % لذلك اللوح.

و تحسب جساءة الكمرات الخارجية α من العلاقة الموضح تفصيلها بالآتي:-

والشكل (6) يوضح تفاصيل الأبعاد للكمريتين الخارجية والداخلية.



ب- كمر خارجي

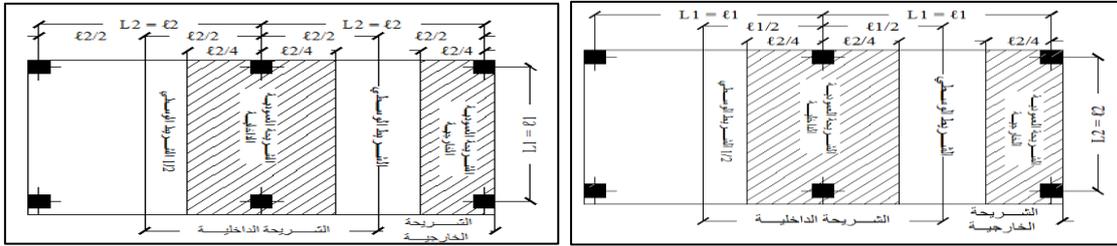
أ- كمر داخلي

شكل (6) تفاصيل الكمرتين الخارجية والداخلية

3- طريقة التحليل والتصميم المباشر للسقوف الخرسانية ثنائية الإتجاه (3.1) Direct Design Method (DDM)

شروط ومحددات الطريقة

1- يقسم السقف إلى شرائح أفقية وعمودية الموضحة في الشكل (7)، علماً بأن السقف مقسم في الإتجاهين إلى ألواح مستندة على كمرات.

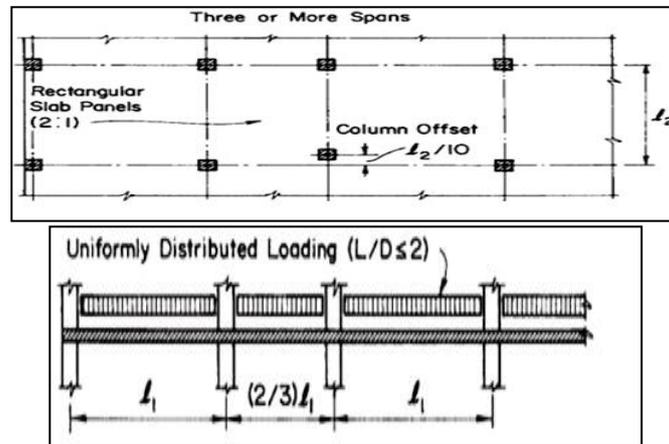


(ب) الشرائح التصميمية في الإتجاه القصير

(أ) الشرائح التصميمية في الإتجاه الطويل

شكل (7) الشرائح التصميمية للسقف

- 2- أن يكون السقف ذا ثلاثة ألواح مستمرة مع بعضها في كل اتجاه كحد أدنى.
- 3- أن تكون نسبة r ما بين طول الفضاء الطويل إلى القصير أصغر من (2).
- 4- الألواح المتعاقبة مع بعضها البعض وفي كل اتجاه من السقف لا تتغير في مقدار طول فضاءها عن (1/3) من طول أكبر فضاء لتلك الألواح في ذلك الإتجاه كما موضحة في الشكل (8).
- 5- أن تكون الأحمال المسلطة على السقف منتشرة ومنظمة التوزيع ونسبة الأحمال الحية (WL) إلى الأحمال الميتة (WD) أصغر من أو تساوي 2، كما موضحة في الشكل (8).



شكل (8) محددات و شروط طريقة DDM

6- يسمح بانحراف أحد الأعمدة عن محور الأعمدة (10%) من طول فضاء اللوح الذي يتغير فيه موقع العمود باتجاهه وعموديا علي ذلك المحور، كما موضح في الشكل (8).

7- الجساءة النسبية لكل كمرتين متعامدتين في السقف تكون ضمن العلاقة $0.2 \leq \alpha_0 = \frac{\alpha_1 \ell_2^2}{\alpha_2 \ell_1^2} \leq 5.0$

8- يتم حساب سمك السقف بنفس الخطوات التي ذكرت في طريقة المعاملات M2.

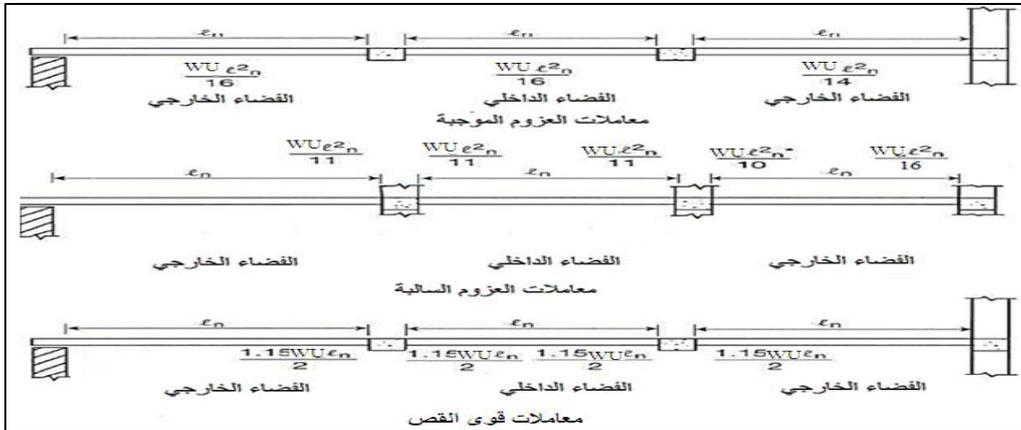
9- حساب العزم التصميم للشريحة من العلاقة $M_0 = \frac{WU \ell_2 \ell_n^2}{8}$

10- يوزع العزم (M_0) كنسبة مئوية إلى عزوم على الكمرات وعزوم موجبة وسالبة على الفضاءين الداخلي والخارجي للشريحة بموجب الفقرتين 13.6.3.2 و 13.6.3.3 في الكود الأمريكي⁽³⁾، والفقرة 13.6.7 في الكود⁽³⁾ تشير إلى تعديل العزوم بمقدار 10% في حالة مجموع العزوم السالبة والموجبة أقل من قيمة العزم M_0 .

11- توزع نسبة العزوم السابقة إلى عزوم للشريط العمودي (M_{cs}) وعزوم للشريط الوسطي (M_{ms}) للشريحة، وتحسب العزوم التصميمية السالبة والموجبة لشريط العمود بموجب فقرات الكود⁽³⁾ أرقام 13.6.4.1 ، 13.6.4.2 ، 13.6.4.4 و 13.6.4.

تصميم الكمرات

صممت الكمرات لطريقتي المعاملات M2 والتصميم المباشر بعد تسليط أحمال ألواح السقف عليها بموجب الكود الأمريكي⁽³⁾ باعتماد معاملات العزوم والقص الموضحة في الشكل (9)، مع الاخذ بنظر الإعتبار أحادية وثنائية التسليح والمقاطع الحرجة الموجبة والسالبة.



شكل (9) معاملات العزوم و قوى القص على الكمرات بموجب الكود الأمريكي⁽³⁾

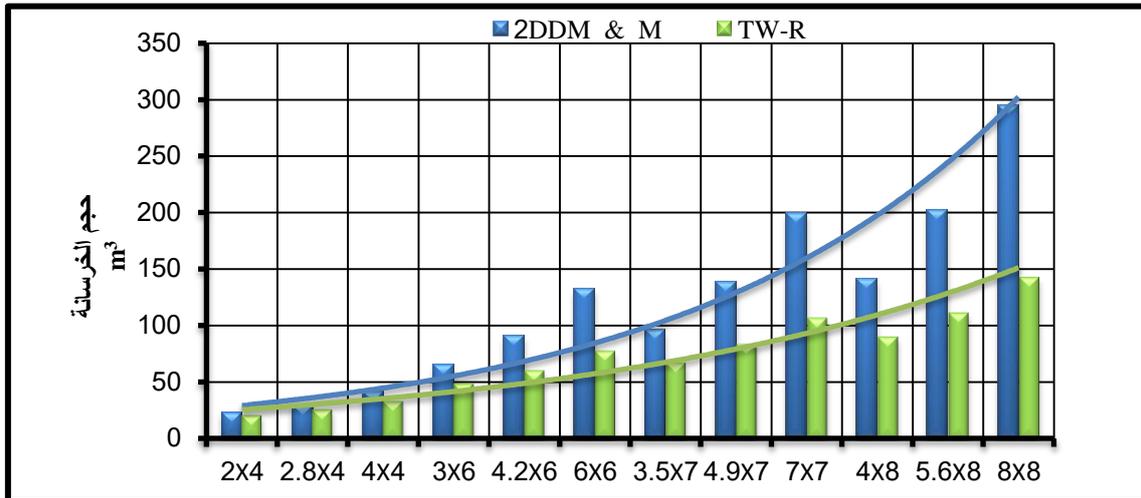
النتائج

حجم الخرسانة:

الجدول رقم (6) والشكل (10) يوضحان كمية حجم الخرسانة لطرق التحليل الثلاث (M2 , DDM , TW-R) ولحالي التحميل ونسبة الفرق فيما بينهم.

جدول (6) كمية حجم الخرسانة المستعملة والفرق فيما بينهم لطرق التحليل الثلاث (M2 , DDM , TW-R) و لحالتي التحميل

نسبة الفرق %	عدد البلوكات المفرغة	ثنائية الأعصاب TW-R			M2 & DDM			r	أبعاد اللوح m
		حجم الخرسانة m ³	سمك السقف m	أبعاد الكمرات (bw x hw) m	حجم الخرسانة m ³	سمك السقف m	أبعاد الكمرات (bw x hw) m		
---	---	---			22.57	0.090	0.25 x 0.3	0.5	2.0 X 4.0
12.63	560	25.70	0.25	0.5 x 0.25	29.41	0.090	0.25 x 0.3	0.7	2.8 X 4.0
19.58	980	33.04	0.25	0.5 x 0.25	41.08	0.095	0.25 x 0.3	1.0	4.0 X 4.0
---	---	---			65.25	0.120	0.25 x 0.5	0.5	3.0 X 6.0
33.05	1540	60.22	0.25	0.5 x 0.25	89.95	0.130	0.25 x 0.5	0.7	4.2 X 6.0
41.46	2420	77.37	0.25	0.5 x 0.25	132.17	0.145	0.25 x 0.5	1.0	6.0 X 6.0
---	---	---			96.01	0.135	0.25 x 0.5	0.5	3.5 X 7.0
40.00	2080	83.22	0.25	0.5 x 0.25	138.70	0.155	0.25 x 0.5	0.7	4.9 X 7.0
46.40	3380	106.58	0.25	0.5 x 0.25	198.85	0.165	0.25 x 0.5	1.0	7.0 X 7.0
---	---	---			140.81	0.155	0.25 x 0,6	0.5	4.0 X 8.0
45.15	3000	110.93	0.25	0.5 x 0.25	202.23	0.175	0.25 x 0,6	0.7	5.6 X 8.0
51.77	4500	142.30	0.25	0.5 x 0.25	295.06	0.190	0.25 x 0,6	1.0	8.0 X 8.0



شكل (10) حجم الخرسانة المستعملة لحالتي التحميل في طرق التحليل الثلاث (M2 , DDM , TW-R) والفرق فيما بينهم

مساحة حديد التسليح:

نظمت نتائج مساحة حديد تسليح السقوف والكمرات وكمرات الأعصاب لحالتي التحميل الأولى والثانية ولطرق التحليل الثلاث في الجدولين (7) و(8). والجدول رقم (9) والشكلان (11،12) توضح نسبة الفرق فيما بين مساحة حديد تسليح أرضية السقوف لحالتي التحميل الأولى والثانية ولطرق التحليل الثلاث.

أما مساحة حديد تسليح الكمرات ونسبة الفرق فيما بين الطرق التحليل الثلاث ولحالتي التحميل الأولى والثانية فهي موضحة في الجدول رقم (10) والشكلين (13،14) على التوالي.

الجدول رقم (11) والشكلان (15،16) توضح مساحة حديد تسليح السقف الكلية (السقوف و الكمرات و كمرات الأعصاب) ونسبة الفرق فيما بين الطرق التحليل الثلاث ولحالتي التحميل الأولى والثانية على التوالي.

جدول (7) نتائج مساحة حديد تسليح السقوف والكمرات والأعصاب لطرق التحليل الثلاث . حالة التحميل الأولى

السقوف الثنائية الأعصاب (TW-R)						طريقة التصميم المباشر (DDM)				طريقة المعاملات (M2)			نسبة بعد اللوح r	أبعاد اللوح (m)	
عدد كانات الكمرات	عدد كانات الأعصاب	المجموع	حديد تسليح الكمرات (cm ²)	حديد تسليح الأعصاب (cm ²)	حديد تسليح السقف (cm ²)	عدد كانات الكمرات	المجموع	حديد تسليح الكمرات (cm ²)	حديد تسليح السقف (cm ²)	عدد كانات الكمرات	المجموع	حديد تسليح الكمرات (cm ²)			حديد تسليح السقف (cm ²)
---	---	---	---	---	---	641	162.65	64.64	98.01	641	155.35	64.63	90.72	0.5	2.0 X 4.0
737	2220	265.65	47.73	131.88	486.0	737	175.93	64.64	111.29	737	165.73	64.63	101.10	0.7	2.8 X 4.0
881	4080	332.03	61.36	169.56	101.11	881	203.44	64.69	138.75	881	189.81	64.67	125.14	1.0	4.0 X 4.0
---	---	---	---	---	---	937	316.48	120.13	196.35	937	301.07	119.63	181.44	0.5	3.0 X 6.0
1081	6640	448.79	87.69	232.36	128.74	1081	367.38	119.68	247.70	1081	338.93	119.91	219.02	0.7	4.2 X 6.0
1297	10800	550.08	116.13	282.6	151.35	1297	456.02	121.73	334.29	1297	411.12	124.36	286.76	1.0	6.0 X 6.0
---	---	---	---	---	---	1134	413.31	143.55	269.76	1134	382.6	144.46	238.14	0.5	3.5 X 7.0
1302	9280	556.44	129.90	276.32	150.22	1302	502.51	144.87	357.64	1302	455.56	150.89	304.67	0.7	4.9 X 7.0
1542	15360	524.15	185.03	339.12	176.6	1542	650.5	156.15	494.35	1542	564.11	176.19	387.92	1.0	7.0 X 7.0
---	---	---	---	---	---	1282	553.6	176.76	376.84	1282	491.57	179.09	312.48	0.5	4.0 X 8.0
1474	13660	683.49	179.08	332.84	171.57	1474	675.61	178.68	496.93	1474	584.09	189.1	394.99	0.7	5.6 X 8.0
1762	20720	827.69	230.33	395.64	201.72	1762	942.93	201.84	741.09	1762	744.91	228.53	516.38	1.0	8.0 X 8.0

جدول (8) نتائج مساحة حديد تسليح السقوف والكمرات والأعصاب لطرق التحليل الثلاث . حالة التحميل الثانية

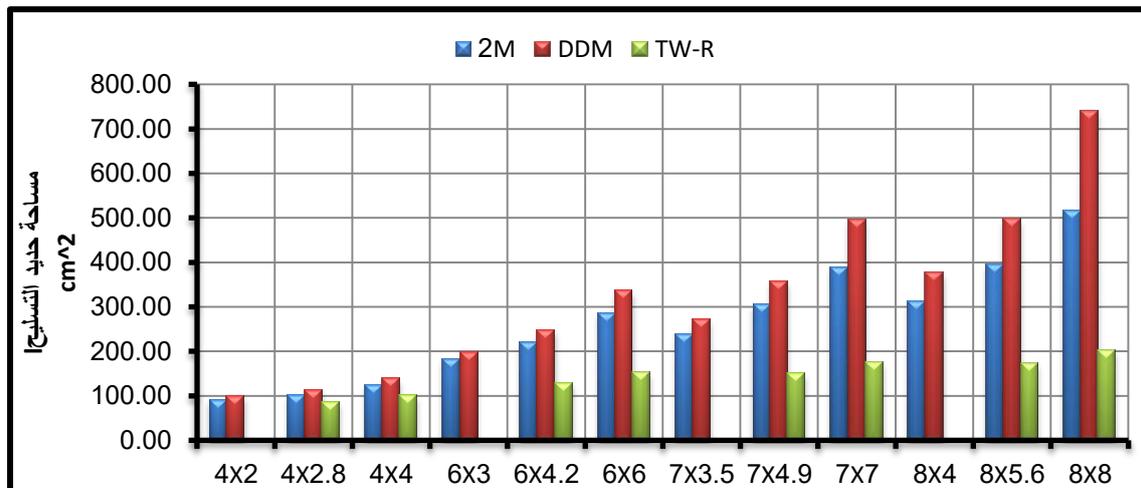
السقوف الثنائية الأعصاب (TW-R)						طريقة التصميم المباشر (DDM)				طريقة المعاملات (M2)			نسبة بعد اللوح r	أبعاد اللوح (m)	
عدد كانات الكمرات	عدد كانات الأعصاب	المجموع	حديد تسليح الكمرات (cm ²)	حديد تسليح الأعصاب (cm ²)	حديد تسليح السقف (cm ²)	عدد كانات الكمرات	المجموع	حديد تسليح الكمرات (cm ²)	حديد تسليح السقف (cm ²)	عدد كانات الكمرات	المجموع	حديد تسليح الكمرات (cm ²)			حديد تسليح السقف (cm ²)
---	---	---	---	---	---	838	162.77	64.67	98.1	838	156.03	65.31	90.72	0.5	2.0 X 4.0
982	2220	296.49	78.57	131.88	486.0	982	178.85	65.24	113.61	982	181.45	67.7	113.75	0.7	2.8 X 4.0
1174	4080	379.44	108.77	169.56	101.11	1174	224.96	69.54	155.42	1174	237.71	77.94	159.77	1.0	4.0 X 4.0
---	---	---	---	---	---	1257	345.68	120.13	225.55	1257	304.94	122.44	182.5	0.5	3.0 X 6.0
1449	6640	510.05	148.95	232.36	128.74	1449	416.78	121.42	295.36	1449	382.33	129.99	252.34	0.7	4.2 X 6.0
1737	10800	641.5	207.55	282.6	151.35	1737	565.71	140.86	424.85	1737	508.46	159.19	349.27	1.0	6.0 X 6.0
---	---	---	---	---	---	1479	477.41	146.26	331.15	1479	401.14	158.88	242.26	0.5	3.5 X 7.0
1695	9280	665.52	238.98	276.32	150.22	1695	600.07	159.92	440.15	1695	523	176.92	346.08	0.7	4.9 X 7.0
2031	15360	874.83 2	345.24	352.99 2	176.6	2031	875.19	212.01	663.18	2031	733.89	253.23	480.66	1.0	7.0 X 7.0

جدول (8) - (تابع) نتائج مساحة حديد تسليح السقوف والكمرات والأعصاب لطرق التحليل الثلاث . حالة التحميل الثانية

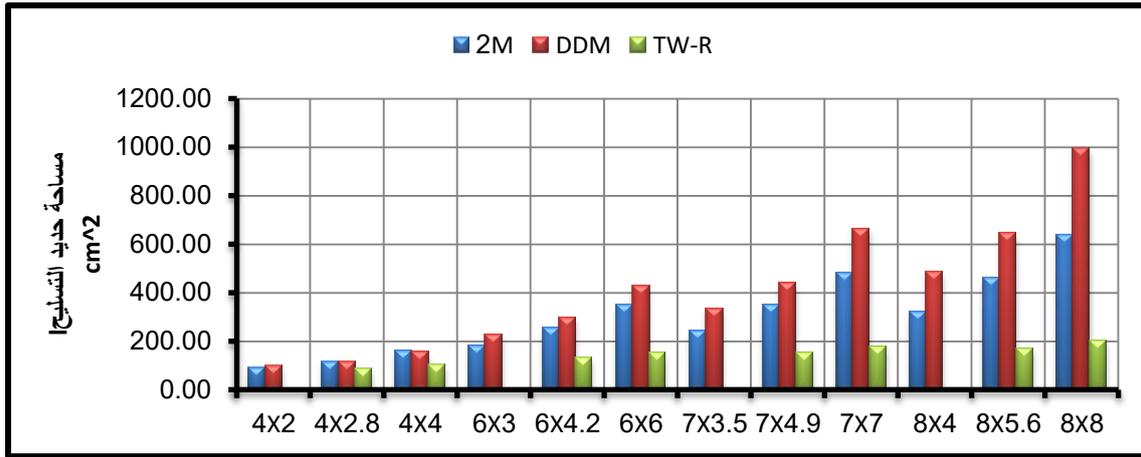
السقوف الثنائية الأعصاب (TW-R)							طريقة التصميم المباشر (DDM)				طريقة المعاملات (M2)			نسبة بعدي اللوح r	أبعاد اللوح (m)
عدد كانات الكمرات	عدد كانات الأعصاب	المجموع	حديد تسليح الكمرات (cm ²)	حديد تسليح الأعصاب (cm ²)	حديد تسليح السقف (cm ²)	عدد كانات الكمرات	المجموع	حديد تسليح الكمرات (cm ²)	حديد تسليح السقف (cm ²)	عدد كانات الكمرات	المجموع	حديد تسليح الكمرات (cm ²)	حديد تسليح السقف (cm ²)		
---	---	---	---	---	---	1701	665.18	180.4	484.78	1701	517.23	198.64	318.59	0.5	4.0 X 8.0
1941	13660	842.58	303.17	367.84	171.57	1941	843.48	198.21	645.27	1941	679.23	222.44	456.79	0.7	5.6 X 8.0
2325	20720	1125.4 1	424.19	499.5	201.72	2325	1268.9 3	273.03	995.90	2325	964.4	328.86	635.54	1.0	8.0 X 8.0

جدول (9) كمية مساحة حديد تسليح أرضية السقوف ونسب الفرق فيما بين طرق التحليل الثلاث ولحالاتي التحميل الأولى والثانية

حالة التحميل الثانية						حالة التحميل الأولى						r	أبعاد اللوح (m)
نسبة الفرق %			مساحة حديد التسليح (cm ²)			نسبة الفرق %			مساحة حديد التسليح (cm ²)				
DDM & TW-R	M2& TW-R	M2& DDM	TW-R	DDM	M2	DDM & TW-R	M2& TW-R	M2& DDM	TW-R	DDM	M2		
---	---	7.52	---	98.1	90.72	---	---	7.44	---	98.01	90.72	0.5	2.0 X 4.0
24.27	24.36	0.123	86.04	113.61	113.75	22.69	14.90	9.16	486.0	111.29	101.1	0.7	2.8 X 4.0
34.94	36.72	2.73	101.11	155.42	159.77	27.13	19.20	9.81	101.11	138.75	125.14	1.0	4.0 X 4.0
---	---	19.09	---	225.55	182.5	---	---	7.59	---	196.35	181.44	0.5	3.0 X 6.0
56.41	48.98	14.57	128.74	295.36	252.34	48.03	41.22	11.58	128.74	247.70	219.02	0.7	4.2 X 6.0
64.38	56.67	17.79	151.35	424.85	349.27	54.72	47.22	14.22	151.35	334.29	286.76	1.0	6.0 X 6.0
---	---	26.84	---	331.15	242.26	---	---	11.72	---	269.76	238.14	0.5	3.5 X 7.0
65.87	56.59	21.37	150.22	440.15	346.08	58.00	50.69	14.81	150.22	357.64	304.67	0.7	4.9 X 7.0
73.37	63.26	27.52	176.6	663.18	480.66	64.28	54.48	21.53	176.6	494.35	387.92	1.0	7.0 X 7.0
---	---	34.28	---	484.78	318.59	---	---	17.08	---	376.84	312.48	0.5	4.0 X 8.0
73.41	62.44	29.21	171.57	645.27	456.79	65.47	56.56	20.51	171.57	496.93	394.99	0.7	5.6 X 8.0
79.74	68.26	36.18	201.72	995.9	635.54	72.78	60.94	30.32	201.72	741.09	516.38	1.0	8.0 X 8.0



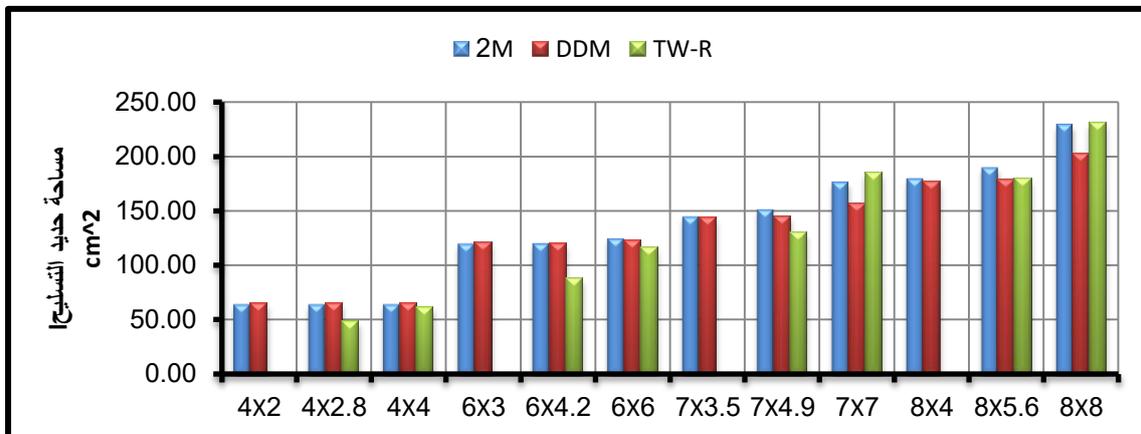
شكل (11) كمية مساحة حديد تسليح السقوف لطرق التحليل الثلاثة . حالة التحميل الأولى



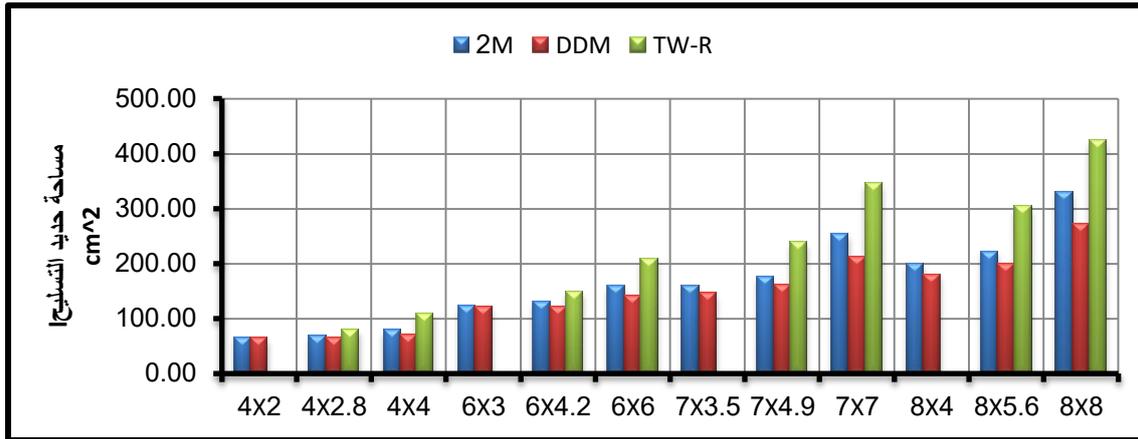
شكل (12) كمية مساحة حديد تسليح السقوف لطرق التحليل الثلاث . حالة التحميل الثانية

جدول (10) كمية مساحة حديد تسليح الكمرات ونسب الفرق فيما بين طرق التحليل الثلاث ولحالاتي التحميل الأولى والثانية

حالة التحميل الثانية						حالة التحميل الأولى						r	أبعاد اللوح (m)
نسبة الفرق %			مساحة حديد التسليح (cm²)			نسبة الفرق %			مساحة حديد التسليح (cm²)				
DDM & TW-R	M2& TW-R	M2& DDM	TW-R	DDM	M2	DDM & TW-R	M2& TW-R	M2& DDM	TW-R	DDM	M2		
---	---	0.98	---	64.67	65.31	---	---	0.02	---	98.01	90.72	0.5	2.0 X 4.0
16.97	16.06	3.63	78.57	65.24	67.70	26.16	26.15	0.02	486.0	111.29	101.1	0.7	2.8 X 4.0
36.07	39.56	10.78	108.77	69.54	77.94	5.15	5.12	0.03	101.11	138.75	125.14	1.0	4.0 X 4.0
---	---	1.89	---	120.13	122.44	---	---	0.42	---	196.35	181.44	0.5	3.0 X 6.0
18.48	14.59	6.59	148.95	121.42	129.99	26.73	26.87	0.19	128.74	247.70	219.02	0.7	4.2 X 6.0
32.13	30.38	11.51	207.55	140.86	159.19	4.60	6.62	2.11	151.35	334.29	286.76	1.0	6.0 X 6.0
---	---	7.94	---	146.26	158.88	---	---	0.63	---	269.76	238.14	0.5	3.5 X 7.0
33.08	35.08	9.61	238.98	159.92	176.92	10.33	13.91	3.99	150.22	357.64	304.67	0.7	4.9 X 7.0
38.59	36.33	16.28	345.24	212.01	253.23	18.50	5.02	11.37	176.6	494.35	387.92	1.0	7.0 X 7.0
---	---	9.18	---	180.40	198.64	---	---	1.30	---	376.84	312.48	0.5	4.0 X 8.0
34.62	36.29	10.89	303.17	198.21	222.44	0.22	5.30	5.51	171.57	496.93	394.99	0.7	5.6 X 8.0
35.63	28.99	16.98	424.19	273.03	328.86	12.37	0.79	11.68	201.72	741.09	516.38	1.0	8.0 X 8.0



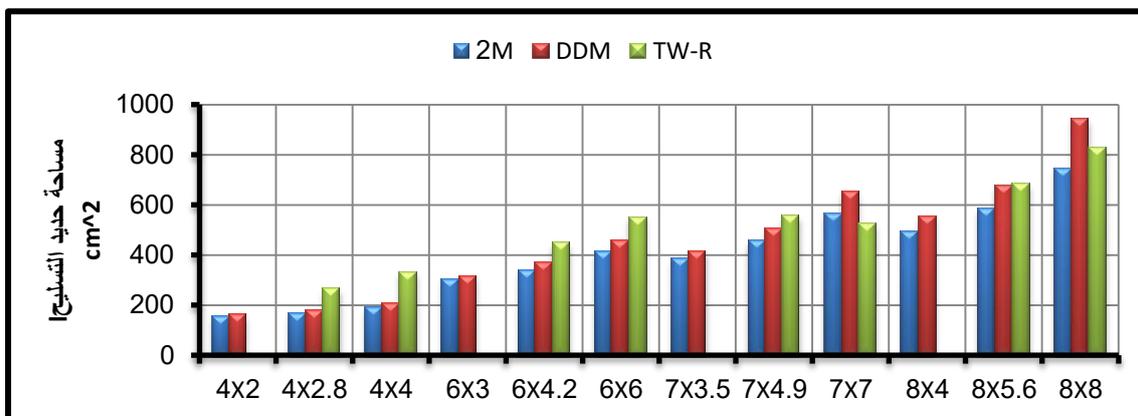
شكل (13) كمية مساحة حديد تسليح الكمرات لطرق التحليل الثلاث . حالة التحميل الأولى



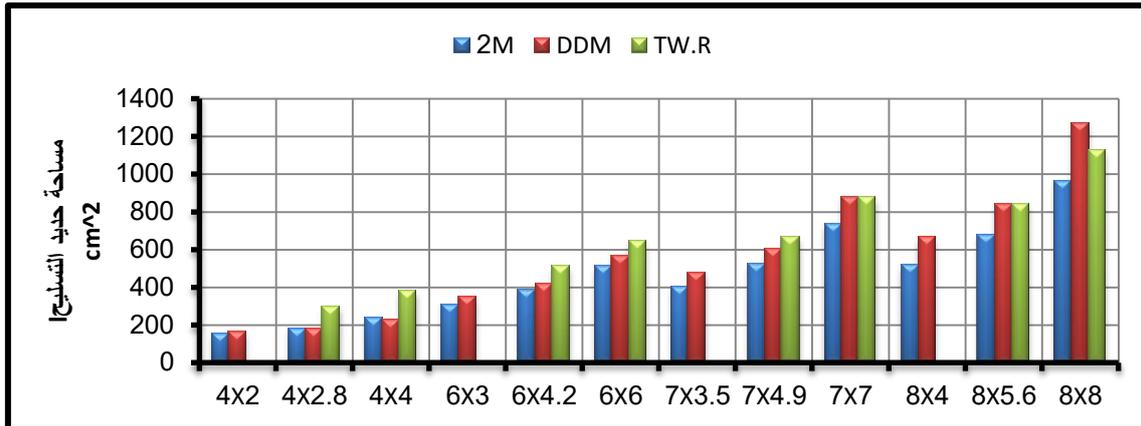
شكل (14) كمية مساحة حديد تسليح الكمرات لطرق التحليل الثلاث . حالة التحميل الثانية

جدول (11) كمية مساحة حديد تسليح السقف الكلية ونسب الفرق فيما بين طرق التحليل الثلاث ولحالتى التحميل الأولى والثانية

حالة التحميل الثانية						حالة التحميل الأولى						r	أبعاد اللوح (m)
نسبة الفرق %			مساحة حديد التسليح (cm ²)			نسبة الفرق %			مساحة حديد التسليح (cm ²)				
DDM& TW-R	M2& TW-R	DDM& M2	TW-R	DDM	M2	DDM& TW-R	M2& TW-R	DDM& M2	TW-R	DDM	M2		
---	---	4.1	---	162.77	156.03	---	---	4.5	---	162.65	155.35	0.5	2.0 X 4.0
39.7	38.8	1.4	296.49	178.85	181.45	33.8	37.6	5.8	265.65	175.93	165.73	0.7	2.8 X 4.0
40.7	37.4	5.4	379.44	224.96	237.71	38.7	42.8	6.7	332.03	203.44	189.81	1.0	4.0 X 4.0
---	---	11.8	---	345.68	304.94	---	---	4.9	---	316.48	301.07	0.5	3.0 X 6.0
18.3	25.0	8.3	510.05	416.78	382.33	18.1	24.5	7.7	448.79	367.38	338.93	0.7	4.2 X 6.0
11.8	20.7	10.1	641.5	565.71	508.46	17.1	25.3	9.8	550.08	456.02	411.12	1.0	6.0 X 6.0
---	---	16.0	---	477.41	401.14	---	---	7.4	---	413.31	382.6	0.5	3.5 X 7.0
9.8	21.4	12.8	665.52	600.07	523.00	9.7	18.1	9.3	556.44	502.51	455.56	0.7	4.9 X 7.0
0.041	16.1	16.1	874.832	875.19	733.89	19.4	13.3	13.3	524.15	650.5	564.11	1.0	7.0 X 7.0
---	---	22.2	---	665.18	517.23	---	---	11.2	---	553.6	491.57	0.5	4.0 X 8.0
0.1	19.4	19.5	842.58	843.48	679.23	1.2	14.5	13.5	683.49	675.61	584.09	0.7	5.6 X 8.0
11.3	14.3	24.0	1125.41	1268.93	964.40	12.2	10.0	21.0	827.69	942.93	744.91	1.0	8.0 X 8.0



شكل (15) كمية مساحة حديد تسليح السقف الكلية لطرق التحليل الثلاث . حالة التحميل الأولى



شكل (16) كمية مساحة حديد تسليح السقف الكلية لطرق التحليل الثلاث . حالة التحميل الثانية

الإستنتاجات

من نتائج التحليل بالطرق الثلاث وحالاتي التحميل الأولى والثانية تبين الآتي:

1- السمك لحالتي التحميل للسقوف المصمتة ثنائية الإتجاه وبطريقتي التحليل بالمعاملات والتصميم المباشر (M2، DDM)، يتراوح ما بين (9- 19) سم ويزداد تزايداً طردياً مع تغير البعد الطويل لجميع نسب بعدي اللوح ($r = 0.5, 1.0, 0.7$)، في حين أن سمك السقوف ثنائية الأعصاب (TW-R) ثابتاً مقداره (25) سم ويعتمد على ارتفاع البلوكات المستعملة.

2- كمية حجم الخرسانة المستعملة في السقوف المصمتة بطريقتي التحليل بالمعاملات والتصميم المباشر (M2، DDM) هي نفس الكمية لحالتي التحميل الأولى والثانية، أما في السقوف ثنائية الأعصاب فكانت أقل منهما بنسبة تتراوح ما بين (12.63-51.77)% وتعتمد على مساحة ألواح السقوف، ولكن في هذا النوع من السقوف تستعمل البلوكات المفرغة ويتطلب ذلك كلفة إضافية تتضمن سعر البلوكة وسعر تنظيمها ونقلها ووضعها في المواقع المطلوبة في السقف بالإضافة إلى كلفة التالف منها مما يزيد في كلفة الخرسانة المستعملة .

3- مساحة حديد التسليح لأرضية السقوف بطريقة المعاملات M2 أقل من نظيرتها بطريقة التصميم المباشر DDM وتراوح نسبة الفرق ما بين (7.44- 30.32)% لحالة التحميل الأولى و(7.52- 36.18)% لحالة التحميل الثانية.

4- مساحة حديد التسليح لأرضية السقوف ثنائية الأعصاب TW-R أقل من نظيرتها بطريقة المعاملات M2 وبطريقة التصميم المباشر DDM وتراوح نسبة الفرق مع كل من الطريقتين ما بين (14.90- 60.94)% و(22.69- 72.78)% على التوالي لحالة التحميل الأولى وحالة التحميل الثانية (24.36- 68.26)% و(24.27- 79.74)% على التوالي.

5- مساحة حديد تسليح كمرات السقوف ثنائية الأعصاب TW-R مقارنة مع مساحة نظيرتها بطريقة المعاملات M2 وبطريقة التصميم المباشر DDM كانت أقل منها أو تساويها في حالة التحميل الأولى بنسبة فرق تراوحت ما بين (0.79-27.87)% و(0.22-26.73)% على التوالي، وفي حالة التحميل الثانية كانت أكبر بنسبة فرق تراوحت مع كل من الطريقتين ما بين (14.59- 39.56)% و(16.97- 38.59)% على التوالي.

6- كلما زادت الأحمال المسلطة على السقوف زادت مساحة حديد تسليح كمرات السقوف ثنائية الأعصاب TW-R مقارنة مع مساحة نظيرتها بطريقة المعاملات M2 وبطريقة التصميم المباشر DDM.

7- مساحة حديد تسليح السقوف الكلية (أرضية السقوف، الكمرات الظاهرية وكمرات الأعصاب) بطريقة المعاملات M2 أقل من نظيرتها بطريقة التصميم المباشر DDM وثنائية الأعصاب، لذا تفضل في التحليل والتصميم لسهولة اقتصاديتها في كمية حديد التسليح بنسبة فرق تراوحت ما بين (10.0- 42.80)% لحالة التحميل الأولى و(14.30- 38.80)% لحالة التحميل الثانية، والتناسب عكسي ما بين أبعاد الألواح ونسبة الفرق.

التوصيات

- 1- لإجراء مقارنة دقيقة لكمية حديد التسليح المستعملة في كل سقف بطرق التحليل الثلاث فيتم حساب كمية حديد التسليح بالوزن الكلي لكل سقف أو بالوزن إلى كل واحد متر مكعب من حجم الخرسانة وهذا يتطلب جهدا إضافيا حيث يتم اختيار قطر الأسياخ وحساب عددها وأطوالها لكل موقع في السقف وكذلك في الكمرات والأعصاب.
- 2- للتوصل إلى الجدوى الاقتصادية من استعمال السقوف ثنائية الأعصاب يتطلب دراسة إضافية تشمل تغير قيم الأحمال، تغير أطوال الفضاءات المتعاقبة في الإتجاهين المتعامدين، تغير البلوكات الخرسانية المفرغة إلى بلوكات الآجر المفرغ أو الستايروبور.
- 3- إجراء دراسة تحليل السقوف ثنائية الأعصاب كسقوف أحادية الأعصاب وذلك بإضافة كمرات مخفية (مدفونة) "hidden beam" ومن ثم مقارنتها مع نظيرتها في السقوف المصممة ثنائية الإتجاه .
- 4- يفضل إعداد برنامج شامل يتضمن جميع المتغيرات التي تمت دراستها.

المراجع

- 1- Notes on (ACI 318-05).
- 2- Arthur H. Nilson, George winter, "Design of concrete structures", 11th edition, McGraw hill Inc., 1991.
- 3- American concrete institute reported by ACI committee 318 – 05, "Building code requirements for structural concrete", (ACI 318M-05) and commentary (ACI 318M-05).
- 4- W.H. Mosley & j .H. Bungey, "Reinforced concrete Design", 4thedition, 2009.
- 5- Edward G. Nawy, " Reinforced concrete", 6th edition .
- 6- Jack C. McCormac, "Design of Reinforced concrete", 7th edition, 2006 .
- 7- Prof .Mashhour Ghoneir & Dr. Mahmoud El – Mihihmu, "Design of Reinforced concrete structures", Volume 1, Second edition, 2008.
- 8- Prof .Mashhour Ghoneir & Dr. Mahmoud El – Mihihmu – "Design of Reinforced concrete structures", Volume 1, First edition .
- 9- Eng. Yasser EL- Leathy, "Design of Reinforced concrete structures", 2009
- 10- W. H. Mosley &j. H. Bungey, " Reinforced concrete Design", Third edition .
- 11- Phil M. Ferguson, " Reinforced concrete fundamentals", 4th Edition, SI version by Wiley.
- 12- أستاذ الدكتور عبد الرحمن مجاهد أحمد، "التصميم المرن للعناصر والمنشآت الخرسانية المسلحة"، كلية الهندسة - جامعة أسبوط.
- 13- المهندس الاستشاري خليل إبراهيم واكد، "الدليل الإنشائي لتصميم البلاطات الخرسانية".
- 14- أ.م. عماد عبد المجيد ياسين السعدي، "تصميم وتحليل السقوف الخرسانية بالطرق المرنة"، إشراف على مشروع طلبة البكالوريوس، كلية الهندسة، صبراتة، جامعة الزاوية 2009.

دراسة تأثير بعض المضافات البوليمرية على الخواص الميكانيكية للخلطات الإسفلتية الساخنة

إسماعيل قودان علي نايل
أستاذ هندسة الطرق - جامعة سبها
naiel1440@yahoo.com

ملخص

ساهم التطور بشبكات الطرق والنقل والذي شهده العالم في السنوات الأخيرة في التطور الكبير في الحركة التجارية والصناعية والسياحية. ولذلك ركزت الكثير من الدراسات على التصميم الجيد وعلى طرق الصيانة الجيدة والتي تضمن أداء ممتاز للطريق خلال العمر التصميمي له. غير أن هذه الدراسات لم تصل إلى خليط إسفلتي مثالي يلائم الظروف المناخية وذلك بسبب التأثير المشترك لمجموعة من العوامل على أداء طبقات الرصف. ومن هنا جاءت هذه الدراسة وذلك من أجل الوصول إلى خلطة إسفلتية تلائم الظروف التشغيلية والمناخية في ليبيا. وتقران هذه الدراسة بين 3 أنواع من الخلطات الإسفلتية وهي خلطة إسفلتية بدون مضافات وخلطة إسفلتية مع مادة (super.plaster) الصلبة وخلطة إسفلتية مع مادة (Iterlene) السائلة وذلك من خلال نتائج تجربة مارشال. فقد أظهرت النتائج أن المخلوط الإسفلتي المحتوي على مادة الآيتيرلين به أقل نسبة بيتومين مثلي وكانت 4.13 % يليه المخلوط الإسفلتي المحتوي على مادة السوبر بلاست والتي كانت نسبة البيتومين المثلي به 4.98 %. أما المخلوط الإسفلتي بدون مضافات فكانت نسبة البيتومين المثلي 5.05 %. أوضحت النتائج أن المخلوط الإسفلتي المحتوي على مادة الآيتيرلين أعطى أفضل النتائج حيث كانت الكثافة الجافة عند نسبة البيتومين المثلي 2.522 جم/سم³ ونسبة الفراغات الهوائية (VTM) كانت 2.09% ونسبة الفراغات المملوءة بالبيتومين (VFB) كانت 74.96 %، وكان إنسياب مارشال (FLOW) 3.32 مم وثبات مارشال 27.79 كيلونيوتن.

1 - مقدمة

تطورت الطرق منذ نشأتها تطورا كبيرا وكانت لها المساهمة الكبرى في تطور الدول لمساهمتها في نقل الركاب والبضائع والربط بين المدن وبين الدول، لذلك يقاس تقدم الدول بمقدار تطور شبكة الطرق بها. وهناك نوعان من الطرق وهي الطرق الخرسانية والطرق الإسفلتية. والطرق الإسفلتية هي الطرق التي يستخدم الإسفلت فيها كرابط إسفلتي منذ بداية القرن العشرين حتى الآن وهي الأكثر إستعمالا في ليبيا لقلة كلفتها الإقتصادية مقارنة بالطرق الخرسانية. غير أن هذه الميزة يمكن أن تقل أهميتها نتيجة لظهور العديد من العيوب على الطرق الإسفلتية والتي يكون الرابط الإسفلتي أحد الأسباب بها.

ورغم التطور الكبير في طرق تصميم الخلطات الإسفلتية ودراسة العوامل المؤثرة على أدائها، فلا يزال هناك الكثير من العيوب التي تظهر على الطرق الإسفلتية خلال العمر التصميمي لها. لذلك جاءت العديد من الدراسات من أجل حل جزء من المشاكل التي تظهر على الطرق الإسفلتية، غير أن البحوث والدراسات لا تزال مستمرة من أجل أداء جيد للطرق الإسفلتية. ركزت العديد من الدراسات السابقة على تأثير نوع ونسبة المراد الداخلة في تكوين

الخطات الإسفلتية وتأثيرها على أداء الطرق تحت تأثير الأحمال المرورية. كما تناولت دراسات أخرى تأثير طرق التنفيذ على أداء الطرق الإسفلتية، أو تأثير العوامل المناخية على الطرق الإسفلتية. أكدت العديد من هذه الدراسات أن الرابط الإسفلتي له تأثير كبير على الأداء المستقبلي للطرق الإسفلتية لذلك أوصت هذه الدراسات بتحسين خواص الرابط الإسفلتي إما بزيادة نسبة الزيوت الطيارة لمنع تقحم الإسفلت مع مرور الزمن خاصة في المناطق الساخنة، أو عن طريق إضافة مواد محسنة (بوليميرية) تحسن من أداء الرابط الإسفلتي. لذلك جاءت هذه الدراسة من أجل دراسة مدى تأثير مادتي (Super Plaster) الصلبة و (Iterlene) السائلة على خواص المخلوط الإسفلتي باستخدام طريقة مارشال ومقارنتها مع مخلوط إسفلتي خال من المواد المحسنة.

2 - مكونات الخلطة الإسفلتية

تتكون الخلطة الإسفلتية من مزيج من المواد التي ترتبط مع بعضها البعض لتكون مخلوطا إسفلتيا يقاوم الإجهادات الناشئة من الأحمال المرورية خلال العمر التصميمي للطريق ويحتوي هذا المخلوط على الركام الخشن والركام الناعم والبودرة والرابط الإسفلتي. كما أنه تضاف بعض المواد المحسنة لتحسين أداء الرابط الإسفلتي وتوضح الفقرات اللاحقة كلا من هذه الأنواع.

2 - 1 مواد الركام

يستخدم الركام في عملية تصنيع الخلطة الإسفلتية وهو أحد مكوناته الأساسية. ويستخدم في ليبيا الركام الناتج من تكسير الصخور في تصنيع هذا النوع من الخلطات. وقد أستخدم ركام من منطقة سوكنة بالجفرة في هذه الدراسة. أجريت العديد من التجارب لمعرفة صلاحية استخدام هذا الركام وكانت النتائج كما هي موضحة بالجدول رقم 1. يبين الجدول رقم 1 أن معامل البري هو 13.52 % وهو مقبول حسب المواصفات القياسية الليبية، كما أن معامل التهشيم هو 13.6 % وهو ضمن حدود المواصفات القياسية. كما يبين الجدول أن الوزن النوعي ونسبة الإمتصاص للركام المستخدم في هذه الدراسة هو 2.69 جم/سم³ و 1.31 % وهو ضمن حدود المواصفات القياسية.

جدول (1) إختبارات الركام

نوع الإختبار	القيمة	المواصفات القياسية
تجربة التآكل والبري AASHTO T 96	13.52 %	< 30%
تجربة مقاومة التهشيم IS 2386 PART-4	13.6 %	< 45%
تجربة الوزن النوعي AASHTO T 85	2.69 جم/سم ³	2.4-3.0
تجربة نسبة الإمتصاص AASHTO T 85	1.31 %	0.1 -5.0 %

2 - 2 الرابط الإسفلتي

الإسفلت هو مادة لونها بني غامق إلى أسود ويمكن الحصول عليها من الطبيعة أو من تقطير النفط. [ASTM D (2003) 8-02]. والإسفلت هو مادة رابطة تربط حبيبات الركام مع بعضها مكونة خليطا إسفلتيا متينا غير منفذ للمياه، وهو عبارة عن هيدروكربونات شبه صلدة. ويصنف الإسفلت حسب درجة صلابته (درجة غرزه عند درجة حرارة 25 درجة مئوية) إلى إسفلت (40-50)، (60-70)، (85-100)، (120-150). تم استخدام إسفلت 60-70 والمستخدم في ليبيا كمادة رابطة في هذه الدراسة وكان الوزن النوعي له 1.036.

2 - 3 المادة المائنة

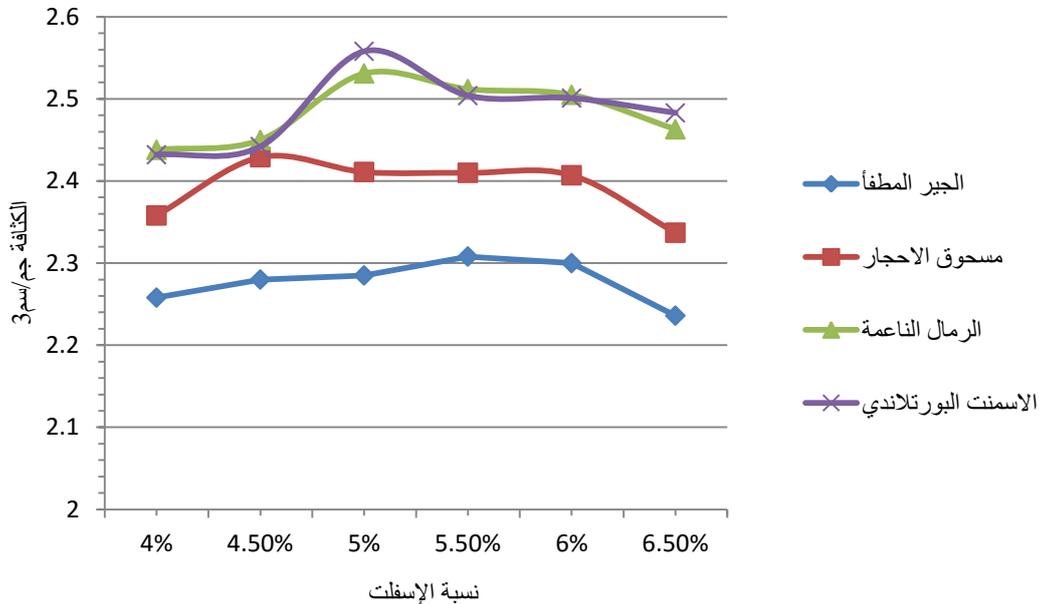
المادة المائنة أو البودرة وهي المواد المارة من منخل رقم 200 وهي تملأ الفراغات بين حبيبات الركام وتكون مع الإسفلت عجينة تعطيها صلابة ومقاومة للسيولة. وتم استخدام بودرة ناتجة من تكسير الأحجار في هذه الدراسة وهي المستخدمة على نطاق واسع لرخص ثمنها.

3 - إعداد عينات مارشال

إختبار مارشال هو أبسط أنواع الإختبارات وأكثرها إنتشارا لتحديد نسبة الإسفلت المثلى وقياس أداء الخلطة الإسفلتية. تم إعداد عينات من المخلوط الإسفلتي لاختبارها بواسطة جهاز مارشال وتشتمل هذه العينات على نسبة مختلفة من الرابط الإسفلتي (4%، 4.5%، 5%، 5.5%، 6%، 6.5%) ونسبة ثابتة من الركام والبودرة. تم تحضير 18 عينة لكل نوع من أنواع البودرة وبالتالي كان عدد العينات الكلي هو 72 عينة. تم تحديد كثافة المخلوط الإسفلتي، حجم الفراغات في المخلوط (VTM)، الفراغات المملووة بالإسفلت (VFB)، قيمة الثبات لمارشال، قيمة الإنسياب لمارشال وبالتالي نسبة الإسفلت المثلى وهي كما موضحة لاحقاً.

3 - 1 كثافة المخلوط الإسفلتي

تم تحديد الكثافة للمخلوط الإسفلتي لكل نوع من أنواع البودرة كما هو موضح بالشكل رقم (1) حيث يلاحظ أن جميع العينات أعطت قيم كثافة جيدة، غير أن المخلوط الإسفلتي الذي يحتوي على الإسمنت البورتلاندي أعطى



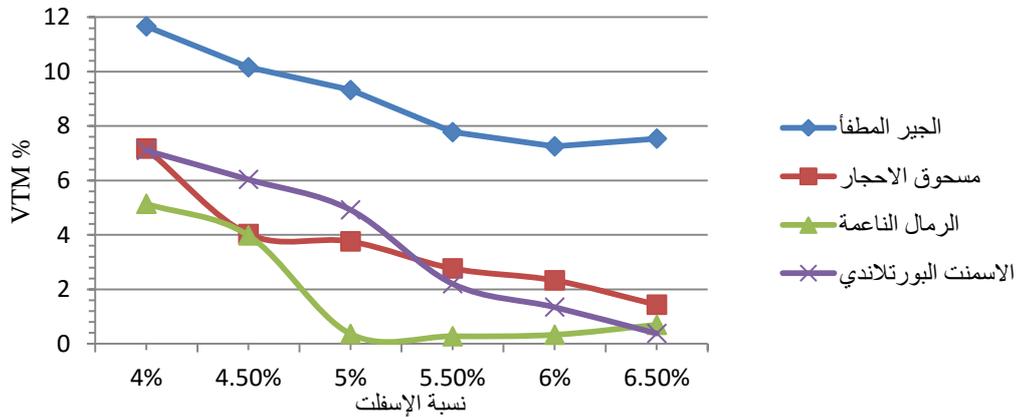
شكل 1 العلاقة بين كثافة المخلوط الإسفلتي و نسبة الإسفلت

أعلى كثافة مقارنة بالأنواع الأخرى، وكانت أعلى كثافة عند نسبة إسفلت 5% وهي 2.56 جم/سم³. كما يلاحظ أيضا أن الأتربة الناعمة أعطت قيمة مرتفعة للكثافة عند نسبة إسفلت 5% وكانت 2.535 جم/سم³. أما المخلوط

الإسفلتي الذي يحتوي على مسحوق الأحجار فكانت أعلى كثافة هي 2.425 جم/سم³ عند نسبة إسفلت 4.5 % من الوزن الكلي للمخلوط الإسفلتي. بينما يلاحظ أن المخلوط الإسفلتي الذي يحتوي على الجير المطفأ أعطى أقل كثافة مقارنة بالأنواع الأخرى وكانت أعلى كثافة هي 2.31 جم/سم³ عند نسبة إسفلت تساوي 5.7 % من الوزن الكلي للعينة.

3 - 2 نسبة الفراغات الهوائية في المخلوط الإسفلتي (VTM)

نسبة الفراغات الهوائية في المخلوط الإسفلتي هي نسب الفراغات في المخلوط المدموك وهي أحد أهم الخصائص التي تؤثر على أداء الإسفلت تحت تأثير أحمال المرور. يعمل المخلوط بشكل جيد عندما تكون هناك نسبة كافية من الفراغات مما يسمح بالدمك الإضافي تحت تأثير أحمال المرور بعد فتح الطريق للخدمة [6]. تم حساب نسبة الفراغات الهوائية للأنواع الأربعة من المخلوط الإسفلتي والتي تحوي الجير المطفأ، مسحوق الأحجار، الرمال الناعمة والإسمنت البورتلاندي كمادة مألثة كما هو مبين بالشكل رقم (2). من الشكل يلاحظ أن المخلوط الإسفلتي الذي يحتوي على الجير المطفأ به أعلى نسبة فراغات هوائية والتي تتعدى نسبة الفراغات الهوائية المسموح بها حسب المواصفات القياسية الليبية (3 - 5 %) لأن الجير المطفأ لديه شراة لامتصاص الإسفلت مما يؤدي إلى زيادة نسبة الفراغات الهوائية، وتبدأ هذه النسبة في التناقص مع زيادة نسبة الإسفلت التي تملأ هذه الفراغات. كما يلاحظ أن نسبة الفراغات الهوائية للمخلوط الإسفلتي المحتوي على مسحوق الأحجار والمخلوط الإسفلتي المحتوي على الإسمنت البورتلاندي هي ضمن الحدود المسموح بها. نسبة الفراغات الهوائية للمخلوط الإسفلتي المحتوي على الرمال الناعمة هي أقل من النسبة المسموح بها عند نسب إسفلت أعلى من 5%.

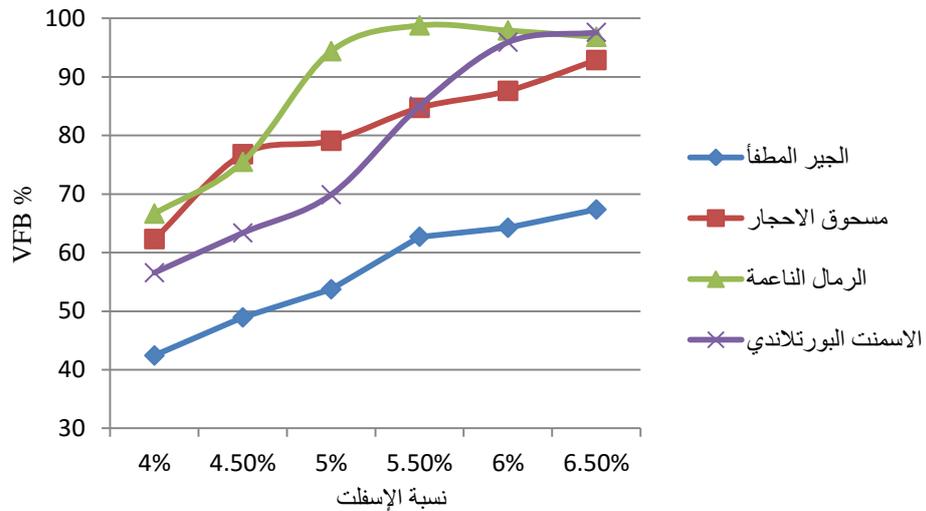


شكل (2) العلاقة بين VTM و نسبة الإسفلت

3 - 3 نسبة الفراغات المملوئة بالإسفلت (VFB)

وهي نسبة الفراغات بين حبيبات الركام المملوئة بالإسفلت وتزداد هذه القيمة مع زيادة نسبة الإسفلت في العينة. وتتص أغلب المواصفات على أن تكون نسبة الفراغات المملوئة بالإسفلت ما بين (65% - 85%). يبين الشكل

رقم (3) أن نسبة الفراغات المملووة بالإسفلت تزداد مع زيادة نسبة الإسفلت وهو ما يتوافق مع المعرفة والخبرة الهندسية. كما يلاحظ أن المخلوط الإسفلتي المحتوي على الجير المطفأ يحتوي على أقل نسبة فراغات مملووة بالإسفلت بسبب شراهة الجير المطفأ لامتصاص الإسفلت وبالتالي فهو خارج حدود المواصفات. كما أن المخلوط الإسفلتي المحتوي على الرمال الناعمة يحتوي على أعلى نسبة فراغات مملووة بالإسفلت وهو أيضا خارج حدود المواصفات. أما المخلوط الإسفلتي المحتوي على إسمنت بورتلاندي والمخلوط الإسفلتي المحتوي على مسحوق الأحجار فيحتوي على نسبة فراغات مملووة بالإسفلت ضمن حدود المواصفات القياسية لأن هذه الأنواع من البودرة لها القدرة على التغلغل داخل مسامات الركام مما يقلل من امتصاصه للإسفلت وبالتالي يملأ الإسفلت الفراغات بين حبيبات الركام.



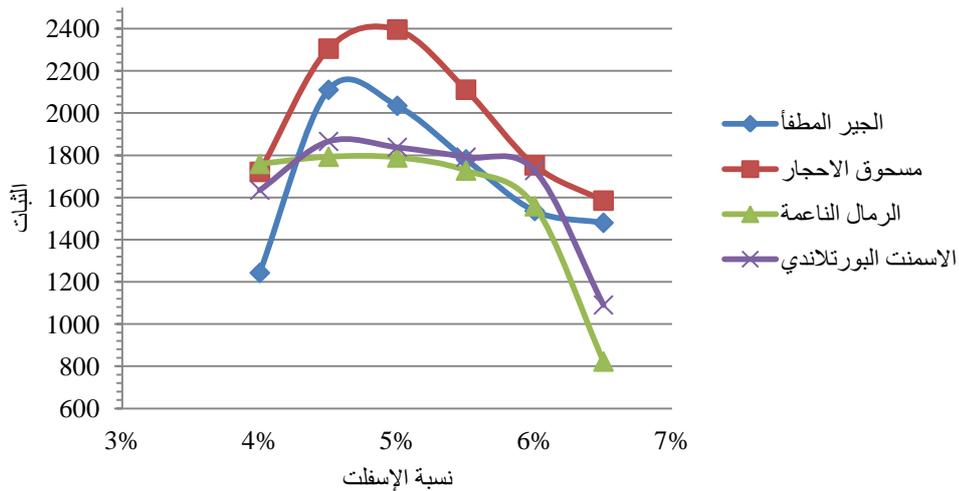
شكل (3) العلاقة بين VFB و نسبة الإسفلت

3 - 4 ثبات مارشال

تعتبر تجربة مارشال من الطرق المستخدمة في ليبيا لتصميم الخلطات الإسفلتية الساخنة حيث يتم فيها قياس ثبات وانسياب مارشال. الثبات والانسياب هما مقياس لتوقع أداء المخلوط الإسفلتي. الثبات هو مقياس الحمل الأقصى المسلط على العينة وبمعدل تحميل 50.8 مم/ دقيقة.

من خلال نتائج إختبار مارشال يلاحظ أن جميع أنواع الخلطات الإسفلتية المستخدمة في هذه الدراسة والتي تحوي أنواع مختلفة من البودرة أعطت ثباتا عاليا (حسب المواصفات القياسية الليبية والتي تنص على أن لا يقل ثبات مارشال عن 600 كجم) كما هو ملاحظ في الشكل رقم (4).

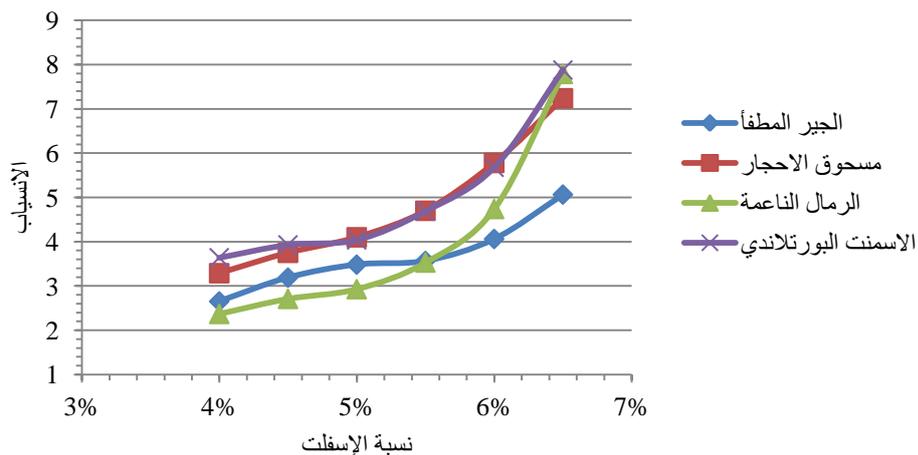
كما يبين الشكل أن الخلطة الإسفلتية مع مسحوق الأحجار كمادة مالئة أعطت أعلى قيم ثبات وكانت أعلى قيمة هي 2396 كجم عند نسبة إسفلت 5%. يأتي المخلوط الإسفلتي المحتوي على الجير المطفأ كثاني أفضل مخلوط من حيث الثبات حيث بلغت قيمة الثبات القصوى 2160 كجم عند نسبة إسفلت 4.57% يليه المخلوط الإسفلتي المحتوي على الإسمنت البورتلاندي حيث بلغت قيمة الثبات القصوى 1880 كجم عند نسبة إسفلت 4.5%. كما يلاحظ أن المخلوط الإسفلتي المحتوي على الرمال الناعمة أعطى أقل قيم ثبات مقارنة بباقي الأنواع حيث كانت أقصى قيمة للثبات 1800 كجم عند نسبة إسفلت 5%.



الشكل (4) العلاقة بين نسبة الإسفلت والقياسات لعينات مارشال

3 - 5 إنسياب مارشال

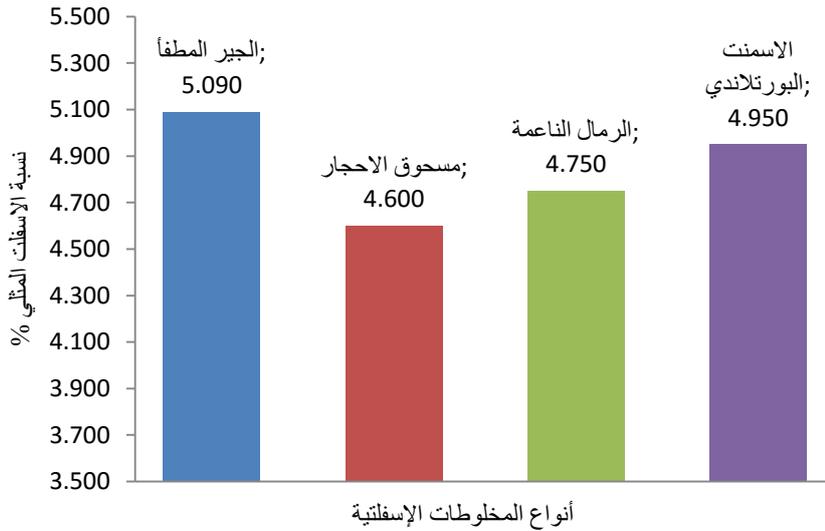
كما نوه سابقاً، الثبات هو أقصى حمل تتحمله عينة المخلوط الإسفلتي. والإنسياب هو مقياس التشوه المرن الحاصل نتيجة هذا الحمل. تم قياس الإنسياب لعينات المخلوط الإسفلتي وكانت النتائج كما هي موضحة بالشكل رقم (5). من خلال الشكل يلاحظ أن قيمة الإنسياب تزداد طردياً مع زيادة الإسفلت وأن قيم الإنسياب للمخلوط الإسفلتي المحتوي على مسحوق الأحجار والمخلوط المحتوي على الإسمنت البورتلاندي تتجاوز القيمة العليا المسموح بها حسب المواصفات القياسية الليبية (2-4 مم) عند نسب إسفلت أعلى من 5%. كما يبين الشكل أن المخلوط المحتوي على الجير المطفأ والمخلوط المحتوي على الرمال الناعمة له قيم إنسياب ضمن حدود المواصفات عند نسب إسفلت أقل من 6%، و 5.8% لمخلوط الجير المطفأ ومخلوط الرمال الناعمة على التوالي.



شكل (5) العلاقة بين نسبة الإسفلت والإنسياب لعينات مارشال

3 - 6 نسبة الإسفلت المثلى

تعتبر عملية تحديد نسبة الإسفلت المثلى هي الأهم في عملية تصميم الخلطات الإسفلتية نظرا للتأثير الكبير للإسفلت على خواص الخلطة الإسفلتية وعلى التكلفة الاقتصادية للإنشاء. تم تحديد نسبة الإسفلت لكل نوع من الخلطات الإسفلتية المستخدمة في هذه الدراسة وكانت النتائج كما هي موضحة بالشكل رقم (6) حيث يلاحظ أن نسبة الإسفلت المثلى للمخلوط المحتوي على مسحوق الأحجار كمادة مألثة هي 4.6 % وهي أقل النسب. بينما كانت نسبة الإسفلت المثلى هي 4.75 و 4.95 و 5.09 للمخلوط المحتوي على الرمال الناعمة والإسمنت البورتلاندي والجير المطفاً كمادة مألثة على التوالي.



شكل (6) نسبة الإسفلت المثلى لكل نوع من الخلطات المستخدمة

4 - الإستنتاجات

من خلال التجارب المعملية التي أجريت في هذه الدراسة يستنتج التالي:

- 1- استخدام الإسمنت البورتلاندي كمادة مألثة أنتج مخلوطاً إسفلتياً به أعلى كثافة مقارنة بالأنواع الأخرى المستخدمة في هذه الدراسة وكانت نسبة الفراغات الهوائية والفراغات المملووة بالإسفلت ضمن حدود المواصفات. كما أستنتج أن استخدامه كمادة مألثة يعطي قيم ثبات عالية واستقراراً ضمن حدود المواصفات عند نسبة الإسفلت المثلى (4.95%).
- 2- كانت نتائج الإختبارات للمخلوط الإسفلتي المحتوي على مسحوق الأحجار ضمن حدود المواصفات حيث أعطت نتائج الإختبارات قيم كثافة عالية وكانت نسبة الفراغات الهوائية والفراغات المملووة بالإسفلت عند نسبة الإسفلت المثلى (4.6%) ضمن حدود المواصفات. كما أظهرت نتائج مارشال أن استخدام مسحوق الأحجار كمادة مألثة يعطي أعلى ثبات مقارنة بالأنواع الأخرى من البودرة المستخدمة في هذه الدراسة، كما أظهرت أن الإنسياب لهذا النوع هو ضمن المواصفات القياسية عند نسبة الإسفلت المثلى.
- 3- أظهرت النتائج أن المخلوط الإسفلتي المحتوي على الجير المطفاً أعطى أقل كثافة مقارنة بباقي الخلطات المستخدمة في هذه الدراسة. كما أن نسبة الفراغات الهوائية والفراغات المملووة بالإسفلت هي خارج حدود

المواصفات. كما أظهرت نتائج إختبار مارشال أن الثبات والإستقرار هما ضمن حدود المواصفات القياسية.

4- المخلوط الإسفلتي المحتوي على الرمال الناعمة أعطى كثافة عالية، ونسبة فراغات هوائية وفراغات مملووة بالإسفلت خارج حدود المواصفات عند نسبة الإسفلت المثلى (4.75 %). وكانت نتائج ثبات وانسياب مارشال ضمن حدود المواصفات القياسية.

5 - التوصيات

من خلال هذه الدراسة والإستنتاجات التي تم التوصل إليها يوصى بالآتي:

- 1- إستمرار الدراسة لتحديد أفضل أنواع البودرة لاستخدامها كمادة مألثة في الخلطات الإسفلتية لتعطي خلطة تضمن أداء جيدا للطريق خلال العمر التصميمي له وذلك باستخدام أنواع أخرى من البودرة.
- 2- إجراء المزيد من الإختبارات على هذه الأنواع من البودرة لاختيار الأفضل منها.
- 3- إستخدام نسب مختلفة من البودرة عند نسبة البيتومين المثلى لدراسة تأثير هذه النسب على خواص الخلطات الإسفلتية.
- 4- إجراء الدراسات على هذه الأنواع باستخدام طريقة السوبريفف وذلك لتوقع الأداء المستقبلي للخلطات الإسفلتية.

6 - المراجع

1. Bouchard, G. P, 1992. "Effect of Aggregates and Mineral Fillers On asphalt Mixtures Performance",. Philadelphia, USA: ASTM STP 1147.
2. Dallas N. L., and Jon A. E, 2001. "The Benefits of Hydrate Lime in Hot Mix Asphalt, s.l.": National Lime Association.
3. Ilan Ishai., Joseph Craus., and Sides ArieH, 1980. "A Model for Relating Filler Properties to Optimal Behavior of Bituminous Mixtures". AAPT, p. volume 49.
4. Kandhal Prithvi, C. Y. F. P., 1998. "Characterization Tests for Mineral Fillers Related to Performance of Asphalt paving Mixtures". TRB, pp. 101-110.
5. Mehari, Z. B., 2007. "Effect of Different Types of Filler Materials on Characteristics of Hot-Mix-Asphalt Concrete". Master Thesis, Addis Ababa, Ethiopia.
6. Naiel, A., 2010. "Flexible Pavement Rut Depth Modeling for Different Climate Zones". PhD Dissertation, Wayne State University. Detroit, MI, USA: s.n.
7. Noor M, A., 2010. "Effect of Mineral Filler Type and Content on Properties of Asphalt Concrete Mixes". Journal of Engineering, pp. 5352 - 5362.
8. S.Huschek and CH.Angst, 1980. "Mechanical Properties of Filler-Bitumen Mixes at High and Low Service Temperatures". AAPT.

المبالغة في الإضافات وتأثير ذلك على خواص الخرسانة الطازجة والصلدة

- د. علي محمد الترهوني¹، أ. د. سمير مختار نوح¹، م. حسن عمر حنيش²، م. عبد المعز محمد المخولفي²
 1. قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة طرابلس
 2. شركة ليبيا للإتصالات - طرابلس

ملخص

في المناطق الحارة مثل ليبيا للعوامل البيئية المحيطة بالمنشآت الهندسية أثر في غاية الأهمية على خواص الخلطة الخرسانية، وتلعب الإضافات التي تستخدم مع الخرسانة دوراً مهماً للتحكم في هذه الخواص ومنها قوة تحمل الخرسانة وديمومتها مع الزمن [1]. يضاف إلى العوامل البيئية المحيطة ظروف النقل والصب مع الإستعمال الأمثل للإضافات للحصول على أفضل النتائج للخلطات الخرسانية المستهدفة. وهذا يستوجب ضرورة معرفة الجرعة المثلى من الإضافة الواجب إستخدامها لتلافي أي نتائج سلبية على خواص الخرسانة وخاصة خواص التشغيلية وزمن الشك الابتدائي والنهائي وقوة الضغط. ومن هذا المنطلق تناول هذا البحث الدراسة المعملية لأثر المبالغة في إستعمال الإضافات الكيميائية من النوع Type A، والنوع Type G حسب المواصفة الأمريكية ASTM C494 على خواص الخلطة الخرسانية من جانب التشغيلية التي تعبر عن خواص الخرسانة الطازجة، وزمن الشك الذي يعبر عن التحول في مراحل الخرسانة من المرحلة الطازجة إلى المتصلدة، وقوة تحمل الخرسانة للضغط التي تعبر عن خاصية الخرسانة بعد تصلدها.

وخلص البحث إلى أن المبالغة في استخدام الإضافات الخرسانية المذكورة أعلاه يعود بتأثيرات سلبية على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة تمثلت في تأخير زمني الشك، وميل مكونات الخرسانة للإنفصال مع إنخفاض في مقاومة الضغط للعينات عند عمر 7 أيام، و 28 يوماً، و 90 يوماً من تاريخ الصب بالمقارنة بالعينات التي لم تستخدم فيها الإضافات.

الكلمات الدالة: إضافات الخرسانة، التشغيلية، زمن الشك الابتدائي والنهائي، قوة الضغط.

المقدمة

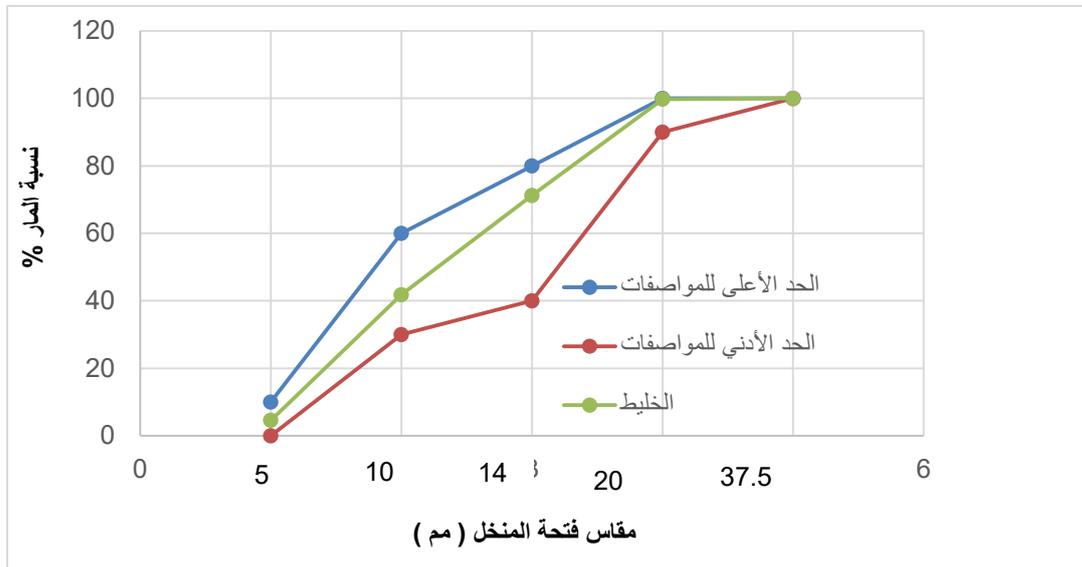
إن علم تكنولوجيا الخرسانة يعتبر أحد الأسس الهامة في أي نهضة صناعية أو عمرانية حديثة، فالمنشآت الضخمة والمشروعات الهندسية الكبرى ما هي إلا صورة حية تعكس مدى تقدم علم تكنولوجيا الخرسانة وعلم المواد وذلك لأن صلاحية هذه المنشآت وصمودها مع الزمن له علاقة مباشرة بديمومة المواد المستخدمة في تكوينها وبنائها. وتظهر إضافات الخرسانة كمحسنات فعالة للخرسانة الناتجة والتي تفوق الخرسانة العادية في التشغيلية والتحكم في زمن الشك الابتدائي والنهائي وكذا قوة ضغط الخرسانة الناتجة [2] [3] [4]. من ضمن إضافات الخرسانة، الملدنات والملدنات الفائقة اللتان تستخدمان لتحسين تشغيلية الخرسانة الطازجة حيث تمكن من تقليل ماء الخلط، والتقليل من حدوث إنفصال حبيبي للخلطة، وتسهيل ضخ الخرسانة لارتفاعات شاهقة [5]، وإن التقليل من ماء الخلط يرفع كذلك من قوة ضغط الخرسانة الناتجة بعد تصلدها.

إن الجهة المصنعة للإضافات تحدد مقدار الجرعة التي يسمح باستخدامها مع الخلطة الخرسانية [6] [7]، ولكن موضوع تجاوز الجرعة المسموح بها من الإضافات هو أمر يحتاج للدراسة وخاصة أن البعض ممن هم في مجال البناء والإنشاء وممن أصبحوا من مستخدمي الإضافات ربما لا يجدون ضيراً في زيادة جرعة الإضافة عن الحد

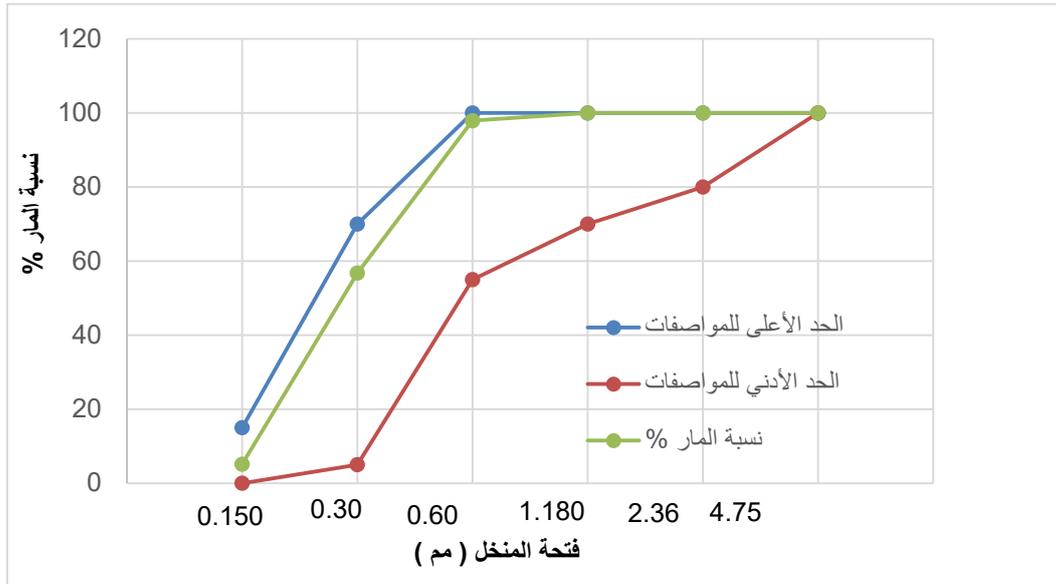
المسموح به من قبل المُصنِّع، وهم بالتاكيد لا يعلمون مدى السلبية أو الايجابية في هذا الشأن أو التأثير الذي سيحدث على الخرسانة الناتجة، ولذا كان موضوع البحث الحالي. والحقيقة أنه ليست هناك معلومات متوفرة حول مدى التأثير الذي ينتج عن هذه الزيادة سلباً أم إيجاباً مما قد يؤدي إلى حدوث تأثيرات غير محمودة الجانب على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة، ومما قد ينتج عنه تأخير في زمن شك الخرسانة ربما لعدة أيام أو انفصال في مكوناتها في الحالة الطازجة أو تدني في قيمة مقاومة الضغط للخرسانة عند تصلدها، وهذا إن حدث فسيؤدي إلى تأخير التنفيذ وزيادة في التكلفة مع خسارة في الوقت اللازم للتنفيذ وربما انخفاض قوة الضغط عن الحد المطلوب.

البرنامج العملي

تتكون الخرسانة التي تم استخدامها في هذه الدراسة من الإسمنت البورتلاندي العادي السائب من إنتاج مصنع البرج بزليطن، والركام الخشن ذي التدرج من 5 مم إلى 14 مم، والذي خلط مع ركام بمقاس 20 مم المستجلب من محاجر الجبل الغربي، والشكل (1) يوضح نتائج التحليل المنخلي للخليط. وتم استخدام الركام الناعم الطبيعي المورد من منطقة زليطن لجميع الخلطات، والشكل (2) يبين نتائج التحليل المنخلي للركام الناعم الذي تم استخدامه. أما الماء الذي أضيف للخلطات فكان الماء الصالح للشرب. وبالنسبة للإضافات فكانت هناك إضافتان لهما خاصية خفض ماء الخلط وتصنفان حسب المواصفات الأمريكية ASTM C494 بالترتيب Type A و Type G [6] [7] [8].



شكل (1) التحليل المنخلي لخليط الركام الخشن



شكل (2) التدرج المنخلي لعينة الركام الناعم

أستخدمت الطريقة الحجمية لتحديد كميات مكونات الخلطة لمتري مكعب من الخرسانة، ولقد تم استخدام نسبة 0.54 كنسبة الماء إلى الإسمنت، ونسبة 5.14 كنسبة الركام إلى الإسمنت، ونفذت سبع خلطات عند استخدام النوع الأول من الإضافتين وهو النوع A بسبع نسب من وزن الإضافة إلى وزن الإسمنت المستخدم وهي 0.5 %، 1.0 %، 2.0 %، 2.5 %، 3.0 %، 3.5 %، 4.0 %، وسبع خلطات من النوع الثاني من الإضافتين وهو النوع G بسبع نسب من وزن الإضافة إلى وزن الإسمنت المستخدم وهي 0.5 %، 1.0 %، 2.0 %، 3.0 %، 4.0 %، 5.0 %، 6.0 % . وحسب المصنّع فإن نسبة الإضافات التي تعتبر القصوى للنوع الأول هي 2 % بينما للنوع الثاني فهي 1 % فقط، لذا فإن هناك أربع نسب تتجاوز النسبة القصوى استخدمت في هذا البحث للنوع الأول من الإضافات، وخمس نسب تتجاوز النسبة القصوى استخدمت للنوع الثاني.

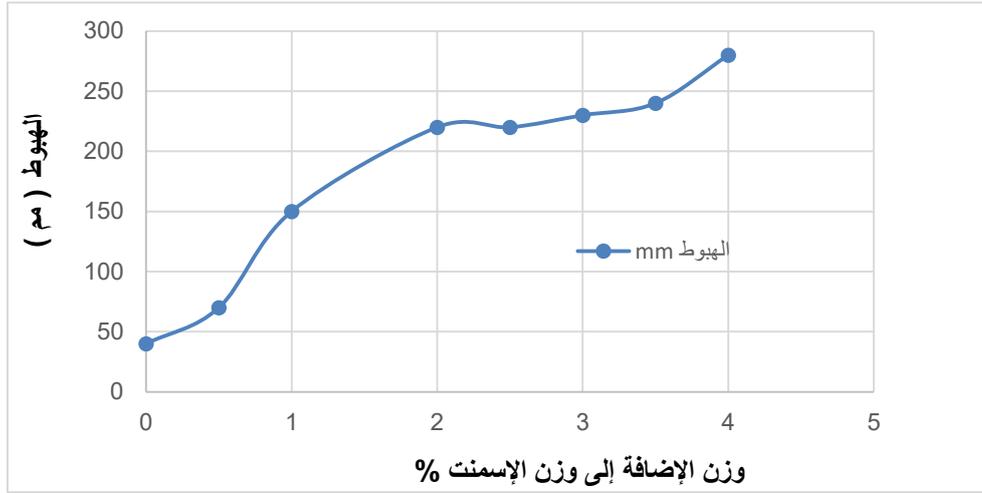
تم إجراء إختبارات الهبوط على عينات الخرسانة الطازجة، وإختبارات تحديد زمني الشك الابتدائي والنهائي، وللخرسانة الصلدة تم إجراء إختبارات الضغط لعينات قياسية لمكعبات بحجم 150x150x150 مم عند عمر 7 أيام، و28 يوماً، و90 يوماً من تاريخ الصب بالنسبة للعينات التي تحتوي على إضافات وتلك التي لا تحتوي عليها، وتم حساب قوة الضغط على أساس متوسط الضغط لعينتين في كل حالة.

نتائج الإختبارات المعملية

إشتملت النتائج المعملية على مقدار الهبوط، وتعيين زمني الشك الابتدائي والنهائي، وقوة ضغط العينات المختلفة عند استخدام الإضافات من النوعين الأول والثاني. جدول (1) يبين مقدار هبوط العينات التي أضيفت لها الإضافة الأولى مع مقارنتها بعينة بدون إضافة، ويبين شكل (3) هذه النتائج بيانياً.

جدول (1) هبوط عينات الإضافة الأولى (Type A) مقارنة بعينة مرجعية بدون إضافة

مقدار الهبوط (مم)	وزن الإضافة الأولى ا وزن الإسمنت %
40	0.0
70	0.5
150	1.0
220	2.0
220	2.5
230	3.0
240	3.5
280	4.0

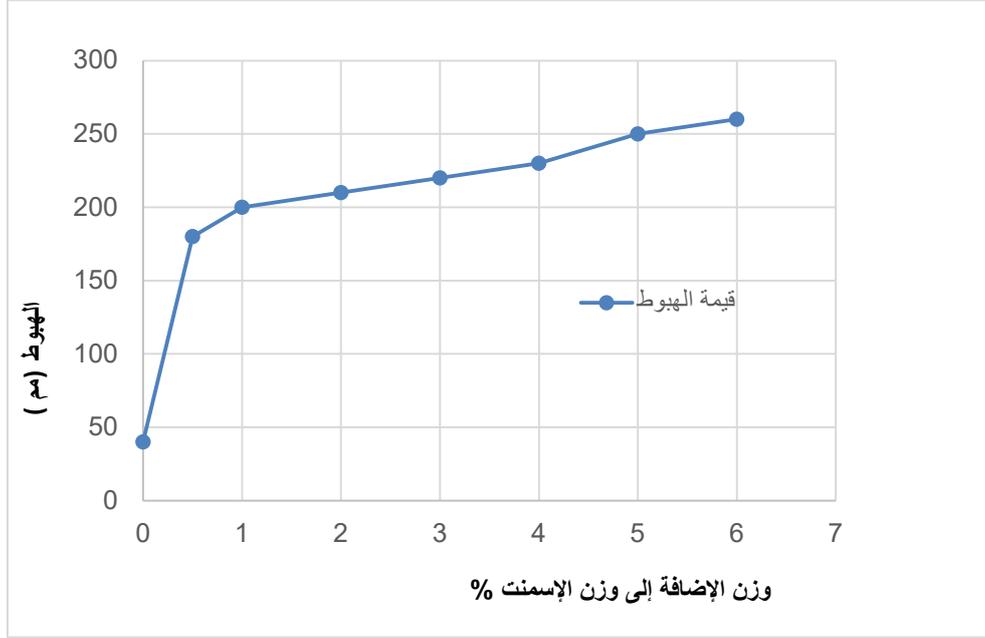


شكل (3) نتائج إختبار الهبوط عند إستخدام الإضافة الأولى من نوع (Type A)

أما جدول(2) فيبين مقدار هبوط العينات التي أضيفت لها الإضافة الثانية مع مقارنتها بعينة بدون إضافة، والشكل(4) يبين هذه النتائج بيانياً.

جدول (2) هبوط عينات الإضافة الثانية (Type G) مقارنة بعينة مرجعية بدون إضافة

مقدار الهبوط (مم)	وزن الإضافة الأولى ا وزن الإسمنت %
40	0.0
180	0.5
200	1.0
210	2.0
220	3.0
230	4.0
250	5.0
260	6.0



شكل (4) نتائج إختبار الهبوط عند إستخدام الإضافة الثانية من نوع (Type G)

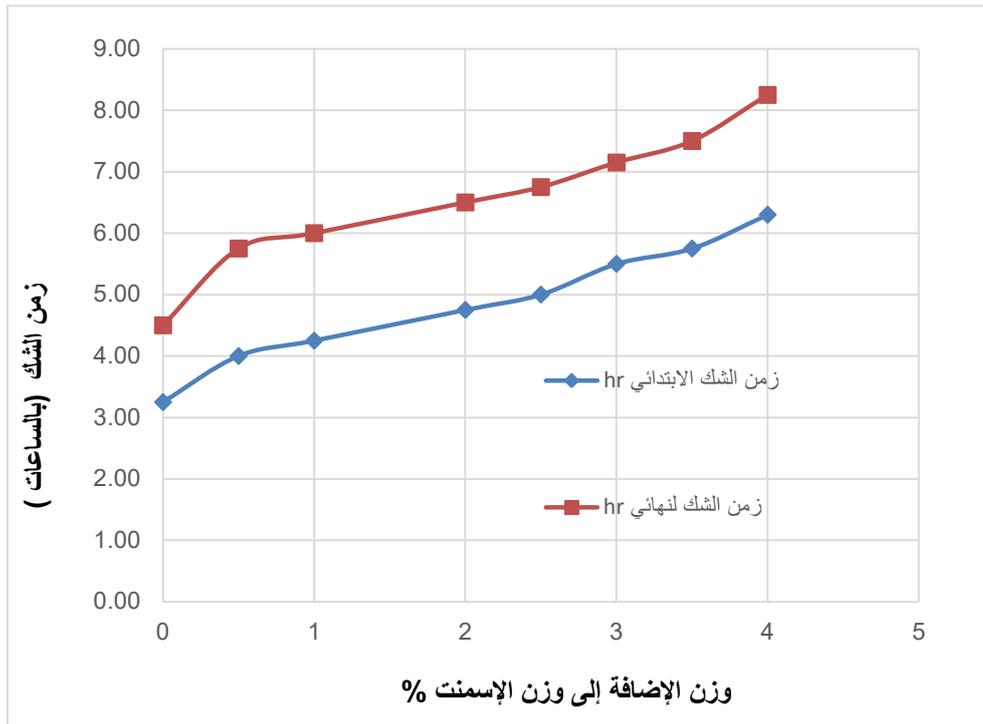
تم الحصول على زمني الشك الابتدائي والنهائي كما هو مبين في جدول (3) وجدول (4) بالنسبة لعينات الإضافة الأولى والثانية على الترتيب مع المقارنة مع العينة المرجعية بدون إضافة في كل حالة، والشكل (5) والشكل (6) يوضحان هذه النتائج بيانياً. يبين جدول (4) عدم التمكن من الحصول على زمني الشك الابتدائي والنهائي للعينات الثلاث الأخيرة لعدم إحتفاظ العينات بهيئتها بماء حوض المعالجة.

جدول (3) زمني الشك الابتدائي والنهائي لعينات الإضافة الأولى (Type A) مقارنة بعينة مرجعية بدون إضافة

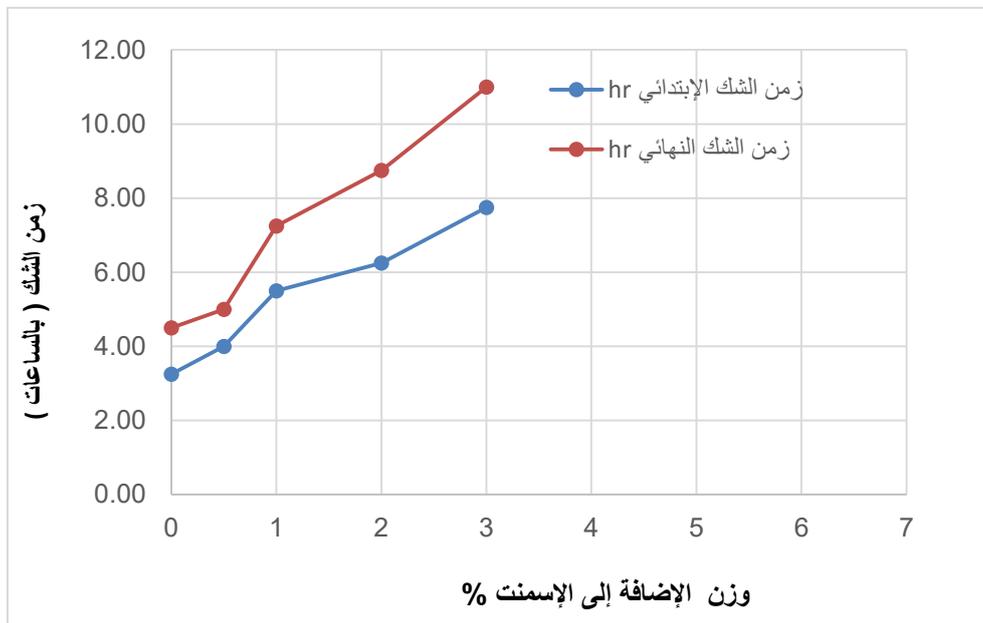
النسبة % من وزن الإضافة الأولى و وزن الإسمنت	زمن الشك الابتدائي (دقيقة : ساعة)	زمن الشك النهائي (دقيقة : ساعة)
0.0	3:15	4:30
0.5	4:00	5:45
1.0	4:15	6:00
2.0	4:45	6:30
2.5	5:00	6:45
3.0	5:30	7:15
3.5	5:45	7:30
4.0	6:30	8:15

جدول (4) زمني الشك الابتدائي والنهائي لعينات الإضافة الثانية (Type G) مقارنة بعينة مرجعية بدون إضافة

النسبة % من وزن الإضافة الأولى و وزن الإسمنت	زمن الشك الابتدائي (دقيقة : ساعة)	زمن الشك النهائي (دقيقة : ساعة)
0.0	3:15	4:30
0.5	4:00	5:00
1.0	5:30	7:15
2.0	6:15	8:45
3.0	7:45	11:00
4.0	--	--
5.0	--	--
6.0	--	--



شكل (5) نتائج إختبار زمني الشك للمادة المضافة الأولى من نوع (Type A)



شكل (6) نتائج إختبار زمني الشك للمادة المضافة الثانية من نوع (Type G)

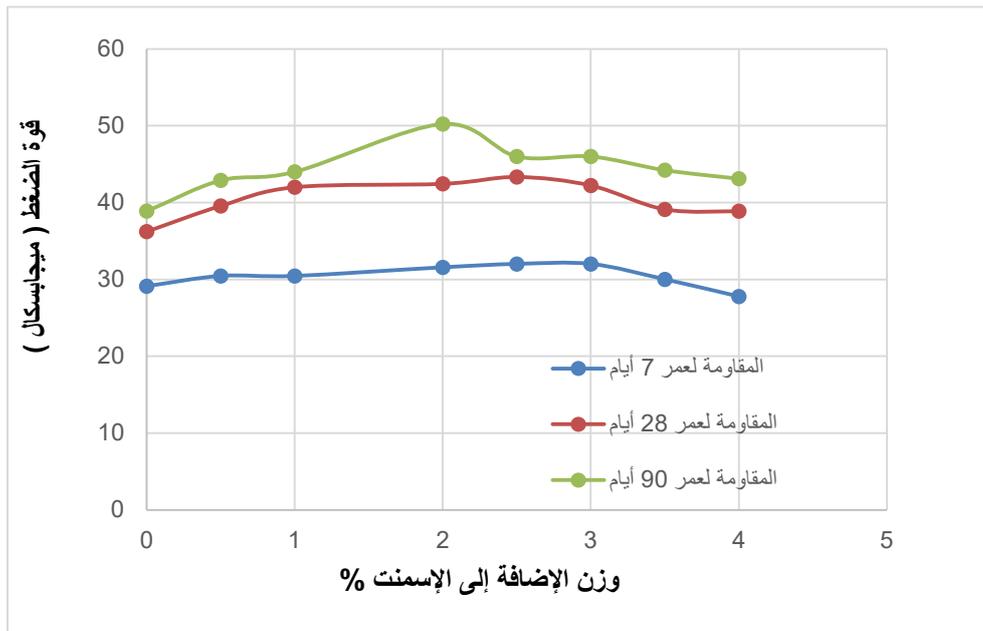
إشتملت نتائج إختبارات قوة ضغط الخرسانة الصلدة على عينات تم اختبارها عند 7 أيام و28 يوما و90 يوما من تاريخ الصب، كما هو مبين في جدول (5) بالنسبة لعينات الإضافة الأولى، وفي جدول (6) بالنسبة لعينات الإضافة الثانية وكذا كما هو موضح بيانياً في شكل (7) وشكل (8) على الترتيب.

جدول (5) متوسط مقاومة الضغط (لعينتين) لعينات الإضافة الأولى (Type A) ومقارنتها بعينات مرجعية بدون إضافة عند 7 أيام و28 يوماً و90 يوماً من تاريخ الصب

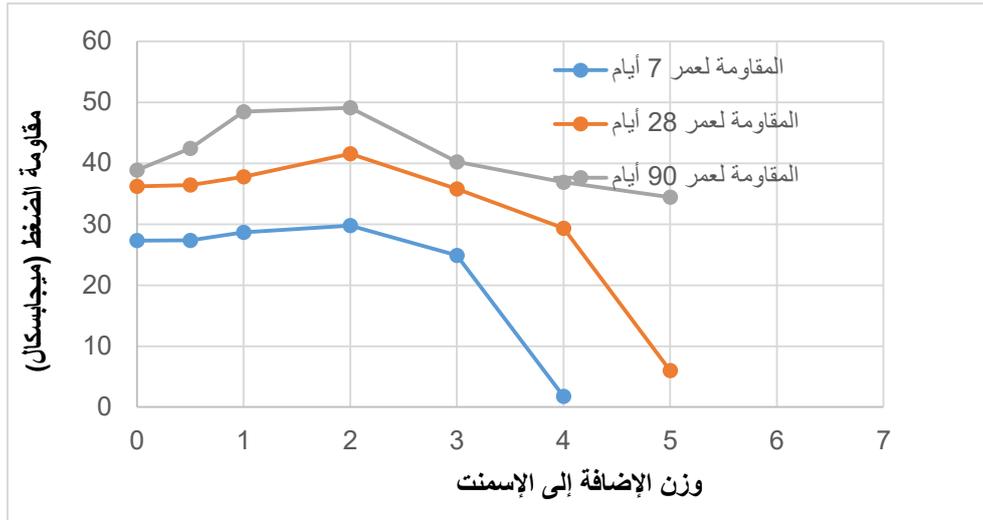
متوسط مقاومة الضغط لعينتين (ميغا بسكال)			وزن الإضافة الأولى إلى وزن الإسمنت %
90 يوماً	28 يوماً	7 أيام	
38.89	36.22	29.11	0.0
42.89	39.56	30.44	0.5
44.00	42.00	30.44	1.0
50.22	42.44	31.56	2.0
46.00	43.33	32.00	2.5
46.00	42.22	32.00	3.0
44.22	39.11	30.00	3.5
43.11	38.88	27.77	4.0

جدول (6) متوسط مقاومة الضغط لعينات الإضافة الثانية (Type G) ومقارنتها بعينات مرجعية بدون إضافة عند 7 أيام و28 يوماً و90 يوماً من تاريخ الصب

متوسط مقاومة الضغط لعينتين (ميغا بسكال)			وزن الإضافة الثانية إلى وزن الإسمنت %
90 يوماً	28 يوماً	7 أيام	
38.88	36.22	27.33	0.0
42.44	36.44	27.34	0.5
48.44	37.78	28.67	1.0
49.11	41.56	29.78	2.0
40.22	35.78	24.88	3.0
36.88	29.33	1.77	4.0
34.44	--	--	5.0
--	--	--	6.0



شكل (7) متوسط مقاومة الضغط (لعينتين) لعينات الإضافة الأولى (Type A) عند 7 أيام و28 يوماً و90 يوماً



شكل (8) متوسط مقاومة الضغط (لعينتين) لعينات الإضافة الثانية (Type G) عند 7 أيام و 28 يوماً و 90 يوماً

مناقشة النتائج

إهتمت هذه الدراسة المعملية بالنظر في التأثيرات الناتجة عن المبالغة في استخدام الإضافات من النوعين A، G التي تخضع للمواصفات الأمريكية ASTM C949، حيث شملت الخرسانة الطازجة من جانب التشغيلية، وزمني الشك الابتدائي والنهائي في المرحلة ما بين الطازجة والصلدة، وقوة ضغط الخرسانة في المرحلة الصلدة، ولوحظ أن المبالغة في الجرعات المستخدمة من الإضافات يؤدي إلى زيادة في مقدار الهبوط، وكذلك حدوث انفصال حبيبي في مكونات الخلطة سواء كانت الإضافة من النوع الأول أو الثاني. لوحظ كذلك ازدياد تأخر زمن الشك عموماً وخصوصاً بتجاوز الحد المسموح به من نسبة الإضافة سواء للإضافة الأولى أو الثانية، وتختلف نسبة التأخر حسب نوع الإضافة المستخدمة فيكون التأخير في زمن الشك تدريجياً عند استخدام الإضافة الأولى من نوع (Type A) حيث ترواح زمن الشك الابتدائي والنهائي ضعيف زمن الشك بدون إضافات عند استخدام ضعف أقصى جرعة مسموح بها، أما بالنسبة للإضافة الثانية من نوع (Type G) فإن زمن الشك تأخر بمقدار كبير جداً، وقد تؤدي المبالغة المفرطة إلى توقف تفاعل الإماهة للإسمنت في هذه الحالة. أما بالنسبة لقوة ضغط الخرسانة فالإضافة الأولى من نوع (Type A) لم تظهر إختلافاً في قوة الضغط مع زيادة جرعة الإضافة لاختبارات 7 أيام أو 28 يوماً أو 90 يوماً، إلا عندما زادت جرعة الإضافة عن 3% كما يلاحظ ذلك من شكل (7). و بالنسبة لقوة ضغط الخرسانة للإضافة الثانية من نوع (Type G) فلقد لوحظ انخفاض هائل في قوة الضغط عندما تعدت الجرعة من الإضافة 2% وخاصة بالنسبة للعينات التي أختبرت عند 7 أيام و 28 يوماً وعندما وصلت الجرعة لأكثر من 3% كما يظهر في شكل (8). مقاومة الضغط لعينات الإضافة الثانية التي أختبرت عند 90 يوماً بينت زيادة في القوة غير متوقعة تصل إلى 10 ميجاباسكال عند الجرعة ما بين 1% و 2%، ثم بدأت القوة في التناقص للجرعات التي زادت عن ذلك.

الخلاصة والتوصيات

بناء على النتائج المتحصل عليها من هذا البحث، فإنه يخلص إلى النتائج الآتية، أخذاً في الاعتبار بأنها تخضع للمعطيات والمواد والإضافات المستخدمة هنا فقط ولا يمكن تعميمها إلا إذا تمت الدراسة على معطيات متعددة وعددًا من الإضافات الخرسانية التي هي متوفرة حالياً وتستخدم في السوق الليبي:

- أظهرت النتائج أن المبالغة في استخدام الإضافات عن أقصى جرعة تعينها الجهة المصنعة عموماً لها تأثير سلبي على زمني الشك الابتدائي والنهائي سواء عند استخدام الإضافة الأولى أو الثانية مما يؤخر التنفيذ وربما يؤدي إلى نتائج لا تحمد عقبها في بعض الأحيان من ناحية قوة الضغط المطلوبة.
- أظهرت النتائج أن المبالغة في استخدام الإضافات عن أقصى جرعة تعينها الجهة المصنعة عموماً له تأثير سلبي على قوة ضغط الخرسانة الناتجة وخاصة عند عمر 7 أيام و28 يوماً.
- ينصح بتلافي الأسباب التي تؤدي إلى حدوث المبالغة في استخدام الإضافات وخاصة عند استخدام الملدنات الفائقة أو التي تقلل من استخدام الماء، سواء كانت الأخطاء نتيجة لأخطاء بشرية أو تصنيعية للإضافة المستخدمة.
- من المهم معرفة أن استخدام الإضافات عموماً ليس بأي حال هو علاج للخرسانة ذات النوعية الرديئة.

[9].

المراجع

14. Soroka, I., "Concrete in Hot Environments", Modern Technology, Second Edition, 2004.
15. Aitcin, P. C. and B. Miao, "How to Make High-Performance Concrete", Proceedings of the 2nd Seminar on High-Performance Concrete, Taipei, Taiwan, ROC, 1992, pp 91-118.
16. Neville, A.M., "Properties of Concrete", Fourth Edition, Pearson Education Ltd., 1995.
17. Salhaldein Alsadey, "Effects of Superplasticizing Admixture on Properties of Concrete", International Conference on Transport, Environment and Civil Engineering (ICTECE'2012) August 25-26, 2012, Kuala Lumpur (Malaysia).
18. Mindess, S. and Young, J. F., Concrete, Second Edition, Prentice-Hall, Inc., 2002.
19. Sikment_163, (ASTM C494 - Types A & F), Sika Company.
20. Sikment_R2002, (ASTM C494 - Type G), Sika Company.
21. American Society for Testing and Materials, ASTM C494, Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.
22. Neville, A. M., "Properties of concrete", Fifth Edition, Trans-Atlantic Publications, Inc., 2011.

تأثير رماد نوى ثمار النخيل على الخواص الميكانيكية للمونة الإسمنتية

أ.د. مختار معمر أبوراوي
كلية الهندسة جامعة المرقب
م. أيمن فتح الله المبروك
الأكاديمية الليبية للدراسات العليا
aburawi2010@yahoo.com

ملخص

المخلفات الصناعية هي الأكثر ضررا بالبيئة وبالمقارنة مع المخلفات الزراعية التي أغلبها ما تتحلل بشكل طبيعي داخل التربة وتتحول إلى مواد تساعد على تخصيبها. ومن ناحية أخرى هناك بعض من المخلفات الزراعية على سبيل المثال نوى ثمار النخيل عند تعرضها للحرارة والرطوبة تتفاعل بشدة وينتج عنها مخاطر كيميائية نظرا لاحتوائها على كميات كبيرة من المواد العضوية، ومن أهم هذه المخاطر الكيميائية حمض الكبريتيك ومواد أخرى لها رائحة قوية وتأثير على الصحة العامة، إضافة إلى ذلك عدم استغلالها بشكل عملي أيضا قد يسبب في مشاكل ومخاطر تؤدي إلى تلوث بيئي.

تستعرض هذه الورقة العلمية كيفية وإمكانية إستغلال رماد مخلفات ثمار أشجار النخيل "النوى" التي تم تجميعها وحرقتها عند درجات حرارة مختلفة 300-400-500-600-700 درجة مئوية ولفترات زمنية مختلفة 3 و 5 و 8 ساعات لتحديد درجة حرارة والفترة الزمنية المثلى للحرق، وبعد التبريد والطحن تم إجراء التحليل الكيميائي على جميع العينات بواسطة جهاز حيود الأشعة XRD، وأظهرت النتائج تشابها في مكونات الرماد بمكونات الإسمنت. تم إستخدام هذا الرماد بنسب 5 و 10 و 15 و 20% من وزن الإسمنت كبديل جزئي للإسمنت لإنتاج المونة الإسمنتية المكونة من الإسمنت والرمل والماء بنسبة 1.0:1.5:0.42 على التوالي. وتم التقييم على أساس مقاومة الضغط بعد مرور 3 و 7 و 14 و 28 يوم. النتائج الأولية في هذه الدراسة وإلى جانب نتائج بعض الدراسات السابقة التي تشير إلى أن هناك إمكانية لاستخدام هذه المخلفات لإنتاج المونة الإسمنتية، أظهرت نتائج هذه الدراسة تحسنا في الخواص الميكانيكية للمونة الإسمنتية التي تحتوي على 5% من رماد نوى ثمار أشجار النخيل، ومن ناحية أخرى ولعدم معرفة تأثير إستخدام هذا الرماد على المونة الإسمنتية بالنسبة للمدى الطويل، تعتبر هذه النتائج جزء لا يتجزأ من البرنامج العملي الذي يتم العمل على إنجازه خلال المراحل التالية من الدراسة، لذلك لا يمكن الإعتماد على هذه النتائج في هذه المرحلة واستخدامها لإعداد المونة الإسمنتية.

المقدمة

هذه الأيام أصبحت المخلفات سواء الصناعية منها أو الزراعية مصدرا مهما لدعم وتوفير المواد البديلة وخاصة التي تستخدم في الصناعات الهندسية، وفي هذا المجال بذلت جهود كبيرة في جميع أنحاء العالم للإستفادة من هذه المخلفات لإنتاج مواد داعم أو تكميلية تعمل على تحسين خواص الخرسانة والمونة الإسمنتية.^[1] وواحدة من أهم المخلفات الزراعية في بلدان منطقة البحر الأبيض المتوسط، على سبيل المثال ليبيا، هي مخلفات أشجار الزيتون والنخيل. تتكدس المخلفات الزراعية بشكل موسمي بكميات كبيرة وخاصة عند جني ثمار الزيتون أو النخيل وكذلك

في مراحل التصنيع. هذه الكميات الهائلة تشجع من الناحية الاقتصادية على استخدامها في صناعة مواد البناء وبما يساهم إيجابيا في توفير مواد بناء غير هيكلية وبأقل تكلفة وأيضا على تحقيق بيئة نظيفة. الخرسانة والمونة الإسمنتية من أهم المواد الإنشائية وأكثرها استخداماً في أعمال البناء في العالم، فلا يوجد حقل من حقول الهندسة إلا وتتصدر الخرسانة والمونة الإسمنتية أولى مواد الإنشائية، والفضل في ذلك يعود إلى الخصائص الهندسية لهاتين المادتين وما يميزهما عن باقي مواد الإنشاء الأخرى على سبيل المثال من الناحية الاقتصادية والمتانة العالية وكذلك قابليتهما للتشكل، فضلاً عن المقاومة العالية للحرارة والرطوبة، وإمكانية تنفيذهما في مختلف الأوقات والظروف الجوية، ناهيك عن الشكل المعماري والجمالي الذي تظهره العناصر الإنشائية المنفذة من هاتين المادتين.

في دراسة عملية سابقة^[2] تم اختبار الخواص الفيزيائية والكيميائية لرماد الخشب لأكثر من 15 محرقه مختلفة، باستخدام الماسح الإلكتروني التخطيطي الذي يوضح أن رماد الخشب عبارة عن خليط غير متجانس مكون من جزيئات بحجوم متباينة الشكل وفي الغالب ذات زوايا. الجزيئات غير المحروقة والمحرقة جزئياً والموجودة في رماد الخشب حلوية البنية الإنشائية. رماد الأخشاب المنتج في الولايات المتحدة الأمريكية تقريبا 70% منه يدفن في باطن الأرض، بالإضافة إلى 20% يستخدم كبديل للتربة، والباقي 10% يستخدم في تطبيقات متنوعة. تأسيساً على الخواص الطبيعية والكيميائية لرماد الخشب، تؤكد النتائج العملية لبعض الباحثين على أن رماد الخشب كمحفز للمواد الإسمنتية له قدرة جوهريّة عند استخدامه كإضافات بوزولانية^[3,4].

أستخدم رماد قش الأرز كإضافات في إحدى الدراسات السابقة أظهرت نتائج جيدة ساهمت في تحسين الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للعجينة الإسمنتية المتصلبة. وكانت أفضل النسب التي تم إضافتها من رماد قش الأرز هي 20% من وزن الإسمنت وأفضل حجم يمكن إستخدامه يتراوح ما بين 0.125 - 0.063 ملم، وهذه النتيجة ساعدت على التقليل من إنتاجية صناعة الإسمنت وبالتالي حماية البيئة^[5]. وفي دراسة أخرى^[6] تم استخدام جفت الزيتون المحروق في الخلطات الخرسانية للأغراض غير الإنشائية.

ثلاث عينات لكل نسبة مختلفة من رماد قش الأرز وبزيادة تدريجية بنسبة 2.5% أي من 0% إلى 20% من وزن الإسمنت كبديل جزئي للإسمنت. والنتائج تشير إلى أن مقاومة الخرسانة للضغط في الأسبوع الأول والثاني لم تتجاوز نتائج العينات القياسية وعند 28 يوم تقاربت النتائج مع العينات القياسية وبعد هذه الفترة أي بعد 90 يوم من المعالجة تحسنت المقاومة بالمقارنة مع العينات القياسية، وهذا التحسن كان واضحاً بشكل كبير في العينات التي تحتوي على رماد قش الأرز بنسبة تصل إلى 15% من وزن الإسمنت^[7].

دراسة سابقة^[8] أجريت لتحديد إمكانيات استخدام مخلفات إنتاج التبغ في صناعة خرسانة خفيفة الوزن. تم إنتاج عينات مع مجموعات خليط مكون من مواد مثل مخلفات التبغ والخفاف والرمل والإسمنت. أظهرت النتائج أن عينات المواد المنتجة من الممكن تصنيفها من ضمن الخرسانات خفيفة الوزن وفقاً لقيم القوام ووحدة الوزن والمسامية والدمك ومقاومة الضغط والتوصيل الحراري. تم تحديد الوزن النوعي لعينات من الخرسانة الخفيفة حيث تراوح ما بين 500 - 560 كجم/سم³، وقيم مقاومة الضغط تراوحت ما بين 0.20 - 0.60 ن/م² ومعامل التوصيل الحراري تراوح ما بين 0.194 - 0.210 وات/متر. درجة مئوية. ووفقاً للملاحظات والاختبارات والتجارب والتقييم الذي تم على نتائج الاختبارات وجد هذا النوع من الخرسانة خفيفة الوزن التي تحتوي على مخلفات التبغ يمكن إستخدامها من ضمن المواد المستخدمة في الإنشاءات.

إضافة مخلفات رماد الزيتون للمونة الإسمنتية كان له تأثيراً على بعض خواص المونة الإسمنتية، حيث تقل القابلية التشغيلية بزيادة محتوى رماد مخلفات الزيتون في المونة الإسمنتية. ومن ناحية أخرى زيادة محتوى رماد مخلفات الزيتون في العجينة الإسمنتية يقلل من زمن الشك، أما بالنسبة لمقاومة الضغط والإنحاء للمونة الإسمنتية فتزيد قيمتها مع زيادة كمية رماد مخلفات الزيتون في الخلطة عند استخدامه كبديل جزئي للرمال؛ ومن ناحية أخرى تقل مقاومة الضغط للمونة الإسمنتية عندما يستخدم رماد مخلفات الزيتون كبديل جزئي للإسمنت.^[9]

ابتكر باحثون بجامعة نامق كمال بتركيا أسلوباً جديداً في إنتاج الخرسانة وذلك باستخدام قشور بذور نبات عباد الشمس. ويأتي هذا الابتكار في إطار البحث عن وسائل لاستغلال وإدارة مخلفات الصناعات الغذائية التي تعاني منها الدول النامية في إنتاج مواد جديدة صديقة للبيئة وغير مكلفة. تحتل تركيا المركز التاسع في إنتاج عباد الشمس العالمي بإنتاج قدره مليون طن ينتج عنها مخلفات زراعية تقريبا 300000 طن من قشور البذور مكونة من الألياف. ويتميز خليط الخرسانة بقشور بذور عباد الشمس بكونه أقل كثافة كما أنه مقاوم للتشققات التي تنتج عند تعرضه للتجفيف وذوبانه. ويرى الباحثون أن أنسب استعمال للخليط الجديد من الخرسانة هو في المنازل الريفية التي في الأغلب لا تعلق عن طابق واحد أو في استعمالات العزل الحراري.^[10]

أهداف البحث

1. تهدف هذه الورقة العلمية لمعرفة تأثير استخدام نوى ثمار النخيل المحروقة والمطحونة كبديل جزئي للإسمنت على الخواص الميكانيكية والطبيعية للمونة الإسمنتية وذلك لمحاولة إستغلال هذه المخلفات في صناعة مواد البناء، والمتوقع من نتائج هذه الدراسة تحسنا في الخواص الطبيعية والميكانيكية للمونة الإسمنتية بالإضافة إلى التأثير الإيجابي على البيئة وعلى النواحي الاقتصادية التي تهدف لها هذه الدراسة وتعمل على تحقيقها.
2. كما تهدف هذه الدراسة العملية على توفير مواد إضافية في مجال صناعة البناء حيث أن استغلال مثل هذه المخلفات كبديل جزئي للإسمنت يوفر الطاقة ويقلل من مشاكل الإحتباس الحراري الناتج عن تصاعد غاز ثاني أكسيد الكربون المتصاعد من مصانع الإسمنت.

البرنامج العملي

مكونات الخلطات الخرسانية

الإسمنت: تم توريد واستخدام إسمنت بورتلاندي عادي متوفر محليا من إنتاج شركة الإتحاد العربي للإسمنت بزلتين ومطابق للمواصفات القياسية الليبية رقم 340 لسنة 2009م الخاصة بالإسمنت البورتلاندي، وتم إجراء إختبارات مطابقة الجودة على سبيل المثال القوام وزمن الشك الإبتدائي والنهائي ومقاومة الضغط.

الركام الناعم: الركام الناعم المستخدم في هذه الدراسة طبيعي تم توريده من منطقة زلتن. ووفق المواصفات البريطانية BS882-1992 تم إجراء إختبار التحليل المنخلي وكانت النتائج داخل حدود المواصفة، كما تم إجراء التحليل الكيميائي للتأكد من خلوه من المواد الضارة وعدم تجاوز نسب الكلوريدات المسموح بها، وكذلك تم إجراء بعض الإختبارات الأخرى لمعرفة الخواص الفيزيائية والميكانيكية وكانت النتائج ضمن حدود المواصفات الليبية رقم 49.

رماد نوى ثمار النخيل: أستخدم في هذا البحث رماد نوى ثمار النخيل، حيث تم حرق الكميات المطلوبة من هذه المخلفات عند درجات حرارة مختلفة 300 - 400 - 500 - 600 - 700 درجة مئوية، وبعد التبريد والطحن تم إجراء التحليل الكيميائي لجميع العينات بواسطة جهاز حيود الأشعة XRD والجدول رقم 1 يبين تأثير درجات حرارة الحرق على محتوى المركبات الكيميائية للعينات، ومن خلال هذه النتائج تم اختيار العينات التي تم حرقها عند درجتى حرارة 300م° و600م° في زمن حرق 3 ساعات، وذلك لتحضير عينات الإختبار المعملية المستهدفة لهذه الدراسة.

جدول 1: المركبات الكيميائية للرماد عند درجة حرارة حرق مختلفة

(%)					الأكاسيد
700م°	600م°	500م°	400م°	300م°	
0.9168	0.9913	1.1306	1.1126	1.6355	CaO
0.231	0.294	0.338	0.350	0.672	SiO ₂
0.051	0.064	0.80	0.073	0.116	Al ₂ O ₃
0.266	0.274	0.297	0.357	0.527	Fe ₂ O ₃
0.769	0.849	0.763	0.732	0.754	MgO
0.068	0.077	0.051	0.052	0.080	NaO ₂
3.463	3.715	3.357	3.326	3.198	K ₂ O
0.700	0.737	0.747	0.677	0.788	SO ₃
7.43	7.77	8.12	8.21	10.03	C ₂ S
8.98	9.18	9.48	9.55	10.74	C ₃ S
0.31	0.29	0.29	0.41	0.58	C ₃ A
0.81	0.83	0.90	1.09	1.60	C ₄ Af

إعداد العينات

باستخدام الطريقة التجريبية تم إعداد وتحضير ثمانى خلطات للمونة الإسمنتية بدون إضافة رماد نوى ثمار النخيل وذلك للوصول والحصول على خلطة ذات قوام وقدرة تشغيلية عالية ومقبولة، والجدول رقم 2 يبين مكونات الخلطات ونسبتها لوزن الإسمنت. لكل خلطة تم صب إثني عشر مكعب، والشكل رقم 1 يوضح عينات من شكل الهبوط لجميع الخلطات. تم اختيار الخلطة رقم 6 كخلطة قياسية لهذه الدراسة وللتأكد من تجانس قوامها وتشغيليتها فقد تم إعادة إعدادها بنفس النسب وخلطها عدة مرات لاختبار مقدار قيمة الهبوط الذي تراوح ما بين 185 - 192ملم.

الجدول 2: مكونات الخلطات التجريبية للمونة الإسمنتية

رقم الخلطة	رمل كجم (نسبة)	إسمنت كجم (نسبة)	ماء كجم (نسبة)	مقدار الهبوط مم
1	(2) 14	(1) 7	(0.5) 3.5	235
2	(2)14	(1)7	(0.45) 3.15	70
3	(1.5)10.5	(1) 7	(0.45) 3.0	267
4	(1.5)10.5	(1) 7	(0.45) 2.80	220
5	(1.5)10.5	(1) 7	(0.5) 3.5	290
6	(1.5)10.5	(1) 7	(0.42) 2.94	190
7	(1.5)10.5	(1) 7	(0.39) 2.73	85
8	(1.75) 12.25	(1) 7	(0.4) 2.94	135



الشكل 1: إختبار الهبوط للخلطات

تم اختيار الرماد الناتج من عملية الحرق عند درجتي حرارة 300°م و600°م واستخدامه كبديل إسمنتي في الخلطة رقم 6 المستهدفة لدراستها، وبنسب مختلفة 0، 5، 10، 15، 20% من وزن الإسمنت، والجدول رقم 3 يبين أوزان مكونات هذه الخلطات بالكيلوجرام. ولتحقيق أهداف البحث وللحصول على نتائج كافية للتقييم المبدئي ولمعرفة تأثير رماد نوى ثمار النخيل على الخواص الميكانيكية والطبيعية للمونة الإسمنتية، تم إعداد وتحضير 216 عينة في قوالب حديدية بأبعاد 50×50×50 مم لاختبار مقاومة الضغط للمونة الإسمنتية وفق المواصفة ASTM C109/C109M، وفي أعمار 3، 7، 14، 28 يوم. جميع القوالب بعد الصب تركت لمدة 24 ساعة تحت الخيش المبلل في معمل الخرسانة بمعهد المهن الشاملة ببني وليد وبعد ذلك تم فكها ومعالجة نصف عدد العينات بالغمر في الماء والنصف الآخر ترك بشكل مباشر في الهواء.

إختبار مقاومة الضغط

إختبار مقاومة الضغط من أهم الإختبارات وأوسعها إنتشارا لمعرفة مستوى الجودة للمونة الإسمنتية المتصلدة، فهو اختبار بسيط ويعطي نتائج أقرب ما يمكن لحالة العينة بالموقع. تم إجراء إختبار مقاومة الضغط وفق المواصفات البريطانية BS 1881: part 116: 1983 وذلك بتعريض جميع العينات لمعدل تحميل ثابت قدره 0.35 ن/مم² في ثانية. النتائج التي تم الحصول عليها تم احتسابها من متوسط نتائج إختبار ثلاثة قوالب لكل خلطة ولفترات زمنية 3-7-14-28 يوم.

الجدول 3: مكونات الخلطات بالكيجرام

رقم الخلطة	رمل	إسمنت	ماء	نوى ثمار النخيل	درجة حرارة الحرق
6	7.50	4.750	2.1	0	0
6.1	7.50	4.750	2.1	0.250	300°م
6.2	7.50	4.5	2.10	0.500	
6.3	7.50	4.250	2.10	0.750	
6.4	7.50	4	2.10	1	
6.5	7.50	4.750	2.1	0.250	600°م
6.6	7.50	4.50	2.10	0.500	
6.7	7.50	4.25	2.10	0.750	
6.8	7.50	4	2.10	1	

مناقشة النتائج

التأثير البيئي بسبب إستغلال أو معالجة المخلفات الزراعية، على سبيل المثال مخلفات صناعة التمور وزيت الزيتون والأرز وغيرها أصبح ملحوظا في كثير من المناطق التي تهتم بإنتاج هذه المنتجات. الدراسات السابقة تؤكد على أهمية وإمكانية إستخدام هذه المخلفات في صناعة مواد البناء وعلى وجه الخصوص صناعة الخرسانة غير المسلحة والمونة الإسمنتية المستخدمة في أعمال البناء واللياسة. المخلفات بشكل عام المستخدمة في صناعة الخرسانة لا تعمل فقط على تحسين مقاومتها بل تساهم إيجابيا من التخلص السليم من هذه المخلفات للحد من تأثيرها البيئي. كما تبين هذه الدراسة بأن استخدام الرماد الناتج من حرق نوى تمور النخيل عند درجات حرارة مختلفة وطحنها ينتج عنه رماد له خصائص بوزولانية شديدة التفاعل مع المركبات الناتجة من عملية إمهاة الإسمنت. والنتائج المعملية التي تم الحصول عليها تشجع على إمكانية إستخدام رماد نوى تمور النخيل كبديل جزئي للإسمنت، وأظهرت النتائج كذلك تحسنا في الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للعجينة الإسمنتية المتصلبة. وفي هذه الدراسة تم التركيز بشكل محدد على استخدام رماد نوى تمور النخيل الناتج من عملية الحرق عند درجتي حرارة 300°م و600°م، وفي جميع الخلطات وجد أن أفضل نسبة إحلال من الرماد يمكن إستخدامها كبديل جزئي للإسمنت كانت تقريبا 5% من وزن الإسمنت. سيتم مناقشة النتائج التي تم الحصول عليها من إختبار العينات المستهدفة وذلك من خلال الأشكال والمخططات التي توضح علاقات مختلفة بين تأثير درجة حرارة الحرق ونسب الإحلال وطريقة المعالجة على مقاومة الضغط.

تأثير درجة حرارة الحرق على مقدار الهبوط

الجدول رقم 4 يوضح نتائج تأثير درجة الحرق على مقدار الهبوط لعينات تحتوي على نسب إحلال مختلفة من رماد ناتج من حرق نوى تمور النخيل عند درجة حرارة 300°م و 600°م. العينات التي تحتوي على نسبة 20% من وزن الإسمنت أظهرت نتائج بفروق كبيرة سببها تأثير درجة حرارة الحرق على مقدار الهبوط. هذه النتيجة تشير بأن ارتفاع درجة حرارة الحرق ربما كانت أحد الأسباب التي عملت على انخفاض في القدرة التشغيلية، ومن جهة أخرى وجد أن الخلطات التي تحتوي على نسبة إحلال 5% أظهرت تحسنا ملحوظا في التشغيلية وكانت هذه النتيجة بوضوح بالنسبة للخلطة التي تحتوي على رماد من ناتج حرق عند درجة حرارة 300°م، وبشكل عام يمكن القول

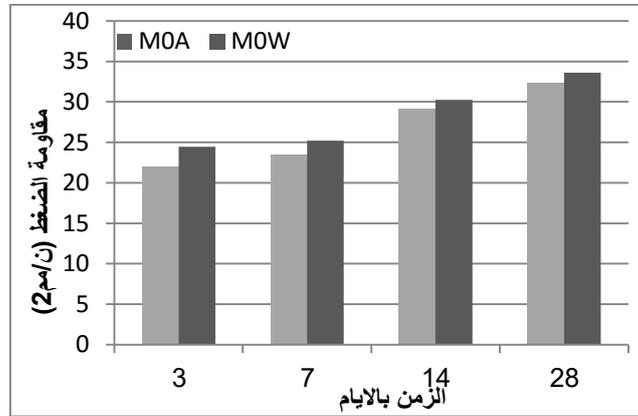
بأن زيادة نسبة الإحلال إلى أكثر من 20% غير مرغوب فيه بسبب تأثير ذلك على قيم التشغيلية بالمقارنة مع الخلطة القياسية، ويتراوح هذا النقص في الخلطة التي تحتوي على ناتج حرق عند درجة حرارة 300°م والخلطة التي تحتوي على ناتج حرق عند درجة حرارة 600°م إلى ما بين 48.7 - 58.9% في كلا الخلطتين على التوالي.

جدول 4: نتائج إختبار الهبوط

الخلطة	نسبة المضاف %	قيمة الهبوط ملم	
		300°م	600°م
القياسية	0	190	190
1	5	205	195
2	10	170	160
3	15	120	115
4	20	105	80

تأثير المعالجة على مقاومة الضغط

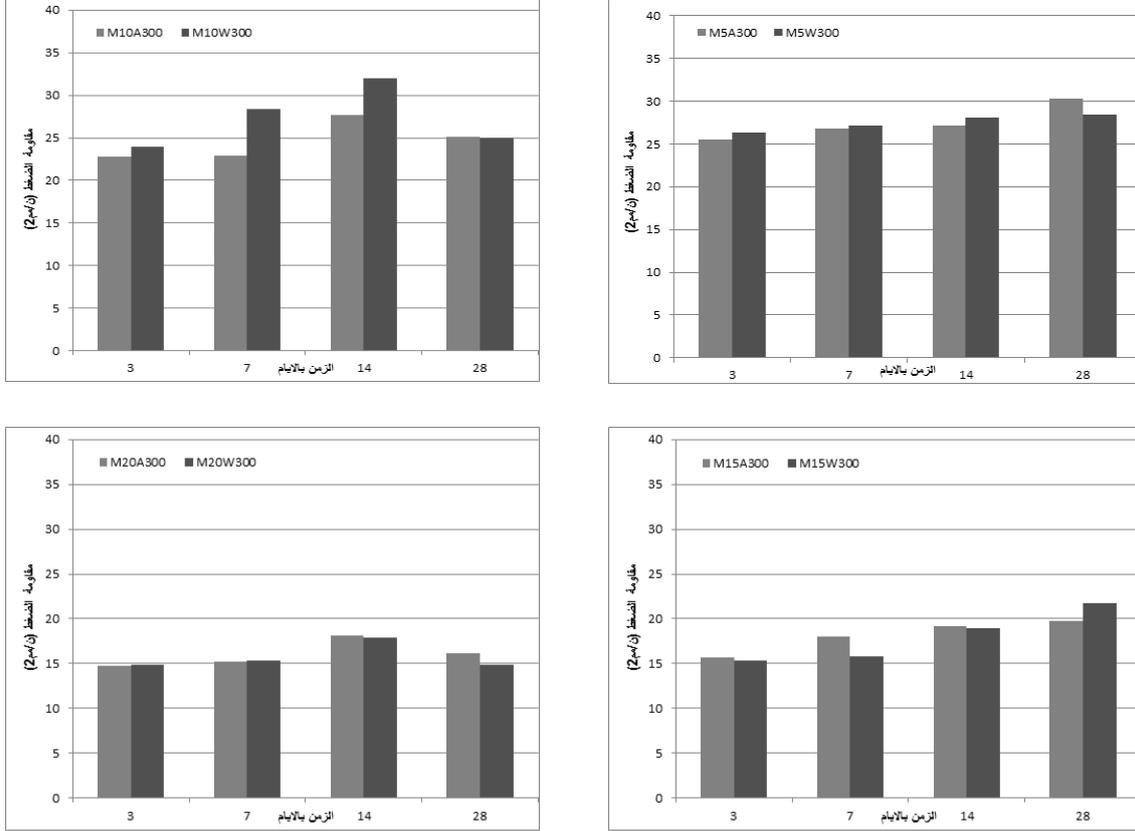
الأشكال من رقم 2 إلى 4 تبين نتائج تأثير المعالجة على مقاومة الضغط لجميع الخلطات. الشكل رقم 2 يوضح تأثير المعالجة على مقاومة الضغط بالنسبة للخلطة القياسية، النتائج تبين بعض التحسن في قيم مقاومة الضغط في العينات المعالجة في الماء بالمقارنة مع العينات التي تمت معالجتها في الهواء. هذه الفروق البسيطة في القراءات بين العينات بسبب المعالجة ليس لها تأثير من الناحية الإنشائية.



شكل 2: تأثير المعالجة على مقاومة الضغط للعينات M0

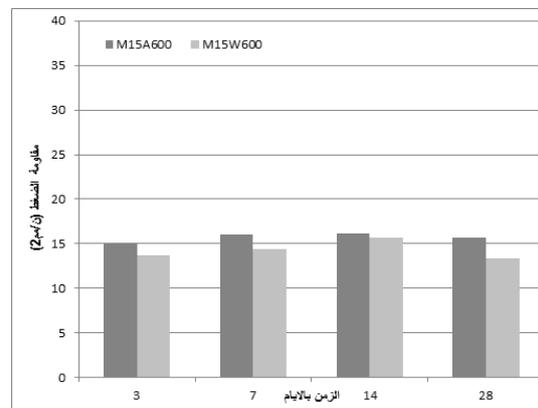
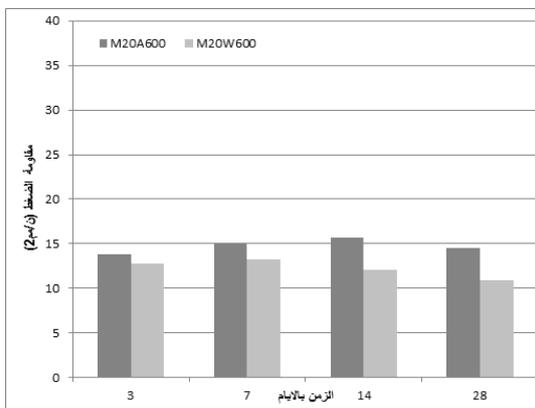
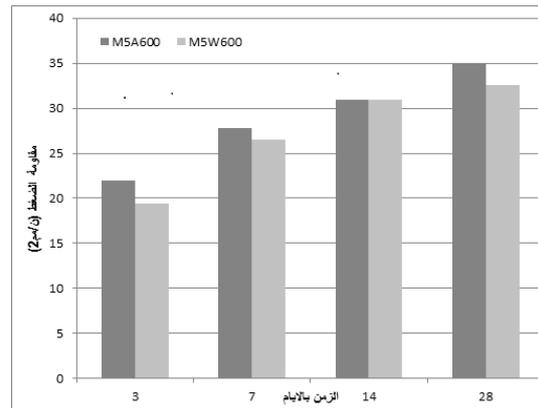
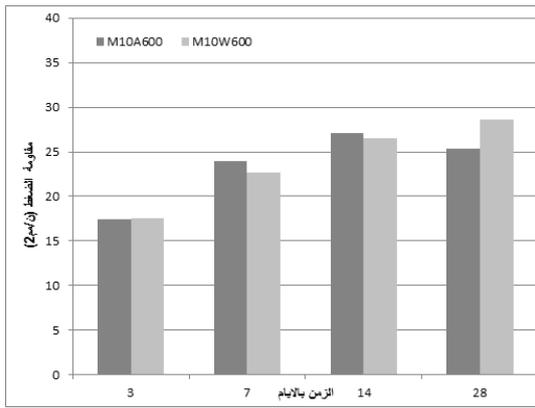
الشكل رقم 3 يوضح نتائج تأثير المعالجة على مقاومة الضغط بالنسبة للعينات التي تحتوي على نسب مختلفة من رماد نوى ثمار النخيل الناتج من عملية الحرق عند درجة حرارة 300°م. تأثير المعالجة في الماء بالنسبة للعينات التي تحتوي على نسبة إحلال 5% كان خلال الأسبوعين الأولين ليس له أهمية من الناحية الإنشائية بالمقارنة مع نفس العينات المعالجة في الهواء. ومع نهاية الأسبوع الرابع تحققت قيم أفضل في مقاومة الضغط بالنسبة للعينات المعالجة في الهواء وبنسبة زيادة قدرها 6% من القيم التي حققتها العينات المعالجة في الماء، وهذان يعنيان تأثير معالجة العينات في الماء ليس أهمية خلال العمر المبكر للعينات. بزيادة نسبة الإحلال إلى 10% من وزن الإسمنت لوحظ تحسن كبير في مقاومة الضغط بعد الأسبوعين الأول والثاني وخاصة بالنسبة للعينات المعالجة

بالغمر في الماء، وفيما بعد تراجع هذه القيم عند الأسبوع الرابع وسجلت كلا العينتين تقريبا 25 ن/م². مع زيادة نسبة الإحلال من 15 إلى 20% لم تلاحظ فروق تبين أهمية تأثير المعالجة على مقاومة الضغط علاوة عن انخفاض قيم المقاومة بسبب زيادة نسبة الإحلال وهذه النتيجة موضحة في الشكل رقم 4.



شكل 3: تأثير المعالجة على مقاومة الضغط للعينات M300

نتائج تأثير المعالجة على العينات التي تحتوي على نسب مختلفة من رماد نوى ثمار النخيل الناتجة من عملية الحرق عند درجة حرارة 600م° موضحة في الشكل رقم 4. تأثير المعالجة في الهواء على مقاومة الضغط بالنسبة للعينات التي تحتوي على رماد نوى ثمار النخيل بنسب إحلال 5% خلال الأسبوع الأول حققت نتائج أفضل بالمقارنة مع نتائج مقاومة الضغط بالنسبة للعينات المعالجة في الهواء، وعند نهاية الأسبوع الثاني إقتربت النتائج، ومع نهاية الأسبوع الثالث كلا العينتين حققتا نفس النتيجة تقريبا وفيما بعد عاد تأثير معالجة العينات في الهواء وسجلت العينات نتائج أفضل. ومن ناحية أخرى العينات التي تحتوي على نسبة إحلال 10% أظهرت نتائج مختلفة عما حققته العينات التي تحتوي على نسبة إحلال 5%، حيث حققت العينات المعالجة في الماء نتائج وبمعدلات أفضل عند الأسبوع الرابع بالمقارنة مع العينات المعالجة في الهواء. زيادة نسبة الإحلال أيضا كان لها تأثير المعالجة في الهواء أفضل من العينات المعالجة في الماء؛ وبشكل عام كل النتائج التي حققتها العينات التي تحتوي على نسبة إحلال أكثر من 10% سجلت أقل قيم لمقاومة الضغط. وبذلك يمكن القول بأن المعالجة بالغمر في الماء غير مؤثرة بالنسبة للعينات التي تحتوي على نسبة إحلال أكثر من 10% وخاصة في العمر المبكر للعينات.



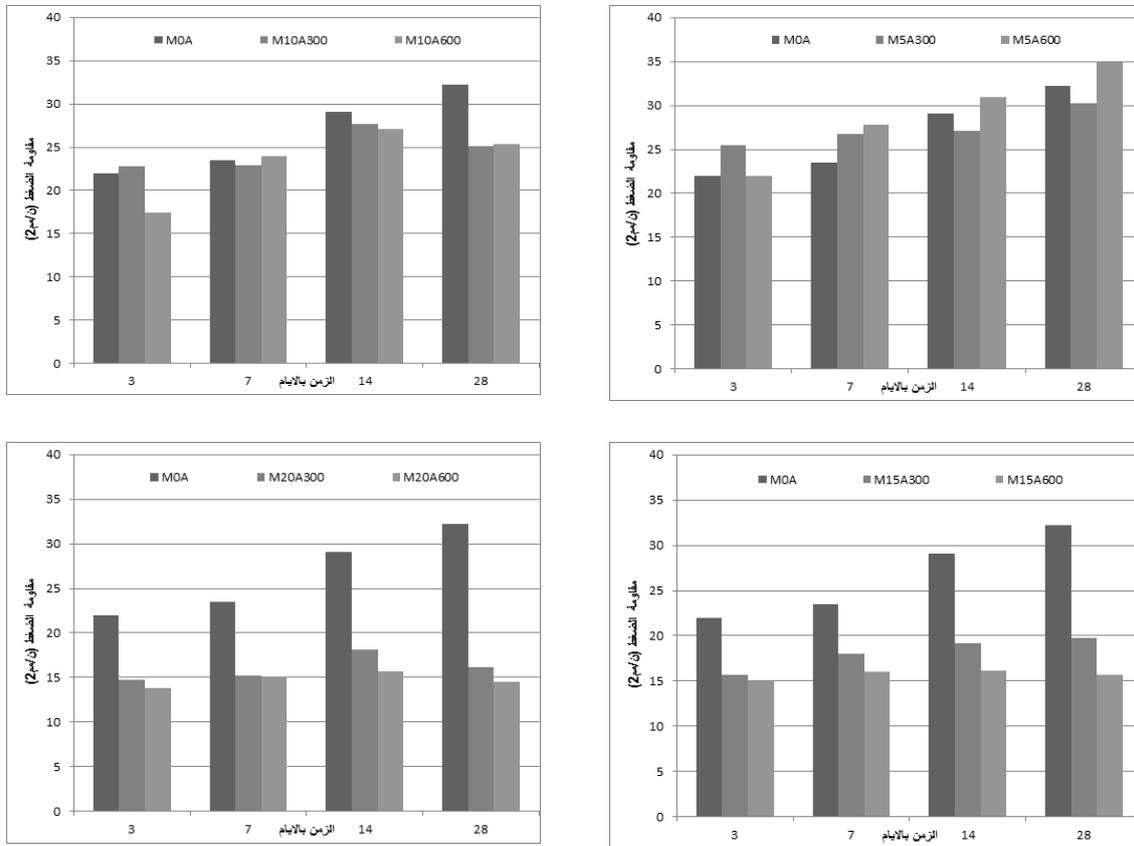
شكل 4: تأثير المعالجة على مقاومة الضغط للعينات M600

تأثير درجة حرارة الحرق على مقاومة الضغط

تأثير درجة حرارة الحرق على مقاومة الضغط بالنسبة للعينات المعالجة في الهواء نتائجها موضحة في الشكل رقم 5 بالنسبة لكل الخلطات التي تحتوي على رماد نوى ثمار النخيل وبنسبة إحلال 5 و 10 و 15 و 20%. الشكل يظهر تأثير درجة حرارة الحرق على مقاومة الضغط بشكل واضح على العينات التي تحتوي على رماد نوى ثمار النخيل بنسبة أقل من 10% وذلك خلال الأيام الثلاثة الأولى من تاريخ الصب. تبين النتائج مقدار الزيادة في المقاومة وخاصة بالنسبة للعينات التي تحتوي على رماد من ناتج حرق بدرجة حرارة 300م°، ومع نهاية الأسبوع الأول لوحظ بعض التقارب في هذه القيم مع شيء من التحسن في مقاومة الضغط للعينات التي تحتوي على رماد من ناتج حرق بدرجة حرارة 300 و 600م°، وفيما بعد يلاحظ تأثير زيادة درجة حرارة الحرق على مقاومة ضغط عند 28 يوم حيث حققت العينات التي تحتوي على نسبة 5% على مقاومة ضغط قدرها 34.9 ميغاباسكال بالمقارنة مع العينات التي تحتوي على نفس النسبة ولكن من رماد ناتج من حرق بدرجة حرارة 300م° حيث كانت مقاومتها للضغط 30.23 ميغاباسكال، وبالمقارنة مع ما حققته العينات القياسية كانت متقاربة جدا نوعا ما $2 \pm$ ميغاباسكال.

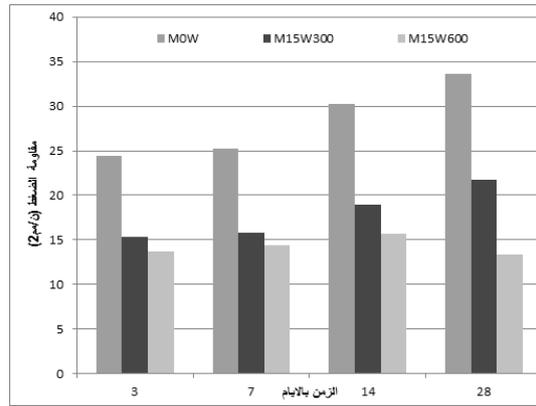
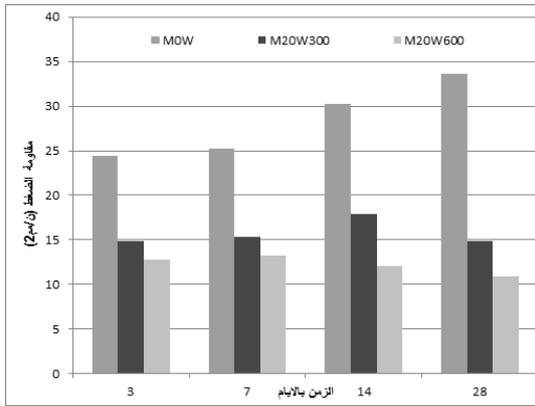
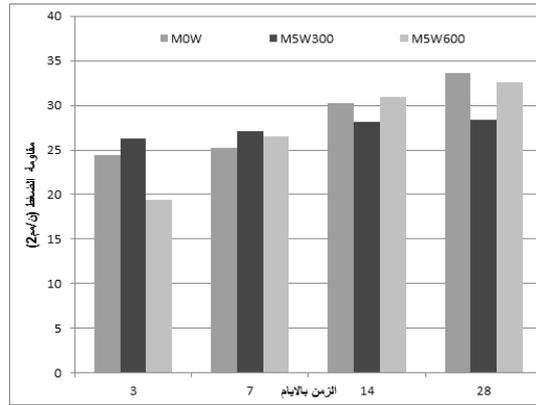
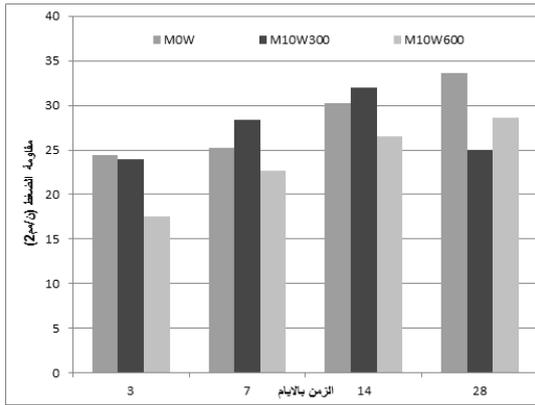
عند درجات حرارة الحرق العالية نسبة الإحلال كان لها تأثير على انخفاض قيم الضغط وهذا يعني ضرورة الإنتباه إلى أن العينات التي تحتوي على نسبة عالية من رماد ناتج من حرق نوى ثمار النخيل عند درجات حرارة عالية

ينتج عنه انخفاض في المقاومة بالمقارنة مع العينات التي تحتوي على نفس النسبة من رماد مخلفات ثمار النخيل ناتج من عملية الحرق عند درجات حرارة منخفضة.



شكل 5: تأثير درجة حرارة الحرق على مقاومة الضغط للعينات المعالجة في الهواء

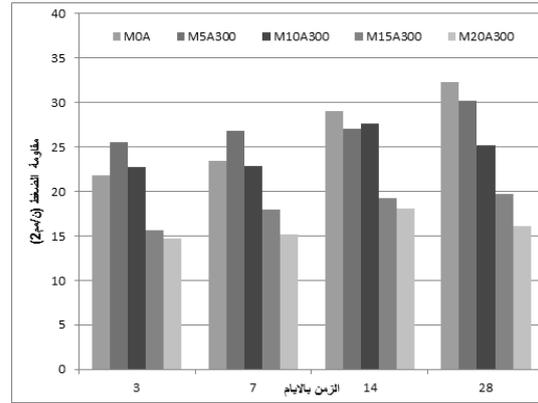
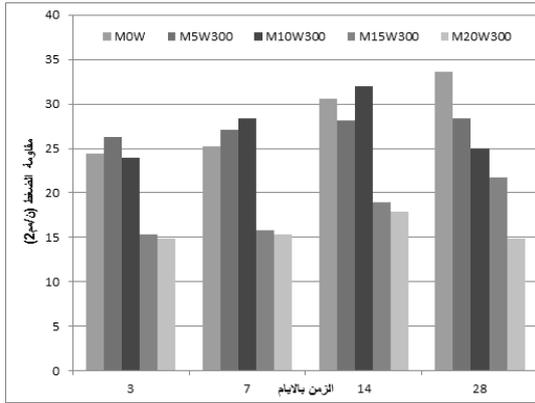
نتائج العينات المعالجة في الماء والتي تحتوي على نسب مختلفة من رماد نوى ثمار النخيل الناتج من عملية الحرق عند درجتى حرارة 300 و 600م° موضحة في الشكل رقم 6. خلال الثلاثة أيام الأولى لوحظ أن تأثير إرتفاع درجة حرارة الحرق كان كبيرا جدا على انخفاض في قيم مقاومة الضغط بالنسبة للعينات التي تحتوي على نسبة 5%، ومع نهاية الأسبوع الأول بدأ يقل هذا التأثير وفيما بعد لوحظ أن تأثير درجة الحرق العالية ساهم بشكل واضح في تحسن قيم المقاومة بالمقارنة مع العينات التي تحتوي على رماد نوى ثمار النخيل الناتج من الحرق عند درجات حرارة الحرق المنخفضة. بينما زيادة نسبة الإحلال إلى 10% أظهرت إنخفاضا في قيم المقاومة حتي نهاية الأسبوع الثاني بالنسبة للعينات التي تحتوي على رماد ناتج من درجات حرارة حرق مرتفعة، وفيما بعد تحسنت قيم المقاومة بالمقارنة مع العينات التي تحتوي على رماد ناتج من الحرق عند درجات الحرارة المنخفضة. النقص الحاد في قيم المقاومة كان متوقعا بالنسبة للعينات التي تحتوي على نسبة إحلال 15% و 20% بالمقارنة مع العينات القياسية، إلا أن تأثير درجات حرارة الحرق العالية لنوى ثمار النخيل بالنسبة للعينات المعالجة في الماء كان واضحا جدا وخاصة عند الأسبوع الرابع بالنسبة للعينات التي تحتوي على نسبة إحلال 15% بينما هذا التأثير ظهر مع نهاية الأسبوع الثاني بالنسبة للعينات التي تحتوي على نسبة إحلال 20%.



شكل 6: تأثير درجة حرارة الحرق على مقاومة الضغط للعينات المعالجة في الماء

تأثير نسبة الإحلال على مقاومة الضغط

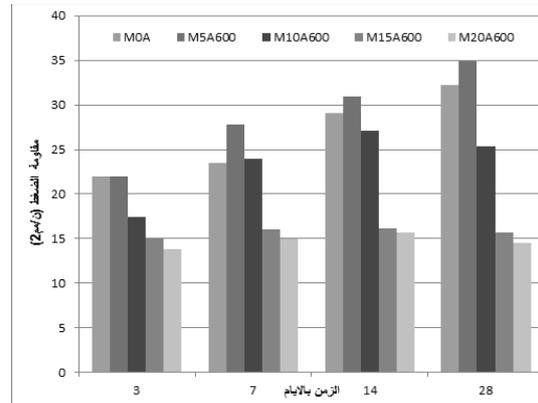
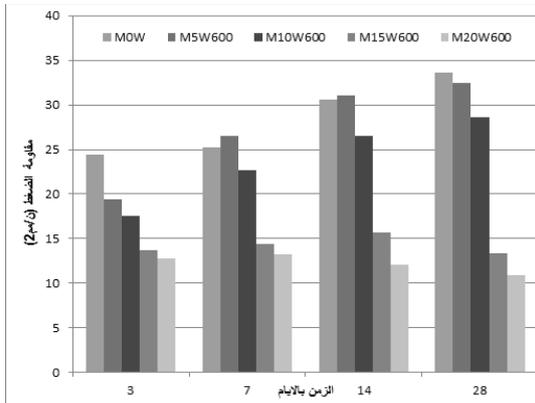
تأثير نسبة الإحلال على مقاومة الضغط بالنسبة للعينات المعالجة في الهواء والماء والتي تحتوي على رماد ناتج من عملية الحرق عند درجة حرارة 300°م موضحة في الشكل رقم 7. خلال الثلاثة أيام الأولى بالنسبة للعينات التي تحتوي على نسبة إحلال 5% حققت مقاومة جيدة قدرها 25.5 ميغابسكال و 26.33 ميغابسكال للعينات المعالجة في الهواء والماء على التوالي وذلك بالمقارنة مع العينات القياسية المعالجة التي سجلت مقاومة ضغط قدرها 21.97 ميغابسكال و 24.47 ميغابسكال للعينات المعالجة في الهواء والماء على التوالي. إستمر هذا التحسن في المقاومة حتي نهاية الأسبوع الأول وتراجعت فيما بعد. هذه النتيجة مهمة جدا بالنسبة للزمن المبكر وخاصة التحسن في قيم المقاومة دون الإهتمام بالمعالجة بالماء. ومع زيادة نسبة الإحلال في العينات إلى 10% يلاحظ بعض التحسن في قيم المقاومة بالنسبة للعينات المعالجة في الهواء خلال الثلاثة أيام الأولى وفيما بعد تراجعت قيم المقاومة بالمقارنة مع العينات القياسية، بينما العينات المعالجة في الماء أظهرت تحسنا في قيم المقاومة بعد الثلاثة أيام الأولى حتي نهاية الأسبوع الثاني. نفس الشكل يبين أن زيادة نسبة الإحلال أكثر من 10% كان لها الأثر السلبي على مقاومة الضغط وبفارق كبير عند 28 يوم من المعالجة سواء في الهواء أو الماء قياسا مع العينات التي تحتوي على نسبة إحلال أقل وبالمقارنة مع العينات القياسية.



شكل 7: تأثير نسبة الإحلال على مقاومة الضغط في العينات M300

تأثير نسبة الإحلال على مقاومة الضغط بالنسبة للعينات المعالجة في الهواء والماء والتي تحتوي على رماد ناتج من عملية الحرق عند درجة حرارة 600 م° موضحة في الشكل رقم 8. العينات التي تحتوي على نسبة إحلال 5% أظهرت أفضل النتائج في جميع العينات وخاصة المعالجة في الهواء. بينت النتائج زيادة نسبة الإحلال أكثر من 10% فروقا بسيطة جدا وغير اقتصادية.

وتبين هذه الدراسة أولا نسبة الإحلال المثلى ودرجة حرارة الحرق لإنتاج رماد نوى تمور النخيل.



شكل 8: تأثير نسبة الإحلال على مقاومة الضغط في العينات M600

الخلاصة

على الرغم من عدم توفر الإمكانيات التي تمكن الباحثين من الإنتاج العلمي بصورة تكفي لتوضيح كل ما يلزم من نتائج تعمل على تحقيق أهداف هذه الدراسة، إلا أن الباحثين قدما بعض النتائج التي من الممكن أن تؤسس للمزيد من البحث في مجال إستغلال المخلفات الزراعية في إنتاج بعض من مواد البناء غير الإنشائية، وفي هذه الدراسة

تم التركيز بشكل محدد على استخدام رماد نوى النخيل الناتج من عملية الحرق عند درجتي حرارة 300م° و600م°. وهذه النتائج يمكن تلخيصها في النقاط التالية:

1. إرتفاع درجة حرارة الحرق له تأثير على قيم القدرة التشغيلية للخلطة وبينت نتائج هذه الدراسة انخفاض التشغيلية في الخلطات التي تحتوي على رماد ناتج من الحرق عند درجات حرارة مرتفعة وخاصة الخلطات التي تحتوي على نسبة عالية من الرماد.
2. زيادة نسبة الإحلال حتى 20% في الخلطة التي تحتوي على رماد من ناتج الحرق عند درجة حرارة 300م° و600م° أظهرت نقصا حادا في قيم التشغيلية بالمقارنة مع الخلطة القياسية، ويتراوح هذا النقص ما بين 48.7 - 58.9% على التوالي.
3. أظهرت النتائج تقدما أفضل في قيم المقاومة للعينات المعالجة في الهواء والتي تحتوي على رماد بنسبة 5% من ناتج الحرق عند درجة حرارة 600م° بالمقارنة مع نتائج العينات المرجعية بينما العينات المعالجة بالماء سجلت قيما أقل في مقاومة الضغط.
4. بالنسبة للعينات التي تحتوي على رماد ناتج من حرق نوى النخيل عند درجة حرارة 300م° وبنسبة إحلال أقل من 10% كان له تأثيرا إيجابيا على زيادة قيم مقاومة الضغط خلال الأيام الثلاثة الأولى من تاريخ الصب بالمقارنة مع العينات التي تحتوي على رماد ناتج من حرق عند درجة حرارة 600م° وبنفس نسب الإحلال. بينما العينات المعالجة في الهواء والتي تحتوي على نسبة 5% من رماد ناتج من حرق عند درجة حرارة 600م° حققت أفضل النتائج في جميع المراحل العمرية المستهدفة في هذه الدراسة.
5. زيادة نسبة الإحلال لها تأثير على انخفاض قيم الضغط وخاصة عند استخدام الرماد الناتج من درجات حرارة حرق عالية وفي هذه الدراسة كانت أفضل نسبة إحلال التي يمكن إستخدامها كبديل جزئي للإسمنت تقريبا 5% من وزن الإسمنت.

المراجع

- 1- Dwivedi, V., Singh, N., Das, S. and Singh, N., "A new pozzolanic material for cement industry: Bamboo leaf ash", International Journal of Physical Sciences, 3, (2006), 106-111.
- 2- Naik, T. R., "Tests of Wood Ash as a Potential Source for Construction Materials," CBU-1999-09, UWM Center for By-Products Utilization, University of Wisconsin-Milwaukee, Aug. 1999, 61 pp.
- 3- Naik, T. R., and Kraus, R. N., "Wood Ash: A New Source of Pozzolanic Material", Submitted to Concrete International, Oct. 2001, 23 pp.
- 4- Naik, T. R.; Kraus, R. N.; Singh, S. S.; Pennock, L. C.; and Ramme, B. W., "Greener Concrete from Wood Fly Ash and Coal Fly Ash", Third
- 5- الطاهر محمد حسن وآخرون، "إستخدام مخلفات رماد قش الأرز في تحسين الخصائص للإسمنت البورتلاندي العادي"، مجلة جامعة سبها (العلوم البحثية والتطبيقية)، المجلد الحادي عشر، العدد الأول 2012.
- 6- إياد جمال أحمد بني عودة، "إستخدام جفت الزيتون بدلا من الرمل في الخلطات الخرسانية لإنتاج طابوق لأغراض غير إنشائية"، جامعة النجاح الوطنية في نابلس، فلسطين 2007.
- 7- Pravin V Domke, "Improvement In The Strength Of Concrete By Using Industrial And Agricultural Waste".

8- Prof . Dr. Agr. Eng., OndokuzMayıs “The Possibilities of Using Tobacco Wastes in Producing Lightweight Concrete” 5139, Civ. Eng. (M.Sc), Vocational High School Havza – Samsun ,Turkey.

9- Nabil Al-Akhras and Mohanad Abdulwahid, “Properties of olive waste ash mortar composites”, Civil Engineering Department, University of Science and Technology, Irbid, Jordan.

10- مها زاهر، "إستخدام قشور بذور عباد الشمس في صناعة الخرسانة"، 30 أبريل 2013.

أحمال الإنبعاج للأعمدة مشطوفة الجوانب مثبتة الطرفين

د. مصطفى محمد الطويل

أستاذ شرف الهندسة المدنية

كلية الهندسة - جامعة طرابلس، طرابلس - ليبيا

(mmtawil01@gmail.com)

ملخص

يتم في هذه الورقة استعراض تطبيق طريقة التكامل المتناهي كإحدى طرق التحليل العددي وصياغتها لأجل تحديد أحمال الإنبعاج لعدد من الأعمدة مشطوفة الجوانب مثبتة الطرفين، وبقطاعات مربعة ودائرية في الحالتين المصمتة والمفرغة، وبنسب مختلفة فيما بين طول العمود والبعد الأكبر لقطاعاته. وتوضع النتائج لمعاملات قيم أحمال الإنبعاج الدنيا كمحصلة للدراسة في صورة مجدولة وأخرى في صورة منحنيات تحليلية يمكن الرجوع إليها كلما دعت الحاجة إلى تحديد هذا النوع من الأحمال وأولية حالة مشابهة أخرى، وفي حدود نطاق الدراسة المقدمة. تشتمل الورقة هذه في نهايتها على توصيات حول الدراسات المستقبلية المتعلقة بتحديد أحمال الإنبعاج في الأعمدة المتنوعة الأخرى وبحدود طرفية غير تلك التي شملتها الورقة وما جاءت به الدراسات السابقة بهذا الخصوص.

مقدمة

تتعرض العناصر الإنشائية الرفيعة الواقعة تحت تأثير قوى ضغط كبيرة إلى ظاهرة ما يسمى بالإنبعاج وهو التقوس الإزاحي في الإتجاه المتعامد على المحور الطولي للعنصر الأمر الذي قد يتسبب في انهياره. إن هذه الظاهرة معروفة جيدا في أوساط المحللين والمصممين الإنشائيين، وأحمال الإنبعاج لهذه العناصر متنوعة الحدود الطرفية محددة رياضيا وبدقة إذا ما كان عزم القصور الذاتي لها ثابت القيمة، وقيمها مدرجة في العديد من الكتب المنهجية والمرجعية والدوريات العلمية. أما في حالة وجود تغير في قيم عزم القصور الذاتي، سواء كان هذا التغير منتظما أو غير منتظم، فالحل الرياضي الدقيق لها قد يصبح طويلا بل ربما معقدا، الأمر الذي يتم فيه اللجوء إلى حل مسائلها باستعمال أي من طرق التحليل العددي كطريقة الإختلاف المتناهي وطريقة التكامل المتناهي وطريقة العناصر المتناهية وطرق التحليل العددي الأخرى.

يتم هنا تقديم استعراض لصياغة طريقة التكامل المتناهي كإحدى طرق التحليل العددي وتطبيقها من أجل تحديد أحمال الإنبعاج للأعمدة مشطوفة الجوانب مثبتة الطرفين، وبقطاعات مربعة ودائرية مصمتة وأخرى مفرغة، وبنسب مختلفة فيما بين طول العمود وبعد القطاع الأكبر له. وتشمل النتائج المتحصل عليها معاملات قيم أحمال الإنبعاج الدنيا كمحصلة للدراسة، وتم وضعها في صورة منحنيات تحليلية يمكن الرجوع إليها عند الحاجة إلى تحديد هذا النوع من الأحمال وأولية حالة مشابهة وفي نطاق الدراسة المقدمة.

طريقة التكامل المتناهي للتحليل العددي

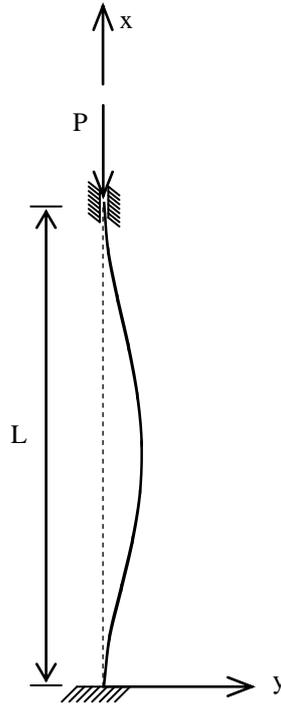
تتمثل طريقة التكامل المتناهي للتحليل العددي في تقريب أعلى تفاضل في المعادلة التفاضلية المتحكم ذات العلاقة بمجموعة من دوال الدرجة الثانية تمر كلا منها بقسمين متساويين من المتغير المستقل، ويتم استنتاج التفاضلات الأقل بطريقة التكامل الفعلي لكل من هذه الدوال وبالتالي تحال المعادلة التفاضلية المتحكم إلى معادلة تكاملية. وبمعرفة الحدود الطرفية للمسألة موضوع الدراسة يمكن تحديد قيم ثوابت التكامل لهذه المعادلة التكاملية وبالتالي حلها عددياً [1، 2، 3، 4، 5].

المعادلة التفاضلية المتحكم وتحويلها إلى معادلة تكاملية

تكون المعادلة التفاضلية المتحكم لانبعاج العمود مثبت الطرفين (شكل - 1)، وتجاهل تأثير الوزن الذاتي له، متمثلة في الآتي:

$$(1) \quad \frac{d^4 y}{dx^4} + k_x^2 \frac{d^2 y}{dx^2} = 0$$

حيث $(k_x^2 = P/EI_x)$ ، الحمل المحوري، (E) معامل يانغ للمرونة و (I_x) عزم القصور الذاتي عند القطاع (x) .



شكل 1: إنبعاج العمود

$$\left\{ \frac{d^4 y}{dx^4} \right\} = \{f\}$$

بفرض أن:

$$\left\{ \frac{d^3 y}{dx^3} \right\} = [N1]\{f\} + A\{I\} \quad \text{فإن التكامل الأول يكون:}$$

والتكامل الثاني:

$$\left\{ \frac{d^2 y}{dx^2} \right\} = [N2]\{f\} + A\{x\} + B\{I\}$$

والتكامل الثالث:

$$\left\{ \frac{dy}{dx} \right\} = [N3]\{f\} + A\{x^2/2\} + B\{x\} + C\{I\}$$

والتكامل الرابع:

$$\{y\} = [N4]\{f\} + A\{x^3/6\} + B\{x^2/2\} + C\{x\} + D\{I\}$$

حيث (A و B و C و D) هي ثوابت التكامل.

من الحدود الطرفية لهذه المسألة، وهو أن الميل والإزاحة عند الطرف التثبيت يساويان صفرا، تكون

(C = D = 0). والميل والإزاحة عند الطرف العلوي كامل التثبيت يساويان صفرا تكون:

$$B = -\frac{2}{L^2} (3[N4L] - L[N3L])\{f\}, \quad A = \frac{6}{L^3} (2[N4L] - L[N3L])\{f\}$$

وإذا تم وضع المعامل:

$$k_x^2 = \frac{P}{EI_x} = \frac{P}{EI_0} \left(\frac{I_0}{I_x} \right) = \alpha/\beta_x$$

$$\beta_x = \frac{I_x}{I_0} \quad \text{و} \quad \alpha = \frac{P}{EI_0} \quad \text{حيث}$$

تكون المعادلة التكاملية المتحكمة:

$$(2) \quad \{f\} + \alpha [I/\beta_x] \left[[N2] - \frac{6}{L^2} [(I - 2x/L)] [N4L] + \frac{2}{L} [I - 3x/L] [N3L] \right] \{f\} = \{0\}$$

حيث $[1/\beta_x]$ و $[6(1 - 2x/L)]$ و $[2(1 - 3x/L)]$ مصفوفات قطرية.

ويمكن وضع المعادلة (2) في صورة أخرى:

$$\{f\} + \alpha [I/\beta_x] [M1x]\{f\} = 0$$

إذا ما تم تقسيم طول العمود (L) إلى عشرة أقسام متساوية، تكون المصفوفات ($[N4L]$, $[N3L]$, $[N2]$) كما هو موضح أدناه، وبتحديد المصفوفات القطرية $[1/\beta_x]$ و $[6(1 - 2x/L)]$ و $[2(1 - 3x/L)]$ يمكن وضع المعادلة التكاملية المتحكممة في الصورة التالية:

$$(3) \quad ([I] + \alpha L^2 [M2x])\{f\} = 0$$

حيث $[I]$ مصفوفة الوحدة. وهذه مسألة أيغنية، والحل غير الصفري يمكن إيجاده بوضع المحددة الآتية صفراً وتحدد القيم الأيغنية ($\alpha L^2 = \delta$) تبعا لذلك.

$$(4) \quad |[I] + \delta [M2x]| = 0$$

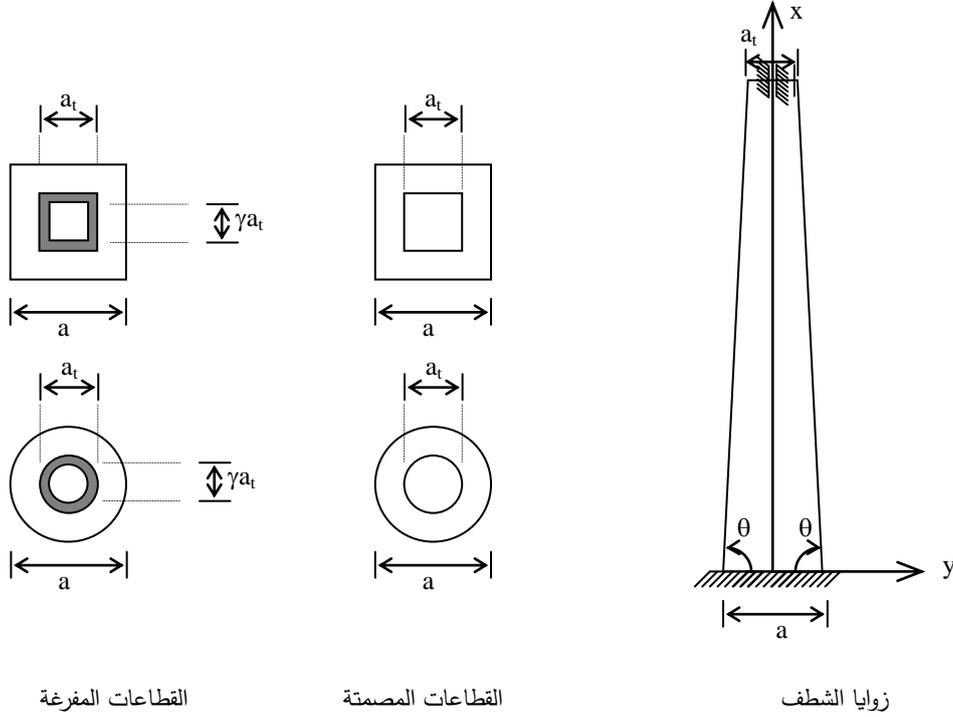
$$[N2] = \frac{L^2}{2400} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 7 & 6 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 16 & 32 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 24 & 64 & 15 & 6 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 32 & 96 & 32 & 32 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 40 & 128 & 48 & 64 & 15 & 6 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 48 & 160 & 64 & 96 & 32 & 32 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 56 & 192 & 80 & 128 & 48 & 64 & 15 & 6 & -1 & 0 & 0 \\ 64 & 224 & 96 & 160 & 64 & 96 & 32 & 32 & 0 & 0 & 0 \\ 72 & 256 & 112 & 192 & 80 & 128 & 48 & 64 & 15 & 6 & -1 \\ 80 & 288 & 128 & 224 & 96 & 160 & 64 & 96 & 32 & 32 & 0 \end{bmatrix}$$

$$[N3L] = \frac{L^3}{15000} \begin{bmatrix} 249 & 812 & 318 & 492 & 178 & 252 & 78 & 92 & 18 & 12 & -1 \\ 249 & 812 & 318 & 492 & 178 & 252 & 78 & 92 & 18 & 12 & -1 \\ 249 & 812 & 318 & 492 & 178 & 252 & 78 & 92 & 18 & 12 & -1 \\ 249 & 812 & 318 & 492 & 178 & 252 & 78 & 92 & 18 & 12 & -1 \\ 249 & 812 & 318 & 492 & 178 & 252 & 78 & 92 & 18 & 12 & -1 \\ 249 & 812 & 318 & 492 & 178 & 252 & 78 & 92 & 18 & 12 & -1 \\ 249 & 812 & 318 & 492 & 178 & 252 & 78 & 92 & 18 & 12 & -1 \\ 249 & 812 & 318 & 492 & 178 & 252 & 78 & 92 & 18 & 12 & -1 \\ 249 & 812 & 318 & 492 & 178 & 252 & 78 & 92 & 18 & 12 & -1 \\ 249 & 812 & 318 & 492 & 178 & 252 & 78 & 92 & 18 & 12 & -1 \\ 249 & 812 & 318 & 492 & 178 & 252 & 78 & 92 & 18 & 12 & -1 \end{bmatrix}$$

$$[N4L] = \frac{L^4}{225000} \begin{bmatrix} 1236 & 3672 & 1256 & 1736 & 522 & 640 & 148 & 144 & 14 & 8 & -1 \\ 1236 & 3672 & 1256 & 1736 & 522 & 640 & 148 & 144 & 14 & 8 & -1 \\ 1236 & 3672 & 1256 & 1736 & 522 & 640 & 148 & 144 & 14 & 8 & -1 \\ 1236 & 3672 & 1256 & 1736 & 522 & 640 & 148 & 144 & 14 & 8 & -1 \\ 1236 & 3672 & 1256 & 1736 & 522 & 640 & 148 & 144 & 14 & 8 & -1 \\ 1236 & 3672 & 1256 & 1736 & 522 & 640 & 148 & 144 & 14 & 8 & -1 \\ 1236 & 3672 & 1256 & 1736 & 522 & 640 & 148 & 144 & 14 & 8 & -1 \\ 1236 & 3672 & 1256 & 1736 & 522 & 640 & 148 & 144 & 14 & 8 & -1 \\ 1236 & 3672 & 1256 & 1736 & 522 & 640 & 148 & 144 & 14 & 8 & -1 \\ 1236 & 3672 & 1256 & 1736 & 522 & 640 & 148 & 144 & 14 & 8 & -1 \\ 1236 & 3672 & 1256 & 1736 & 522 & 640 & 148 & 144 & 14 & 8 & -1 \end{bmatrix}$$

القطاعات المربعة والدائرية المصمتة والمفرغة

يمثل الشكل (2) عمودا مشطوف الجوانب مثبت الطرفين وبقطاعات مربعة ودائرية، مصمتة ومفرغة.



شكل 2: العمود مشطوف الجوانب والقطاعات المصمتة والمفرغة

القطاعات المصمتة:

يكون بعد القطاع الخارجي للمربع وقطر القطاع الدائري على بعد (x) من الطرف المثبت للعمود:

، وعليه تكون عزوم القصور الذاتي للقطاعين على النحو التالي:

$$I_x = \frac{(a - 2xcot\theta)^4}{12} \quad , \quad I_o = \frac{a^4}{12} \quad \text{القطاع المربع:}$$

$$I_x = \frac{\pi(a - 2xcot\theta)^4}{64} \quad , \quad I_o = \frac{\pi a^4}{64} \quad \text{القطاع الدائري:}$$

$$\beta_x = \left(1 - \frac{2xcot\theta}{a}\right)^4 \quad \text{والنسبة } (\beta_x) \text{ تكون بذلك متساوية للقطاعين:}$$

$$G = 2\left(\frac{L}{a}\right)cot\theta \quad \text{حيث } \beta_x = \left[1 - G\left(\frac{x}{L}\right)\right]^4 \quad \text{ويمكن وضع هذه النسبة في صورة:}$$

القطاعات المفرغة:

يكون بعد القطاع الداخلي للمربع والقطر الداخلي للقطاع الدائري على بعد (x) من الطرف المثبت التحتي للعمود، وباعتبار أن نسبة البعد الداخلي إلى البعد الخارجي (γ) ثابتا على طول العمود، $a_{xi} = \gamma a_x = \gamma(a - 2xcot\theta)$ ، عليه تكون عزوم القصور الذاتي للقطاعات على النحو التالي:

القطاع المربع:

$$I_x = \frac{(a - 2xcot\theta)^4}{12} - \frac{[\gamma(a - 2xcot\theta)]^4}{12} = \frac{a^4}{12} (1 - \gamma^4) \left(1 - \frac{2xcot\theta}{a}\right)^4$$

$$I_o = \frac{a^4}{12} (1 - \gamma^4)$$

القطاع الدائري:

$$I_x = \frac{\pi(a - 2xcot\theta)^4}{64} - \frac{\pi[\gamma(a - 2xcot\theta)]^4}{64} = \frac{\pi a^4}{64} (1 - \gamma^4) \left(1 - \frac{2xcot\theta}{a}\right)^4$$

$$I_o = \frac{\pi a^4}{64} (1 - \gamma^4)$$

والنسبة (β_x) تكون بذلك متساوية للقطاعات: وهي نفس النسبة للقطاعات

المصممتين المستنتجة سابقا.

الأحمال الدنيا لانبعاج الأعمدة مشطوفة الجوانب

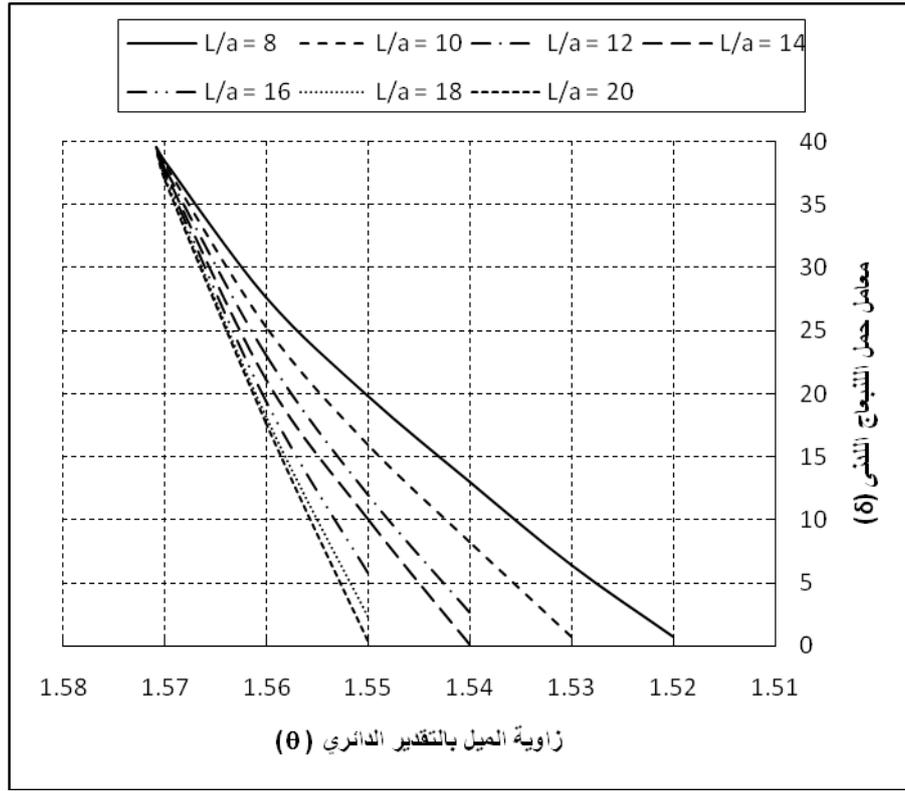
تم حساب الأحمال الدنيا لانبعاج الأعمدة مشطوفة الجوانب مثبتة الطرفين، بطريقة التكامل المتناهي وفق المعطيات بالجدول (1).

جدول 1: معطيات الدراسة

L/a	8	10	12	14	16	18	20
$\theta_{\min}(\text{Rad.})$	1.5084	1.5208	1.5292	1.5351	1.5400	1.5430	1.5458

يعطي الشكل (3) منحنيات التحليل لمعاملات الحمل الأدنى (δ) بتطبيق هذه البيانات في المعادلة الأيغنية (4)، ويتم التعبير عن الحمل الأدنى للانبعاج (P_{cr}) كما يلي:

$$(5) \quad P_{cr} = \delta \frac{EI_o}{L^2}$$



شكل 3: معاملات الحمل الأدنى للإنبعا (δ)

الإستنتاجات والتوصيات

تم تطبيق طريقة التكامل المتناهي هنا بتقسيم طول العمود إلى عشرة أقسام متساوية من أجل إيجاد قيم أحمال الإنبعا للأعمدة مشطوفة الجوانب مثبتة الطرفين. وأعطت الدراسة منحنيات تحليلية تمثل معاملات حمل الإنبعا الأدنى لعدد من الأعمدة بنسب مختلفة ما بين طول العمود والبعد الأكبر للقطاع من جهة، ولعدد من زوايا الشطف من جهة أخرى، يمكن الإستعانة بها في معرفة حمل الإنبعا الأدنى لأي عمود آخر مشابه وضمن حدود الدراسة.

قد تجرى مستقبلا دراسات مشابهة للأعمدة مشطوفة الجوانب ذات قطاعات أخرى وبحدود طرفية مختلفة عن القطاعات والحدود الطرفية التي تمت دراستها في هذه الورقة والورقات السابقة، تعميما للفائدة وتوفيرا لرسومات تحليلية تساعد المهتمين بالتحليل الإنشائي في تطبيقها تضمن لهم سرعة إيجاد حمل الإنبعا الأدنى لهذه النوعية من الأعمدة، وبدقة هندسية مقبولة.

يمكن تطوير كل الدراسات السابقة لتشمل تأثير الحمل الذاتي لهذه الأعمدة مشطوفة الجوانب على حمل الإنبعا كي يصبح الأمر أكثر واقعية وأقرب للحالة الطبيعية.

المراجع

- [1] الطويل، مصطفى محمد، "طريقة التكامل المتناهي (مدخل معدل)"، دورية كلية الهندسة (جامعة الفاتح)، مجلد 3 (العدد الثالث)، 87-93، طرابلس - ليبيا، 1979. (باللغة الإنجليزية)
- [2] الطويل، مصطفى محمد، "صياغة طريقة التكامل المتناهي المعدلة"، مجلة البحوث الهندسية، المجلد 1، 3-28، طرابلس - ليبيا، 1989. (باللغة الإنجليزية)
- [3] الطويل، مصطفى محمد، "طريقة التكامل المتناهي وإستخداماتها في التطبيقات الهندسية"، ندوة حول التطبيقات الهندسية للتحليل العددي، جمعية المهندسين العلمية، طرابلس - ليبيا، 1990.
- [4] الطويل، مصطفى محمد، "أحمال الإنبعاج للأعمدة مشطوفة الجوانب حرة الطرف ومثبتة الطرف الآخر، المؤتمر الوطني الخامس لمواد البناء والهندسة الإنشائية، مجلد الأبحاث العلمية، 250-257، أكاديمية الدراسات العليا، طرابلس - ليبيا، 2010.
- [5] الطويل، مصطفى محمد، "أحمال الإنبعاج للأعمدة مشطوفة الجوانب مفصلية الطرف ومثبتة الطرف الآخر، المؤتمر العربي الثاني عشر للهندسة الإنشائية، مجلد الأبحاث العلمية، 250-257، كلية الهندسة - جامعة طرابلس، طرابلس - ليبيا، 2013.

برمجية للقواعد المستمرة، تحليل وتصميم

مصطفى قشقىش¹، محمود القلهود²، أشرف الزاوي³

¹ دكتوراه في الهندسة المدنية، جامعة طرابلس، gashghesh@hotmail.com
² أستاذ دكتور في الهندسة المدنية، جامعة طرابلس
³ دكتوراه في الهندسة المدنية، جامعة طرابلس

الملخص

مع وجود المتغيرات المختلفة والتي تؤثر على سلوكها، فإن مسألة التحصل على وسيلة تحليل مطبوعة -أو مقبولة، على أدنى تقدير- للتعامل مع القواعد المستمرة، كانت ولعقود مجالاً للتقصي. الفرضية اللاواقعية للتوزيع الخطي للإجهادات أسفل القاعدة (باستخدام طرق التحليل التقريبية)، بالإمكان أن تكون خطأ قاتلاً مع ازدياد عدد الأعمدة. بُذلت محاولات عدة، لكن عدداً قليلاً منها كان قريباً من الحل المطبوع؛ منها الحل المقدم من هيتي (1946)، طريقة الفروق المتناهية Finite Difference method، وأسلوب الحل المقترح من بولز باستخدام طريقة العناصر المتناهية Finite Element method.

هذه الورقة تستعرض برمجية حاسوب تم اعدادها ذاتياً بالاستعانة بطريقة العناصر المتناهية لتحليل القواعد المستمرة. الجزء التصميمي بهذه البرمجية يتوافق ومتطلبات التصميم الخاصة بمواصفة معهد الخرسانة الأمريكي ACI 318-11. تم التحقق من صحة مخرجات التحليل للبرمجية بواسطة المقارنة مع الحل المقترح من قبل هيتي والبرمجية التجارية SAP2000[®] وكانت متقاربة لحدٍ مرضي.

مقدمة

إذا كانت وضعية التربة لا تحقق متطلبات الجساءة للقاعدة الخرسانية بسبب النسبة الصغيرة لجساءة الانحناء بين القاعدة وتربة الأساس، أو بسبب تواجد مناطق ضعيفة المقاومة من التربة أسفلها؛ وبالتالي فإن التعامل مع القاعدة باعتبار أنها جاسئة في هذه الحالة؛ سوف ينتج عزوم انحناء قد تكون أكبر من الواقع في بعض الحالات، ومعاكسة في الموضع في حالات أخرى. يؤدي ذلك إلى إهدار كميات إضافية، وأو تأثيرات ضارة على القاعدة ومن ثم على الجزء من المنشأ أعلى سطح الأرض. وبناءً على ما سبق، فإن الحاجة للتعامل مع القاعدة على مبدء "كمره على أساس مرن" ستكون كبيرة من ناحية الأمان والاقتصاد.

التعامل مع القاعدة ككمره على أساس مرن كانت لعقود وحتى الوقت الحالي مثاراً للجدل. تاريخياً، أوجدت ثلاث اتجاهات لمسألة الكمره على أساس مرن:

1. طريقة وينكلر، والمقترحة من إ. وينكلر سنة 1867، حيث يتم التعامل مع كتلة التربة الداعمة للقاعدة كمجموعة من النوابض المحمل عليها العنصر الإنشائي (أساس وينكلر). يعتمد هذا الاتجاه التحليلي على طريقة الفروق المتناهية Finite Difference method.
2. ينسب هذا الاتجاه إلى بايوت (1937) بالتعاون مع أوود، ويتعامل مع الأساس كمادة جامدة مرنة.
3. الثالث، يهتم بتحليل المعادلة التفاضلية الخاصة بسلوك القاعدة والتربة.

قدم هيتني (1946) حلاً كاملاً يتبنى الاتجاه الثالث معتبراً عدة حالات حدية. تجدر الإشارة هنا إلى أن جميع الأساليب المذكورة سلفاً تعتبر النطاق المرن لسلوك التربة؛ بمعنى أنها تعتبر التشوهات صغيرة المقدار فقط. العديد من المراجع ناقشت وبتوسع ومن ثم تبنت مسألة معاملة القاعدة ككمر على أساس مرن⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾. هذا التوافق تم بناءً على المزايا المتحصل عليها؛ والمتمثلة في إنتاج قيم واقعية لعزوم الانحناء وقوى القص بسبب الأحمال المسلطة، بالإضافة لأخذ هذا الأسلوب التحليلي في الاعتبار الهبوط النسبي بين أجزاء القاعدة؛ وما يترتب عن ذلك من تصميم آمن وتوفير في مراد الإنشاء.

طريقة العناصر المتناهية المقترحة من قبل باولز⁽⁴⁾⁽⁷⁾ والتي يستند إليها في إعداد هذه الورقة، مشابهة إلى حد ما لطريقة الفروق المتناهية، غير أنها تلاقت العوائق الرئيسية فيها. هذه العوائق⁽⁴⁾ تتمثل في الآتي:

1. صعوبة إعتبار مختلف الشروط الحدية بسبب تكوين مصفوفة المعاملات.
2. من الصعوبة بمكان تصحيح التمثيل للانفصال بين القاعدة والتربة.
3. صعوبة كتابة برمجة حاسوب تكون مصفوفة معاملات عامة، وخصوصاً إذا كانت العناصر مختلفة في الحجم.
4. صعب جداً إعتبار حالات تحميل مختلفة.
5. صعوبة التعامل مع الجزء اللاخطي لسلوك التربة.
6. صعوبة إعتبار الوزن الذاتي للقاعدة.
7. طريقة تمثيل بطيئة جداً، وخصوصاً بالنسبة للأساسات الحصيرية.

طريقة التحليل التقليدية لكمر على أساس مرن

هذا التوجه لتحليل القاعدة ككمر على أساس مرن مبني على مبدأ تحليل المعادلة التفاضلية للتداخل بين سلوكي القاعدة وتربة الأساس، لكنه لا يأخذ في الاعتبار تولد إجهادات الشد ولا تعدي الهبوط بالتربة للنطاق المرن. حيث أن التحليل هو ضمن النطاق المرن، فإن هذه الفرضية هي صالحة لقيم الهبوط الصغيرة في التربة. بناءً على ذلك، فإن الحل المقدم لمسألة الكمر على أساس مرن يعتبر مبالغاً فيه من حيث المقادير الناتجة ضمن مدى قيم الهبوط المدروسة للتربة. بمعنى آخر، فإنه لو أُعتبر السلوك اللاخطي للتربة (قيم هبوط عالية المقدار)، فإن مقاومة التربة للهبوط سوف تزداد؛ مما يترتب عليه الانخفاض في معدل هبوط القاعدة ومن ثم الإجهادات المتولدة فيها بالنتيجة. كما تجدر الإشارة إلى أن الحلول المتحصل عليها بهذه الفرضيات هي تقريبية لكمرات محملة على أساس مرن ذات طول أقل من مالا نهاية.

المجموعة الأولى من المعادلات خاصة بالأحمال التي تفصلها مسافة لأي من نهايتي القاعدة أكبر من أو تساوي $(3\pi/4\lambda)$ ، الشكل 1.

(1) حمل مركز عند المنتصف

$$y = \frac{P\lambda}{2k} A_{\lambda z} \quad \text{الهبوط } z \geq 0$$

$$\theta = -\frac{P\lambda^2}{k} B_{\lambda z} \quad \text{الدوران } z \geq 0$$

$$M_x = \frac{P}{4\lambda} C_{\lambda z} \quad \text{عزم الأحناء } z \geq 0$$

$$V_y = -\frac{P}{2} D_{\lambda z} \quad z \geq 0 \text{ قوة القص}$$

(2) عزم عند المنتصف

$$y = \frac{M_o \lambda^2}{k} B_{\lambda z} \quad z \geq 0 \text{ الهبوط}$$

$$\theta = \frac{M_o \lambda^3}{k} C_{\lambda z} \quad z \geq 0 \text{ الدوران}$$

$$M_x = \frac{M_o}{2} D_{\lambda z} \quad z \geq 0 \text{ عزم الانحناء}$$

$$V_y = -\frac{M_o}{2} A_{\lambda z} \quad z \geq 0 \text{ قوة القص}$$

(3) حمل مركز عند الطرف

$$y = \frac{2P\lambda}{k} D_{\lambda z} \quad z \geq 0 \text{ الهبوط}$$

$$\theta = -\frac{2P\lambda^2}{k} A_{\lambda z} \quad z \geq 0 \text{ الدوران}$$

$$M_x = -\frac{P}{\lambda} B_{\lambda z} \quad z \geq 0 \text{ عزم الانحناء}$$

$$V_y = -PC_{\lambda z} \quad z \geq 0 \text{ قوة القص}$$

(4) عزم عند المنتصف

$$y = -\frac{2M_o \lambda^2}{k} C_{\lambda z} \quad z \geq 0 \text{ الهبوط}$$

$$\theta = \frac{4M_o \lambda^3}{k} D_{\lambda z} \quad z \geq 0 \text{ الدوران}$$

$$M_x = M_o A_{\lambda z} \quad z \geq 0 \text{ عزم الانحناء}$$

$$V_y = -2M_o \lambda B_{\lambda z} \quad z \geq 0 \text{ قوة القص}$$

حيث:

$$P = \text{حمل مركز، kN.}$$

$$M_o = \text{عزم انحناء، kNm.}$$

$$\lambda = \text{معامل الجساءة النسبية} = \sqrt[4]{\frac{k_s B}{4E_c I}} \text{، } m^{-1}$$

$$k_s = \text{معامل رد فعل التربة، kN/m}^3$$

$$B = \text{عرض القاعدة، m.}$$

$$E_c = \text{معيار المرونة للخرسانة، kN/m}^2$$

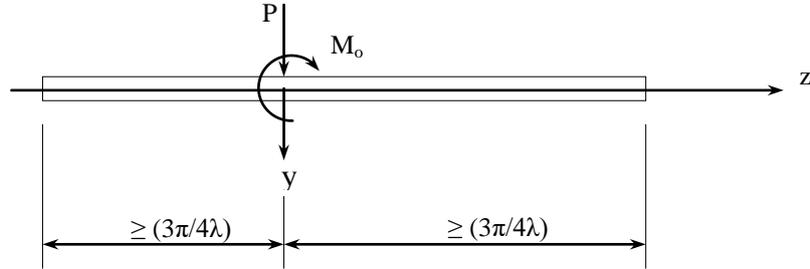
$$I = \text{عزم القصور الذاتي لمقطع القاعدة، m}^4$$

$$A_{\lambda z} = e^{-\lambda z} (\sin(\lambda z) + \cos(\lambda z))$$

$$B_{\lambda z} = e^{-\lambda z} \sin(\lambda z)$$

$$C_{\lambda z} = e^{-\lambda z} (\cos(\lambda z) - \sin(\lambda z))$$

$$D_{\lambda z} = e^{-\lambda z} \cos(\lambda z)$$



الشكل 1. نموذج لكمرة طويلة على أساس مرن

إذا كانت المسافة بين الأحمال لأي من نهايتي القاعدة أقل من $(3\pi/4\lambda)$ ، فإن مجموعة المعادلات السابقة لا يمكن تطبيقها. لذلك، قام هييتي في سنة 1946م بتقديم حل لهذه النوعية من الحالات معتبراً العديد من الوضعيات الحدية. مقادير رد فعل التربة، الهبوط، عزوم الانحناء، وقوى القص لكمرة محملة على أساس مرن بسبب حمل مركز (P)، كما هو موضح بالشكل 2، يمكن التحصل عليها من التعابير المبسطة التالية:

$$p = P\lambda C_p / B \quad \text{رد فعل التربة}$$

$$y = P_s / k_s \quad \text{الهبوط}$$

$$M = PC_m / (2\lambda) \quad \text{عزم الانحناء}$$

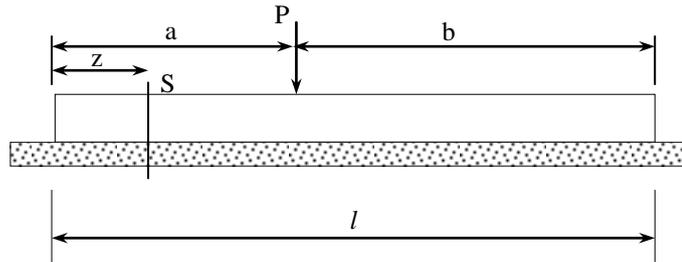
$$Q = PC_q \quad \text{قوة القص}$$

حيث C_p ، C_m ، و C_q هي معاملات رد فعل التربة، عزم الانحناء، وقوة القص على التوالي؛

$$C_p = \frac{1}{\sinh^2(\lambda l) - \sin^2(\lambda l)} \left\{ \begin{array}{l} 2(\cosh(\lambda z)\cos(\lambda z)) \left(\frac{\sinh(\lambda l)\cos(\lambda a)\cosh(\lambda b) - \sin(\lambda l)\cosh(\lambda a)}{\cos(\lambda b)} \right) + \\ \left(\cosh(\lambda z)\sin(\lambda z) + \sinh(\lambda z) \right) \left(\frac{\sinh(\lambda l) \left(\frac{\sin(\lambda a)\cosh(\lambda b) - \cos(\lambda a)}{\sinh(\lambda b)} \right) +}{\cos(\lambda z)} \right) \left[\frac{\sinh(\lambda l) \left(\frac{\sin(\lambda a)\cosh(\lambda b) - \cos(\lambda a)}{\sinh(\lambda b)} \right) +}{\sin(\lambda l) \left(\frac{\sinh(\lambda a)\cos(\lambda b) - \cosh(\lambda a)}{\sin(\lambda b)} \right)} \right] \end{array} \right\}$$

$$C_m = \frac{1}{\sinh^2(\lambda l) - \sin^2(\lambda l)} \left\{ \begin{array}{l} 2(\sinh(\lambda z)\sin(\lambda z)) \left(\frac{\sinh(\lambda l)\cos(\lambda a)\cosh(\lambda b) - \sin(\lambda l)\cosh(\lambda a)}{\cos(\lambda b)} \right) + \\ \left(\frac{\cosh(\lambda z)\sin(\lambda z) - \sinh(\lambda z)}{\cos(\lambda z)} \right) \left[\begin{array}{l} \sinh(\lambda l) \left(\frac{\sin(\lambda a)\cosh(\lambda b) - \cos(\lambda a)}{\sinh(\lambda b)} \right) + \\ \sin(\lambda l) \left(\frac{\sinh(\lambda a)\cos(\lambda b) - \cosh(\lambda a)}{\sin(\lambda b)} \right) \end{array} \right] \end{array} \right\}$$

$$C_q = \frac{1}{\sinh^2(\lambda l) - \sin^2(\lambda l)} \left\{ \begin{array}{l} (\cosh(\lambda z)\sin(\lambda z) + \sinh(\lambda z)\cos(\lambda z)) \left(\frac{\sinh(\lambda l)\cos(\lambda a)\cosh(\lambda b) - \sin(\lambda l)\cosh(\lambda a)\cos(\lambda b)}{\sin(\lambda l)\cosh(\lambda a)\cos(\lambda b)} \right) + \\ (\sinh(\lambda z)\sin(\lambda z)) \left[\begin{array}{l} \sinh(\lambda l) \left(\frac{\sin(\lambda a)\cosh(\lambda b) - \cos(\lambda a)}{\sinh(\lambda b)} \right) + \\ \sin(\lambda l) \left(\frac{\sinh(\lambda a)\cos(\lambda b) - \cosh(\lambda a)}{\sin(\lambda b)} \right) \end{array} \right] \end{array} \right\}$$



الشكل 2. نموذج لكمرة قصيرة على أساس مرن، موضح عليها بعض المتغيرات المستخدمة في معادلات هيتتي

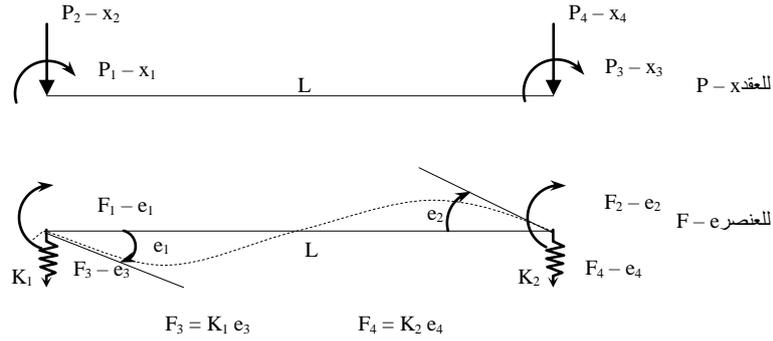
تجدر الإشارة هنا⁽¹⁾ إلى أنه يمكن التحصل على حلول أكثر دقة بواسطة مجموعة المعادلات المقدمة من قبل هيتتي مقارنةً بالمجموعة الأولى من المعادلات. كما أن مبدأ الجمع مابين حالات لتحميل وبالنتيجة بين التأثيرات الناتجة عنها يمكن تطبيقه ضمن أي مجموعة من مجموعتي المعادلات السابقة.

طريقة العناصر المتناهية لتحليل كمرة على أساس مرن

باستخدام هذه الوسيلة التحليلية، من السهل أخذ مختلف الوضعيات الحدية، الوزن الذاتي للقاعدة، والسلوك اللامرّن لتربة التأسيس (بما في ذلك إنفصال القاعدة عنها) في عين الاعتبار. بمقارنتها بطريقة الفروق المتناهية، تعتبر هذه الطريقة أكثر مرونة ومتعددة جوانب الاستخدام؛ حيث تتطلب الأولى تكوين معادلات متعددة للنهائيات والظروف الحدية، وصعوبة ملحوظة عند استخدام عناصر مختلفة الحجم.

الشكل 3، يوضح الاتجاهات الموجبة للمؤثرات المختلفة والتأثيرات الناشئة عنها. المصفوفة A والتي تحوي ثوابت التجسير bridging constants، تربط القوى الداخلية عند نهايات العنصر (F) بالقوى الخارجية المؤثرة على العقد (P)؛

$$P = AF$$



الشكل 3. القوى الخارجية (العقدية) والداخلية (للعنصر) في طريقة العناصر المتناهية

كما أن التشوهات العقدية الخارجية (X) مربوطة بالداخلية عند أطراف العناصر (e) كالتالي؛

$$e = A^T X$$

المصفوفة (S) تربط ما بين التشوهات الداخلية والقوى الدخلية كالتالي؛

$$F = Se$$

$$A = \begin{bmatrix} \frac{1}{E} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{EL} & \frac{1}{EL} & \frac{1}{E} & 0 \\ 0 & \frac{1}{E} & 0 & 0 \\ -\frac{1}{EL} & -\frac{1}{EL} & 0 & \frac{1}{E} \end{bmatrix} \quad \& \quad S = \begin{bmatrix} \frac{4I}{L} & \frac{2I}{L} & 0 & 0 \\ \frac{2I}{L} & \frac{4I}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_2 \end{bmatrix} \quad \text{حيث}$$

يمكن إيجاد (X) مباشر من العلاقة؛

$$X = (ASA^T)^{-1} P$$

$$EASA^T = \begin{bmatrix} \frac{4EI}{L} & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & \frac{-6EI}{L^2} \\ \frac{6EI}{L^2} & \frac{12EI}{L^3} + K_1 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{-12EI}{L^3} \\ \frac{2EI}{L} & \frac{6EI}{L^2} & 4EI & \frac{-6EI}{L} \\ \frac{L}{-6EI} & \frac{L^2}{-12EI} & \frac{L}{-6EI} & \frac{L^2}{12EI} + K_2 \end{bmatrix} \quad \text{حيث؛}$$

برمجية الحاسوب المعدة لتحليل القواعد المستمرة

بناءً على المدخلات الجيومترية للبرمجية، يقوم برنامج فرعي باستحداث تلقائي لشبكة العناصر المتناهية المكونة للقاعدة عن طريق ترقيم كل من العناصر والعقد وكذلك تحديد درجات حرية الحركة الموافقة لنوع الأحمال المدخلة (حمل مركز أو عزم انحناء). بالإضافة لذلك وبناءً على خواص الخرسانة المدخلة، يقوم هذا البرنامج الفرعي بإضافة الوزن الذاتي للقاعدة إلى مصفوفة الأحمال. كما تجدر الإشارة هنا، إلى أن البرمجية تمكن المستخدم من الاختيار بين نوعين من أشكال القطاعات المتاحة للقاعدة؛ ألا وهي المستطيلة أو شكل حرف T المقلوب.

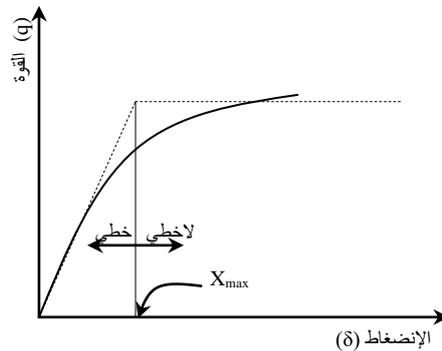
وفقاً لمجموعة العلاقات السابقة، تقوم البرمجية بالتحليل الإنشائي للقاعدة. يتحقق البرنامج أولاً من مستوى الإجهادات الفعلية أسفل القاعدة بسبب الأحمال الخدمية، حيث ينتقل لمرحلة التصميم فقط إذا لم تتعدى هذه الإجهادات مستوى الإجهاد التصميمي؛ وإلا فإنه يتوقف تلقائياً طالباً التعديل في المدخلات.

البرنامج الفرعي للتصميم يستند إلى مواصفات معهد الخرسانة الأمريكي ACI 318-11، حيث يقوم بحساب كميات الحديد الطولي أسفل مواضع الأعمدة والكميات المناصرة لأكبر عزوم انحناء بينها. إضافة لهذا، يتم حساب أطوال التثبيت لكل كمية من هذه الكميات. التسليح المقاوم لقوى القص يحسب على جانبي كل عمود.

تقترح البرمجية تصميماً نهائياً بناءً على التصميم السابقة، و للمستخدم الراجب في مزيد من التفصيل، تمكنه البرمجية من استعراض كامل مخرجات التحليل الإنشائي واختيار مواضع أخرى (غير المذكورة) ضمن نطاق القاعدة للقيام بتصميمها.

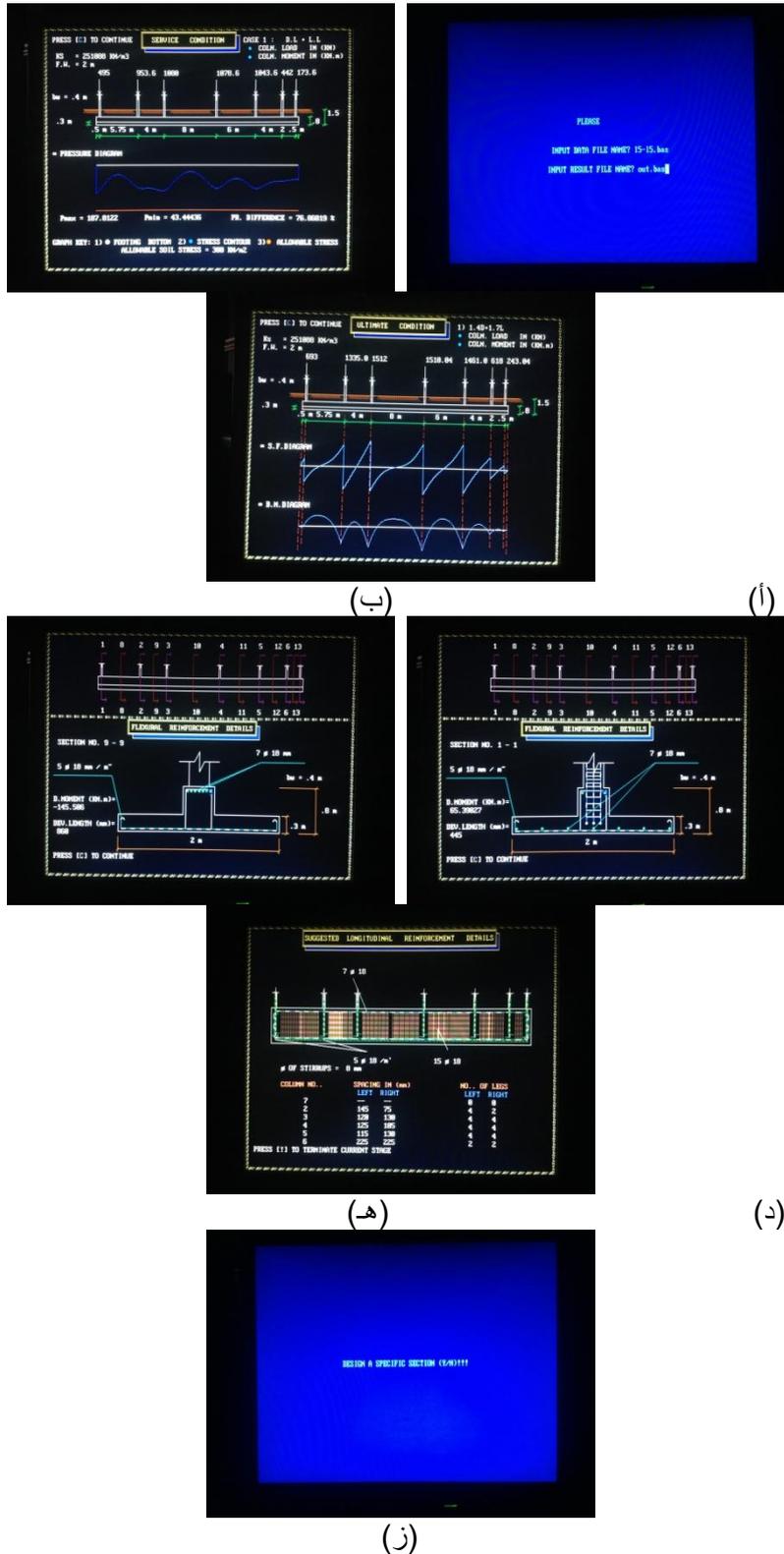
تقوم البرمجية باقتراح الحلول الممكنة للمشاكل المختلفة التي قد تواجه المصمم من ازدحام كمية الحديد الطولي أو حديد القص أو عدم ملاءمة الاجهادات المسلطة للمسموح بها. كما تجدر الإشارة إلى أن كل مرحلة من المراحل المذكورة تعرض بيانياً بالإضافة إلى نسخة في ملف مرفق.

أخيراً، فإن السلوك اللامرّن للتربة مأخوذ بعين الاعتبار بالبرمجية عن طريق التحديد المسبق لأقصى انضغاطية للتربة $(X_{max})^{(4)}$ ، كما هو موضح بالشكل 4. كما أنه في حالة تولد قوة سالبة الإشارة بالنوابض الممثلة للتربة (أي حدوث انفصال بين القاعدة وتربة الأساس)، فإن القوة بالنوابض المعنية تصفر (أي يلغى النابض نهائياً) ويعاد التحليل الإنشائي للقاعدة ثانيةً.



الشكل 4. بيان لأقصى انضغاطية للتربة، باولز⁽⁴⁾

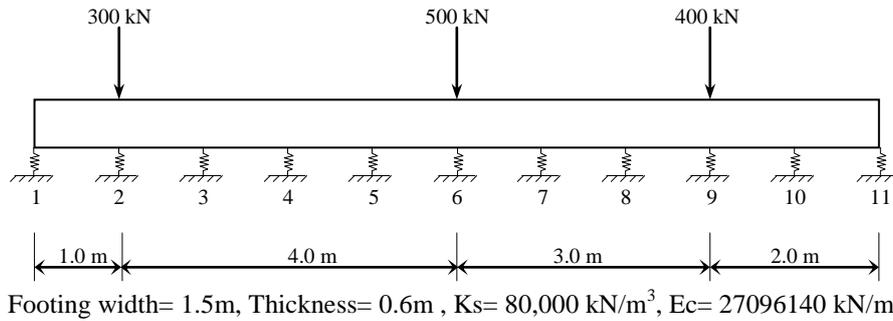
الشكل 5، يوضح نماذج لأهم شرائح المخرجات للبرمجية المقترحة لأحد المسائل المستخدمة في المعايير.



الشكل 5. شرائح نموذجية لأحد المسائل المستخدمة في معايرة البرمجية: (أ) إدخال ملفي المدخلات والمخرجات، (ب) مخطط الاجهادات، (ج) مخططي القص والانحناء، (د) بيانات التصميم للقطاع 1-1 عند العمود، (هـ) بيانات التصميم للقطاع 9-9 بين العمودين 3 & 4، (و) التصميم النهائي المقترح من البرمجية، (ز) الاستفسار حول إجراء تصميم لقطاعات أخرى غير الثلاثة عشر قطاعاً المبينة

معايرة برمجية الحاسوب المقترحة لتحليل القواعد المستمرة

الشكل 6، يبين أحد نماذج القواعد التي استخدمت في معايرة البرمجية المقترحة. تمت مقارنة النتائج المتحصل عليها مع كل من مخرجات معادلات هيتي، وبرمجية SAP2000[®]. ملخص لهذه النتائج موضح بالجدول (1) و (2) للإجهادات أسفل القاعدة وعزوم الانحناء على التوالي. توضح الجداول كذلك إختبار الأيلولة The convergence test لمخرجات البرمجية المقترحة.



Footing width= 1.5m, Thickness= 0.6m , Ks= 80,000 kN/m³, Ec= 27096140 kN/m²

الشكل 6. قاعدة مستمرة: أحد نماذج المعايرة للبرمجية

جدول 1. الإجهادات أسفل القاعدة (kN/m²)

SAP2000 [®] (طول العنصر) (0.063 m)	هيتي	البرمجية المقترحة؛ وفقاً للأطوال التالية من العناصر					رقم العقدة
		0.063 m	0.125 m	0.250 m	0.500 m	1.000 m	
46.74	77.01	74.52	73.22	69.30	62.63	52.42	1
98.17	74.05	72.02	71.80	69.55	65.85	60.38	2
55.68	68.99	68.61	68.13	67.12	65.64	63.56	3
71.20	71.17	71.17	71.14	70.93	70.79	70.71	4
83.80	83.55	83.88	83.95	84.13	84.65	85.51	5
97.61	97.19	97.66	97.70	98.03	98.73	99.84	6
98.80	98.51	98.77	98.87	99.17	99.75	100.67	7
94.81	94.73	94.71	94.76	94.89	95.06	95.42	8
85.85	86.28	85.80	85.74	85.48	84.92	84.28	9
64.20	65.36	64.11	64.02	63.13	61.44	59.24	10
38.01	39.58	38.12	37.24	35.50	32.33	27.98	11

جدول 2. عزوم الانحناء (kN.m)

SAP2000 [®] (طول العنصر) (0.063 m)	هيتي	البرمجية المقترحة؛ وفقاً للأطوال التالية من العناصر					رقم العقدة
		0.063 m	0.125 m	0.250 m	0.500 m	1.000 m	
0	0	0	0	0	0	0	1
62.89	57.26	63.02	61.57	65.15	71.20	78.63	2
-71.68	-74.82	-71.11	-69.85	-65.88	-59.31	-52.18	3
-100.22	-102.40	-99.83	-98.58	-95.44	-90.80	-87.65	4
-20.04	-21.96	-20.51	-19.41	-17.44	-15.22	-17.06	5
184.91	184.07	185.12	186.13	186.93	187.42	181.80	6
35.44	34.00	35.08	35.72	36.49	36.61	30.42	7
-31.26	-31.11	-31.87	-32.94	-34.24	-34.97	-30.04	8
171.14	169.83	170.35	171.98	173.81	175.50	172.78	9
36.82	36.18	37.46	38.09	39.84	41.90	41.97	10
0	0	0	0	0	0	0	11

الإستنتاجات والتوصيات

بواسطة النماذج التي استخدمت في معايرة البرمجية المقترحة والبالغ عددها 16 نموذجاً مختلفة حالات التحميل، عدد الأعمدة، ونسب المسافات المتجاوزة بينها، والشروط الحدية، تم التوصل إلى تأكيد نجاعة هذه البرمجية؛ حيث تمت مقارنة النتائج المتحصل عليها مع كل من مخرجات معادلات هيتتي، وبرمجية SAP2000®. اتضح توافق شبه تام مع نتائج SAP2000® بمتوسط نسبة فارق يساوي 0.51%، و متوسط نسبة فارق يساوي 4.13% مقارنةً بحلول هيتتي لقيم إجهادات التربة وعزوم الانحناء على حدٍ سواء. وعلى الرغم من التذبذبات الواضحة في إختبار الأيلولة الخاص بنتائج عزوم الانحناء، إلا أن نتائج الاختبار، عموماً، كانت مرضية للغاية. هذه الفروق و التذبذبات يمكن الحد منها باستخدام أحجام عناصر أصغر.

من أهم المميزات التي تجعل البرمجية محل إشادة من قبل البُحَاث؛

1. عدم محدودية الشروط الحدية، وعدد مواضع التحميل ونوعها والمسافات بينها.
2. إمكانية تغيير خصائص التربة بين موضع وآخر أسفل القاعدة.
3. الأخذ في الاعتبار السلوك اللامرن للتربة.
4. عدم اقتصار البرمجية على الجزء التحليلي فقط، بل تغطية الجانب التصميمي أيضاً، مع توفير المساندة والتتبيه للمستخدم.
5. العرض البياني لجميع المخرجات وجانب من المدخلات لإحاطة أشمل بها.

المراجع

1. (Boresi P. A., and Sidebrttom M. O., "Advanced Mechanics of Materials.", 4th edition, John Wiley & Sons, 1984, USA.)
2. (Hilal M., "Design of Reinforced Concrete Halls.", 1st edition, J. Marcou & Co., 1971.)
3. (Abouleid A., and Said Y., "Footing Design Manual.", 1st edition, Alam El-Kotob, 1984, Egypt.)
4. (Bowles J. E., "Analytical and Computer Methods in Foundation Engineering.", 1st edition, Mc Graw-Hill, 1968, USA.)
5. (Peck R. B., Hanson W. E., and Thornburn T. H., "Foundation Engineering.", 2nd edition, John Wiley & Sons, 1974, USA.)
6. (Nilson A. H., and Winter G., "Design of Concrete Structures.", 11th edition, Mc Graw-Hill, 1991, USA.)
7. (Bowles J. E., "Foundation Analysis and Design.", 3rd edition, Mc Graw-Hill, 1982, USA.)

إيجاد علاقات رياضية عامة لمنحنيات العزوم للدنة للبلاطات المنتظمة وغير المنتظمة المسندة الجوانب

أ. عماد عبد المجيد ياسين السعدي (العراق)

أستاذ مساعد - كلية الهندسة صبراتة

جامعة الزاوية

iaa56@yahoo.com

د. مسعود حركات ارحومة (ليبيا)

أستاذ مساعد - كلية الهندسة صبراتة

جامعة الزاوية

mhrhuma@yahoo.com

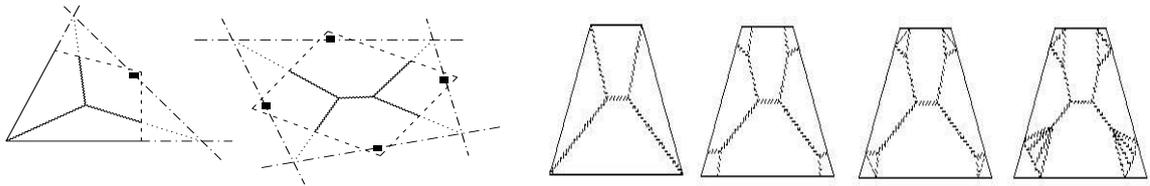
الملخص

أجريت الدراسة في هذا البحث لتحليل البلاطات المنتظمة وغير المنتظمة المسندة الجوانب وذات التحميل المنتظم بإحدى نظريات التحليل اللدن وهي نظرية خط الخضوع (Yield Line Theory). يهدف البحث لتطبيق طريقتي التحليل وهما طريقة التوازن (Equilibrium Method) وطريقة الشغل الافتراضي (Work Method) (Virtual)، حيث تمت برمجياً تحليل (عدد 10944) بلاطة لإيجاد عزوم الخضوع (العزوم اللدنة) ولتبسيط تلك النتائج تم رسمها بشكل منحنيات عامة ومن ثم إيجاد معادلاتها ولكل حالة إسناد وكذلك لجميع حالات الإسناد، وللتوصل لذلك الهدف تم دراسة كل من: جميع آليات الفشل (Collapse Mechanism) المتوقع حدوثها للبلاطات (عدد 5 حالة)، جميع متغيرات البلاطة المتمثلة بحالات إسناد جوانبها (البيسط والثابت وعددهم 16 حالة)، زاويتا ميل البلاطة من الجانبين (30،45،60،75،90 والعدد الكلي 36 حالة)، نسبة أبعادها (البعد العمودي إلى البعد الأفقي الصغير، تتراوح ما بين 0.1-1.0 وعددها 19 حالة)، ونسبة العزم السالب إلى العزم الموجب (عدد 1 حالة)، نسبة العزمين الموجبين العمودي إلى الأفقي (عدد 1 حالة). وهذا مما يسهل تصميم البلاطات دون الحاجة إلى تحليلها وخاصة غير المنتظمة منها.

المقدمة

تعتبر هذه النظرية من أفضل طرق التحليل والتصميم من الناحية العملية (Practical)، وتعطي نتائج اقتصادية، فالحمل المحسوب بواسطتها أقل من الحمل الحقيقي الناتج من التجارب العملية لفشل البلاطة، أي أن تزايد الحمل المسلط على حمل التشغيل المسموح يسبب خضوعاً في حديد التسليح البلاطة قبل وصول البلاطة إلى أقصى عزم مقاومة (Ultimate bending strength) وبخضوع الحديد يحدث فشل البلاطة. بالنسبة لنظرية خط الخضوع كانت بدايتها ترجع إلى القرن الماضي حيث قام الباحثون الأوائل باشتقاق معادلات لبعض حالات آليات الفشل للبلاطات من خلال اعتبارات شروط الإلتزان المشروط بقوى العزوم فقط وغير مصحوبة بقوى القص والإلتواء، ثم حدث تقدم في هذا المجال من قبل الباحثين أمثال جوهانسون (Johanson) وجونز (Jonss) و وود (Wood)^[1] وتوصلوا إلى مجموعة من الخصائص تسهل الاستدلال بها في تحديد آلية خطوط خضوع البلاطات الخرسانية وهي أن خطوط خضوع البلاطة تكون مستقيمة بصورة عامة، وجميع خطوط الخضوع تبدأ من نقطة أكبر عزم انحناء من للبلاطة وتنتهي عند حدود البلاطة الخرسانية ويتغير اتجاه خط الخضوع عند تقاطعه مع خط خضوع آخر متجهاً نحو حدود البلاطة، ومحاور الدوران تقع بصورة عامة على خطوط الإسناد، وتمر في الأعمدة الخرسانية، والتي يمكن أن تمثل مفصلاً حقيقياً والتي تعين موقع خط الخضوع الذي يعمل كمفصل لدونة (Plastic hinge)، وخط الخضوع يمر خلال نقطة تقاطع محوري دوران البلاطة المتجاورتين، وأخيراً خطوط الخضوع يجب أن تتجه

نحو الفتحات والأجزاء الطليقة في البلاطة وكما هي موضحة في الشكل رقم (1). وبعد دراسة الأركان الموضحة في الشكل رقم (1) من قبل الباحثين وود (Wood)، جوهانسون (Johanson) إتقفا على أن تأثير الأركان لا يتجاوز (10%) من قيمة حمل الإنهيار في البلاطات ذات الإسناد البسيط ومنظمة الشكل وذات تحميل منتظم، وأما في البلاطات غير المنتظمة الشكل سوف تؤخذ الزاوية الحادة بنظر الإعتبار لتأثيرها الكبير على النتائج، والجدول رقم (1) يوضح تأثير الزوايا عند الأركان لحالات الإسناد المختلفة للبلاطة ذات الحمل المنتظم [2,3,6].



شكل رقم (1) خطوط الخضوع وشكلها في حالة تثبيت أركانها على المسند

جدول رقم (1) يوضح تأثير خطوط خضوع الأركان

نوع البلاطة	نوع الحمل	زاوية ميل جانب البلاطة θ	زيادة لكل زاوية نسبة مئوية (%) من قيمة حمل الإنهيار	نهايات حرة الإسناد (Fr.)	نهايات ثابتة الإسناد (F.)
مسندة النهايات		أكبر من 90^0	0	0	0
(مسندة الحدود) حمل منتظم التوزيع		تساوي 90^0	0	0	2
		أصغر من 90^0	2	2	5
نهاية طولية غير مسندة وثلاث	حمل منتظم التوزيع	أكبر من 90^0	0	1	1
		تساوي 90^0	1	1	3
		أصغر من 90^0	3	3	7
نهايات غير مسندة	حمل منتظم التوزيع	أكبر من 90^0	2	2	4
		تساوي 90^0	5	5	8
		أصغر من 90^0	10	10	18
مسندة النهايات	حمل مركز	أكبر من 90^0	0	0	2
		تساوي 90^0	0	0	5
		أصغر من 90^0	4	4	12

طرق التحليل نظرية خط الخضوع [1,2,3,8]

طريقة الشغل الافتراضي (Virtual Work Method) (V.W.M)

تبنى هذه الطريقة على حصول إزاحة افتراضية بواسطة آلية الفشل (Collapse Shape) والتي حصلت فعلاً فالشغل الحاصل نتيجة القوى الخارجية يساوي الشغل الحاصل بواسطة عزم المقاومة الداخلي. وأن نسبة (ثقل الإنهيار/أقصى عزم مقاومة) تكون أقل ما يمكن عندما تصل آلية الفشل (الإنهيار) إلى الحالة الحرجة. حينئذ يمكن أن تستعمل هذه النسبة لأغراض التصميم بشرط أن لا تكون آلية فشل أخرى مختلفة عن السابقة. فعند تولد خطوط الخضوع تكون البلاطة في حالة توازن (القوى الداخلية والحمل في حالة توازن)، ومن حالة التوازن يتولد جزء

صغير من الإزاحة المفترضة (Virtual Displacement) خلال هذه الإزاحة المفترضة ومن مساواة الشغل الخارجي نتيجة الحمل والشغل الداخلي نتيجة الإجهاد (عزم الانحناء) يتم الحصول على عزم الخضوع.

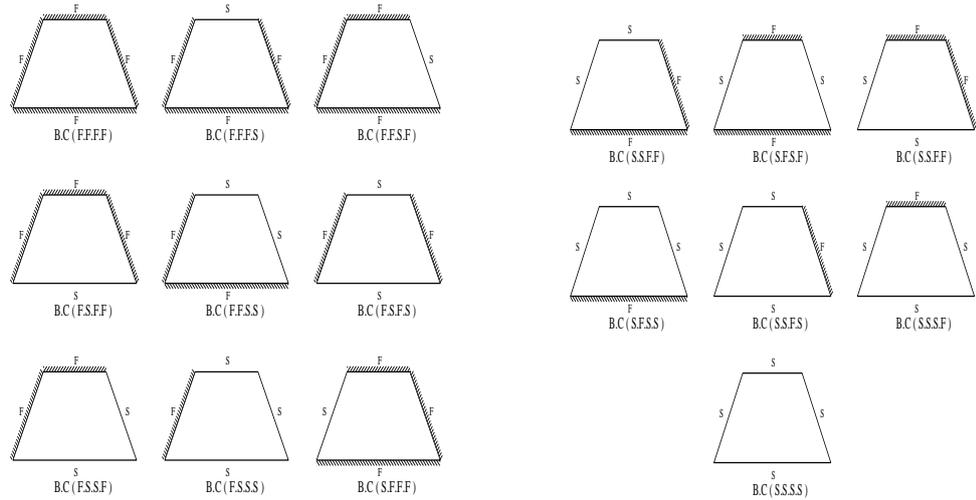
طريقة التوازن (Equilibrium Method)

وتسمى هذه الطريقة أيضا بالطريقة العقدية (Nodal Method) ففي هذه الطريقة يكون جزء البلاطة المنكسر في حالة توازن تحت تأثير الشغل الخارجي، عزم الانحناء الأقصى، القوى العقدية وردود فعل المسند. ولكل جزء من البلاطة تكتب معادلات التوازن الثلاث وهي معادلتا عزم الانحناء حول محورين (y , x) في مستوى البلاطة، ومجموع القوى العمودية على مستوى البلاطة تساوي صفرا والقوى العقدية عادة تسمى بقوة الحافة أو قوة التصحيح وتكون مهمة في حالة التحليل بهذه الطريقة، وخاصة عندما يقطع خط الخضوع الحافة الحرة بزواوية ليست قائمة. وتعتبر هذه القوى العقدية هي بدائل لعزم الالتواء (Twisting Moments) ولقوى القص (Shear Force) باتجاه المحورين (y , x) في حالة كون حديد التسليح غير متساو في الإتجاهين المتعامدين على طول خطوط الخضوع المفترضة. وقوى التصحيح هذه تسلط في الأركان العمودية على مستوى البلاطة وعزم الخضوع بطريقة التوازن يساوى معدل عزم الخضوع لجميع أجزاء البلاطة، بشرط أن تتساوى قيم عزم الخضوع لأجزاء البلاطة مع بعضها أو تقترب منها، لذا تم تحديد نسبة الخطأ بينها (1%).

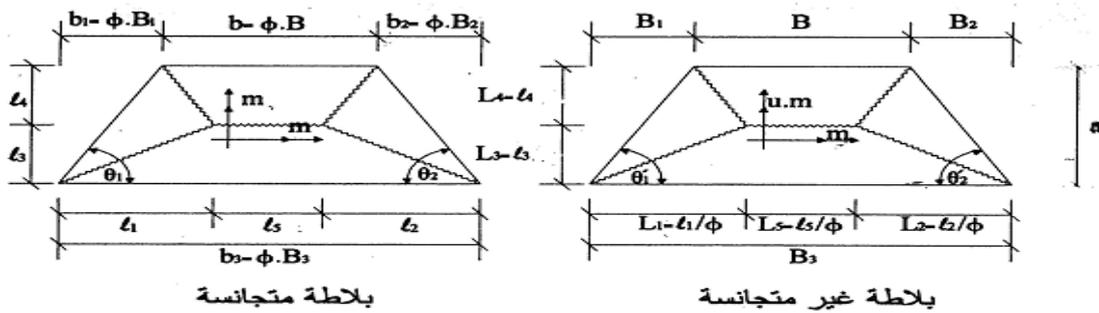
المعادلات العامة لعزوم الخضوع الموجبة^[8]

عند إيجاد معادلات عامة لعزوم الخضوع لآليات الفشل المختلفة يتطلب الأخذ بنظر الإعتبار دراسة المتغيرات التالية:

- 1- حالات حدود البلاطة Boundary Conditions الموضحة في الشكل رقم (2)، حيث تم دراسة (16) حالة إسناد للبلاطة والمتمثلة بالإسناد الثابت أو البسيط Fixed or Simply Supported.
- 2 - زاويتا ميل جانبي البلاطة والموضحة في الشكل رقم (3)، وقد تم دراسة (36) حالة وهي (15, 30, 45, 60, 75, 90) θ_1, θ_2 درجة.
- 3- قيمة نسبة العزم السالب إلى العزم الموجب عند الإسناد الثابت لحدود البلاطة، وأجريت الدراسة لـ ($I = 1.0$).
- 4- العزمان الموجبان العمودي إلى الأفقي للبلاطة غير المتجانسة، وهذا يعني عدم تساوي حديد تسليحها في الإتجاهين العمودي والأفقي، وتم التعامل معهما بالقيمة (u) وتمثل نسبة العزم العمودي الموجب إلى العزم الأفقي الموجب ولتسهيل عملية التحليل أعتمد المعامل $\phi = \frac{1}{\sqrt{u}}$ ^[7] لتحليلها كبلاطة متجانسة كما هي موضحة في الشكل رقم (3).



شكل رقم (2) حالات إسناد جوانب البلاطات "بسيط أو ثابت"



شكل رقم (3) البلاطة المتجانسة وغير المتجانسة

- 5- نسبة البعد العمودي للبلاطة إلى بعدها الأفقي الصغير ($\alpha = a/b$)، حيث تم اعتماد البعد الأفقي الصغير لذلك، وأجريت الدراسة لـ (19) حالة وهي (0.1 - 1.0) بزيادة (0.05) لكل حالة.
- 6- شكل آليات فشل المتوقع حدوثها للبلاطة، وقد تم دراسة (5) آليات فشل والموضحة في الأشكال رقم (4-8)، حيث كان المتغير بها أبعاد البلاطة وأبعاد خطوط آلية الفشل (الخضوع) وهذا يتطلب وضع جميع تلك الأبعاد كنسبة من أحد أبعاد البلاطة وهو البعد الأفقي الصغير.

شكل آليات فشل البلاطة

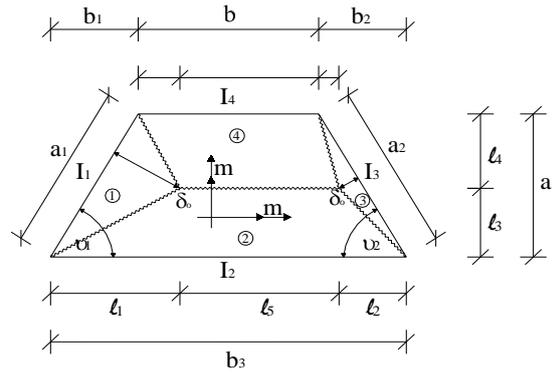
أولاً: آليات الفشل الأربع الموضحة في الأشكال رقم (4،5،6،7)

لحالات الفشل الأربع تكون $\delta_0 = 1$

$$y_1 = b_1 - l_1 \quad y_2 = b_2 - l_2$$

$$x_1 = l_1 \sin \theta_1 - l_3 \cos \theta_1$$

$$x_2 = l_2 \sin \theta_2 - l_3 \cos \theta_2$$

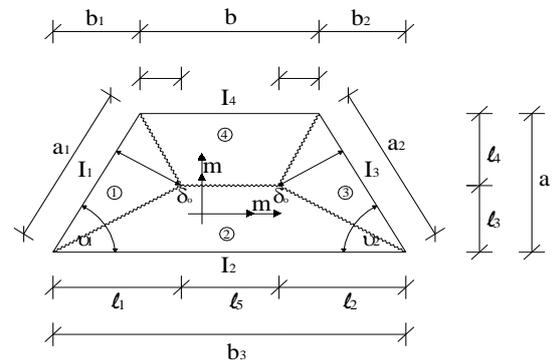


شكل رقم (4) حالة الفشل الأولى

$$y_1 = l_1 - b \quad y_2 = l_2 - b_2$$

$$x_1 = l_1 \sin \theta_1 - l_3 \cos \theta_1$$

$$x_2 = l_2 \sin \theta_2 - l_3 \cos \theta_2$$



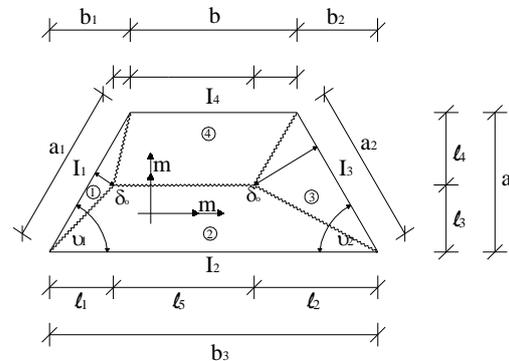
شكل رقم (5) حالة الفشل الثانية

$$y_1 = l_1 - b_1 \quad y_2 = b_2 - l_2$$

$$y_3 = b - y_1$$

$$x_1 = l_1 \sin \theta_1 - l_3 \cos \theta_1$$

$$x_2 = l_2 \sin \theta_2 - l_3 \cos \theta_2$$



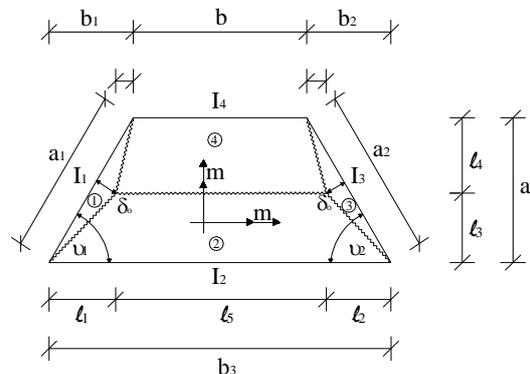
شكل رقم (6) حالة الفشل الثالثة

$$y_1 = b_1 - l_1 \quad y_2 = l_2 - b_2$$

$$y_3 = b - y_2$$

$$x_1 = l_1 \sin \theta_1 - l_3 \cos \theta_1$$

$$x_2 = l_2 \sin \theta_2 - l_3 \cos \theta_2$$



شكل رقم (7) حالة الفشل الرابعة

1- طريقة الشغل الافتراضي

$$m = \frac{W.a(b+l_5+b_3)}{6\left[\frac{(1+I_1)a_1}{x_1} + \frac{(1+I_2)b_3}{l_3} + \frac{(1+I_3)a_2}{x_2} + \frac{(1+I_4)b}{l_4}\right]} \text{--- eq (1)}$$

2- طريقة التوازن

موازنة الجزء (1) من البلاطة

$$m = \frac{W.x_1^2}{6(1+I_1)} \text{--- eq(2)}$$

موازنة الجزء (2) من البلاطة

$$m = \frac{W.l_3^2(2l_5+b_3)}{6(1+I_2)b_3} \text{--- eq(3)}$$

موازنة الجزء (3) من البلاطة

$$m = \frac{W.x_2^2}{6(1+I_3)} \text{--- eq(4)}$$

موازنة الجزء (4) من البلاطة

$$m = \frac{W.l_4^2(2l_5+b)}{6(1+I_4)b} \text{--- eq(5)}$$

ثانيا : آلية الفشل الخامسة الموضحة في الشكل رقم (8)

$$\frac{\delta_1}{\delta_0} = \frac{f_1}{x_1} = \frac{f_4}{x_2} \text{--- } \delta_0 = 1$$

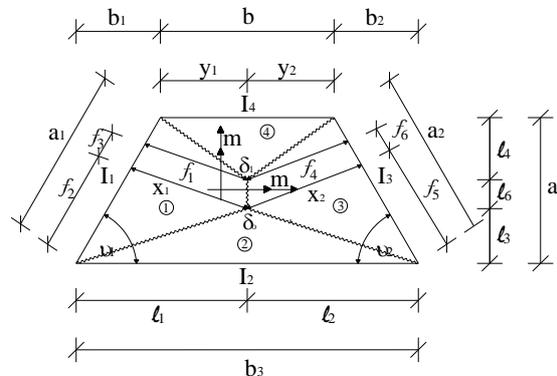
$$y_1 = b_1 - l_1 \quad , y_2 = b_2 - l_2 \quad , f_3 = \frac{l_6}{\sin \theta_1} \quad , f_6 = \frac{l_6}{\sin \theta_2}$$

$$x_1 = l_1 \sin \theta_1 - l_3 \cos \theta_1$$

$$x_2 = l_2 \sin \theta_2 - l_3 \cos \theta_2$$

$$f_2 = l_1 \cos \theta_1 + \left(\frac{l_3}{\sin \theta_1} (1 - \cos^2 \theta_1) \right)$$

$$f_5 = l_2 \cos \theta_2 + \left(\frac{l_3}{\sin \theta_2} (1 - \cos^2 \theta_2) \right)$$



شكر رقم (8) حالة الفشل الخامسة

1- طريقة الشغل الإفتراضي

$$m = \frac{W[(a_1-f_2)f_1^2x_2+(f_2+f_3)x_1^2x_2+(b_3+l_3)x_1x_2+(a_2-f_5)f_4^2x_1+(f_5+f_6)x_2^2x_1+(f_4 \cdot f_6)x_1x_2+(b \cdot l_4 \cdot f_1)x_2]}{6x_1x_2\left[\frac{(1+I_1)a_1}{x_1}+\frac{(1+I_2)b_3}{l_3}+\frac{(1+I_3)a_2}{x_2}+\frac{(1+I_4)b}{l_4}\right]} \text{---eq(6)}$$

2- طريقة التوازن

موازنة الجزء (1) من البلاطة

$$m = \frac{W[(a_1-f_2)f_1^2+(f_2+f_3)x_1^2+(f_1 \cdot f_3)x_1]}{6(1+I_1)a_1} \text{--- eq(7)}$$

$$m = \frac{W \cdot x_1^2}{6(1+I_2)} \text{--- eq(8)}$$

موازنة الجزء (3) من البلاطة

$$m = \frac{W[(a_1-f_5)f_4^2+(f_5+f_6)x_2^2+(f_4 \cdot f_6)x_2]}{6(1+I_3)a_2} \text{--- eq(9)}$$

$$m = \frac{W \cdot x_2^2}{6(1+I_4)} \text{--- eq(10)}$$

وبجعل جميع المعادلات العامة بدلالة البعد الأفقي الصغير (b) للبلاطة المتجانسة، تصبح المعادلة العامة لعزم الخضوع الأفقي الموجب كما يلي:

$$m = C \cdot W \cdot b^2 \text{--- eq(11)}$$

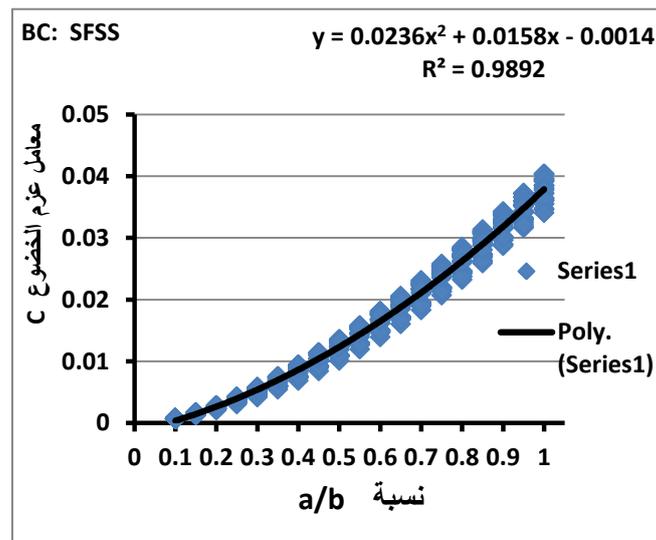
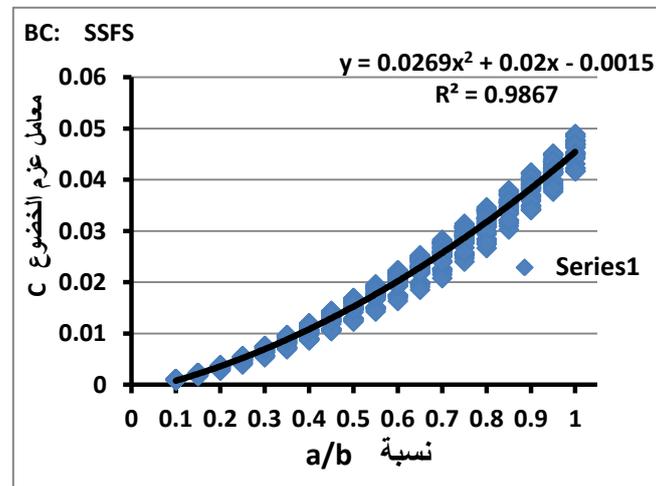
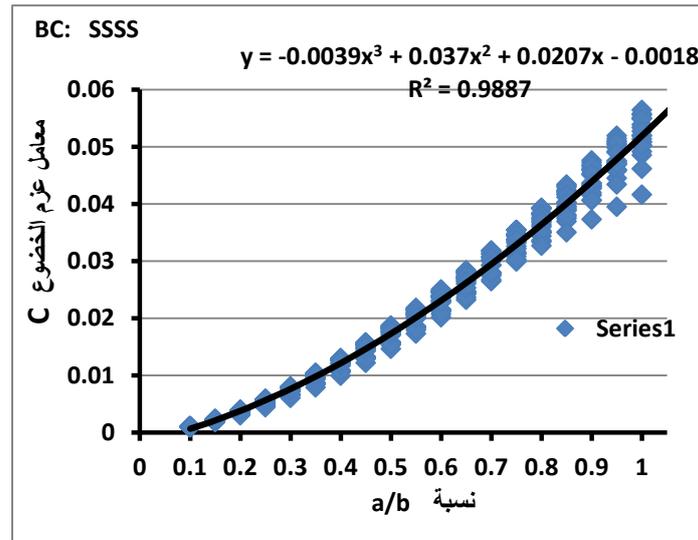
وباعتماد المعامل $\left(\frac{1}{\sqrt{u}} = \phi\right)$ يتم الحصول على عزم الخضوع الأفقي الموجب للبلاطة غير المتجانسة من المعادلة التالية:

$$m = C \cdot W \cdot B^2 \text{--- eq(12)}$$

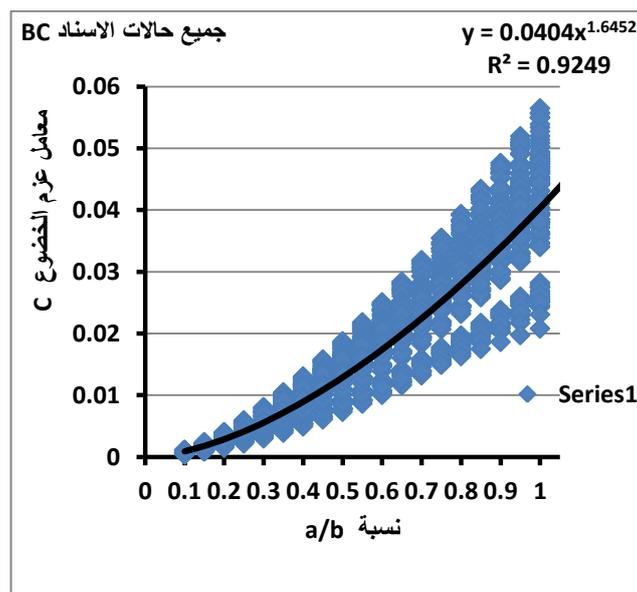
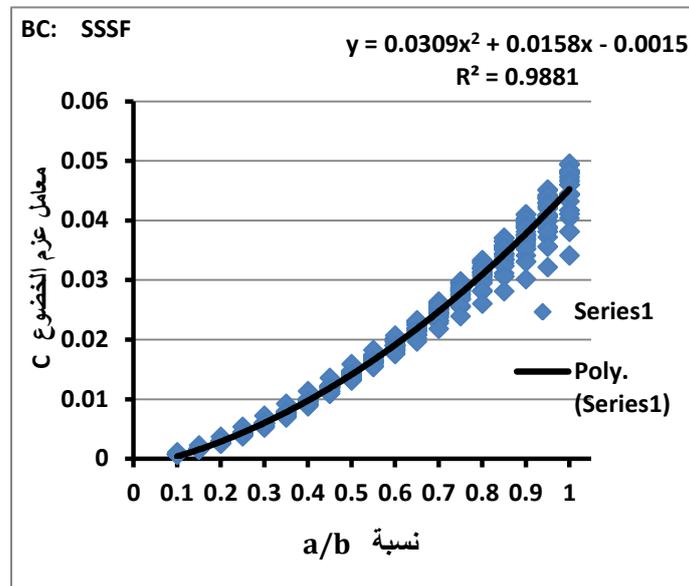
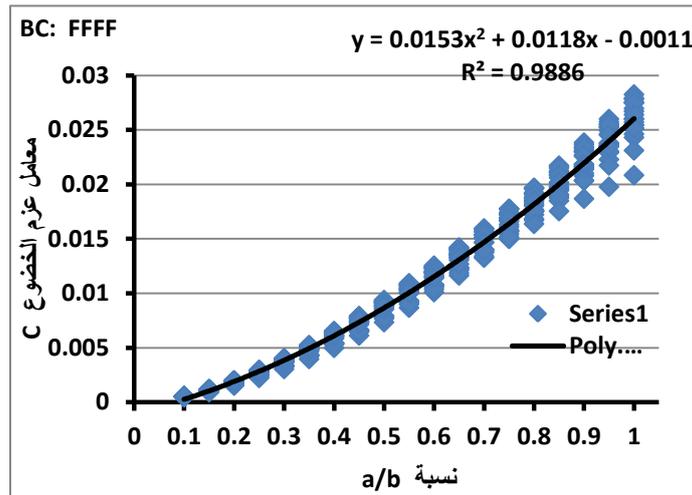
وعزوم الخضوع الأفقية السالبة للبلاطة غير المتجانسة فهي تساوي $(I_i \cdot m)$ ، وعزما الخضوع العمودي الموجب والسالب فيساويا عزمي الخضوع الأفقيين السابقين مضروبا بالمعامل (u).

منحنيات عزوم الخضوع الموجبة

تم إيجاد عزم الخضوع الموجب لكل متغير للبلاطة من تلك المعادلات العامة برمجيا بعد إجراء عدة محاولات لحين التوصل إلى آلية الفشل الحرجة التي تحقق ذلك العزم، ولتسهيل التطبيق المباشر للعزوم عند تصميم البلاطة فنظمت العلاقة ما بين معامل عزم الخضوع الموجب (C) ونسبة أبعاد البلاطة المتجانسة $\alpha = a/b$ لكل حالة اسناد ولجميع متغيراتها بمجموعة من المنحنيات وكذلك نظمت معاملات عزوم الخضوع لجميع حالات الإسناد بمنحنى واحد وعلاقة رياضية واحدة والموضحة في الشكل رقم (9).



شكل رقم (9) منحنيات عزوم الخضوع لكل حالة إسناد ولجميع حالات الإسناد



شكل رقم (9) تابع) منحنيات عزوم الخضوع لكل حالة إسناد ولجميع حالات الإسناد

الإستنتاجات

بعد التحليل والدراسة التي تضمنت جميع حالات الإسناد وجميع المتغيرات وآليات الفشل التي يمكن أن تحدث للبلاطة المنتظمة وغير المنتظمة المستندة الجوانب تم التوصل للآتي:

- 1- آليات الفشل الأربع بنفس المعادلات العامة للعزوم اللدنة.
- 2- جميع معاملات عزوم الخضوع بطريقة الشغل الإفتراضي أكبر من تلك العزوم بطريقة التوازن، بنسبة اختلاف لا تزيد عن (1%) .
- 3- معظم المنحنيات المرسومة ما بين معامل عزم الخضوع (C) ونسبة أبعاد البلاطة (α) كانت من الدرجة الثانية كما هي موضحة في الشكل رقم (9).
- 4- منحني معامل عزوم الخضوع (اللدنة) لجميع حالات الإسناد كان من الدالة الطاقة، وأن معامل عزم الخضوع لمختلف حالات الإسناد يتزايد طرديا لكل نسبة من أبعاد البلاطة (α).
- 5- الدراسة تسهل تصميم البلاطات المنتظمة وغير المنتظمة المسندة الجوانب دون الحاجة لتحليلها او بتطبيق البرمجيات عليها، كما تتيح للمصمم اختيار مقدار نسبة العزمين الموجبين (u)، وكذلك مقدار نسبة العزمين السالب إلى الموجب (I).

التوصيات

- 1- إجراء مقارنة ما بين معاملات عزوم الخضوع اللدنة في هذا البحث ومعاملات العزوم المرنة لطريقة المعاملات - 2 "Coefficient Method 2".
- 2- إجراء دراسة لحالات الإسناد طليقة الجانب.

المراجع

- 1- R.H. WOOD, 1961, Plastic & Elastic Design of Slabs and Plates, Ronald Press, New York.
- 2- Arthur H. Nilson, George Winter, 1991-11th Edition, Design of Concrete Structures, pp513-538, McGraw- Hill International Editions, New York.
- 3- Phil M. FERGUSON, 1981- 4nd Edition, Reinforced Concrete Fundamentals, pp 336-369, John Wiley & Sons, New York.
- 4- Chu-Kia Wang, Charles G. Salmon, 1997, 5th Edition, Reinforced Concrete Design, pp797-827, Harper Collins, New York.
- 5- L.H. Martin, P.C.L. Croxton and J.A. Purkiss, Structural Design in Concrete "to Bs8110", pp250-262, Edward Arnold, London.
- 6- المهندس الإستشاري الإنشائي خليل إبراهيم واكد، الطبعة الخامسة-2003، الدليل الإنشائي لتصميم البلاطات الخرسانية، 258-296، دارالكتب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة- مصر.
- 7- أ. عماد عبد المجيد السعدي، 2008، تحليل البلاطات غير المنتظمة ذات التحميل المنتظم بنظرية خط الخضوع، مجلد الأبحاث، 166-182، المؤتمر الوطني الرابع لمواد البناء والهندسة الإنشائية، ليبيا.

- 8- أ.عماد عبد المجيد السعدي، د. مسعود حركات، 2010، إيجاد معادلات عامة ومنحنيات للعوام لللدنة للبلاطات المسندة المنتظمة وغير المنتظمة ذات التحميل المنتظم بنظرية خط الخضوع، مجلد الابحاث، 191-204، المؤتمر الوطني الخامس لمواد البناء والهندسة الإنشائية، ليبيا.
- 9- أ.عماد عبد المجيد السعدي، د. مسعود حركات، 2013، إيجاد معادلات عامة ومنحنيات للعوام لللدنة للبلاطات المنتظمة وغير المنتظمة الطليقة الجانب المائل، المؤتمر العربي الثاني عشر للهندسة الإنشائية، ليبيا.

الرموز

W الحمل المسلط على البلاطة	a, B, b أبعاد البلاطة غير المتجانسة
χ نسبة العزم السالب إلى العزم الموجب	m عزم الإنحناء الأقصى لكل وحدة طول
C معامل عزم خضوع البلاطة المتجانسة	L, ℓ طول خط الخضوع أفقيا أو عموديا
Fr إسناد طليق	$B.C$ حالات الحدود (الإسناد)
α نسبة أبعاد البلاطة المتجانسة	S, F إسناد ثابت وإسناد بسيط
	u نسبة العزمين الموجبين العمودي إلى الأفقي

أداء الألياف البازولانية في الخلطات الخرسانية العادية

محمد يخلف¹، عبد العزيز العسكري²، أحمد الجابري³، خالد صدقي⁴
¹مساعد باحث، كلية الهندسة - طرابلس - ليبيا
²مساعد باحث، قسم الهندسة المدنية - جامعة واترلوا - كندا
³أستاذ مساعد، المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء - مصر
⁴أستاذ بكلية الهندسة - قسم الهندسة المدنية - جامعة واترلوا - كندا

الملخص

تلخص هذه الورقة خواص الخرسانة اللدنة والمتصلدة للخرسانة العادية المعدلة بالألياف البازولانية ولتحقيق المستهدف من هذه الدراسة تم تنفيذ خلطات مختلفة باستخدام طولين مختلفين من الألياف هما 24 مم و 12 مم مع نسب مختلفة من الألياف وهي كالتالي (0.0%، 0.25%، 0.5%، 0.75%، 1.0%) من حجم الخلطة لكل طول من الألياف. وقد تم تجهيز الخلطات باستخدام إضافات متوسطة اللدونة لتحسين قابلية التشغيل التي تم تقييمها في الحالة اللدنة بتنفيذ اختبار الهبوط. كما تم تحديد المحتوى الهوائي والوزن النوعي للخلطات المنفذة. تم تقييم الخرسانة في الحالة المتصلدة عن طريق اختبار مقاومة الضغط ومقاومة الإنحناء ومقاومة الإنفلاق وكذلك تم إيجاد المتانة للخرسانة المتصلدة. حيث أوضحت نتائج الإختبارات لعينات الخرسانة في الحالة اللدنة تأثر التشغيلية بانخفاض الهبوط والذي أمكن التغلب عليه باستخدام الإضافات، كما أظهرت النتائج زيادة بسيطة في محتوى الهواء ونقص في الكثافة للخلطات المحتوية على الألياف البازولانية مقارنة بالخلطات التي لا تحتوى على ألياف. على الجانب الآخر أظهرت النتائج للعينات الخرسانية المتصلدة المحتوية على الألياف البازولانية زيادة في مقاومة الضغط مع زيادة نسبة الألياف في الخلطة الخرسانية، مع زيادة وتحسن كبير في مقاومة الشد ومقاومة الإنفلاق للخرسانة وكذلك زيادة كبيرة في المتانة مقارنة بالخلطات التي لا تحتوى على الألياف. وأظهرت النتائج أن نسبة 0.25% من الألياف البازولانية تعتبر النسبة المثلى لتحسين جميع خواص الخرسانة المختبرة في الحالة اللدنة أو الحالة المتصلدة في هذه الدراسة.

1 - المقدمة

تستخدم الألياف في الخلطات الخرسانية لتحسين مقاومة الشد والمتانة وكذلك لتقليل الشروخ وجعل الخرسانة أكثر مطولية. خلال ثلاثين عاما مضت، زاد الإقبال على استخدام الألياف في الخرسانة الجاهزة والعناصر الخرسانية سابقة الصب والخرسانة المقذوفة [1]. وتعتبر الألياف الحديدية أشهر أنواع الألياف (تعادل 50% من الألياف المستخدمة) متبوعة بألياف البولي بروبيلين (20% من الألياف المستخدمة) ثم الألياف الزجاجية وتمثل 5% من الألياف المستخدمة في حين تمثل الأنواع الأخرى 25% من الألياف المستخدمة. تم تنفيذ عديد من الأبحاث على الأنواع المختلفة من الألياف سواء الألياف الحديدية أو الخشبية أو الكربونية أو ألياف البولي بروبيلين لدراسة تأثيرها على خواص الخرسانة [2-3].

تعتبر الألياف البازولانية ألياف طبيعية جديدة وصديقة للبيئة ولها خواص ممتازة مثل مقاومة الشد العالية ومقاومتها العالية لدرجات الحرارة المرتفعة وخفة الوزن وهي غير قابلة للصدأ بالإضافة إلى رخص ثمنها مقارنة بالأنواع

الأخرى من الألياف، وهو مما يجعل الألياف البازولانية بديلا ممتازا للألياف المستخدمة في الخلطات الخرسانية حاليا.

وتعتبر الأبحاث المنشورة في هذا الموضوع وهذه النوعية من الألياف محدودة. حيث وجد بعض الباحثين [4] أن استخدام الألياف البازولانية في الخلطات الخرسانية يحسن بصورة ملحوظة مقاومة الشد والمتانة للخرسانة، كما استنتج باحثون آخرون [5] أنه بزيادة محتوى الألياف البازولانية تقل مقاومة الضغط، كما وجد باحثون آخرون [6] أن استخدام الألياف البازولانية القصيرة في الخلطة الخرسانية يزيد من مقاومة الإنحناء وحمل التشرخ، كما أوضح بعض الباحثين [7] أن استخدام الألياف البازولانية ذات طول 12 مم في الخلطة الخرسانية يؤدي إلى زيادة مقاومة الضغط ومقاومة الإنفلاق ومقاومة الإنحناء بمقدار 1.68% و 24.34% و 9.58% على التوالي.

2 - البرنامج المعملية

يهدف البرنامج المعملية إلى الآتى:

- الوصول إلى القيمة المثلى من حجم الألياف البازولانية في الخلطة الخرسانية.
- دراسة تأثير استخدام الألياف البازولانية على خواص الخرسانة الطازجة ممثلة في اختبارات (الهبوط ومحتوى الهواء والكثافة).
- دراسة تأثير استخدام الألياف البازولانية على خواص الخرسانة المتصلدة ممثلة في اختبارات (مقاومة الضغط ومقاومة الإنحناء ومقاومة الإنفلاق).
- دراسة تأثير طول الألياف البازولانية على خواص الخرسانة العادية.

2-1 تفاصيل العينات المختبرة

يتكون البرنامج المعملية لهذا البحث من (168) عينة خرسانية، عبارة عن (147) عينة أسطوانية ذات قطر 100 مم، وارتفاع 200 مم، ((84) إسطوانة لاختبار مقاومة الضغط في حين (63) عينة لاختبار مقاومة الإنفلاق)، و(21) كمرة ذات أبعاد (عرض 100مم × ارتفاع 100مم × طول 350مم) لاختبار مقاومة الإنحناء وتعيين مقدار المتانة.

2-2 مواد الخلطات الخرسانية المستخدمة

لتحقيق البرنامج المعملية لهذه الدراسة، تم استخدام الإسمنت البورتلاندي العادي (نوع GU) والحجر الجيري المهشم كركام كبير والرمل المحلي مع استخدام إضافة لخفض محتوى المياه (MRWR) مع مياه الشرب وكان الركام المستخدم متوافقا مع المواصفات مقاطعة أونتاريو الكندية (MTU2011) OPSS1002. تم توريد الألياف البازولانية عن طريق (MAFIC Canada Inc) بطولين، 12 مم و 24 مم. يوضح شكل (1) الألياف البازولانية المستخدمة، كما يوضح الجدول (1) الخواص الفيزيائية لمكونات مواد الخرسانة.



البازولانية

شكل (1) الألياف

جدول (1) خواص المواد المستخدمة في الخلطات الخرسانية

المواد	الخواص
إسمنت بورتلاندي عادي (C)	الكثافة النوعية 3.15
حجر جيري مهشم ركام كبير (CA)	المقاس الإعتباري الأكبر 19 مم مشبع وجاف السطح الكثافة النوعية 2.71 نسبة الإمتصاص 1.055%
رمل محلي كركام ناعم (FA)	الكثافة النوعية 2.683 نسبة الإمتصاص 1.06% معامل النعومة 0.144%
الألياف البازولانية (BF)	الكثافة النوعية 1.85 مقاومة الشد 1770 ن/مم ² معايير الكسر 180 كن/مم ² الطول 12 مم و 24 مم القطر 13 ميكرومليمتر
إضافة كيميائية لخفض محتوى المياه (HRWR)	الكثافة النوعية 1.04
مياه الخلط (W) - مياه الشرب	الكثافة عند 24 درجة مئوية 997.28 كجم/م ³

3-2 الخلطات الخرسانية المستخدمة

تم تنفيذ عدد (9) خلطات خرسانية عادية منها عدد (4) خلطات تحتوي على الألياف البازولانية بطول 12 مم وبنسب (0.25%، 0.5%، 0.75%، 1.0%) من وحدة الحجم، وعدد (4) خلطات تحتوي على الألياف البازولانية بطول 24 مم وبنفس النسب السابقة، بالإضافة إلى عدد (1) خلطة بدون الألياف كعينة تحكم (control).
يوضح الجدول (2) تفاصيل نسب الخلطات الخرسانية، حيث تم تقسيم الخلطات إلى مجموعتين بناء على طول الألياف البازولانية، المجموعة الأولى تمثل الألياف البازولانية ذات طول 24 مم، والثانية تمثل الألياف البازولانية ذات طول 12 مم. كما تم استخدام إضافة لتحسين التشغيلية (workability) مع الخرسانة ذات الألياف البازولانية، وتراوح نسبة الإضافة للمجموعة الأولى بين 0.5% إلى 2.95% من وزن الإسمنت وللمجموعة الثانية من 0.3% إلى 2.8%. تم تصميم الخلطات لتكون ذات هبوط يتراوح بين 150 مم إلى 200 مم بدون استخدام الإضافات. لإعداد الخلطة تم استخدام خلطة عادية ذات سعة 100 لتر حيث تم إضافة الركام الكبير والصغير

أولاً وخلطهم مع ¼ كمية المياه الكلية لمدة 60 ثانية. ثم تم إضافة الإسمنت والماء المتبقي محتوي على كمية الإضافة، وتم الخلط لمدة 180 ثانية أخرى. نفس الطريقة تم استخدامها عند تنفيذ الخلطات التي تحتوي على الألياف البازولانية باستثناء إضافة الألياف البازولانية قبل إضافة الماء المتبقي مع الإضافة، وكان إجمال زمن الخلط 6 دقائق.

تم تنفيذ عدد من الخلطات التجريبية للحصول على الجرعة المثلى من الإضافة لاستخدامها في الخلطات. حيث كان إجمالي كمية الخلطة 60 لتر لجميع الخلطات.

جدول (2) تفاصيل تصميم الخلطات الخرسانية

الخلطة الخرسانية	C (kg)	BF		W/C ratio	W (kg)	CA (kg)	FA (kg)	HRWR (% C)
		L	(vol. %)					
M1	488	0	0.00	0.42	205	1067	600	0.00
M2	488	24	0.25	0.42	205	1059	956	0.50
M3	488	24	0.50	0.42	205	1048	589	1.35
M4	488	24	0.75	0.42	205	1031	580	2.95
M5	488	24	1.00	0.42	205	1018	572	4.10
M6	488	12	0.25	0.42	205	1060	597	0.30
M7	488	12	0.50	0.42	205	1051	591	0.95
M8	488	12	0.75	0.42	205	1032	581	2.80
M9	488	12	1.00	0.42	205	1022	575	3.50

2-4 طريقة الإختبار

تم إجراء الإختبارات في هذه الدراسة وفقاً للمواصفات الأمريكية لإختبار المواد (ASTM) لتعيين خواص الخرسانة العادية الطازجة والمتصلدة والمحتوية على الألياف البازولانية، وتشمل الخواص الطازجة إختبارات (الهبوط ومحتوى الهواء والكثافة)، وفقاً للمواصفات الأمريكية (ASTM C138, C231, C143) على التوالي في حين تشمل الخواص المتصلدة إختبارات (مقاومة الضغط ومقاومة الإنحناء ومقاومة الإنفلاق والمتانة) وفقاً للمواصفات الأمريكية (ASTM C496, C1609, C39) على التوالي.

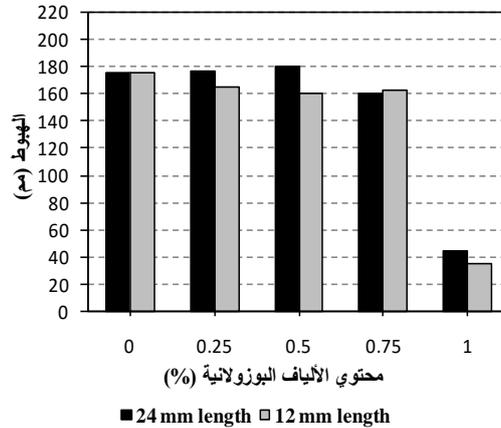
3- مناقشة النتائج

يعرض هذا الجزء من البحث نتائج الإختبارات التي تم تنفيذها للعينات الخرسانية في الحالتين اللدنة والمتصلدة للخرسانة، كما يعرض تأثير محتوى الألياف البازولانية على الخلطة الخرسانية في الحالتين اللدنة والمتصلدة.

3-1 درجة التشغيلية (Workability)

تم قياس درجة التشغيلية باستخدام اختبار الهبوط طبقاً للمواصفة الأمريكية (ASTM C143) [9]، وبالرجوع إلى شكل (2) يتضح أن جميع الخلطات حققت الهبوط المستهدف (160مم إلى 180مم) فيما عدا الخلطتين M5، M9 واللذان تحتويان على نسبة من الألياف البازولانية (1.0%) حيث كان مقدار الهبوط أقل من 50مم وهو أقل من هبوط الخرسانة المسموح به من قبل الموصف للخرسانة العادية. كما يتضح أيضاً أنه بزيادة محتوى الألياف فإنه يكون من الضروري زيادة محتوى الإضافة للمحافظة على درجة التشغيلية، كما يتضح أن الخلطات الخرسانية ذات الألياف الطويلة (24مم) تحتاج إلى كمية من الإضافة أكبر من الخلطات الخرسانية ذات الألياف القصيرة

(12م) لزيادة التشغيلية. كما يوضح الشكل (2) أنه من المفضل أن لا يزيد محتوى الألياف البازولانية على 0.75%.

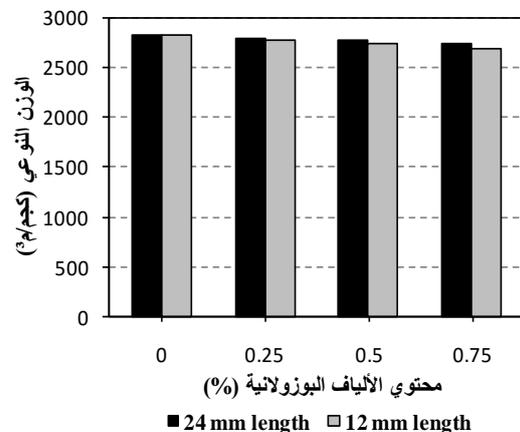
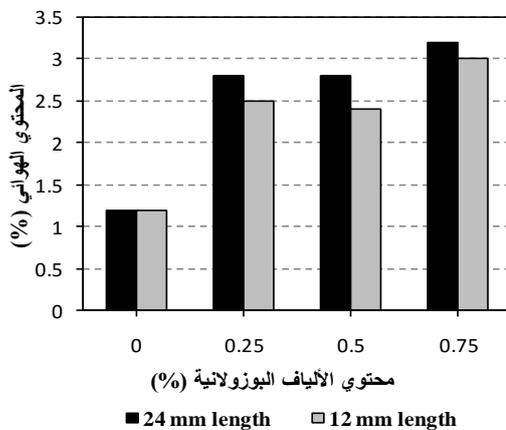


ومحتوي الألياف البازولانية في

شكل (2) العلاقة بين الهبوط
الخلطات الخرسانية

2-3 المحتوى الهوائي والكثافة (Air Content and Density)

تم قياس المحتوى الهوائي والكثافة وفقا للمواصفة الأمريكية (ASTM C138 و ASTM C143) [11]، [10] على التوالي. تراوح المحتوى الهوائي في الخلطات التي تحتوي على الألياف البازولانية بين 1.2% إلى 3.2% كما هو موضح في شكل (3/ب)، في حين كان تصميم الخلطات على أساس أنها تحتوي على هواء محبوس بين 1% إلى 3%. أوضحت نتائج الإختبارات أن زيادة محتوى الألياف البازولانية يؤدي إلى زيادة محتوى الهواء المحبوس كما هو موضح في شكل (3/ب) بالإضافة إلى أن الخلطات الخرسانية ذات الألياف الطويلة (24م) كانت ذات محتوى هواء محبوس أكبر من الخلطات الخرسانية ذات الألياف القصيرة (12م). وبالرجوع إلى شكل (3/أ) نجد أن الكثافة للخلطات اللدنة ذات الألياف البازولانية تتراوح بين 2830 و 2690 كجم/م³ حيث بزيادة الألياف البازولانية تقل الكثافة وذلك لخفة وزن الألياف مقارنة بالمكونات الأخرى للخلطة.

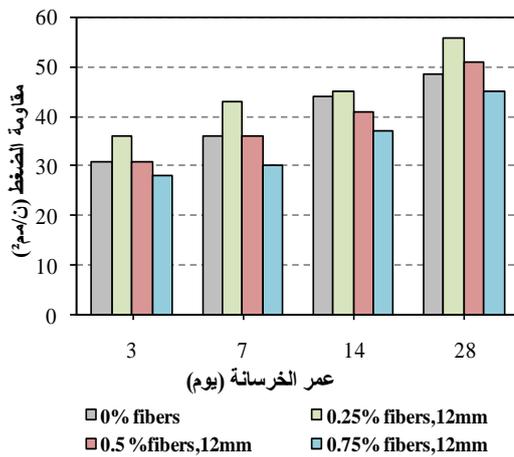


شكل (3/أ) الوزن النوعي مقابل محتوى الألياف إنشائية على الشكل (3/ب) المحتوى الهوائي مقابل محتوى الألياف

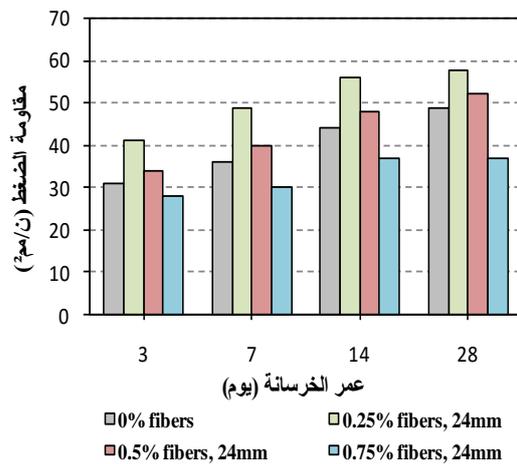
3-3 مقاومة الضغط (Compressive Strength)

تم تعيين مقاومة الضغط للعينات الخرسانية طبقاً للمواصفات الأمريكية (ASTM C39/C39M-09a) [12] وبالرجوع إلى شكل (4/أ)، الذي يوضح العلاقة بين مقاومة الضغط للعينات الخرسانية المختبرة ومحتوى الألياف الطويلة (24مم) وذلك عند أعمار مختلفة للخرسانة (3، 7، 14، 28) يوم، وبالإشارة إلى الجدول (3) الذي يوضح ملخص نتائج الإختبارات؛ فإنه يمكن استنتاج الآتي: يؤدي زيادة محتوى الألياف البازولانية حتى 0.5% إلى زيادة مقاومة الضغط مع ملاحظة أنه كلما زادت نسبة الألياف قلت نسبة الزيادة في مقاومة الضغط، حيث كانت نسبة الزيادة في مقاومة الضغط للعينات التي تحتوي على نسبة ألياف 0.25%، 0.5% هي (16%، 6%) على الترتيب مقارنة بالعينة التي لا تحتوي على الألياف. وعلى الجانب الآخر أدت زيادة محتوى الألياف إلى 0.75% إلى نقص مقاومة الضغط للعينات بمقدار (24%) مقارنة بالعينة التي لا تحتوي على الألياف.

وبالرجوع إلى شكل (4/ب) الذي يوضح مقاومة الضغط للعينات الخرسانية المختبرة ذات الألياف القصيرة (12مم) وذلك عند أعمار مختلفة للخرسانة، وبالإشارة إلى الجدول (3) يتضح أيضاً أن زيادة محتوى الألياف البازولانية حتى 0.5% يؤدي إلى زيادة مقاومة الضغط مع ملاحظة أنه كلما زادت نسبة الألياف قلت نسبة الزيادة في مقاومة الضغط، حيث كانت نسبة الزيادة في مقاومة الضغط للعينات التي تحتوي على نسبة ألياف 0.25%، 0.5% هي (18%، 6%) على الترتيب مقارنة بالعينة التي لا تحتوي على الألياف. وعلى الجانب الآخر أدت زيادة محتوى الألياف إلى 0.75% إلى نقص مقاومة الضغط للعينات بمقدار (24%) مقارنة بالعينة التي لا تحتوي على الألياف. ويمكن أن يعزى ذلك إلى عدة أسباب منها أن زيادة محتوى الألياف البازولانية يؤدي إلى نقص الركام الكبير في الخلطة (لثبات حجم الخلطة) وهو عامل مباشر في التأثير على مقاومة الضغط، بالإضافة إلى أن زيادة الألياف البازولانية يؤدي إلى زيادة نسبة المساحة السطحية المطلوب تغليفها بالإسمنت مما يؤدي إلى حدوث نقص في تماسك العجينة الإسمنتية، أخيراً بزيادة جرعة الإضافة للمحافظة على درجة التشغيلية يؤدي إلى زيادة النزيف (bleeding) الذي يؤدي إلى حدوث انفصال حبيبي للخلطة الخرسانية.



شكل (ب) الألياف البازولانية بطول 12مم



شكل (أ) الألياف البازولانية بطول 24مم

شكل (4) العلاقة بين مقاومة الضغط ومحتوى الألياف البازولانية في الخلطات الخرسانية

جدول (3) نتائج الخواص الميكانيكية للعينات الخرسانية المختبرة

المتانة (ن - مم)	معامل القطع	مقاومة الشد				مقاومة الضغط			BFs		الخلطة الخرسانية
		(ن/مم ²)	7	14	28	(ن/مم ²)	7	14	3	(vol. %)		طول
28	28	28	14	7	28	14	7	3		اليوم	
2000	5.3	3.6	3.5	3.3	49	44	36	31	0	0.00	M1
3700	8.2	4.6	4.5	4	58	56	49	41	24	0.25	M2
3650	8.4	4.3	3.8	3.4	52	48	40	34	24	0.50	M3
3200	7.1	3.3	3.3	3.2	37	37	30	28	24	0.75	M4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	1.00	M5
3500	7.4	4.4	4.5	3.9	56	45	43	36	12	0.25	M6
3250	6.9	4.0	3.6	3.7	51	41	36	31	12	0.50	M7
3250	6.5	3.9	3.6	3.6	45	37	30	28	12	0.75	M8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	1.00	M9

3-4 مقاومة الإنفلاق (Splitting Tensile Strength)

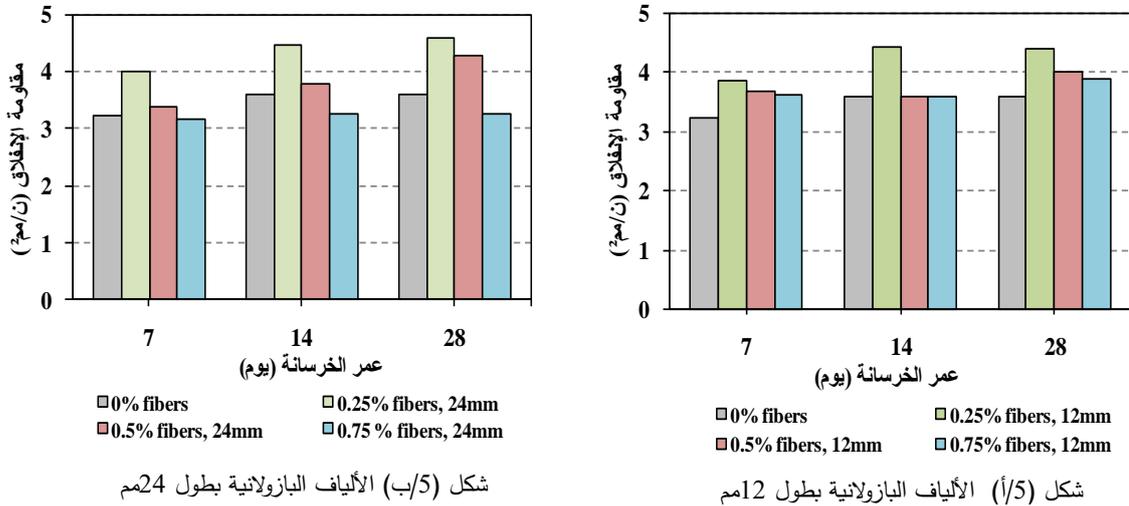
يوضح شكل (5/أ) و (5/ب) العلاقة بين مقاومة الإنفلاق للعينات الخرسانية المختبرة ومحتوى الألياف الطويلة (12مم) و(24مم) على الترتيب وبنسب من الألياف (0.0%، 0.25%، 0.5%، 0.75%)، وذلك عند أعمار مختلفة للخرسانة (7، 14، 28) يوم طبقاً للمواصفات الأمريكية (ASTM C496/C496M-04) [13]، وبالإشارة إلى الجدول (3) الذي يوضح ملخص نتائج الإختبارات، فإنه يمكن استنتاج الآتي؛ تؤدي زيادة محتوى الألياف البازولانية حتى 0.5% إلى زيادة مقاومة الإنفلاق مع ملاحظة أنه كلما زادت نسبة الألياف قلت نسبة الزيادة في مقاومة الإنفلاق، حيث كانت نسبة الزيادة في مقاومة الإنفلاق للعينات التي تحتوي على نسبة ألياف طويلة (24مم) 0.25%، 0.5% هي (28%، 19%) على الترتيب وكانت نسبة الزيادة في مقاومة الإنفلاق للعينات التي تحتوي على نسبة ألياف قصيرة (12مم) 0.25%، 0.5% هي (22%، 11%) على الترتيب مقارنة بالعينات التي لا تحتوي على الألياف. وعلى الجانب الآخر أدت زيادة محتوى الألياف إلى 0.75% إلى نقص مقاومة الإنفلاق للعينات بمقدار (8%) للألياف الطويلة مقارنة بالعينات التي لا تحتوي على الألياف مع إهمال نتيجة الخلطة M8 للألياف بطول 12 مم والتي يمكن اعتبارها نتيجة شاذة.

ويمكن أن تعزى الزيادة في مقاومة الإنفلاق إلى عدة أسباب منها أن وجود الألياف البازولانية في الخلطة الخرسانية يعمل على الحد من نمو الشروخ مما يؤدي إلى حمل انهيار أعلى، حيث أنه بمجرد تطبيق الحمل على الإسطوانة تبدأ الشروخ في الظهور وتبدأ الإسطوانة الخرسانية في الإنفصال إلى جزئين؛ فتعمل الألياف البازولانية على خلق جسر خلال الجزئين المعرضين للإنفصال وتؤخر من انفصالهم. يتضح من جدول (3) وشكل (5) أن الخلطة M2 M6، المحتوية على الألياف البازولانية بنسبة 0.25% تعتبر الخلطة المثالية لمحتوى الألياف كما تظهر النتائج أنه يفضل أن لا يزيد محتوى الألياف البازولانية في الخلطة الخرسانية على 0.25%.

3-5 مقاومة الإنحناء (Flexural Strength)

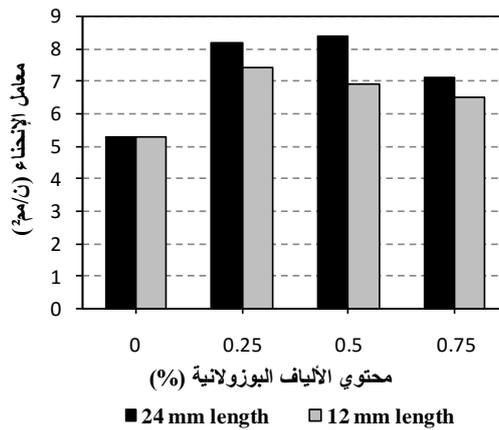
يوضح شكل (6) العلاقة بين مقاومة الإنحناء للعينات الخرسانية المختبرة ومحتوى الألياف الطويلة (24مم) و(12مم) على الترتيب وبنسب من الألياف (0.0%، 0.25%، 0.5%، 0.75%) وذلك عند عمر واحد للخرسانة (28 يوم) (ASTM C1609/C1609M-10) [14]، وبالرجوع إلى جدول (3) الذي يوضح ملخص نتائج الإختبارات، فإنه يمكن استنتاج الآتي؛ تراوحت مقاومة الإنحناء للعينات الخرسانية المحتوية على الألياف البازولانية

بنسبة 0.5% تعتبر الخلطة المثالية لمحتوى الألياف لزيادة مقاومة الإنحناء. كانت الألياف البازولانية قادرة على الحد من الشروخ واتساعها كما أن العدد الزائد من الألياف البازولانية المتقاطعة مع مستوى الكسر أدى إلى زيادة مقاومة الإنحناء.



شكل(5) العلاقة بين مقاومة الانفلاق ومحتوى الألياف البازولانية في الخلطات الخرسانية

تراوحت مقاومة الإنحناء للعينات الخرسانية المحتوية على الألياف البازولانية بطول 12م بين 6.5/ن/مم² إلى 7.4/ن/مم² بزيادة في مقاومة الإنحناء بنسبة تتراوح بين 23%، 40% مقارنة بالعينات التي لا تحتوي على الألياف (5.3/ن/مم²)، كما يتضح أن الخلطة المثالية لمحتوى الألياف البازولانية لزيادة مقاومة الإنحناء تتراوح بين 0.25% و0.5%.

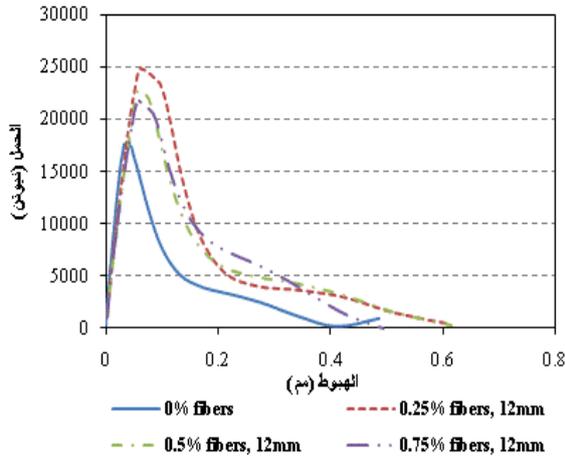


شكل(6) العلاقة بين مقاومة الإنحناء ومحتوى الألياف البازولانية في الخلطات الخرسانية

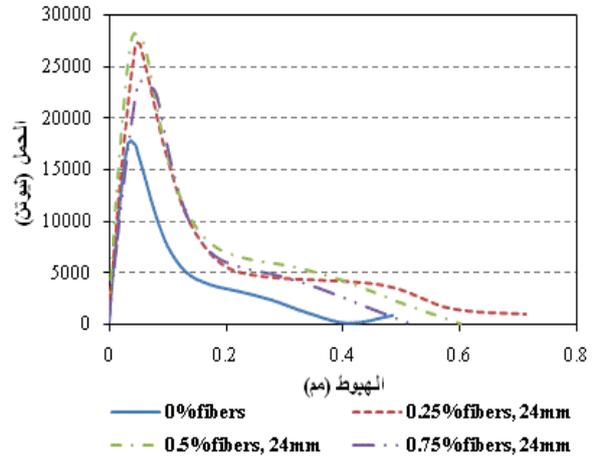
3-6 المتانة (Toughness)

يوضح الشكل (7) تأثير محتوى الألياف البازولانية بنسبها وأطوالها المختلفة على العلاقة بين الحمل ومقدار الترخيم للعينات المختبرة في مقاومة الإنحناء كما يوضح الشكل تأثير محتوى الألياف البازولانية بنسبها وأطوالها المختلفة على المتانة، حيث تمثل المتانة المساحة أسفل المنحنى الناتج عن العلاقة بين الحمل والترخيم. تتكون منحنيات

(الحمل- الترخيم) من منحني خطي حتى حمل الإنهيار ثم يهبط المنحنى تدريجياً حتى يصل الحمل إلى الصفر. وقد لوحظ أن الترخيم عند الحمل الأقصى كان أكبر قليلاً للعينات المحتوية على الألياف البازولانية مقارنة بعينات التحكم التي لا تحتوي على الألياف البازولانية. كذلك لوحظ أن المتانة للعينات الخرسانية المحتوية على الألياف البازولانية أعلى من العينات التي لا تحتوي على الألياف. وبالرجوع إلى جدول (3) يلاحظ الآتي؛ أن المتانة للخلطات الخرسانية التي تحتوي على الألياف البازولونية بطول 24مم زادت بحوالي 46%، أما الخلطات الخرسانية التي تحتوي على ألياف بازولونية بطول 12مم زادت المتانة بحوالي 43%.



شكل (7ب) الألياف البازولونية بطول 12مم



شكل (7أ) الألياف البازولونية بطول 24مم

شكل (7) العلاقة بين الحمل والترخيم للخلطات الخرسانية المحسنة بالألياف البازولونية

4- الإستنتاجات

في حدود الدراسة البحثية التي تم تنفيذها على طولين مختلفين من الألياف البازولانية (24مم، 12مم) وبنسب مختلفة (0%، 0.25%، 0.5%، 0.75%، 1%) من حجم الخلطة فإنه يمكن تدوين النتائج التالية:

1- تؤثر الألياف البازولانية على خواص الخرسانة اللدنة حيث تقل قابلية التشغيل مما يتطلب زيادة جرعة الإضافة لتحسين قابلية التشغيل.

2- يمكن تحقيق الهبوط المطلوب للخلطة الخرسانية حتى نسبة من محتوى الألياف مقدارها 0.75% وبزيادة النسبة إلى 1.0% كان من الصعب تحقيق الهبوط.

3- تؤدي زيادة محتوى الألياف البازولانية إلى زيادة المحتوى الهوائي المحبوس لكن بنسبة مقبولة. كما يؤدي إلى نقص في الكثافة النوعية للخرسانة.

4- يؤدي محتوى الألياف البازولانية بنسبة 0.25% إلى زيادة مقاومة الضغط بمقدار 18%، في حين تؤدي زيادة محتوى الألياف البازولانية إلى نسبة 0.75% إلى نقص مقاومة الضغط بنسبة 8%.

5- أدت زيادة محتوى الألياف البازولانية بنسبة 0.25% إلى تحسين مقاومة الإنفلاق في الشد بمقدار 28%.

6- تحسن الألياف البازولانية من مقاومة الشد والمتانة للعينات الخرسانية بصورة ملحوظة حيث وصلت الزيادة في مقاومة الشد 58% مع محتوى ألياف 0.5%، وزادت المتانة بنسبة 85% مع محتوى ألياف 0.25%.

7- لوحظ أن زيادة نسبة الألياف البازولانية إلى 0.75% لا يزيد من تحسين مقاومة الإحناء مقارنة بمحتوى الألياف البازولانية بنسب 0.25% و 0.5%.

8- لا يوجد تأثير ملحوظ لطول الألياف على تحسين الخواص الخرسانة المتصلدة.

شكر وتقدير

الشكر والتقدير موصول إلى شركة مافيك (MAFIC Canada Inc) وذلك لدعمهم المادي وتبرعهم بالألياف البازولانية لإجراء الدراسة. شكر خاص موصول إلى كلا من داريل و سالمون من شركة هوج للخرسانة الجاهزة علي توفير المواد وتجهيز المكان للعمل. كذلك الشكر لكل الفنيين العاملين في معمل الخرسانة في جامعة ووترلو.

5- المراجع

- [1] Kosmatka, S., Kerkhoff, B., and Panarese, W. (2002). Design and control of concrete mixtures, 14th edition, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA.
- [2] Carlswärd, J. & Emborg, M. (2010). Prediction of stress development and cracking in steel fiber-reinforced self-compacting concrete overlays due to restrained shrinkage. In: Fiber-Reinforced Self-Consolidating Concrete: Research and Applications (ACI SP-274) (p.p. 31-50). Detroit, USA: American Concrete Institute.
- [3] Yin J, Wu ZS. (2003). Structural performance of short steel-fiber reinforced concrete beams with externally bonded FRP sheets. Construction and Building Materials, 17(6-7), 463-470.
- [4] Ma, J., Qiu, C., and Wang Y. (2010). Experimental research on the fundamental mechanical properties of presoaked basalt fiber concrete. The 5th International Conference on FRP Composites in Civil Engineering, Beijing, China.
- [5] Ma, J., Zhang, M., and Zhao, G. (2013). Experimental research on basalt fiber reinforced cementitious composites. Journal of Mechanics and Materials, 253-255: 533-536.
- [6] Zhang, J.Z, Liu, Z.Y., Fu Z., and Zhao J. (2011). Bending resistance of short-chopped Basalt fiber hydraulic concrete and RC element. Advanced Materials Research, 261-263: 407-410.
- [7] Jiang, C., Fan, K., Wu, F., Chen, D. (2014). Experimental study on the mechanical properties and microstructure of chopped basalt fiber reinforced concrete. Material and Design, 58,187-193
- [8] OPSS 1002 (2011). Material specification for aggregates – concrete. Toronto, Canada: Ministry of Transportation of Ontario.
- [9] ASTM C143/C143M-10. (2010). Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete, Annual Book of ASTM Standards. vol.04.02, Philadelphia (USA): American Society for Testing and Materials.
- [10] ASTM C231/C231M-09b. (2010). Standard test method for air content of freshly mixed concrete by the pressure method, Annual Book of ASTM Standards. vol.04.02, Philadelphia (USA): American Society for Testing and Materials.
- [11] ASTM C138/C138M-10b. (2010). Standard test methods for density (unit weight), yield, and air content (gravimetric) of concrete, Annual Book of ASTM Standards. vol.04.02, Philadelphia (USA): American Society for Testing and Materials.

-
- [12] ASTM C39/C39M-09a. (2010). Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens, Annual Book of ASTM Standards. vol.04.02, Philadelphia (USA): American Society for Testing and Materials.
- [13] ASTM C496/C496M-04. (2010). Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens, Annual Book of ASTM Standards. vol.04.02, Philadelphia (USA): American Society for Testing and Materials.
- [14] ASTM C1609/C1609M-10. (2010). Standard test method for flexural performance of fiber-reinforced concrete of cylindrical concrete (using beam with third-point loading), Annual Book of ASTM Standards. vol.04.02, Philadelphia (USA): American Society for Testing and Materials

إمكانية استخدام الطريقة ثنائية النقطة (الفيكوزيمترية) لفحص لزوجة الخرسانة

د. م. فؤاد فروج فرج

أستاذ مساعد قسم الهندسة المدنية / جامعة سبها

ملخص

من خلال الدراسات السابقة وطرق الفحص التقليدي للزوجة الخرسانة نجد أن الكثير من الهيئات العلمية المعتمدة في صناعة الخرسانة إعتمدت الطرق أحادية النقطة (القص عند إجهاد واحد)، أكثر الطرق استخداما لفحص تشغيلية الخرسانة حسب الطريقة أحادية النقطة (مخروط إبرامس، (ve-be abarat)، طاولة الإنسياب، وطرق أخرى مستحدثة ستشرح في البحث المرفق.

بالحقيقة أن هذه الطرق لا تعطي بدقة معلومات دقيقة عن لزوجة وسيلان الخرسانة ولكنها تعطي معلومات في الأغلب تكون غير واضحة وفيها مجال كبير للخطأ وعلى سبيل المثال لعدة خلطات يمكن أن تصنف على أنها لزجة وفقا لهبوط مخروط إبرامس بفحصها وفقا للطريقة ثنائية النقطة نجد أنها مختلفة تماما وكل منها له مواصفات مغايرة عن الخلطات الباقية، وعليه فيمكن القول أن الطريقة ثنائية النقطة أفضل وأدق فيما لو إعتمدت وأصبحت شائعة الاستخدام خاصة بالمواصفات والمزايا المطلوبة في الخلطات التي تدخل فيها الإضافات بشكل كبير. في البحث المقدم عرض لطبيعة عمل الطريقة ثنائية النقطة وإمكانية إعتقادها على مستوى المجال المركزية في ليبيا والبلدان العربية وتعميم ما سيوصل إليه بهدف إعتاده ليكون مرجعا أساسيا في صناعة الخرسانة.

الكلمات الدالة : لزوجة الخرسانة، الريولوجيا، الفيكوزيمتر، الريومتر، الطرق ثنائية النقطة لفحص لزوجة الخرسانة، الطرق أحادية النقطة لفحص لزوجة الخرسانة.

1- المقدمة

بالنظر إلى التقدم التقني بعلم الأتمتة والأجهزة الرقمية التي تعمل بشكل دقيق وتعطي نتائج جيدة في حساب النتائج وحصرها وإجراء المعادلات الرياضية عليها وإدخالها إلى الحاسوب لتصنيفها وإعطائها طابعا يستطيع من خلاله قراءة هذه النتائج ومحاكاتها مع الواقع لمعرفة طبيعتها، بالنظر إلى أبحاث سابقة أكدت فعالية الطرق الفيكوزيمترية (الريومترية) [2] في قياس لزوجة الخرسانة تحديدا، ونظرا للآراء المختلفة حول إمكانية استخدام الفيكوزيمتر أو عدم استخدامه والاكتفاء بالطرق القديمة المستخدمة، كان لا بد من التوضيح في البحث على المستجدات التي أصبحت بين الأيدي وإمكانية تطبيق الطريقة الفيكوزيمترية بشكل عملي واسع في مجال تحديد لزوجة الخرسانة كجسم غير متجانس من خلال تحديد متغيراتها الفيزيائية حسب القوانين الفيزيائية التي تعبر عنها لتلبي متطلبات النمو التقني في صناعة الخرسانة [2] [3].

كانت الأجهزة المستخدمة سابقا بسيطة وغير قادرة على تصفية ومعالجة النتائج مما جعلها تقع في الأخطاء ولا تعطي المطلوب منها مما أدى إلى الإبتعاد عن إعتاد نتائجها. ومن هذه الأجهزة جهاز الفيكوزيمتر الدوار الذي تميز بالكثير من الميزات النظرية المهمة ولكن أثناء التطبيق وخاصة في الخلطات والمونة الإسمنتية أعطى نتائج غير واقعية وغير مفسرة وذلك للأسباب التالية:

- طبيعة الخلطات الخرسانية و المونة الإسمنتية غير المتجانسة
- عدم القدرة على تصفية النتائج

- سرعات القص التي لم تكن تحاكي سرعات القص الطبيعية أثناء الخلط
- الأوزان الحجمية المختلفة لمكونات الخلطات وفصل مكوناتها أثناء إجراء الإختبار [3]

ولهذه الأسباب أصبح استخدام الفيسكوزيمتر أمراً غير مقبول في السبعينيات وحتى التسعينيات، وتحسن تقنيات الأجهزة والأتمتة وأجهزة الحاسوب المتقدمة أزيلت هذه العقبات وأصبح استخدام الطريقة ثنائية النقطة (الفيسكوزيمترية) من الأمور التي لا بد وأن تؤخذ بعين الإعتبار وأن تطبق في المختبرات والمراكز العلمية بشكل واسع لتحديد مواصفات لزوجة الخلطات بشكل دقيق [2].

2- الأساس النظري للطريقة الفيسكوزيمترية (جسم بنغهام الفيزيائي)

إن المعرفة الجيدة للخواص الفيزيائية للخلطات الخرسانية تمكن من التحكم في طبيعة ومزايا الخرسانة المنتجة ومع التقدم التقني الحاصل في صناعة الخرسانة لا بد من تحديد جميع متحولاتها بدقة، لذلك يوجد أنه لا بد من معرفة الجسم الفيزيائي الذي يمثل الخلطة الخرسانية وطبيعة المؤثرات عليه بشكل دقيق. بالنظر إلى الطرق التقليدية المستخدمة لتحديد لزوجة الخرسانة والتي في الغالب تكون غير دقيقة المعايير كما في جهاز مخروط إبرامس الذي يحدد طبيعة الخلطة بناء على هبوط المخروط مثلاً من 2.5 - 5 سم بأنها خلطة ذات تشغيلية منخفضة وهنا يوجد أن هذا التحديد غير دقيق فكثير من الخلطات غير المتشابهة تقع في هذا المجال وتختلف عن بعضها إختلافاً جذرياً، وقد أثبتت البحوث الكثيرة في العقد المنصرم أن الخلطة الخرسانية وبشكل تقريبي تمثل جسم بنغهام الفيزيائي شكل (1) [1]، [2] والذي يعبر عنه بأنه مكون من خليط من المواد غير المتجانسة والمتحدة مع بعضها عبر مادة سائلة تعمل على ربط المكونات مع بعضها، ولو تم النظر إلى الخلطة الخرسانية فإنه يوجد تطابق مع طبيعة الجسم الفيزيائي المذكور (جسم بنغهام) بحيث يكون الركام والرمل المادة الصلبة والمونة الإسمنتية المادة السائلة اللاصقة.

يتميز جسم بنغهام الفيزيائي الشكل (1) بمقاومته قوى القص المطبقة عليه حتى درجة معينة يصبح عندها غير قادر على مقاومة قوى القص فيبدأ بالسيلان ويزداد سرعة القص المطبقة على هذا الجسم يزداد إجهاد القص (τ) وهذه الزيادة تتعلق بطبيعة الخلطة الخرسانية من حيث (كمية الماء، كمية الرمل إلى الركام، الإضافات، تجانس الخليط) أنظر الشكل (6) ومعادلة جسم بنغهام الفيزيائي الشكل (1). بالنظر إليه يوجد أن هناك متحولين رئيسيين يحددان طبيعة هذا الجسم [2] [5].

$$\text{لزوجة الخلطة الخرسانية } (\lambda_{pi}) \text{ ، حد السيلان } (\tau_0)$$

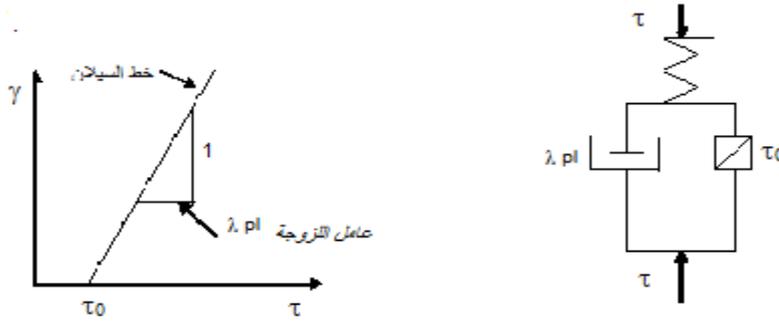
يعتبر حد السيلان (τ_0) الحد الأصغر لإجهاد القص الذي يبدأ فيه مجس الفيسكوزيمتر بالدوران داخل الخلطة، واللزوجة (λ_{pi}) هي ميل خط السيلان.

$$\tau - \tau_0 = \lambda_{pi} \gamma$$

المعادلة 1:

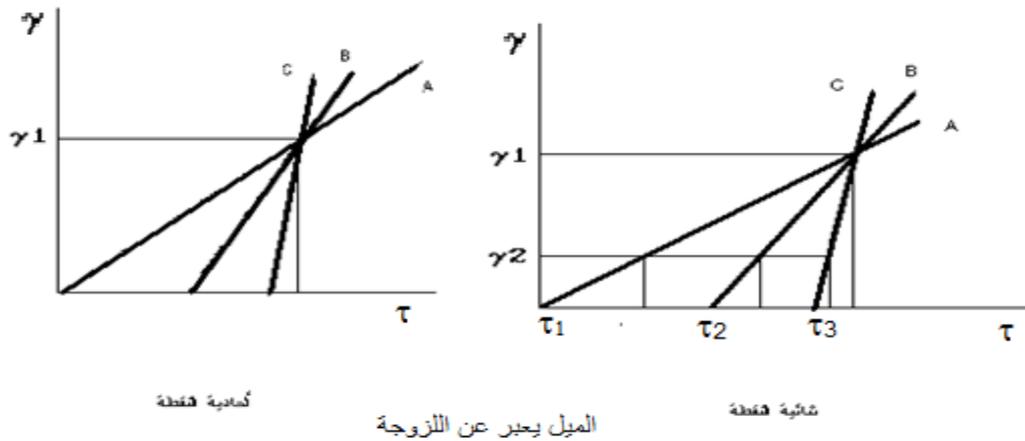
حيث :

λ_{pi}	لزوجة الخلطة الخرسانية
τ_0	حد السيلان
γ	سرعة القص
τ	إجهاد القص

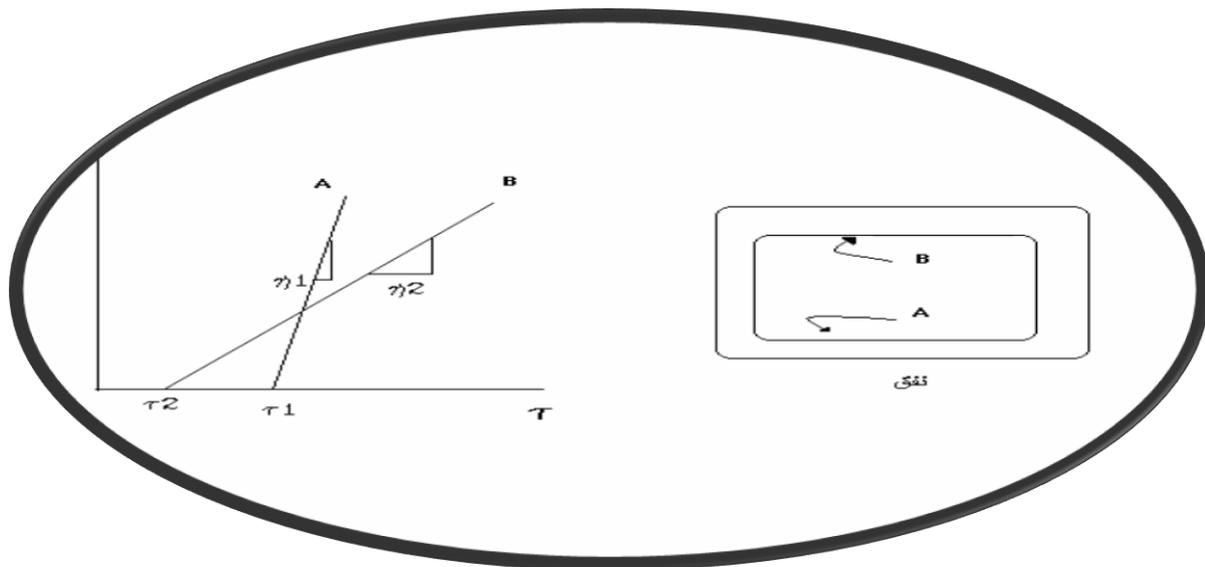


الشكل (1) جسم بنغهام الفيزيائي والخط البياني الذي يمثله

من الأمور التي تهتم في صناعة الخرسانة هو طبيعة ومواصفات الخلطات الخرسانية وخصائص المونة الإسمنتية وقد أعتمد لتوضيح هذه المواصفات عدة طرق حسب طبيعة الخلطة ومن هذه الطرق (هبوط مخروط إبرامس، طاولة الإنسياب، (ve-be abarat)، وغير ذلك من الطرق مثل الإنسياب عبر فتحات من حديد التسليح، إلخ. إن ما يميز جميع هذه الطرق إعتقادها على قص الخلطة الخرسانية أو المونة الإسمنتية وفقا لسرعة هبوط واحدة أي وفقا لسرعة قص واحدة (γ) وهذا لا يعتبر خطأ من الناحية الفنية لتحديد إجهاد القص (τ) عند سرعة قص واحدة ولكنها غير كافية ولا تعرف الخلطة بشكل واضح، الحقيقة تعطي رأيا مخالفا لهذا التصور غير الدقيق لأنه وبشكل واضح يستطيع التحقق بأن سرعة قص واحدة (γ_1) يمكن أن تكون لخلطات مختلفة المواصفات ولكنها تلتقي عند سرعة القص هذه ولذلك عند هذه النقطة جميع الخلطات لها نفس المواصفات (خلطة لدنة مثلا)، أما في الحقيقة لو أنتقل إلى سرعة قص ثانية (γ_2) فيوجد أن إجهاد القص مختلف لجميع الخلطات (A , B , C) وإذا أعتبر خط سيلان الخلطة هو الخط الواصل بين إجهادات القص عند السرعتين (الطريقة ثنائية النقطة الفيسكوزيمترية) يوجد وبشكل واضح أن كل خلطة تتميز بأنها ذات ميل مختلف تماما عن الخلطات الباقية وهذا يعني أن لزوجتها (λpi) (ميلها) مختلف كما وأن حد سيلانها (τ_0) (تقاطع خط السيلان مع محور الإجهادات) مختلف تماما لكل خلطة، الشكل (2 - a). وعليه يوجد أن الخلطة A مختلفة عن الخلطة B ومختلفة عن الخلطة C مع العلم أنه بالطريقة أحادية النقطة والتي ذكرت سابقا جميع الخلطات لها نفس المواصفات الشكل (2 - b). هنا السؤال الذي يطرح وبشكل هام في الوقت الحالي: هل تعتمد الطريقة أحادية النقطة بما فيها من عدم دقة ولا تلبية متطلبات الحدثة لتحديد المواصفات؟ أم أنه ينتقل إلى اعتماد الطريقة ثنائية النقطة (الفيسكوزيمترية) بدقة نتائجها واعتمادها كطريقة جيدة لتحديد المواصفات والتي ستشرح بدقة في الفقرة اللاحقة من البحث؟ هنا لابد من التنكير بأن اعتماد الطريقة ثنائية النقطة يحتاج إلى أن يعتمد ويطبق في المختبر ويصعب استخدامه في مكان الجبل والخلط وصب الخرسانة. ولتوضيح أهمية الطريقة ثنائية النقطة يوجد أن الخلطات الخرسانية اللازمة لتنفيذ سقف النفق تختلف عن خلطة أرض النفق، خلطة السقف تتميز بإجهاد قص ضعيف (τ_0) ولزوجة عالية (λpi)، الخلطة B (الخلطات الغنية بالرماد السيلكاتي المحروق وخفيفة الوزن)، أما خلطة أرض النفق فتتميز بإجهاد قص عال (τ_0) ولزوجة منخفضة (λpi) (تشغيلية عالية)، الخلطة A (الخلطات ثقيلة الوزن وسهلة الوضع). إن هذا المثال يؤدي إلى موضوعية اختيار الطريقة الفيسكوزيمترية التي تحدد مثل هذه الخلطات بدقة، أما الطرق العادية أحادية النقطة فلا تعطي نتائج دقيقة ومحددة [1] [2] [3]، الشكل (3).

τ_3 

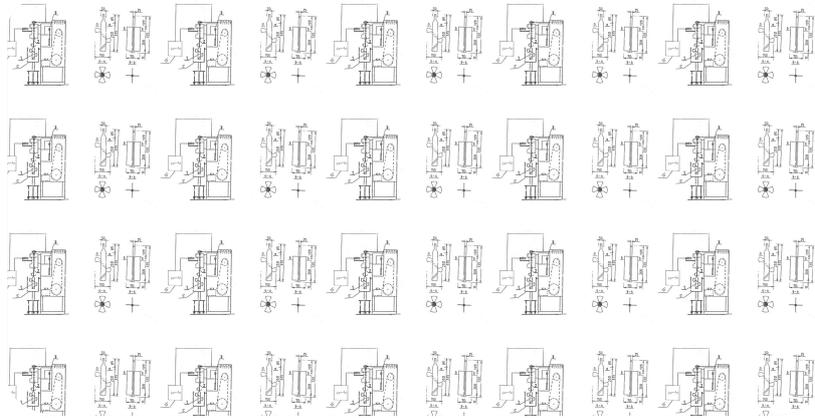
الشكل (2) الفرق بين الطريقة (أحادية النقطة) والطريقة الفيسكوزيمترية (ثانوية النقطة) [2]



الشكل 3 الفرق بين طبيعة الخلطات المستخدمة في سقف وأرضية الأنفاق والتوضيح الذي تمنحه الطريقة الفيسكوزيمترية في هذا المجال ولا يحصل عليه بالطرق أحادية النقطة [2]

3- طريقة عمل الفيسكوزيمتر

يسمى الفيسكوزيمتر الخاص بفحص الخلطات الخرسانية بالريؤومتر ويعمل الريؤومتر في وسط ذا تجانس ضعيف، يعود ذلك إلى وجود الركام ذي الأحجام المختلفة والأوزان المختلفة التي تؤثر بشكل واضح على القياس وإمكانية حدوث فصل المكونات عند زيادة كمية الماء في الخلطة. يجب أخذ الحيطة وإعادة التجربة أكثر من مرة بهدف الحصول على نتائج جيدة وقد استخدم الريؤومتر في إنكلترا من قبل البروفيسور (Tattersal). وفي النرويج من قبل الدكتور (Gjorv) وفي بولندا تم تصميم الريؤومتر (RODIE) في قسم الهندسة المدنية لجامعة سيليزيا بولندا، حيث أدخلت بعض التحسينات على الأجهزة المستخدمة سابقا من حيث طبيعة عمل الجهاز وأتمتة قراءة النتائج وإعادة تحليلها عن طريق الحاسوب المتصل بالجهاز إضافة إلى إمكانية إلغاء النتائج الشائبة بطريقة البرامج الإحصائية [3]، [4]. يعمل الريؤومتر (RODIE)، شكل (4) عبر المجس (1) المتصل بجهاز لقياس عزم القص (2)، يتصل جهاز قياس العزم بالمحرك الكهربائي الحلزوني متحول السرعات (3) من جهة وبجهاز الحاسوب (4)، الحاسوب متصل مع جهاز قياس العزم ومع المحرك (3) من جهة أخرى، حيث تتم قراءة النتائج لسرعات قص مختلفة (γ)، ويتم احتساب إجهاد القص (τ) حسب المعادلة السابقة (1). من جهة أخرى يتم التحكم بتبديل سرعات القص أليا عبر برنامج الحاسوب وتوقيت زمني مختار حيث تتم قراءة 15 (إجهاد قص) لكل سرعة تحذف منها الخمس الأبعد عن وسطي النتائج، وتبديل السرعات يتم تحديد عدة نقاط على خط السيلان يرسم الحاسوب من خلالها خط سيلان الخلطة الخرسانية محددًا حد السيلان (τ_0) (إجهاد القص الأدنى) ولزوجة الخلطة الخرسانية (λ_{pl}) (ميل خط السيلان)، شكل (1) والشكل (6).



الشكل 4 الريؤومتر (rod IE) لقياس لزوجة الخرسانة بالطريقة الفيسكوزيمترية [4] [3]

4 - النتائج العملية ومجال فعالية الطريقة ثنائية النقطة

يتميز عمل الفيسكوزيمتر فعاليته في الأوساط السائلة أو اللزجة والمتجانسة وفي مثل هذه المحاليل يوجد أن نتائج الفيسكوزيمتر تعتبر جيدة وواقعية ومعبرة عن لزوجة الخرسانة (λ_{pl}) وحد قصها (τ_0) بشكل جيد ويمكن اعتماد نتائجها بشكل دقيق بمساعدة أجهزة الحاسوب وتصفية النتائج وتقويتها يستطيع ومن خلال خط السيلان تحديد متحولاتها والنتائج غير الحقيقية والناجمة عن وجود الركام الخشن في الخلطات الخرسانية تقل بشكل واضح وتهمل بالنهاية بفعالية تصفية النتائج [3].

تتميز الخلطات الخرسانية بمرورها بعدة مراحل تبعا لكمية الماء الموجود فيها، فتوجد الخلطات ذات المحتوى المائي الضعيف جدا وتسمى الخلطات شبه الجافة (خلطات معامل تصنيع الطوب) والخلطات نصف الجافة وتتميز بهبوط مخروط ضعيف جدا لا يتجاوز 2 سم، الخلطات عالية اللزوجة والتي تتغير مواصفاتها بزيادة المحتوى المائي فيها أو كمية الملدنات وهي خلطات سائلة بصعوبة وهبوط مخروطها لا يتجاوز 8 - 9 سم، والخلطات السائلة والتي تتميز بزيادة المحتوى المائي فيها يتراوح هبوط المخروط فيها بين 14 - 20 سم، والخلطات عالية السيولة والتي تتميز بمحتوى مائي عال أو كمية ملدنات عالية تكسبها سيولة عالية، وفي النهاية الخلطات غير المتجانسة والتي تتميز بمحتوى عال جدا من المياه أو كميات عالية من الملدنات تفقد الخلطة تجانسها وتصبح محتوياتها غير متجانسة (فصل المكونات، النضح) وبعد هذا التوضيح لطبيعة الخلطات الخرسانية تبعا لمحتواها المائي يوجد الآتي:

- الحالة الأولى

- خلطات جافة ونصف جافة إن قياسها بالطريقة الفيسكوزيمترية غير مجد لحصول القص في الخلطة الخرسانية وحصول فراغ حول المجس، تتعدم بعدها القراءات لانعدام إجهاد القص، الشكل (5).

- الحالة الثانية

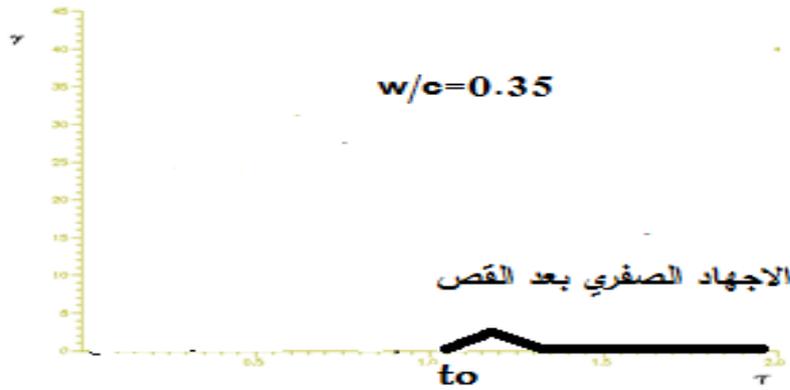
- مجال الخلطات السائلة واللزجة والتي تتميز بتجانس وتماسك في مكوناتها وهي أفضل مجال لعمل الفيسكوزيمتر، الشكل (6).

- الحالة الثالثة

- الخلطات التي تقع في مرحلة فصل المكونات فعدم تجانسها النسبي وفصل مكوناتها يشوش وبشكل واضح النتائج المتحصل عليها صعودا وهبوطا عند القياس ويمكن لفصل المكونات أن يجعل النتائج غير مقبولة في حالات كثيرة، الشكل (7).

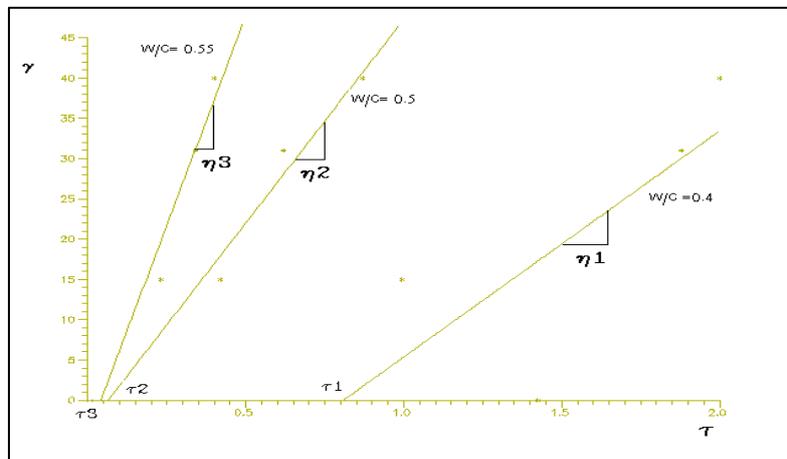
النتائج هي نتائج الإختبارات المنفذة على 200 خلطة مختلفة الخواص من خلال اختلاف نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) وكمية الملدنات (SP) المضافة ونوع الملدنات المستخدمة [3]. إن وضع هذه النتائج أساسي لتبيان مجال استخدام الفيسكوزيمتر وما هي حدود الاستخدام الصحيح له [3].

- في الشكل (5) يوجد بوضوح أن الخلطة الخرسانية قاومت قوى القص بشكل فعال (خلطة جافة أو نصف جافة) حتى حدوث القص (τ_0). عندها يتحدد بشكل واضح حد القص (إجهاد القص) ويحدث فراغ حول المجس الدوار ولا توجد قراءات بعد ذلك مما يعطي نتائج صفرية لا تعبر عن الخلطة المدروسة بأي شكل من الأشكال ويستطاع فقط تحديد إجهاد القص (τ_0) أما اللزوجة (λ_{pl}) فلا يمكن تحديدها لانقطاع الخلطة وعدم سيلانها بشكل مستمر [3].

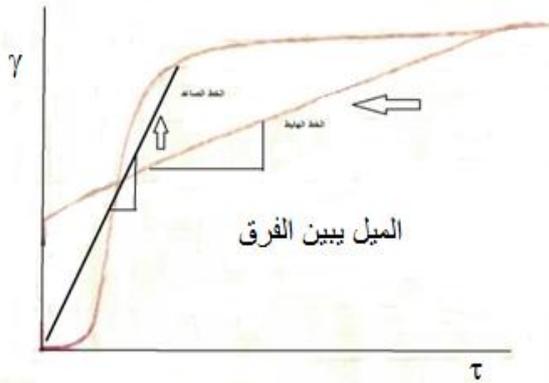


الشكل 5 حالة قص الخلطات الخرسانية الجافة والفراغ بعد حد القص

- الحالة الثانية عندما تكون الخلطة سائلة القوام ومتجانسة المكونات نسبيا يوجد بشكل واضح أن القراءات جيدة وبتزايد سرعات القص حتى السرعة القصوى وكذلك في الإتجاه العكسي (تتناقص سرعات القص) ويبقى فقط التشويش الحاصل عن ارتطام الركام بالمجس وهذه القراءات غير المقبولة يمكن تفاديها بتزايد عدد القراءات وإزالة القراءات البعيدة عن متوسط القراءات الكلي، ويمكن عندها بمساعدة البرامج الإحصائية البحثية تحديد خط سيلان الخلطة، الشكل (6) وتحديد حد قصها (τ_0) ولزوجتها (λ_{pi}) ومن الملاحظ في هذه الحالة تطابق وتناغم الخطين في القياس صعودا وهبوطا ولا يتجاوز الفرق بينهما 5 %، ويمكن اعتماد الخط الصاعد لأنه يعطي نتائج أفضل من الخط الهابط ويعود السبب إلى تراكم المقاسات الصغيرة للركام حول المجس بعد الدوران لفترة القياس أثناء الصعود.
- الحالة الثالثة وهي الخلطات التي يزيد هبوط مخروطها عن 20 سم فإن قياسها بطريقة الفيسكوزيمتر يحتاج إلى سرعة في القياس قبل حدوث الفصل في المكونات وعدم الأخذ بعين الاعتبار القياسات الهابطة وذلك بسبب فصل مكونات الخلط وعدم تجانس المكونات مما يؤدي إلى إعطاء نتائج غير صحيحة كليا ولا يجب إعتماؤها، الشكل (7). يوضح الخطان الصاعد والهابط والفرق بينهما بشكل واضح والقيمة المختلفة للميل (λ_{pi}) قيم اللزوجة غير الحقيقية.



الشكل 6 حالة الخلطات المتجانسة وقيم حدود القص المختلفة والميل المختلف [3]



الشكل 7 القياس للخلطات الخرسانية المعرضة لفصل المكونات مبينا الفرق بين القياسان الصاعد والهابط [3]

5 - الإستنتاجات والتوصيات

- مما سبق وبالإستناد على النتائج المنفذة على خلطات خرسانية والتي تجاوزت 200 خلطة بمختلف أشكالها [3]، وتحديد قيم لزوجتها (λ_{pl}) وحد قصها (τ_0) يؤكد على التالي:
- إن الطريقة ثنائية النقطة (الفيكوزيمترية) في قياس مواصفات الخلطات الخرسانية أفضل من الطريقة أحادية النقطة وتبين بشكل واضح الخواص الفيزيائية للخلطة المدروسة من خلال إجهاد القص وحد القص (τ_0) وميل خط السيالان (λ_{pl}) (اللزوجة).
 - تحتاج طريقة الفيكوزيمتر تطبيقا مخبريا دقيقا ولا يمكن تنفيذها بشكل سهل في موقع العمل، وذلك بسبب الأجهزة اللازمة والمرتبطة، الشكل (4).
 - يمكن اعتماد النتائج في الطريقة الفيكوزيمترية في الخلطات السائلة متجانسة القوام [4].
 - في الخلطات الجافة أو شبه الجافة ذات المحتوى المائي الضعيف جدا يمكن تحديد إجهاد القص فقط.
 - الخلطات التي تدخل في مجال فصل المكونات لأسباب متعددة (زيادة المياه، زيادة الملدنات)، يمكن أخذ القياس بحيطه والعمل على أخذ النتائج قبل حدوث فصل المكونات، أي قراءات الصعود.
 - حدوث التشويش الناجم عن المقاسات الكبيرة للركام يمكن تفاديه بزيادة قراءة النتائج وتصفيته بشكل صحيح.
 - يوصى باستخدام الفيكوزيمتر في المخابر الهندسية والكليات العلمية لما فيه من مزايا إيجابية في مجال تحديد متغيرات الخلطة الخرسانية.

6- المراجع العلمية

- Tattersall, G.H., "The tow- point Workability test", Mag. Concr. Res. Vol .25, -1 nr84, september1973 p 169-172.
- Swabowski, J., "podstawa teoretyczna I metody pomiaru cech reologicznych masy -2 betonowy", Inzynieria I Budownictwo, nr 5 1971, s 193- 197
- Faroug, Fouad, "wpływ s.p. na właściwość Reologiczną mieszanki betonowy", -3 praca doktorska pol. Śląska, 1994

-
- 4- فؤاد فروج، عبد السلام المبروك عكاشة، المؤتمر الوطني الثاني لمواد البناء والهندسة الإنشائية، الخمس -
جامعة المرقب، 2004.
- 5- عمر بن عبد الله الهازي، "تعيين لزوجة السوائل والمحاليل"، السعودية 2010، منهج تعليمي.

المواصفات الفنية وتأثير الظروف الجوية على المنشآت في مدينة البيضاء

د. عبد الخالق سلوم مهدي
أستاذ مساعد
abdulkhalekmahdi@ymail.com

أ. إبراهيم فرج عبيد الله
مساعد محاضر
Eng_ibrg@yahoo.com

قسم الهندسة المدنية - كلية الهندسة - جامعة عمر المختار - البيضاء - ليبيا

ملخص

إن تنفيذ المنشآت يتم على عدة مراحل حيث تبدأ بمرحلة تهيئة الموقع وحفريات الأساسات ثم الأعمال الهيكلية والتقطيعات وصولاً إلى الأعمال الكهربائية والميكانيكية والصحية والمياه وأعمال الأبواب والشبابيك وإنهاءً بأعمال إنهاء الأرضيات والسقوف والجدران، وهناك عدد من المواصفات الفنية التي يعتمد عليها في تنفيذ جميع هذه الأعمال لغرض أن يكون المنشأ في الجانب الأمين وأن يُعطي وظيفته بالشكل الصحيح ويؤدي الغرض الذي نُفذ من أجله.

تعرض هذه الورقة البحثية المخططات والمواصفات الفنية المعتمدة في تنفيذ الأعمال المهمة التي لها علاقة مباشرة بالظروف الجوية حيث توضح طريقة معالجة تأثير الحرارة والأمطار والرياح لغرض المحافظة على البيئة الداخلية للمنشأ، ويشمل العرض أيضاً عدداً من الصور كنماذج من هذه الأعمال لكثير من الأبنية المنفذة بمدينة البيضاء المعروفة بانخفاض درجات الحرارة خاصةً في فصل الشتاء وكثرة الأمطار التي تبدأ عادةً في فصل الخريف لتستمر إلى فصل الربيع. تبين المخططات التفصيلية لهذه الصور مدى الإبتعاد الواضح عن تلك المواصفات مما يؤدي ذلك إلى نتائج سلبية كبيرة على وظيفة المنشأ إضافةً إلى زيادة إستهلاك الطاقة في تلك الأبنية وبالتالي الضغط العالي على المصادر المغذية للطاقة الكهربائية والإحتياج الواسع لطلب الوقود لغرض التعويض عن ضعف أو فقدان تلك الوظائف.

1. المقدمة

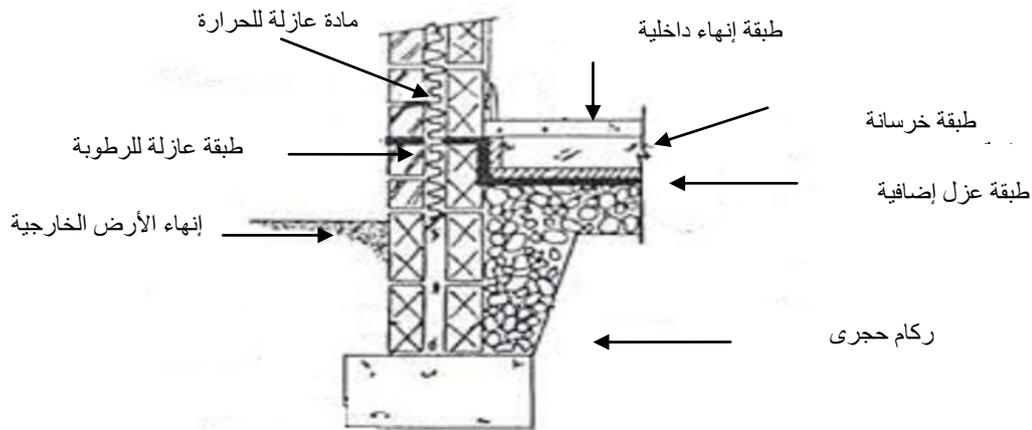
تختلف المنشآت من حيث طبيعة وظيفتها التي تُنفذ من أجلها فمنها السكنية والإدارية والتعليمية والإنتاجية وغيرها حيث يكون هنالك بعض التباين بين منشأ وآخر في طبيعة مراحلها التنفيذية، ويعتمد هذا التباين بشكل أساسي على تلك الوظيفة فيكون جذريا في بعض المراحل وطفيفا في مراحل أخرى، ومهما تكن درجة التباين فإن تنفيذ جميع مراحل أي منشأ يجب أن يتم ضمن المواصفات العالمية المعتمدة بما يتعلق بطريقة العمل والمواد اللازمة وذلك من أجل أن يؤدي المنشأ وظيفته بشكل صحيح خلال المدة الزمنية المفترضة لذلك.

إن فقرات تنفيذ المنشأ التي لها علاقة مباشرة بالظروف الجوية والبيئة الخارجية والتي لها الدور الأساسي في المحافظة على البيئة الداخلية له تتمثل بأعمال الإنهاء للسقوف والأرضيات والجدران ثم أعمال مفاصل التمدد وأعمال الأبواب والشبابيك، وهذه الفقرات هي التي لها الدور الأساسي للمحافظة على البيئة الداخلية للمنشأ وإعطاء العزل اللازم عن البيئة الخارجية الذي يتعلق بالحرارة والرطوبة والرياح والصوت [2,1].

2. المخططات والمواصفات المعتمدة

الأرضيات والجدران الخارجية

تعتبر الأرضيات أحد المنافذ الرئيسية لتغلغل الرطوبة والمياه إلى داخل المنشأ حيث تسبب أضراراً كبيرة للمنشأ إضافة إلى انخفاض درجة حرارة البيئة الداخلية له، وتمثل الجدران الخارجية واجهات المنشأ لذلك يكون تأثير الرياح عليها بشكل مباشر وكبير إضافة إلى الأمطار وخاصة المتأثرة باتجاه الرياح التي تجعل سقوط الأمطار غزيراً على هذه الجدران ومن ثم تنتقل الرطوبة إلى الواجهة الداخلية للجدار مسببةً انخفاض درجة الحرارة للبيئة الداخلية إضافة إلى الأضرار الأخرى. الشكل (1) يوضح المواصفات المعتمدة في معالجة أرضية المنشآت الإعتيادية وأسلوب ربطها بالأرضية الخارجية لمنع تغلغل المياه والرطوبة إلى داخل المنشأ^[3]، يُلاحظ استخدام الطبقة العازلة للرطوبة التي تفرش على الأرضية الداخلية تحت البلاط ومونة الإسمنت لتستمر خلال الجدار الخارجي الذي يحوي على تجويف يمكن ملؤه بمادة عازلة للحرارة. يمكن عمل ممشى من طبقة الخرسانة العادية فوق طبقة من الركام بعرض 80 سم يكون بمستوى أخفض من الأرضية الخارجية بمقدار 10 إلى 15 سم، وعلى إمتداد الجدار الخارجي للمنشأ، يساعد هذا المسلك على تصريف المياه بعيداً عن الجدران الخارجية وكذلك يساعد على حركة الأشخاص بحرية حول المنشأ^[1].

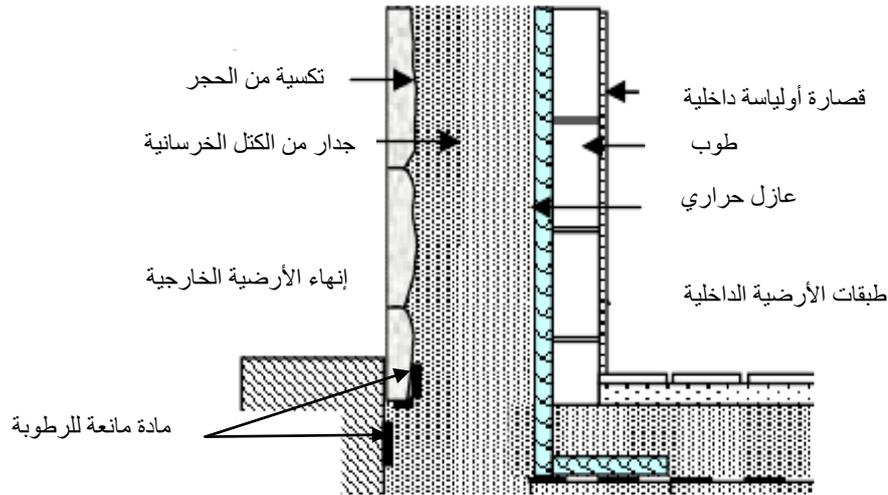


شكل (1): مقطع عرضي لأرضية منشأ وجدار خارجي مجوف

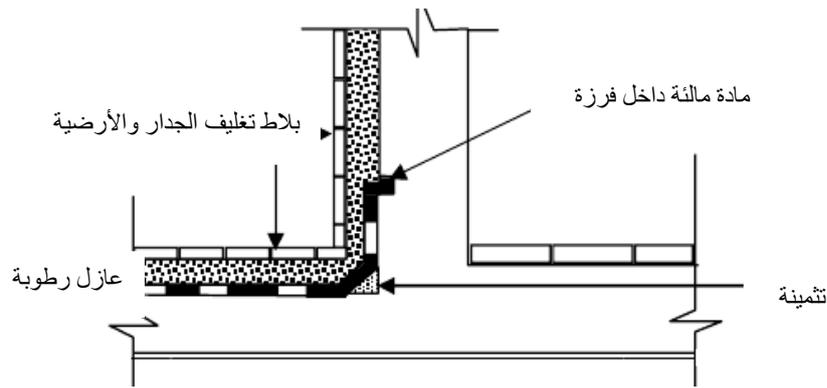
الشكل (2) يبين تفاصيل مقطع عرضي لجدار خارجي ، يتم إكساء الجدار من الخارج بإستخدام الحجر لزيادة العزل الحراري وتقليل تأثير مياه الأمطار إضافة إلى الناحية المعمارية ، ويتم من الداخل وضع طبقة عزل حراري ثم بناء جدار ثانوي مغلف بطبقة قسارة^[4] ، ويمكن بناء الجدار الرئيسي من الكتل البنائية المجوفة لغرض الحصول على العزل الحراري مع إستخدام الطبقة المانعة للرطوبة^[5].

المطابخ والحمامات

أرضيات وجدران المطابخ والحمامات هي الأكثر عرضةً للرطوبة والمياه نتيجةً لإستخدام المنشأ من قبل شاغليه لذلك يستوجب إجراء الحماية اللازمة لها^[4]، يتم تغليف السطح الداخلي للجدران بطبقات مقاومة لتغلغل الماء والرطوبة مثل السيراميك أوالبلاط الزجاجي حيث يثبت بطبقة مونة الإسمنت والرمل، تستخدم للأرضيات طبقة عازل الرطوبة ثم السيراميك أوالبلاط الزجاجي مع مونة الإسمنت والرمل (شكل 3).

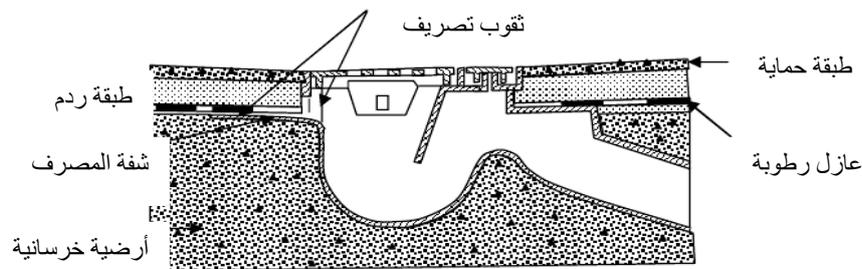


شكل (2): مقطع عرضي لتفاصيل جدار خارجي



شكل (3): مقطع عرضي لطبقات أرضية وجدار حمام أو مطبخ

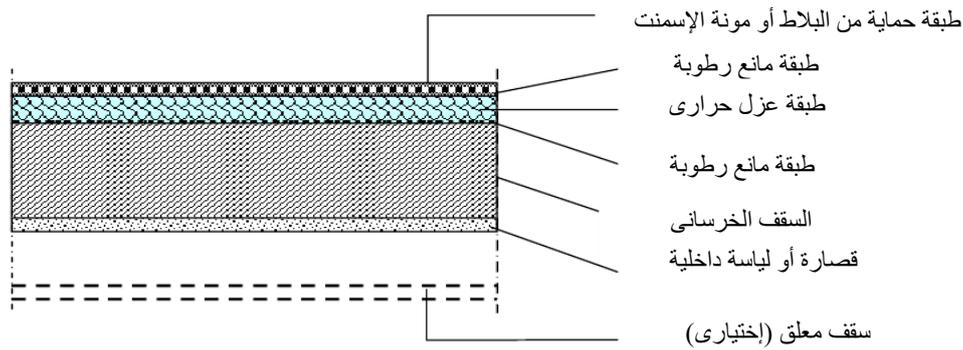
تتم معالجة نقاط التصريف في المطابخ والحمامات باستخدام نظام دقيق لمنع تسرب المياه، ويساعد أيضاً على كتم الروائح وخروجها مع ماء الصرف بإتجاه المجمع الرئيسي للصرف الصحي، والشكل (4) يوضح أحد النماذج الخاصة المستعملة في أرضية حمام أو مطبخ لهذا الغرض^[4].



شكل (4): مقطع عرضي لتفاصيل مصرف حمام أو مطبخ

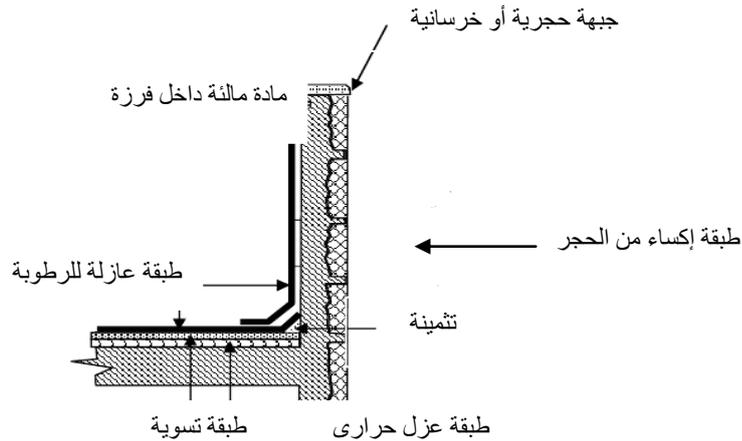
السقف النهائي

يعتبر السقف النهائي للمنشأ (السطح) منفذاً رئيسياً لتغلغل الحرارة والرطوبة إلى داخل المنشأ حيث أن المساحة الكلية للسطح تتأثر بصورة مباشرة بالأمطار وبشكل عمودي كما أن أشعة الشمس تسقط عليه خلال النهار وتكون بصورة شبه عمودية في فترة منتصف النهار، عليه يستوجب استخدام الطبقات العازلة لغرض أن تحافظ البيئة الداخلية للمنشأ على درجة الحرارة إضافةً إلى منع دخول الماء والرطوبة. الشكل (5) يوضح أحد الأساليب التقليدية المستعملة لإنهاء السقوف الخرسانية حيث يتم فرش طبقة مانع رطوبة فوق السقف الخرساني وطبقة عزل حراري ثم طبقة أخرى من مانع الرطوبة ليتم إنهاء السقف بالبلاط أو طبقة من مونة الإسمنت [4].



شكل (5): مقطع عرضي لتفاصيل طبقات سقف خرساني

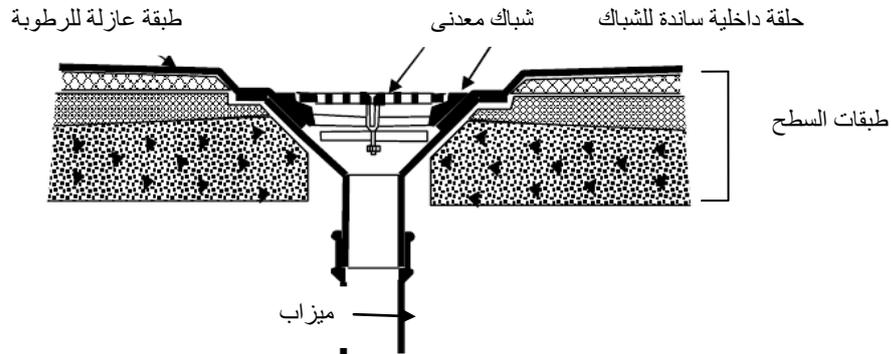
لغرض عمل الحماية الكاملة للسقف يتم معالجة منشأ السقف بفرش طبقة مانع رطوبة متداخلة مع تلك التي فوق السقف، كذلك فإن تغليف المنشأ من الخارج بالحجر وعمل الجبهة الحجرية أو الخرسانية في الأعلى يساعد على منع تغلغل الرطوبة عبر الجدران الخارجية (شكل 6)، وعادة تتم حماية طبقة مانعة الرطوبة للمنشأ بالقسارة كما هو الحال في حماية طبقة مانع الرطوبة للسقف بطبقة من مونة الإسمنت [4.1].



شكل (6): مقطع عرضي لسقف ومنشأ

إن نقطة صرف مياه الأمطار في السقف عبر الأنبوب (الميزاب) يمكن أن يعتبر عاملاً مهماً في تغلغل الرطوبة إلى داخل المنشأ إذا لم يتم تركيبها وتثبيتها بموجب المواصفات. الشكل (7) يوضح أحد الأساليب المتبعة في

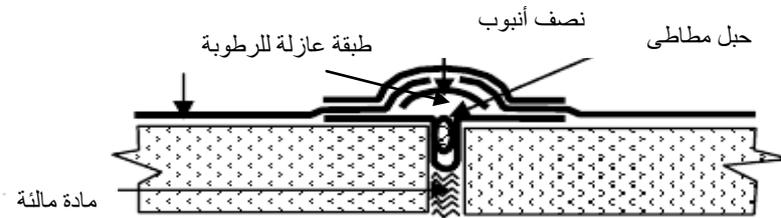
تركيب وتثبيت نقطة صرف المياه للميزاب حيث تستمر طبقة مانع الرطوبة فوق السقف الخرساني لملا الفراغات بينه وبين الأجزاء العلوية لنقطة الصرف [4].



شكل (7): مقطع عرضي لتفاصيل ميزاب تصريف مياه الأمطار

مفاصل التمدد

يستوجب أحياناً عمل مفصل تمدد يقسم المنشأ إلى جزئين حيث يمر هذا المفصل بجميع مستويات المنشأ ابتداءً من السطح ونزولاً إلى الأجزاء السفلى وبالتالي سيكون هنالك منفذ لدخول المياه والرطوبة والحرارة والصوت عبر السقف النهائي (السطح) والجدران الخارجية، عليه يستوجب معالجة وتغليف هذا المفصل للمحافظة على العزل اللازم بين البيئة الخارجية وداخل المنشأ. الشكل (8) يوضح تفاصيل مفصل تمدد في سقف خرساني حيث يملئ الجزء العلوي من المفصل بمادة مرنة قابلة للإنتضاغ تمنع حدوث أي فراغ أثناء تمدد وتقلص جزئي السقف تحت تأثير التغير الحراري، تتعشق طبقتي مانع الرطوبة لجانبي المفصل حيث يساعد نصف الأنبوب على ذلك ويملئ الجزء السفلي من المفصل بمادة بناء مرنة نسبياً، وبنفس الأسلوب يتم عمل مفصل تمدد بين جدار وسقف خرساني أيضاً عندما يُجرى توسع في منشأ مبني سابقاً مع الأخذ بنظر الاعتبار طبيعة المفصل بين الجدار والسقف [6,4]

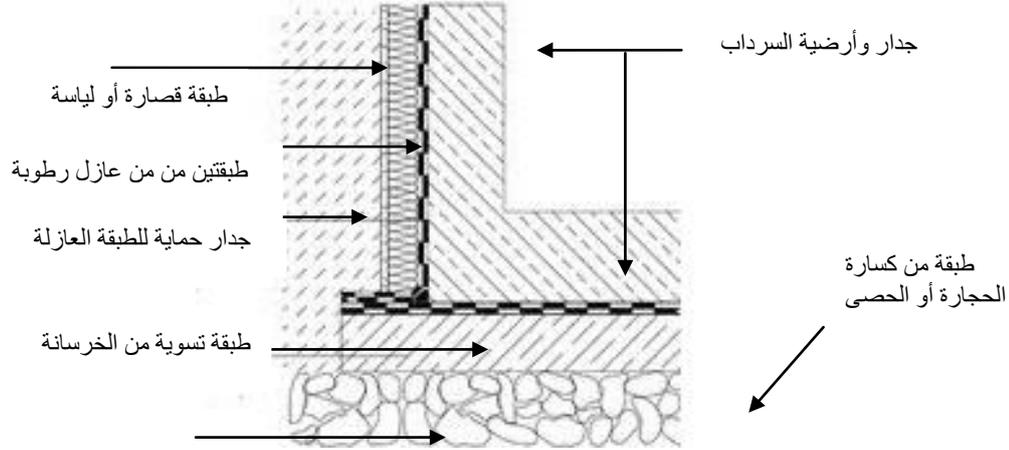


شكل (8): مقطع عرض لتفاصيل مفصل تمدد في سقف خرساني

السرديب

عندما يكون أساس المنشأ حصيري أو أن المنشأ هو متعدد الطوابق أو أن هنالك إنحدارا في موقع المنشأ الناتج من التكوين الجيولوجي والجغرافي يمكن في هذه الحالات أن يُستغل أساس المنشأ لعمل سرداب لغرض تركيب المصاعد الكهربائية وأجهزة التبريد والتكييف إضافة إلى أستعماله كموقف مركبات شاغلي المنشأ [1]، وبطبيعة الحال سيكون السرداب عرضة للرطوبة وربما للماء الناتج بسبب ضغط عمود الماء عندما يكون أخفض من مستوى

الماء الجوفي، الشكل (9) يوضح أحد الأساليب المعتمدة لحماية السرداب من تأثير الرطوبة والمياه وذلك بفرش أرضية السرداب بطبقة مانع الرطوبة تتراكم مع تلك التي تُفرش على إمتداد جدار السرداب ثم جدار حماية لها ليستمر فوق مستوى الأرض الخارجية [7].18.



شكل (9): مقطع عرضي آخر لتفاصيل جدار وأرضية سرداب

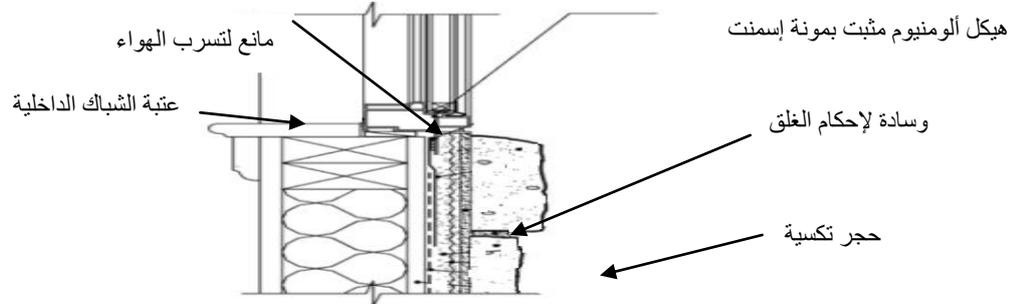
الشبابيك والأبواب

تُصنع الشبابيك والأبواب من مواد تختلف عن المواد البنائية المستخدمة في تنفيذ أجزاء المنشأ الأخرى وخاصة فيما يتعلق بمعامل التمدد الحراري والجدول (1) يوضح خواص الأنواع الرئيسية حسب المواد المصنعة منها [9]. يتم تثبيت الشبابيك والأبواب بالطريقة التي تمنع حدوث الفاصل والتشقق بينها وبين الجدران وأن تكون محكمة عند الغلق لتلافي تسرب الرطوبة والمياه والرياح وخاصة المعرضة للبيئة الخارجية.

جدول (1): خواص الأبواب والشبابيك حسب مواد تصنيعها

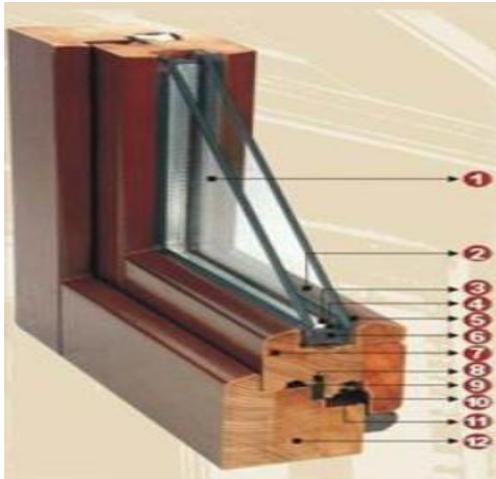
البند	U-pvc	ألومنيوم	خشب	حديد
1	توفير في التكييف والتدفئة	هدر في التكييف والتدفئة بنقل الحرارة	توفير في التكييف والتدفئة	يمكن أن يكون موفراً للطاقة عند استخدام العزل
2	عازل قوي للضوضاء	موصل وناقل للضوضاء	عازل قوي للضوضاء	يمكن أن يكون عازل قوي للضوضاء عند استخدام العوازل
3	لا تصدأ وتدمر لمدة أطول بسبب مقاومتها لعوامل الأكسدة والحشرات والرطوبة والحرارة وتحملها للصدمات كما أنها مقاومة للحريق	تدمر أقل حيث أنها تتأثر بالعوامل الجوية وتتأكسد ومقاومتها أقل للصدمات	تدوم لمدة أقل وصيانتها أكثر وغير مقاومة للحريق والحشرات كما أنها تتلف إذا تعرضت للماء أو الأملاح فتصبح عرضة للانكماش والتشققات إضافة إلى أن مقاومتها أقل للصدمات	تدوم لمدة طويلة بسبب مقاومتها للحشرات والحرارة وتحملها للصدمات
4	عازل تام للكهرباء	موصل جيد للكهرباء	عازل تام للكهرباء	موصل جيد للكهرباء
5	غير قابل للاشتعال وذو خاصية للإطفاء الذاتي	غير قابل للاشتعال	قابل للاشتعال والحريق	غير قابل للاشتعال

شبابيك الألمنيوم هي الأكثر استخداماً نظراً لبعض المميزات المبينة في الجدول (1) المتعلقة بالصيانة ومقاومتها للعوامل الخارجية، كذلك فإن الشبابيك الخشبية هي واسعة الإستعمال بسبب ميزتها المعمارية، الشكل (10) يوضح مقطعا عرضيا لأسفل الشباك وأسلوب تثبيته بالجدار لمنع تسرب الرطوبة والهواء إلى الداخل، وكذلك عتبة الشباك الداخلية التي تساعد على ذلك إضافة إلى الناحية المعمارية [10]، ويمكن إستعمال مادة مألثة وعازلة للرطوبة بين الوجه الداخلي للجدار وإطار الشباك [11].



شكل (10): تفاصيل تركيب أسفل شباك بجدار خارجي

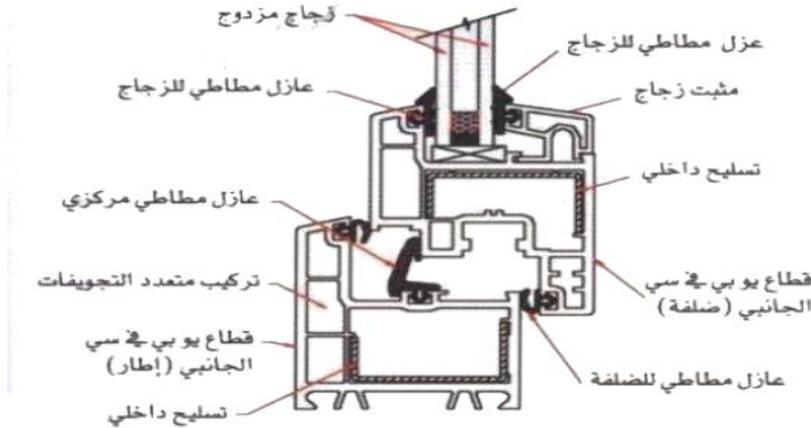
الشكل (11) يمثل مقطع منظور لشباك خشبي بإستخدام لوحين من الزجاج لزيادة خاصية العزل الحراري والصوتي حيث يُلاحظ الأسلوب المستخدم في الحصول على غلق محكم بين الفردة والإطار الرئيسي للشباك [12]، كذلك الحال في الشكل (12) الذي يمثل مقطعا عرضيا للغلق المحكم في شباك الألمنيوم [9].



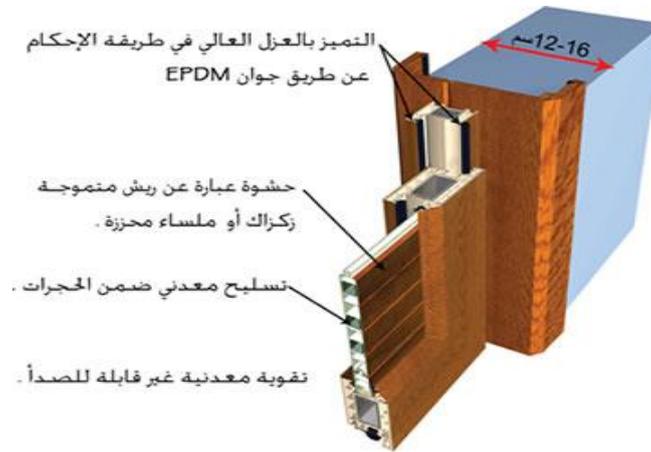
- (1) لوح زجاجي (11-2) شريط خشبي لتثبيت الزجاج
- (3) شريط ألومنيوم (4) سيليكون لتثبيت الزجاج
- (5) شريط مطاطي لإحكام تثبيت الزجاج
- (6) وسادة بلاستيكية لإرتكاز الزجاج
- (7) إطار خشبي متحرك (8-10) شريط مطاطي حكام الغلق
- (9) تجويف مطاطي لتصرف الرطوبة و قطرات الماء
- (12) إطار خشبي ثابت

شكل (11): مقطع منظور لفردة وإطار شباك خشبي

الأبواب الخشبية هي الأكثر إستعمالاً داخل المنشأ لتلافي تعرضها للبيئة الخارجية حيث تكون مقاومتها ضعيفة إضافةً إلى خاصيتها في العزل الصوتي وقلّة الضوضاء ، الشكل (13) عبارة عن مقطع منظور يوضح أسلوب تثبيت إطار الباب بالجدار وكيفية الغلق المحكم بين الباب والإطار الثانوي بإستعمال مادة شرط من مادة مرنة بينهما [13].



شكل (12): مقطع في فردة وإطار شبك ألومنيوم



شكل (13): مقطع منظور لتركيب وتثبيت باب خشبي بجدار

3. البرنامج الميداني

تم رصد بعض المباني في مدينة البيضاء والمشغولة لمختلف الأغراض السكنية والأكاديمية والخدمية والمعامل حيث لوحظ أنها تقتصر إلى كثير من المواصفات المعتمدة في تنفيذ مختلف فقرات الأعمال بل وتبتعد كلياً في بعض منها عن هذه المواصفات وبالتالي تؤدي ربما إلى زيادة الأضرار الناتجة تحت تأثير الظروف الجوية المشار إليها سابقاً.

الشكل (14) يمثل صورة ممر خارجي محاذي لجدار خارجي لأحد المباني التعليمية المنفذة حديثاً حيث يلاحظ الفاصل بين الجدار والممشى الذي يساعد على تغلغل الرطوبة إلى داخل البناية مسبباً أضراراً في الأجزاء الأخرى والشكل (15) يوضح صور جدار من خارج أحد المباني الخدمية وتأثير الرطوبة وعدم وجود حماية للشباك كونه باتجاه الجانب الشمالي حيث سقوط الأمطار يكون بشكل مباشر تحت تأثير الرياح.



شكل (15): شباك وجدار خارجي



شكل (14): ممر محاذي لجدار خارجي

الشكل (16) يمثل صورة لسطح مبنى سكني حيث يُلاحظ عدم استخدام أي طبقة عزل أو حماية للسقف الخرساني وبروز قضبان التسليح الخاصة بالأعمدة إضافةً إلى تجمع مياه الأمطار ، الشكل (17) عبارة عن صورة لأحد الجدران الخارجية من داخل أحد المباني السكنية حيث يُلاحظ التأثير الواضح للرطوبة على طبقة اللياسة إضافةً إلى التشقق الحاصل بين الكمره والجدار .



شكل (17): وجه داخلي لجداران خارجية



شكل (16): سطح مبنى سكني

الشكل (18) يوضح إطار باب خشبي والتشققات الناتجة عن الخلل في إتباع المواصفات المعتمدة لتنفيذها. كذلك الحال في الشبابيك حيث يلاحظ الشكل (19) الذي يمثل صورة من داخل مبنى سكني لشباك ألومنيوم تم تنفيذه بشكل بعيد عن المواصفات المعتمدة حيث تلاحظ الرطوبة الواضحة النافذة بين الشباك والجدار الخارجي وتأثيرها الواضح على طبقات إنهاء الجدار من الداخل وحدوث التشققات.

الشكل (20) يوضح نقطة صرف صحي في مطبخ لأحد المباني السكنية، لم يتم عمل أي تركيب خاصة بالصرف مما يؤدي إلى الرطوبة وانتشار الروائح الكريهة وإستقطاب الحشرات إضافةً إلى تشوه منظر الأرضية. والشكل (21) يمثل صورة نقطة صرف صحي في معمل أكاديمي حيث يلاحظ أنبوب مياه الشرب ويقطر صغير منفذ بشكل غير مناسب لغرض الصرف الصحي إضافةً إلى التأثير الواضح على الجدار.

الشكل (22) يمثل صورة ميزاب لبناية معمل أكاديمي حيث يلاحظ أن نهاية الميزاب على الجدار الخارجي مما يسبب ذلك في تأثير المياه والرطوبة على الجدار الخارجي.



شكل (19): رطوبة وتشققات بجانب وتحت شباك



شكل (18): تشققات فوق باب خشبي



شكل (21): نقطة صرف صحي في معمل أكاديمي



شكل (20): نقطة صرف صحي لمطبخ مبنى سكني

تمت الإشارة سابقاً إلى أن السرايب تكون عرضةً للرطوبة الناتجة عن المياه الجوفية والمياه السطحية ومياه الأمطار ويكون تأثيرها واضحاً عندما يكون هنالك خلل في تنفيذ الفقرات المتعلقة حسب المواصفات المعتمدة وخاصةً مايتعلق بحماية جدران السرايب والطبقات العازلة للرطوبة (شكل 23).



شكل (23): الرطوبة في جدار وسقف السرداب



شكل (22): ميزاب في معمل أكاديمي

تم الإطلاع على بعض مفاصل التمدد المنفذة في بعض الأبنية وكانت عاملاً مهماً في تغلغل الرطوبة إلى داخل المبنى، الشكل (24) يمثل صورة مفصل تمدد في سطح بناية معمل أكاديمي حيث يلاحظ عدم وجود أي مادة مرنة مستعملة في المفصل وتم إنهاؤه بالكامل بطبقة لياسة إضافة إلى سوء التنفيذ للغطاء المعدني اللازم، كذلك فأن

تغليف مفصل التمدد داخل البناية بشكل غير مطابق للمواصفات حيث تم استخدام معدنى شريطى تم تثبيته بمسامير على جانبي المفصل وهذا لن يوفى بأي من المتطلبات الهندسية اللازمة (الشكل 25).



شكل (25): مفصل تمدد في جدار خارجي



شكل (24): مفصل تمدد في سطح بناية

خزانات المياه الأرضية والعلوية يمكن أن تكون سبباً آخراً لتغلغل الرطوبة والمياه إلى داخل المبنى إذا كان هنالك خلل في عملية ربط شبكة المياه المرتبطة بالخزانات أو وجود تسرب من الخزانات نفسها أو في عملية رفع المياه من الخزانات الأرضية إلى الخزانات العلوية (الشكلان 26 و 27).



شكل (27): تسرب مياه بجانب خزان علوي



شكل (26): تسرب المياه بجانب خزان أرضي

4. النتائج والمناقشة

بعد الإطلاع على المواصفات المعتمدة لتنفيذ مختلف فقرات الأعمال المبينة في الأشكال (1 إلى 13) ثم الزيارات الميدانية لعدد من المباني مختلفة الأغراض ورصد عدد كثير من الصور لمختلف فقرات الأعمال المبينة في الأشكال (14 إلى 27) التي ظهر فيها الخلل الواضح الناتج في عدم مطابقتها مع المواصفات المعتمدة ربما بسبب سوء التنفيذ أو رداءة المواد المستعملة أو كلاهما، يمكن تثبيت الملاحظات التالية:

1. تأثير الرطوبة والمياه واضح جداً على كثير من فقرات الأعمال (الأشكال 15، 17، 19، 23) حيث سبب ذلك تشوهاً كبيراً على طبقات الإنهاء للجدران والسقوف والشبابيك والأبواب حيث ينعكس ذلك على الجانب الخدمي والصحي والمعماري للمبنى.

2. هنالك عدد من الفقرات الواضحة للعيان التي يبتعد تنفيذها عن المواصفات المعتمدة (الأشكال 16، 20، 21، 22) حيث سببت أضراراً كثيرة تتعلق بالرطوبة وانعكاسها على الجانب الخدمي والصحي للمبنى.
3. ظهور تشققات واضحة (الأشكال 14، 17، 18، 19) في منطقة تثبيت الباب الخشبي والشباك المعدني بالجدار وكذلك منطقة الربط بين الكمرة الخرسانية والجدار، وقد تكون ناتجة عن الخلل في التنفيذ أو الإبتعاد عن المواصفات المعتمدة فيما يتعلق بالربط بين المراد البنائية مختلفة الخواص.
4. يعتبر مفصل التمدد عاملاً مهماً في تغلغل الرطوبة والمياه إلى داخل المبنى عندما يُنفذ بعيداً عن المواصفات المعتمدة أو هنالك خلل في التنفيذ (الشكلان 24، 25).
5. عدم وجود متابعة للفقرات التي لها علاقة بالجانب الخدمي للمبنى لغرض رصد حالات الخلل والأعطال التي تحدث في شبكات المياه والصرف الصحي والأمطار (الشكلان 26، 27).
6. عدم الأخذ بنظر الإعتبار الإتجاهات الرئيسية (الشمال، الجنوب، الشرق والغرب) في الحسابات المعمارية وكذلك المساحة اللازمة للشبابيك لتوفير الإضاءة والتهوية الطبيعية الضرورية والحماية اللازمة لها من تأثير الرياح والأمطار.
7. يستوجب الإنتباه إلى جانب الأمان حيث لم يتم رصد أي إحتياطات حوادث مثل عدم تنفيذ سلاسل طوارئ في المباني متعددة الطوابق وعدم وجود وسائل إطفاء الحريق وكذلك لوحظ أن أسلاك الطاقة الكهربائية المغذية لبعض المباني واصله ومثبتة بشكل بعيد عن المواصفات المعتمدة.
8. تم زيارة بعض المباني التي هي في مرحلة التنفيذ حيث لوحظ أن بعض فقرات الأعمال مثلاً، المراد الخرسانية وعملية الخلط والصب والتسليح، الكتل البنائية كانت واضحة للعيان بأنها بعيدة عن المواصفات الهندسية المعتمدة والتي قد تسبب خللاً واضحاً بعد إكمال تنفيذ المنشأ.

5. المراجع

- 1 ليفون آرتين، ساكو زهير، 1983، "إنشاء المباني"، جامعة بغداد/ كلية الهندسة/ قسم الهندسة المدنية.
- 2 Barry R., 1980. "The Construction of Buildings, Granada Publishing Ltd, London.
- 3 الموقع: Experts Mind (www.ExpertsMind.Com).
- 4 الكودات العربية الموحدة لتصميم وتنفيذ المباني، كود العزل المائي والرطوبة في المباني، المسودة النهائية، 2010، (ك.ب.ع 602، 2010).
- 5 الموقع: Russetts Developments Limited (www.russetts.co.uk).
- 6 Allen E., Iano J., 1985 " Fundamentals of Building Construction- Materials and Methods" John Wiley & Sons
- 7 الموقع: Drawings to Accompany the Building Guidelines (www.totalpict.com).
- 8 الموقع : عزل الماء في الأساسات، أودا للمؤسسات (www.ode.com).
- 9 الموقع : مقدمة عن الأبواب و الشبابيك (www.sa-tt.net/1/1851.pdf).
- 10 الموقع : المهندس (www.almuhands.org).

-
- 11 الموقع : InspectApedia (www.inspectapedia.com) .
 - 12 الموقع : DIY Trade (www.diytrade.com) .
 - 13 الموقع : mahjoub (www.mahjoub.com) .

تحديد درجة حرارة الخرسانة المصبوبة في الموقع باستخدام طريقة العناصر المحددة

د. محمد علي عبدالله الصغير
محاضر
قسم الهندسة المدنية - كلية الهندسة - جامعة سرت

د. غصن محمد الكفري
أستاذ مشارك
قسم الهندسة المدنية - كلية الهندسة - جامعة سرت

ملخص

يهدف البحث إلى استخدام طريقة العناصر المحددة من أجل تحديد ارتفاع درجة حرارة الخرسانة المصبوبة في الموقع. تمت دراسة تأثير العوامل الإنشائية كالشكل الهندسي وعزل عناصر المنشأ وعوامل البيئة كدرجة الحرارة المحيطة على التنبؤ بدرجة حرارة الخرسانة وكذلك المقاومة المتوقعة، حيث تستخدم التنبؤات الدقيقة في ارتفاع درجة الحرارة من أجل التنبؤ بمقاومة الخرسانة في الموقع.

تم محاكاة ارتفاع درجة الحرارة عن طريق معرفة المحتوى الإسمنتي والخصائص الحرارية للخرسانة المختبرة والبيئة المحيطة بها. المحاكاة الدقيقة تعتمد بشكل كبير على دقة تحديد الحرارة الناتجة من التفاعل الكيميائي للإسمنت، كما تم استخدام مجموعة من البرامج مثل (COSMOL) و(CIRIA C660) من أجل التنبؤ بارتفاع درجة الحرارة في العناصر الخرسانية وأظهرت نتائج إيجابية. من ناحية أخرى فإن استخدام برنامج (4C-Temp & Stress) أظهر نتائج دقيقة جداً لأنه مصمم خصيصاً من أجل محاكاة درجة حرارة الخرسانة في الموقع وتطور الإجهادات خلال إنشاء المنشأ. بينما (COSMOL) فهو برنامج عام يعتمد على التحليل باستخدام طريقة العناصر المحددة.

يستعمل برنامج (CIRIA C660) الحرارة الناتجة عن التفاعل الكيميائي الناتج عن خرسانة معينة من أجل دراسة درجة حرارة أي خرسانة وهذا يظهر تقييداً داخل البرنامج. ويعتقد بأنه إذا سمح لبرنامج (CIRIA C660) من أجل إدخال مخرجات الحرارة الحقيقية للخرسانة المختبرة فيحصل على تنبؤ دقيق بسبب أن البرنامج واسع الانتشار وبسيط جداً وسهل الاستخدام، وأغلب المهندسين قادرين على استخدام هذا النوع من البرامج أكثر من البرامج الأخرى التي تتطلب وقتاً ومجهوداً أكبر لفهمها واستخدامها.

حرارة الخرسانة باستخدام طريقة العناصر المحددة

التحليل باستخدام طريقة العناصر المحددة يتألف من نمذجة مادة ما باستخدام الحاسوب أو التصميم الذي يظهر التحليل لنتيجة معينة، على سبيل المثال درجة حرارة الخرسانة في هذه الورقة. وبشكل عام هناك نوعان مستخدمان في التحليل، النمذجة في المستوى والنمذجة في الفراغ، فالنمذجة في المستوى تعد بسيطة حيث يمكن التحليل باستخدام الحاسب العادي ولكن النتائج لن تكون بالدقة الكافية، أما النمذجة في الفراغ فتعد أكثر تعقيداً من سابقتها ولكن تعطي نتائج دقيقة وتحتاج إلي حواسيب أكثر تطوراً.

تطبيقات العناصر المحددة الأكثر شهرة في تكنولوجيا الخرسانة هي نمذجة الإرتفاع في درجة الحرارة للعنصر الخرساني من أجل التنبؤ بالإجهادات الحرارية وتطور درجة الحرارة بالإضافة إلى التطور في مقاومة الخرسانة. تستخدم نتائج التحليل باستخدام العناصر المحددة من أجل إيجاد النسب المثالية للخلاطة الخرسانية، تخفيض الزمن اللازم للشدة الخشبية للقالب، وتنشيط خطط البناء.

تمثل هذه الورقة البحثية الإجراءات أو الطرق اللازمة من أجل استخدام طريقة العناصر المحددة ببرامج (Temp & stress 4C)، (COMSOL) و(CIRIA C660). الهدف من التحليل هو التنبؤ بالتطور الحاصل بحرارة الخرسانة والتنبؤ الدقيق في ارتفاع الحرارة من أجل إيجاد التطور الحاصل في مقاومة الخرسانة وتحسين جدول أعمال البناء للعناصر الإنشائية التي مثلت، ووضحت نتائج نمذجة ارتفاع الحرارة وقورنت مع النتائج المتحصل عليها معمليا.

نمذجة العناصر الإنشائية

تم نمذجة واستقصاء العناصر الإنشائية حيث أستخدمت أعمدة بأبعاد 400*400*450 ملم و750*750*450 ملم تم عزلها من الأعلى والأسفل ولمسافة 150 ملم بالبوليسترين من أجل منع ضياع الحرارة من الأعلى والأسفل لمقطع العمود، وهذا يمثل مقطعا صغيرا لعمود طويل وضياع الحرارة من أعلى وأسفل المقطع الخرسانى يعد مهما تقريبا.

حرارة الأعمدة في وضعيات مختلفة تم تسجيلها باستخدام 8 أسلاك حرارية في وسط مقطع العمود والمسافة بين الأسلاك الحرارية كانت متساوية وتم التثبيت على بعد 5.7 ملم من سطح الخرسانة، وعولجت الأعمدة في غرفة مبرمجة لمعدل حرارة فصل الشتاء في بريطانيا. تم التفكير باستخدام خرسانة حاوية علي خبث الأفران من أجل التغلب علي التحديات وعدم الثقة بمقاومة هذه الخرسانة في الأعمار المبكرة ولهذا السبب تم اختيار فصل الشتاء. أختيرت ظروف فصل الشتاء من أجل إيجاد التأثيرات الضارة على المقاومة بأعمار مبكرة بشكل أوسع، واستخدام خرسانة خبث الأفران يعتقد أنه تحد وغير موثوق النتيجة بسبب تأثر مقاومته للضرر في الأعمار المبكرة.

إختلاف درجة الحرارة يمكن أن يوصف بجيب العلاقة كالتالي:

$$T = T_0 + \alpha \sin\left(\frac{2\pi t}{b}\right) \quad \text{العلاقة (1)}$$

حيث:

T = temperature (C°)

t = time (hours)

$T_0 = (T_{\min} + T_{\max})/2$

$T_0 = (T_{\min} - T_{\max})/2$

b = 24 hours

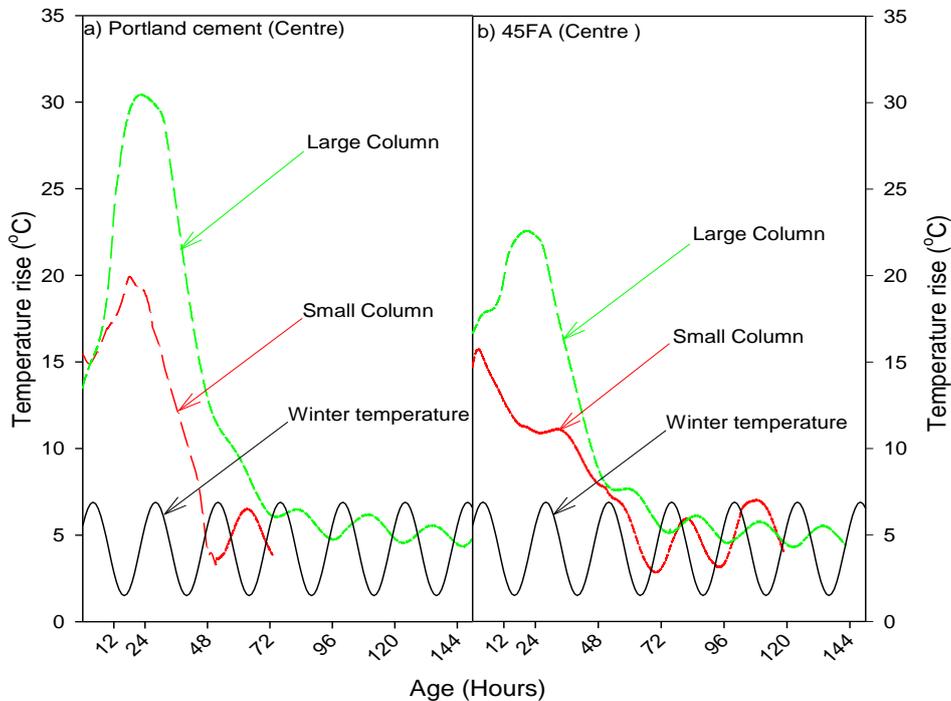
طريقة صب هذه الأعمدة بدأت بتبريد المواد طوال الليل في الغرفة المهيئة بيئيا من أجل تخفيض درجة حرارة الصب المتوقعة في الموقع، بعد ذلك تم خلط المواد باستخدام الخلاط الخرسانى ذو سعة 0.1 م³ ومن ثم نقلت الخرسانة إلى القوالب الخاصة بالأعمدة حيث أستعمل الهزاز الميكانيكي لدمك طبقات الأعمدة وبعد ذلك نقلت العينات للغرفة المهيأة بيئيا.

وبعد مرور 24 ساعة فكت القوالب الجانبية للشدة الخشبية الخاصة بالأعمدة وتم تسجيل درجة حرارة الأعمدة لمدة 7 أيام. ما بعد هذا العمر، وحتى قبله، كانت درجة حرارة الأعمدة مشابهة لتلك المبرمجة في حرارة فصل الشتاء في

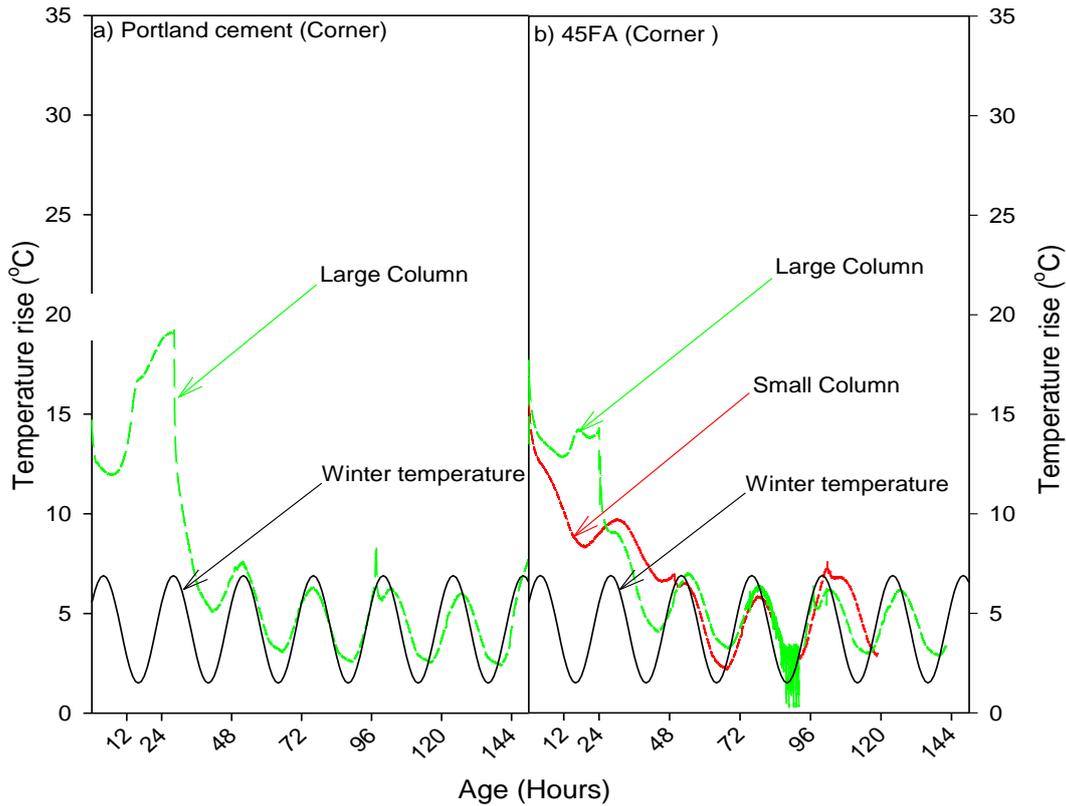
الغرفة البيئية. لإيجاد تطور المقاومة لهذه الأعمدة صبت مكعبات خرسانية بأبعاد 100*100*100 ملم وحفظت في خزان مياه يتتبع الحرارة المسجلة في مقطع العمود.

نتائج ارتفاع درجة الحرارة

درجة الحرارة المسجلة في مركز وركن الأعمدة مبينة في الشكلين (1) و(2) تواليا. حدث ارتفاع كبير في حرارة جميع الأعمدة فوق حرارة الصب التي حدثت في مركز الأعمدة الصغيرة والكبيرة وعلى أية حال فالارتفاع الحاصل للأعمدة المزودة بنسبة 45% خبث أفران يعد قليلا وغير هام، وعلى النقيض من ذلك فالحرارة في ركن الأعمدة بينت ارتفاعا بسيطا مقارنة مع حرارة الأعمدة المصبوبة باستخدام إسمنت بورتلندي. الحرارة الركنية للخرسانة المستخدم فيها خبث الأفران كبديل للإسمنت بنسبة 45% كانت أخفض من حرارة الصب في الأعمار المبكرة ولوحظ أن ذروة الحرارة تكون أعلى عند استخدام إسمنت بورتلندي منه عند استخدام خبث الأفران كبديل بنسبة 45% للإسمنت في الأعمدة الصغيرة والكبيرة، وتظهر ذروة الحرارة للأعمدة الصغيرة المصبوبة باستخدام الإسمنت البورتلندي أو باستخدام خبث الأفران كنسبة من الإسمنت البورتلندي أبكر وأقل من الأعمدة الكبيرة. لوحظ أيضا أنه عند فك القوالب تنخفض درجة حرارة الخرسانة بشكل سريع ويحدث اختلاف كبير في الحرارة بين المركز والطرف (الركن) في كل عمود وذلك عند فك القوالب الذي يمكن أن يؤدي إلى شقوق حرارية واختلافات هامة في تطور المقاومة وخاصة في العناصر الإنشائية الضخمة. كما لوحظ أن أبعاد الأعمدة لها تأثير كبير على ارتفاع الحرارة في الخرسانة باستخدام الإسمنت البورتلندي أو مضاف إليها خبث الأفران، والخرسانة المصممة باستخدام خبث الأفران كنسبة من الإسمنت البورتلندي تؤثر بشكل كبير فيما هو عنه من الخرسانة العادية.



شكل(1) درجة الحرارة المسجلة في مركز الأعمدة



شكل (2) درجة الحرارة المسجلة في ركن الأعمدة

النمذجة والنتائج والمناقشة

يصف هذا الجزء من البحث نمذجة الحرارة للأعمدة الصغيرة والكبيرة والتي عولجت في ظروف الشتاء. بداية من أجل النمذجة باستخدام برنامج (COMSOL) وبعد ذلك النمذجة تمت باستخدام برنامج (CIRIA C660) و (Temp & stress 4C) والذين صمما خصيصا من أجل نمذجة حرارة الخرسانة. استخدام نمذجة العناصر المحددة معادلة التنبؤ بارتفاع الحرارة وتوزيعها على العناصر الإنشائية، والتنبؤ الدقيق (يؤكد) أن نمذجة العناصر المحددة هي وسيلة فعالة للتنبؤ بتطور حرارة الخرسانة. النمذجة بشكل عام تحكمها معادلة نقل الطاقة وفق العلاقة (2):

$$\text{العلاقة (2)} \quad \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{k}{\rho c_p} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{Q}{\rho c_p}$$

العلاقة الحاكمة تتغير إلى العلاقة (3):

$$\text{العلاقة (3)} \quad \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho c_p} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{Q}{\rho c_p}$$

النمذجة باستخدام برنامج (COMSOL):

الخواص الحرارية للخرسانة

العلاقة (3) في برنامج (COMSOL) نكتب على النحو التالي:

$$\delta_{ts} \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla(k \nabla T) = Q \quad \text{العلاقة (4)}$$

حيث:

$$\delta_{ts} = \text{Time scaling coefficient} = 1$$

$$\rho = \text{Density of concrete, (kg/m}^3\text{)}$$

$$c_p = \text{Heat capacity at constant pressure (specific heat), (J/kg k)}$$

$$k = \text{Thermal conductivity, (W/m k)}$$

$$Q = \text{Heat source, (W/m}^3\text{)}$$

قيمة التوصيل الحراري (k) المستخدمة في النمذجة هي 1.9W/m k وتم اختياره بناءً على حجم الحصويات المستخدمة وهو (5-20) ملم جرانيت، كما تم أخذ متجه الحرارة المعينة (c_p) مساوياً لـ 100 J/kgk والظروف البيئية التي يمكن تعديلها اعتماداً على المرجع (7). مصدر الحرارة (Q) لهذه النمذجة تم حسابه اعتماداً على قيمة الحرارة المحجوزة.

الظروف المحيطة

تتأثر الخرسانة المصبوبة في الموقع بالظروف البيئية المحيطة مثل درجة حرارة الوسط، الرطوبة النسبية، سرعة الرياح، أشعة الشمس..... إلخ. تحت هذه الظروف من الممكن للخرسانة أن تكتسب أو تفقد حرارتها اعتماداً على الأبعاد الإنشائية للمنشأ. تمثل هذه الظروف في برنامج (COMSOL) من خلال العلاقة التالية:

$$n \cdot (k \nabla T) = q_0 + h(T_{inf} - T) + C_{const}(T_{amb}^4 - T^4) \quad \text{العلاقة (5)}$$

حيث:

$$q_0 = \text{inward heat flux, (W/m}^2\text{)}$$

$$h = \text{heat transfer coefficient, (W/m}^2 \text{ k)}$$

$$T_{inf} = \text{external temperature, (k)}$$

$$C_{const} = \text{problem-dependent constant, (W/m}^2 \text{ k}^4\text{)}$$

$$T_{amb} = \text{ambient temperature, (k)}$$

النمذجة باستخدام برنامج (Temp & stress 4C):

يستخدم هذا البرنامج منذ منتصف التسعينات وصمم خصيصاً من أجل نمذجة تطور درجة الحرارة والإجهادات للخرسانة، ومن مميزات هذا البرنامج سهولة استخدامه وفهمه ويوفر الكثير من البيانات الخاصة بالنمذجة لأنواع مختلفة من الخرسانة. الأساسيات العامة للنمذجة في هذا البرنامج مشابهة لبرنامج (COMSOL) ولكن في برنامج (4C) المعادلات لا يمكن إجراء تعديل لها.

النمذجة باستخدام برنامج (CIRIA C660):

يستخدم هذا البرنامج لمراقبة التشققات الحرارية للخرسانة في الأعمار الأولى، ويمكن استخدام البرنامج للتنبؤ بارتفاع حرارة العناصر الإنشائية المعزولة والمعرضة للظروف المحيطة. وتم تطوير هذا البرنامج سنة 2007. تعتمد النمذجة علي طرق التحليل العددي للعالمين (Ross and Bary). البرنامج يعد بسيطاً وسهل الإستخدام ومن عيوبه استخدام مصدر معلومات معينة لحرارة المولدة داخل المنشأ الخرساني وهذا يعد تقييداً للبرنامج. كذلك يعرف هذا البرنامج بـ (ETCC) Early-age thermal crack control in concrete.

مناقشة نتائج درجة الحرارة الناجمة عن استخدام برامج النمذجة

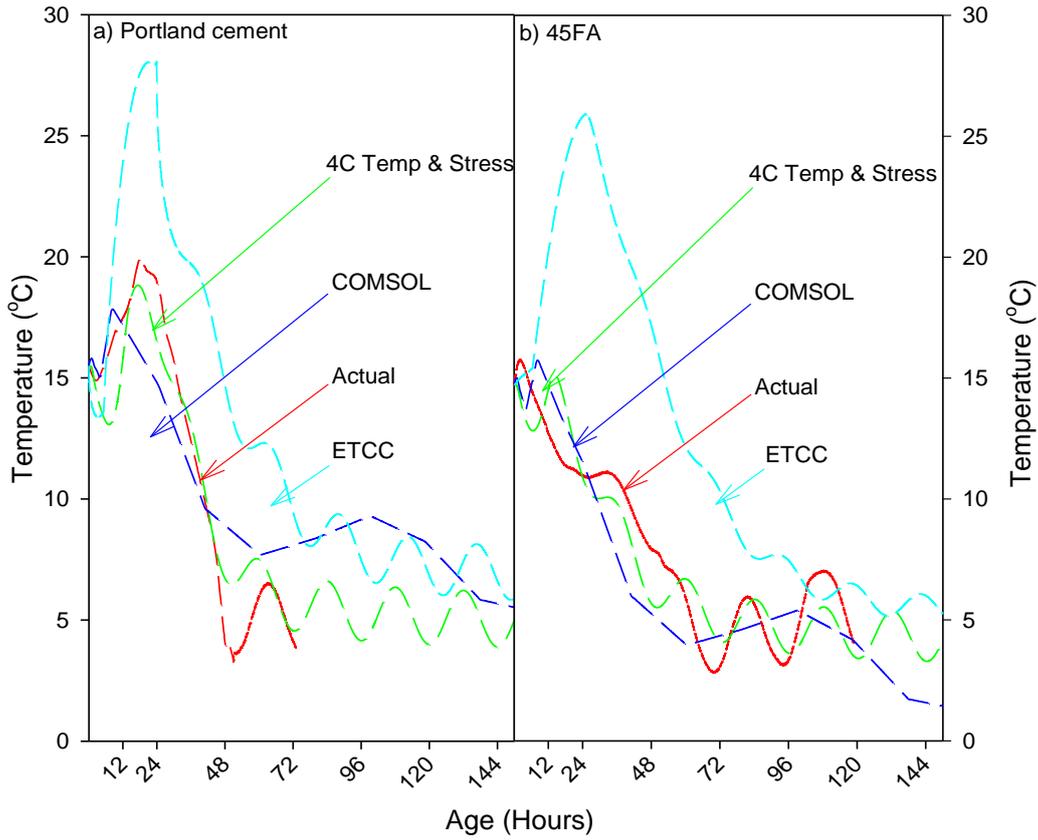
الشكلان (3) و(4) تظهران بأن برنامج (Temp & stress 4C) هو الوحيد القادر علي التنبؤ بدرجة حرارة الخرسانة بشكل دقيق جداً، أما برنامج (COMSOL) فقلل بشكل كبير في تقدير درجة الحرارة من 12 ساعة فصاعداً، وبرنامج (CIRIA C660) أعطى تنبؤاً أكبر لدرجة الحرارة. عدم دقة النتائج المبينة في الأشكال لتقدير درجة الحرارة باستخدام برنامج (COMSOL) ربما تكون عائدة لعدم دقة تقدير حرارة التفاعل (الإماهة)، ومن ناحية أخرى كان عدم الدقة في برنامج (CIRIA C660) بسبب درجة حرارة التفاعل (الإماهة) حيث أعتبرت قيمتها من قبل المعلومات المتوفرة بالبرنامج بسبب الاختلاف في الخواص الفيزيائية والكيميائية للإسمنت المستخدم مما سينتج درجات حرارة تفاعل مختلفة الأمر الذي يؤدي إلى عدم دقة النتائج.

إرتفاع درجة الحرارة المتنبأ بها للأعمدة الكبيرة والصغيرة والمحتوية على خرسانة بالإسمنت البورتلندي العادي ونسبة 45% من خبث الأفران كبديل للإسمنت مبينة بالشكلين (3) و(4) على التوالي. الشكل (3) يبين التنبؤ الدقيق لدرجة الحرارة لخرسانة العمود الصغير المستخدم بها الإسمنت البورتلندي فقط باستخدام (Temp & stress 4C)، أما باستخدام برنامج (COMSOL) وبرنامج (CIRIA C660) فأوضحاً أن درجة الحرارة المتنبأ بها كانت أقل وأكثر من درجة الحرارة الحقيقية للعمود الصغير على التوالي. أما بالنسبة للأعمدة الصغيرة المستخدمة لخرسانة محتوية علي نسبة 45% خبث الأفران كبديل للإسمنت البورتلندي فبرنامج (4C-Temp & Stress) و(CIRIA C660) فكان تنبؤهما لدرجة الحرارة دقيقاً، وتمكن برنامج (CIRIA C660) بشكل كبير من تقدير درجة حرارة الخرسانة الفعلية.

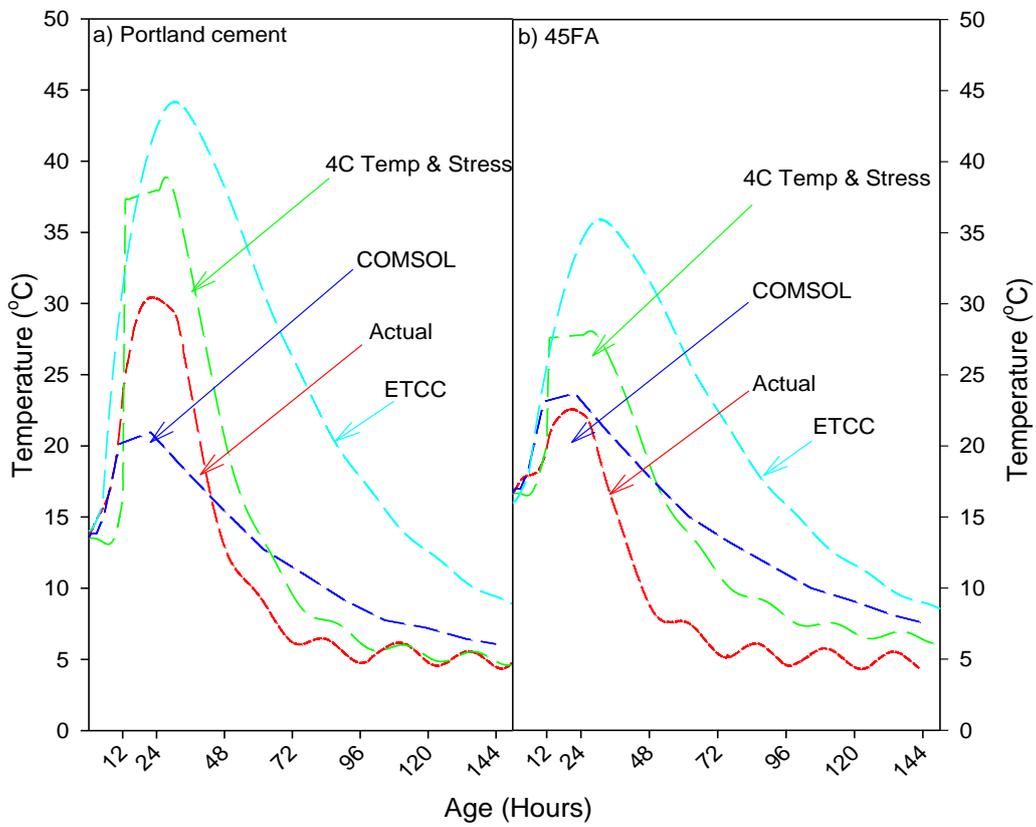
الخلاصة

مما تقدم يمكن غستخلاص ما يلي:

- التنبؤ الدقيق لدرجة حرارة الخرسانة باستخدام طريقة العناصر المحددة للتحليل تقلل من الأعمال التجريبية أو المخبرية بشكل كبير وهذا يساعد في تقدير مقاومة الإنضغاط للخرسانة.
- هذه الورقة البحثية فحصت وقارنت بين أنواع مختلفة من البرمجيات والتي تساعد الباحثين والمهندسين لاختيار البرنامج المناسب والدقيق للتنبؤ بدرجة حرارة الخرسانة.



شكل (3) نمذجة درجة حرارة العمود الصغير



شكل (4) نمذجة درجة حرارة العمود الكبير

- استخدام برنامجي (CIRIA C660) و (COMSOL) لتقدير درجة حرارة الخرسانة أظهر نتائج إيجابية، أما برنامج (Temp & stress 4C) فقد أظهر نتائج دقيقة جدا ويعود ذلك لطبيعة تصميم هذا البرنامج الخاص بنمذجة الحرارة والإجهادات للخرسانة، أما برنامج (COMSOL) فيعد من البرامج العامة للنمذجة.
- برنامج (CIRIA C660) يستخدم درجة حرارة معينة للإمالة، وهذا يعد تقييدا للبرنامج وذلك يعود لاختلاف الخواص الفيزيائية والكيميائية للإسمنت المستخدم ويعد هذا البرنامج من أسهل البرامج المستخدمة كونه يعد (spreadsheet) ولولا هذا التقييد في إعطاء درجة حرارة الإمالة لكان التنبؤ دقيقا في استخدامه.

المراجع

1. Elsageer, M., "Early Age Strength Development of Fly Ash Mixes as Affected by Temperature", PhD in Civil Engineering 2013, University of Liverpool.
2. Bamforth, P., "Early-age thermal crack control in concrete (C660)", 2007: CIRIA. 113.
3. Barnett, S.J., M.N. Soutsos, J.H. Bungey, and S.G. Millard, "Fast track construction with pozzolanic mixes Part I : Ground granulated blast furnace slag (ggbs)", 2002-2005, Liverpool Univrsity: Department of engineering.
4. Barnett, S.J., M.N. Soutsos, J.H. Bungey, S.G. Millard, and A. Hatzitheodorou, "Fast-track construction with GGBS concrete: strength development of laboratory cast structural elements, in Concrete Platform", 2007 M.I. Russell and P.A.M. Basheer, Editors. 2007: Queen's University, Belfast. p. 297-307.
5. Neville, A.M., "Properties of Concrete Vol. 4 edition", 1995: Prentice Hall. 864.
6. Clauser, C. and E. Huenges, "Thermal conductivity of rocks and minerals", in Rock Physics and Phase Relations, T.J. Ahrens, Editor 1995, American Geophysical Union: Washington. p. 105-126.
7. Wilkinson, M.A. "Thermal Properties of Building Materials",. Student Subdomain for University of Bath 2001; Available from: <http://people.bath.ac.uk/absmaw/BEnv1/properties.pdf>.
8. Hatzitheodorou, A., "Insitu strength development of concretes with supplementary cementitious materials", PhD in Civil Engineering 2007, University of Liverpool.
9. McCullough, F.B. and R.O. Rasmussen, "Fast track paving: concrete temperature control and traffic opening criteria for bonded concrete overlays", volume I. Final report, FHWA-RD-98-167, Washington, DC: Federal Highway Administration, EUA., 1999.
10. Bentz, D.P., "A Computer model to predict the surface temperature and time-of-wetness of concrete pavements and bridge decks", 2000, National institute of standard and technology.
11. Department of the army, U.S.a.c.o.e., "Thermal studies of mass concrete structures", 1997; Available from: http://140.194.76.129/cgi-bin/publications/redirect_HQP_public?pub_type=ETL.
12. Institute, D.T., "4C-Temp&Stress for concrete for windows user manual", DTI Building technology, 1998. 2.
13. Incropera, F.P., D.P. DeWitt, T.L. Bergman, and A.S. Lavine, "Fundamentals of heat and mass transfer", Vol. 6. 2006: John Wiley & Sons. 1024.
14. Ross, A.D. and J.W. Bray, "The prediction of temperatures in mass concrete by numerical calculation", Magazine of Concrete Research, 1949: pp. 9-17.

تطوير منظومة بلاطات سابقة الصب للجسور

مصطفى قشش¹، تايلر لاي²، سيدهارث باتيل³

¹دكتور محاضر في الهندسة المدنية، جامعة طرابلس، ليبيا

ghashgesh@hotmail.com

²أستاذ مشارك في الهندسة المدنية، جامعة ولاية أوكلاهوما، الولايات المتحدة الأمريكية

Tyler.ley@okstate.edu

³مهندس، جامعة ولاية أوكلاهوما، الولايات المتحدة الأمريكية

Sid.patil@okstate.edu

الملخص

تعتبر بلاطات الجسور العنصر الأول الذي يحتاج للترميم أو التغيير في الجسور بسبب التعرض المباشر للملوثات، والتلف بسبب الإطارات. لهذا السبب، يستلزم الأمر وبشدة البحث عن أساليب مطورة لتنفيذها. تستعرض هذه الورقة أداء منظومة مُطوّرة سابقة الصب لبلاطات الجسور، حيث تسمح هذه المنظومة بتحسينات ذات أهمية في سرعة التنفيذ، الإقتصاد، والأمان مع الإيفاء بمتطلبات الأستو (AASHTO specs) وتوفير منشأ مقبول من الناحية الخدمية. أُنجزت إختبارات معملية بالمقاس الحقيقي لهذه المنظومة؛ حيث تمت مقارنة كل من أحمال وأنماط الإنهيار بنظائرها المقدّرة وفقاً لمواصفات الـ (AASHTO، ACI، و FIP). تظهر النتائج أداءً جيداً لهذه المنظومة، كما تشير أيضاً إلى سماح هذه المنظومة بالإستغناء عن أحد الكمرات الداعمة في ظروف معينة؛ والذي بدوره سوف يزيد من اقتصادية منظومة الجسر الكلية.

مقدمة

تطوير أنظمة سابقة الصب لتنفيذ الجسور، يمنح مفهوماً تصميمياً فعالاً واقتصادياً يمكن إنجازه لتنفيذ جسور جديدة، أو إعادة تأهيل للجسور القائمة. شهدت الآونة الأخيرة زيادة الإتجاه نحو بناء جسور ذات عمر إفتراضي أطول، أقل تكلفة، وتستغرق وقتاً أقل للإنشاء⁽¹⁾. هذا المفهوم يزيد من مبدأ فعالية- تكلفة الجسور من خلال توفير تحميلية مرضية، واستخدام تقنيات التنفيذ السريع للتقليل من وقت الإنشاء وتعطل جمهور المسافرين⁽²⁾. مع تقنية الإنشاء مسبقاً الصنع، يتم تصنيع المكونات المفردة الداخلة فيها خارج الموقع حيث عادة ما يتم تحقيق زيادة في الجودة. زيادةً على ذلك، وحيث أن الكثير من العمل يستكمل بعيداً عن موقع الجسر، فإنه يتم الحد من التداخلات ما بين مستخدمي موقع العمل؛ وذلك لأن العمل بالموقع والمستلزم للعمالة الكثيفة قد تم التقليل منه، مما يؤدي إلى انخفاض زمن الإنشاء في الموقع⁽²⁾. باختصار، فإن فوائد العناصر مسبقاً الصنع في بناء الجسور تعزز الفلسفة القائلة "الدخول، والخروج، والبقاء بعيداً"⁽²⁾.

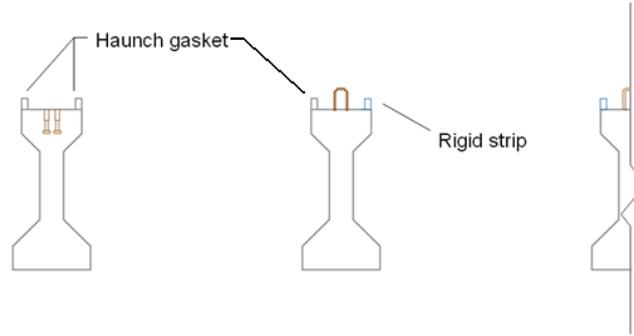
خلفية الموضوع

كشفت دراسات حديثة^(3,4) أن 22% من الجسور في ولاية أوكلاهوما غير كفؤة إنشائياً؛ وهذه ثاني أعلى نسبة في أي ولاية بعد ولاية بنسلفانيا. أكثر من 60% من الجسور المصنفة غير كفؤة في أوكلاهوما كانت بسبب تدهور حالة بلاطاتها. نظراً لأن الجسور في ولاية أوكلاهوما و باقي أنحاء الولايات المتحدة هي في حاجة ماسة إلى تحسينات والتكاليف المرتبطة بها مثبته للغاية، فإن إدارة الطرق السريعة الإتحادية (FHWA)، جعلت من أولوياتها البحث عن أساليب جديدة إقتصادية لإصلاح وبناء الجسور وبنى النقل التحتية الأخرى. المطلوب، هو منظومة بلاطات للجسور ذات ديمومة، سريعة الإنشاء، واقتصادية. في استجابة لهذه الحاجة، فقد بذلت مؤخراً العديد من المحاولات لإنشاء منظومة بلاطات مجزأة، سابقة الصنع، كاملة السمك، ترفع إلى موضعها بواسطة رافعات كبيرة لتكون بمثابة بلاطة للجسر. تم الإتجاه إلى استخدام هذا النوع من منظومات البلاطات في حوالي 10 ولايات، ولكنها لم تثبت على نطاق واسع للأسباب التالية:

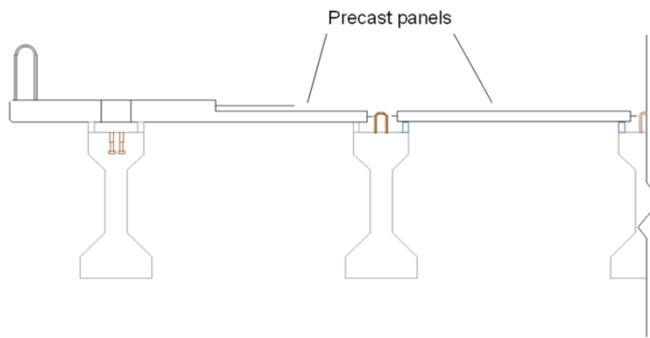
1. صعوبة ضبط الأبعاد التنفيذية فيما بين القطع الجاهزة في موقع الإنشاء؛
2. عدم القدرة على توفير سطح قيادة سلس دون إجراء عمليات تشطيب وطحن واسعة النطاق؛
3. التكلفة العالية بسبب المعدات المتخصصة أو المواد.

مأخوذ في الإعتبار كل ذلك، يجري في هذه الدراسة التحقق من نظام جديد، أنظر الشكل 1. يستخدم النظام الألواح الفردية سابقة الصب - سابقة الإجهاد والتي يمثل سمكها نصف سمك البلاطة النهائي في الجور الداخلية، بينما أخرى تمتلك السمك الكامل ونصف السمك لتغطية الكوابيل وأول بحر داخلي. بالإضافة إلى ذلك، يشتمل هذا النظام على شبكات حديد تسليح ملحومة مسبقاً بوصفها تسليحاً علوياً في الجور الداخلية. هذه الألواح تؤدي وظيفة الشدات القائمة (الثابتة)، سطح للعمل، ودعم للسكة الحديدية المستخدمة في التشطيب. تُصب طبقة من الخرسانة في موقع الإنشاء بسمك 4 بوصات (101.6 مم) وذلك لربط المنظومة الإنشائية للجسر معاً وإعطاء السطح النهائي لبلاطته. الأشكال من 2 إلى 9 توضح بإيجاز أهم الخطوات المتبعة في الإنشاء. في إطار تطوير أساليب تصميم وتحليل متقدمة للمنشآت الحديثة، فإن الإحتياج إلى البحوث المعملية لا يزال مستمراً. توفر الإختبارات أساساً متيناً لمعادلات التصميم، والتي هي مفيدة جداً في مراحل التصميم الأولية. ووسط الظواهر المعقدة التي تجري داخل العنصر الخرساني المسلح، اضطرت المهندسين في الماضي إلى الإعتماد بشكل كبير على الصيغ التجريبية وأساليب التحليل المختلفة لتصميم المنشآت الخرسانية⁽⁵⁾، والتي استندت بقوة على العديد من التجارب. عرضت هذه الصيغ التجريبية في أشكال مختلفة ضمن مواصفات التصميم والتوصيات. هكذا صيغ قد تأخذ من البساطة، الوقت والجهد الحسابي القليلين ميزات كبيرة عند المقارنة مع تقنيات التحليل القائم على الكمبيوتر.

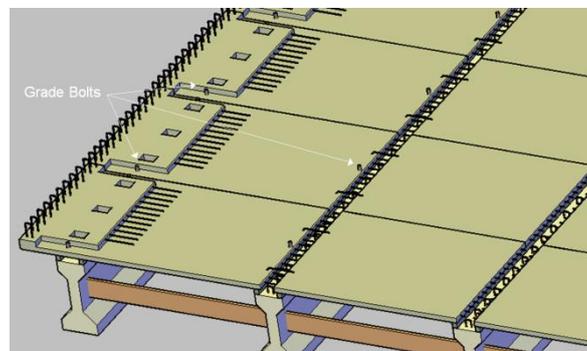
تقدم هذه الورقة دراسةً لمدى كفاءة منظومة البلاطات المقترحة من حيث استيفائها للمتطلبات الخدمية والتصميمية لمواصفة الآشتو⁽⁶⁾. كما تقدم تقديراً لمدى قدرة مواصفات الـ (AASHTO)⁽⁶⁾، (ACI)⁽⁷⁾، و (FIP)⁽⁸⁾ على توقع أحمال الإنهيار التي عانت منها العينات فعلاً.



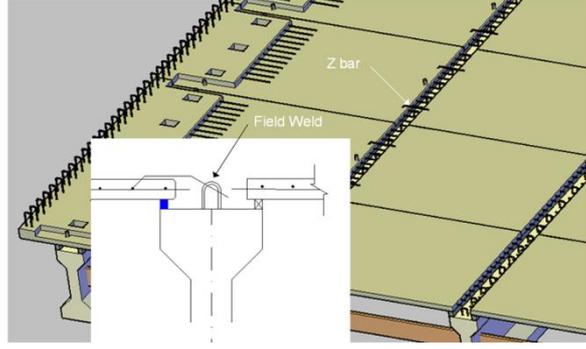
الشكل 2. تلتصق أطواق التجويف (Haunch gaskets) على حافتي الكمرات الخارجية، وعلى الحافة لخارجية للكمرة الداخلية



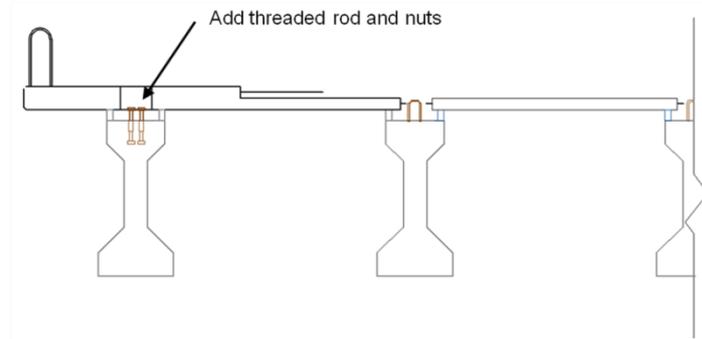
الشكل 3. تثبيت الألواح سابقة الصب في مكانها؛ تستخدم ألواح الكوابيل سابقة الصب في البجور الخارجية، بينما الألواح جزئية العمق في البجور الداخلية



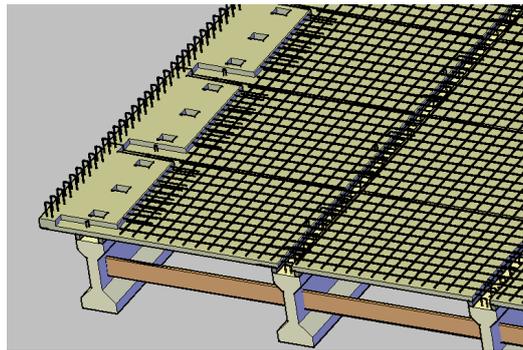
الشكل 4. يتم تعديل مسامير التسوية في ألواح الكوابيل حسب المناسيب والطوبوغرافية المطلوبة



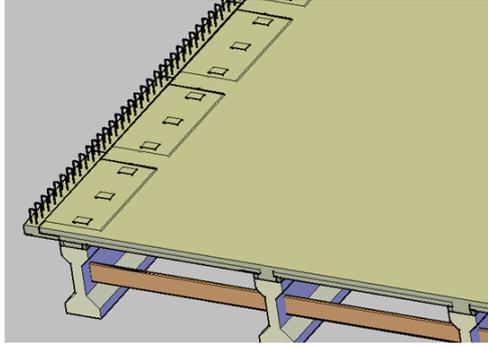
الشكل 5. تُثنى الأسياخ الخارجية وتلحم في الكانات الخاصة بأول كمرّة داخلية؛ وذلك لمنع إنقلاب ألواح الكوابيل سابقة الصب أثناء التنفيذ



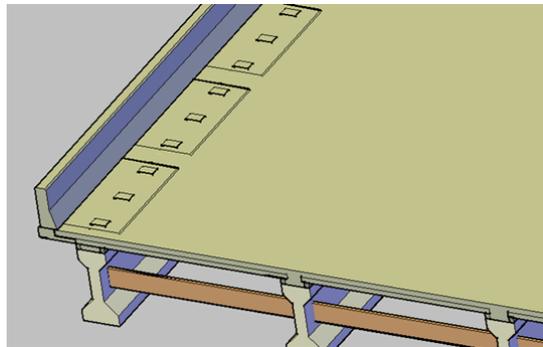
الشكل 6. يتم تثبيت المسامير المقلوطة والصواميل في موضعها داخل الجيوب بالكمرات الخارجية. يمكن تنفيذ هذه الخطوة قبل تثبيت الألواح الكابولية في أماكنها



الشكل 7. توضع شبكات التسليح مسبوقّة اللحام في مواضعها فوق الألواح جزئية السمك من البلاطة وذلك حسب الكثافات المطلوبة



الشكل 8. يتم صب الخرسانة لربط منظومة البلاطات سابقة الصب مع بعضها. تملأ الجيوب بالكمرة الخارجية بواسطة الملاط، ومن ثم تملأ الجيوب بالخرسانة



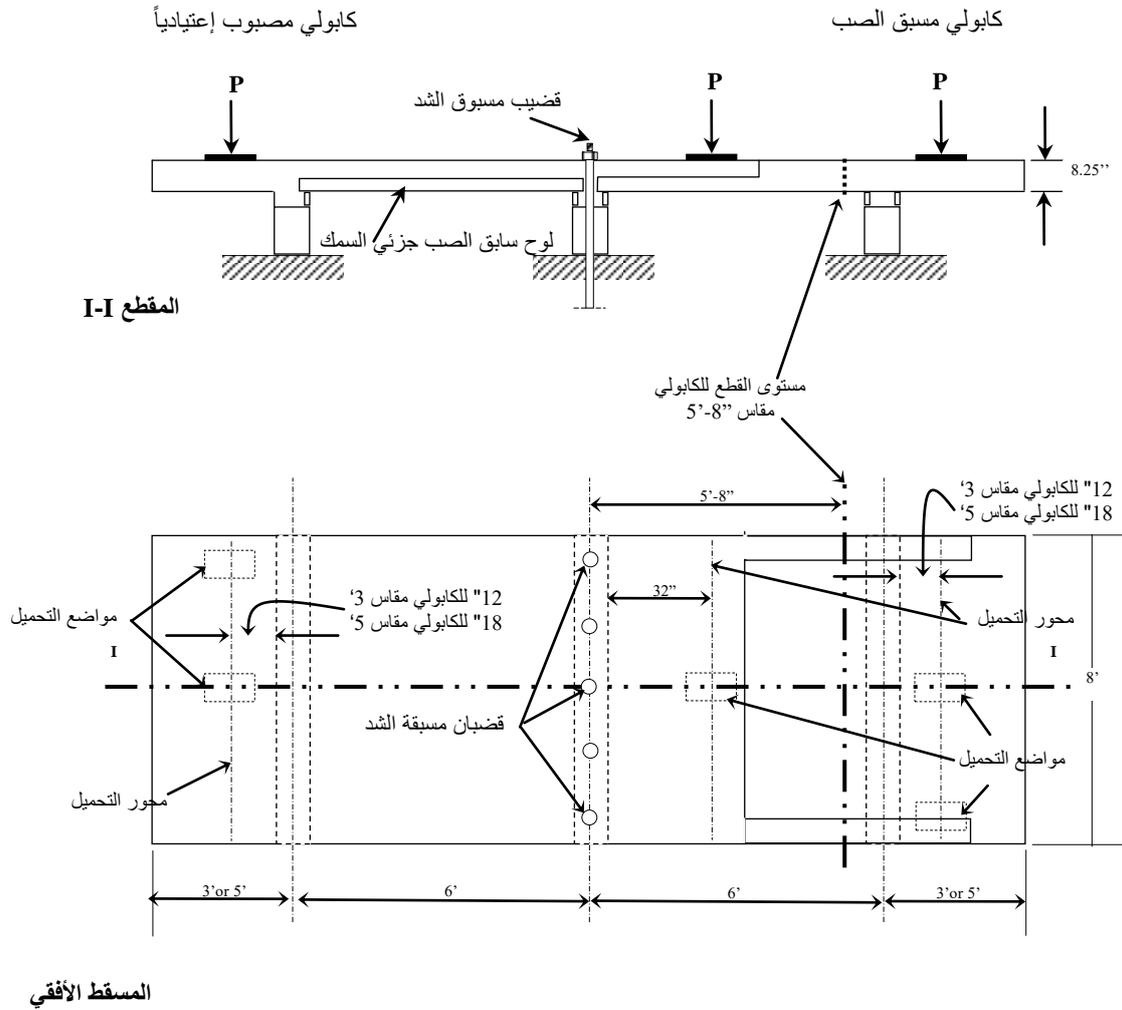
الشكل 9. يتم إنشاء الحاجز الخرساني إما بواسطة الشدات الجاهزة أو التقليدية

الإختبارات المعملية لمنظومة البلاطات

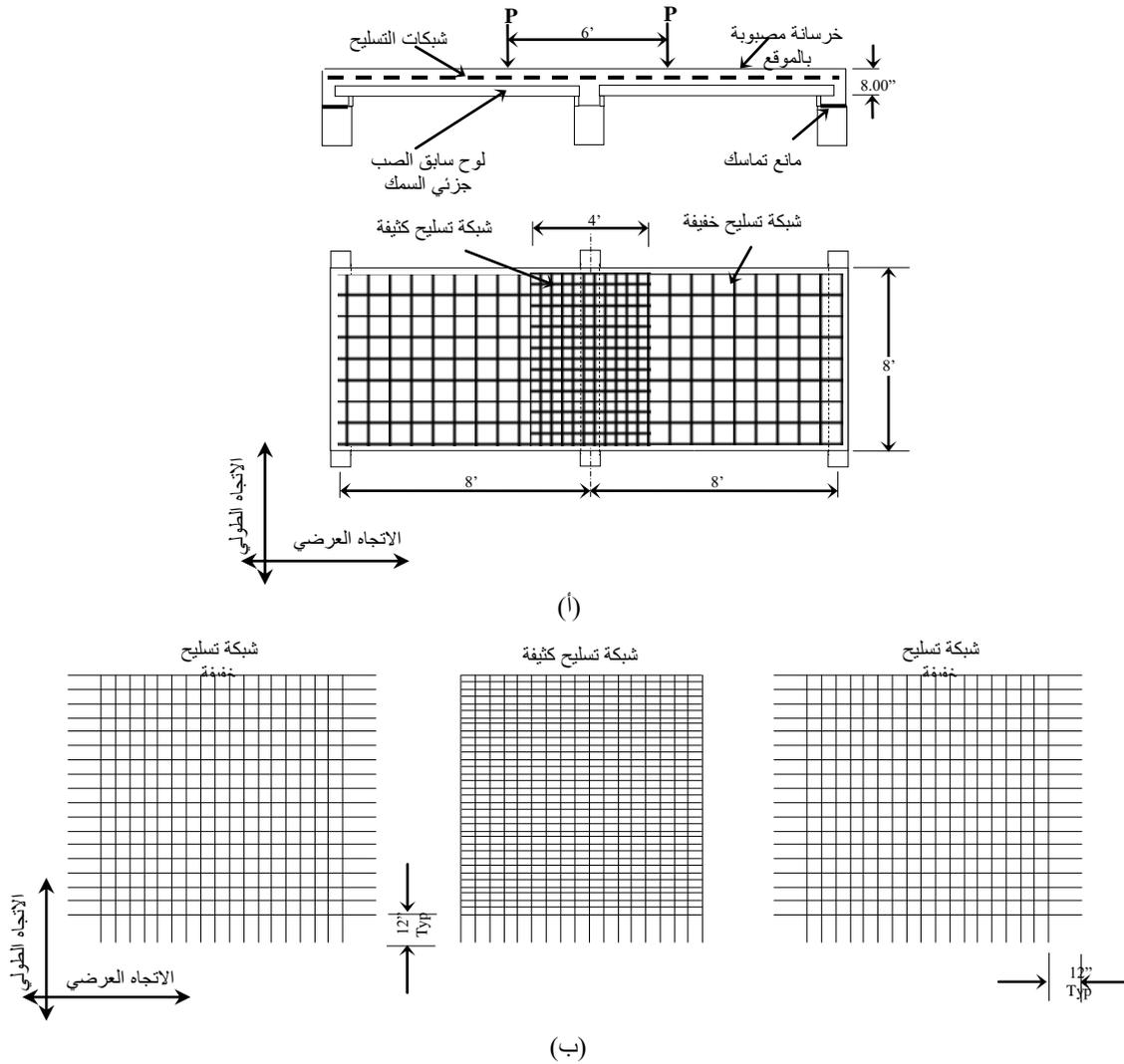
أجريت الإختبارات المعملية على عدد إجمالي وقدره 11 نموذج كاملة المقاس لبلاطة الجسر المقترحة، حيث خصصت 4 منها لاختبارات الكوابيل، و 7 أخريات لاختبارات البحور الداخلية وقياس مدى كفاءة شبكات حديد التسليح مسبقة اللحام. الشكلان 10 و 11 يبينان نماذج البلاطات وأسلوب التحميل لمجموعتي البلاطات المختبرة على التوالي. كما أن الشكلين 12 و 13 يعرضان نماذج للصور المأخوذة لهذه الإختبارات.

طرق التقدير التقليدية

البحث عن طريقة تقدير كفاءة وسريعة للمشاكل قيد الدراسة، قاد الباحث إلى استقصاء مدى دقة مواصفات التصميم المتاحة. في هذا الجزء سيتم التعرض لمدى قدرة مواصفات (AASHTO، ACI، و FIP) على تقدير أحمال وأنماط الإنهيار لمجموعة نماذج البلاطات التي تم اختبارها معملياً. من المعلوم أن كلاً من هذه المواصفات تنتج أكثر من قيمة تقديرية لمقاومة العنصر الخرساني وذلك على حسب القوة الداخلية المعنية؛ ففي كلٍ من هذه يجد المصمم مجموعة معادلات خاصة بتقدير مقاومة العنصر للانحناء، وأخرى لقوى القص أحادي الإتجاه، وأخرى لقوى القص الإخترقي، وأخرى لعزوم الإلتواء، وأخرى للقوى المحورية. ونظراً لطبيعة العنصر الإنشائي موضوع الدراسة، فإن الأنواع الثلاثة الأولى فقط ستكون محل اهتمام.



الشكل 10. النموذج المعملّي لاختبار الكوابيل



الشكل 11. (أ) النموذج المعملّي للإختبار الداخلي للبلاطة، (ب) تفصيل لشبكات التسليح يوضح أطوال الربط المستخدمة



الشكل 12. عينة صور لبعض إنهيارات الكوابيل بعد الإختبار



الشكل 12 (تابع). عينة صور لبعض إنهيارات الكوابيل بعد الإختبار



الشكل 13. عينة صور للتجهيز للإختبار وبعض نماذج الإنهيارات للتحميل الداخلي

النتائج والتطبيقات العددية

يعرض الجدولان 1 و 2 أداء النماذج المستخدمة لاختبار الكوابيل، بينما يبين الجدول 3 نتائج الإختبارات للنماذج المحتوية على شبكات التسليح مسبقة اللحام. وكملخص شامل، تعرض الرسوم البيانية بالشكلين 14 و 15 مقارنة بين تقديرات المواصفات التصميمية الثلاث لأحمال الإنهيار وبين أحمال الإنهيار الحقيقية. كما أنه قد تم تقدير أحمال التصدعات بواسطة التحليل المقطعي البسيط وأدرج بدوره في هذين الشكلين. كذلك، يعرض الجدول 4 متوسطاً لنسبة الفارق (الخطأ) في تقدير أحمال الإنهيار لكل مواصفة من المواصفات الثلاث.

جدول 1: أداء نماذج إختبارات الكوابيل (الأحمال والإنفعالات)

ملاحظات	الأداء								أسلوب الإنشاء	نموذج الإختبار
	عند الإنهيار				عند التصدع					
	أقصى إنفعال سطحي (x10 ⁻⁰⁶ in/in)	أقصى ترخيم (in)	النسبة لحمل AASHTO التصميمي	الحمل (kips)	أقصى إنفعال سطحي (x10 ⁻⁰⁶ in/in)	أقصى ترخيم (in)	النسبة لحمل AASHTO التصميمي	الحمل (kips)		
لم يتم الوصول للإنهيار	3540.3	0.135	6.5	104	1052.3	0.093	3.5	56.3	تقليدي	كابولي 3' محمل عند المنتصف
	1014.9	0.118	4.5	72.0	564.8	0.011	3.0	48.0	سابق الصب	
	12,682	1.300	4.5	72.0	2206.8	0.068	1.5	24.0	تقليدي	كابولي 5' محمل عند المنتصف
	6175.3	0.662	5.4	87.0	1430.5	0.001	2.0	32.0	سابق الصب	
	17,121	1.596	4.3	69.0	2066.8	0.235	2.0	31.4	سابق الصب	كابولي 5'-8" محمل عند المنتصف
	3338.6	0.794	3.5	56.2	3046.2	0.078	3.0	48.0	تقليدي	كابولي 3' محمل عند الزاوية
	14,894	0.143	5.0	79.9	929.0	0.038	2.5	40.0	سابق الصب	
	---	0.050	1.7	27.5	3065.2	0.050	1.5	24.0	تقليدي	كابولي 5' محمل عند الزاوية
	15,653	0.641	3.0	48.0	2360.0	0.021	1.5	24.0	سابق الصب	

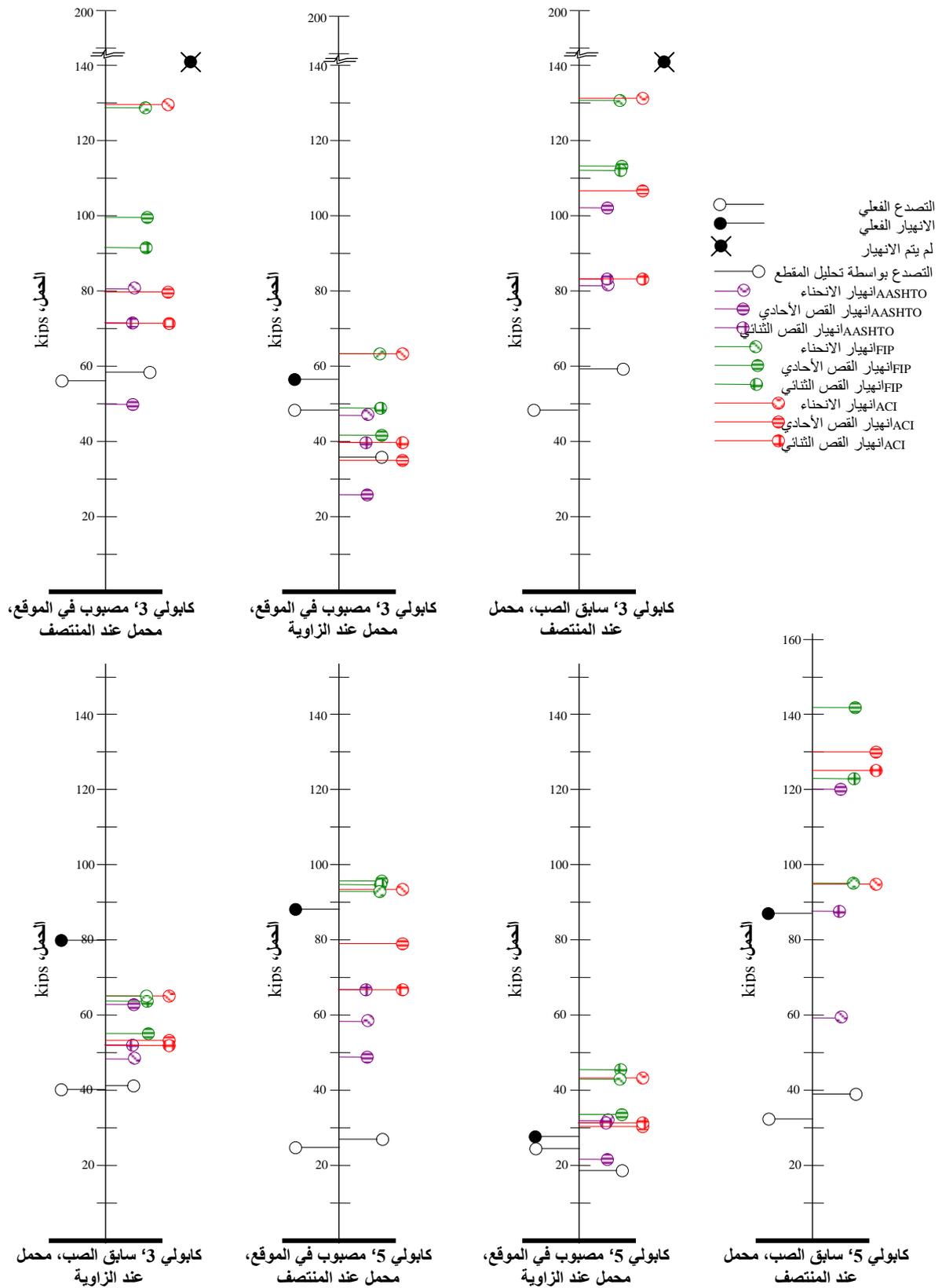
جدول 2: أداء نماذج إختبارات الكوابيل (التراخيم)

ملاحظات	التراخيم المسموح به عند الحمل الخدمي وفقاً لمتطلبات الـ AASHTO (in)	أقصى ترخيم عند أقصى حمل مطبق (in)	أقصى ترخيم عند الحمل الخدمي (in)	أسلوب الإنشاء	نموذج الإختبار
لم يتم الوصول للإنهيار	0.03	0.1350	0.0925	تقليدي	كابولي 3' محمل عند المنتصف
	0.03	0.118	0.0110	سابق الصب	
	0.05	1.2995	0.0675	تقليدي	كابولي 5' محمل عند المنتصف
	0.05	0.6565	0.0390	سابق الصب	
	0.05	1.596	0.2345	سابق الصب	كابولي 5'-8" محمل عند المنتصف
	0.03	0.7940	0.078	تقليدي	كابولي 3' محمل عند الزاوية
	0.03	0.1425	0.0375	سابق الصب	
	0.05	0.0495	0.0495	تقليدي	كابولي 5' محمل عند الزاوية
	0.05	0.6300	0.0210	سابق الصب	

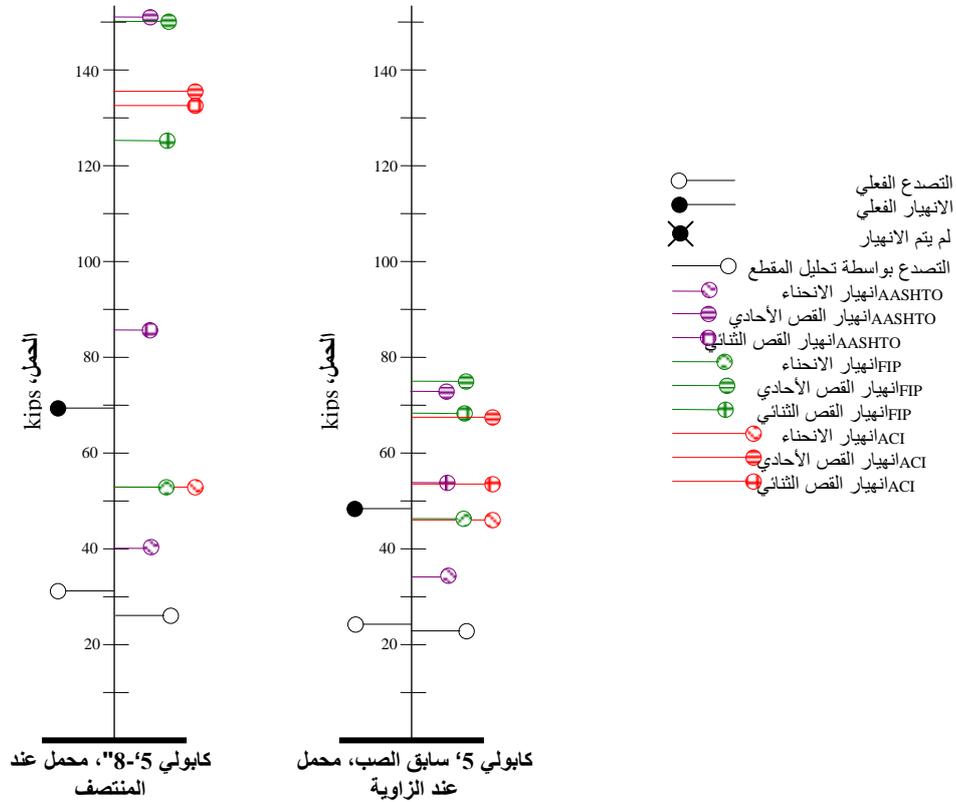
جدول 3: ملخص لنتائج الإختبارات للنماذج المحتوية على شبكات التسليح مسبقة اللحام

الميل المبني لعلاقة: الحمل-الإنفعال (kips/(in/in))	الإنهيار		التصدع		أسلوب الإنشاء					نموذج الإختبار
	النسبة لحمل AASHTO التصميمي	الحمل (kips)	النسبة لحمل AASHTO التصميمي	الحمل (kips)	السمك الكلي للبلاطة (in)	الغطاء الخرساني الصافي (in)	لوحة سابق الصب جزئي السمك	التسليح العلوي للبلاطة فوق الكمرات الوسطى		
								الطولي	العرضي	
82,200	8.9	283	0.9	27	8	N/A	نعم	--	--	أ
112,000	8.7	279	1.5	49	8	2	نعم	#4@12"	#5@6"	ب
219,000	6.6	212	2.5	79	8	2	لا	#4@12"	#4@12"	ج
103,000	9.0	287	1.1	36	8	2	نعم	D8@4"	D11@4"	د
145,000	6.4	204	1.5	49	8	2	نعم	D8@4"	D11@2.67"	هـ
124,000	6.7	215	1.5	49	8	2.75	نعم	D8@4"	D11@2.67"	و
92,600	9.8	314	1.6	51	9	3.5	نعم	D8@4"	D11@2.67"	ز

الحمل المدرج هو المجموع لنقطيني التحميل، الحمل التصميمي لـ AASHTO هو 32 kips للمحور الواحد للإطارات



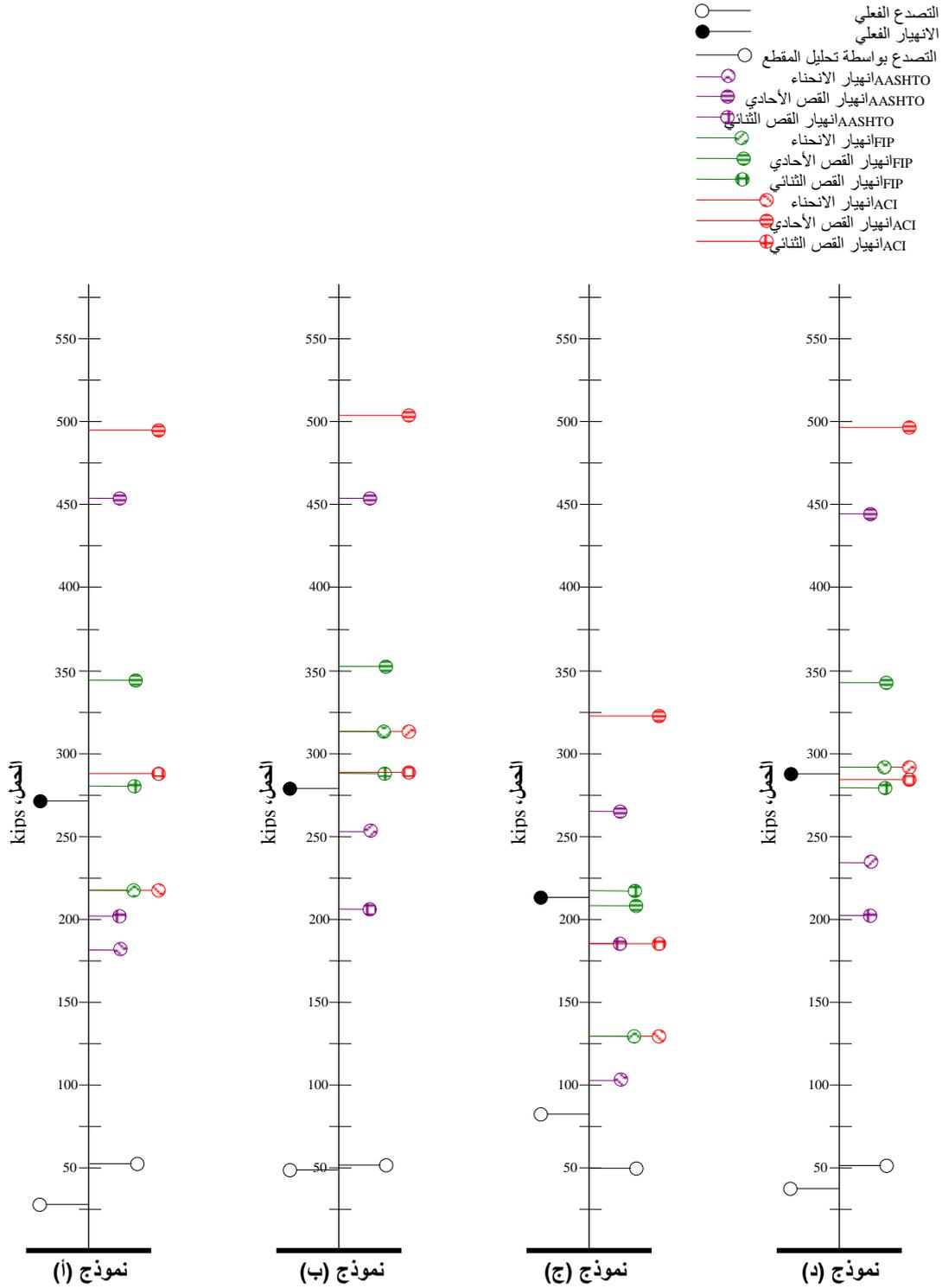
الشكل 14. الأحمال المسببة للتصدع والانهيار في اختبارات الكوابيل



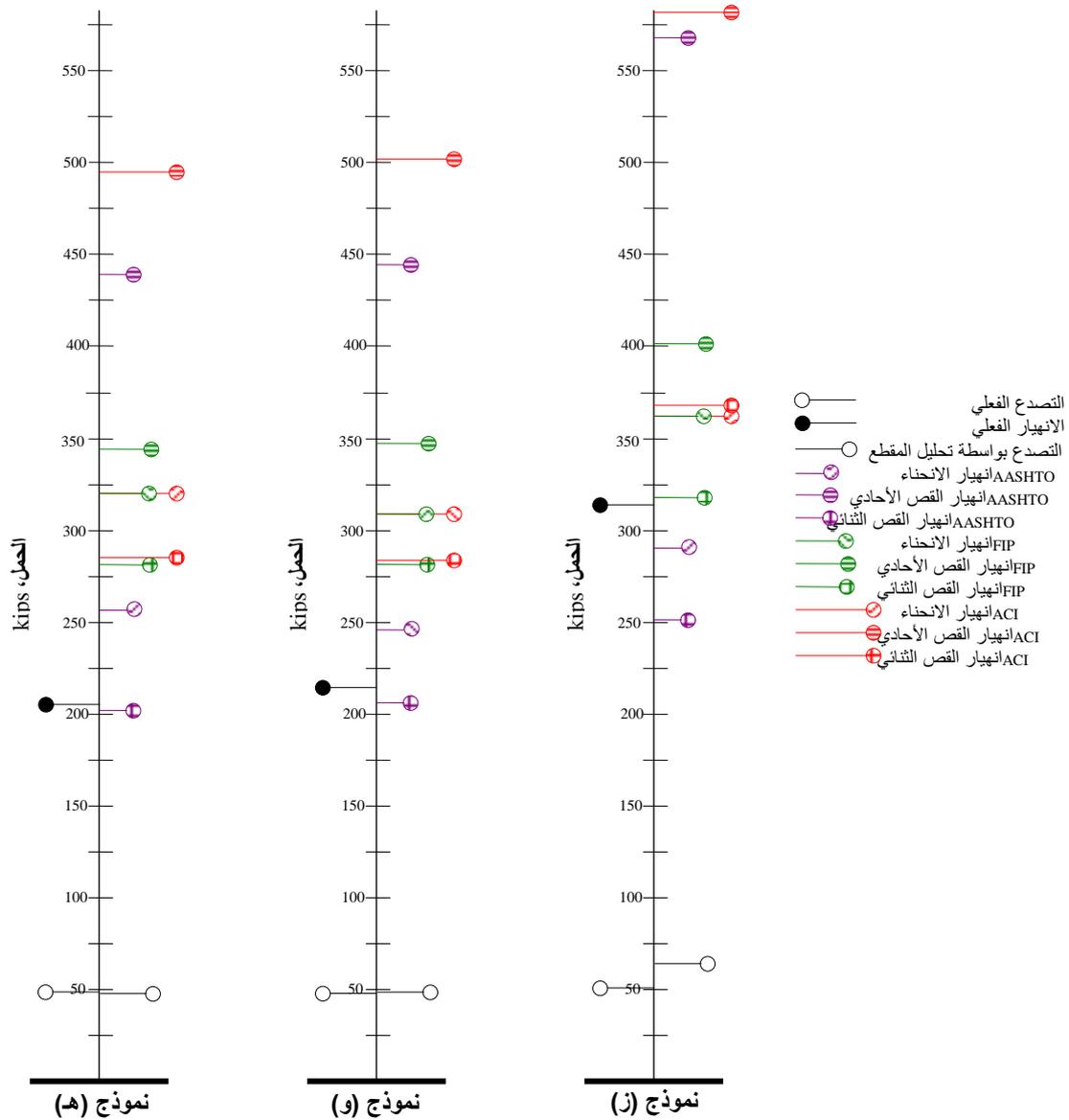
الشكل 14 (إستمرارية). الأحمال المسببة للتصدع والانهيار في اختبارات الكوابيل

جدول 4: ملخص لأحمال الإتهيار المقدرة بواسطة مواصفات التصميم

متوسط نسب الفروق (الخطأ) المطلقة عن النتائج العملية (%)		المواصفة المستخدمة في التقدير
نماذج إختبارات الكوابيل	النماذج المحتوية على شبكات التسليح مسبقة اللحام	
40.27	43.81	AASHTO
16.57	31.97	FIP
19.85	31.86	ACI



الشكل 15. الأحمال المسببة للتصدع والانهيار للنماذج المحتوية على شبكات التسليح مسبقة اللحام



الإستنتاجات والتوصيات

1. أظهرت جميع نماذج الكوابيل معاملات أمان مهمة للأحمال الخدمية وأحمال الإنهيار على حد سواء؛ حيث كانت أداها 1.5 لحمل التصدع و3.0 لحمل الإنهيار في الكابولي المحمل عند الزاوية ذي الطول 5.4.
2. رُصدت تشتت أكبر للشروخ المتولدة في الكوابيل سابقة الصب عند مقارنتها بالأخرى المصبوبة في الموقع. إنعكس هذا على الإنخفاض الملحوظ في الإنفعالات السطحية بمتوسط قدره 23% ما بين النظامين لنفس حالة التحميل. هذا الإنخفاض في الإنفعالات السطحية يقود ضمناً إلى تقلص أحجام الشروخ.

3. بناءً على النقطتين السابقتين، فإنه يوصى بزيادة طول الكوابيل سابقة الصب حتى 5' مع ضمان استمرارها بإبداء مقاومة وأداء خدمي مرضيين. وبمجرد اعتماد هذه الزيادة في الطول بالمنظومة المقترحة، فإن عدد الكمرات الحاملة لجسر عرضه 30' يمكن تخفيضها من 4 إلى 3. يؤدي هذا إلى توفير مهم في تكاليف الإنشاء.
4. تم استخدام شبكات التسليح سابقة اللحم مع الألواح مسبقة الصب جزئية السمك كبديل التسليح التقليدي المربوط؛ لما له من تحسين في اقتصادية، أسلوب، وسرعة الإنشاء لبلاطة الجسر. أحمال الإنهيار كانت متقاربة لجميع النماذج المختبرة بغض النظر عن التسليح العلوي المستخدم، ولكن مستويات الإنفعال السطحي كانت مختلفة للغاية وتعتمد أساساً على كميته (التسليح) وتوزيعه. البلاطة المنفذة طبقاً للنموذج (هـ) باستطاعتها التميز بمقاومة انهيار مناسبة، وتحملية محسنة بينما تستخدم كمية تسليح أقل بمقدار 30% من التسليح المستخدم في البلاطات التقليدية. النموذج (ز)، والذي يختلف عن السابق فقط في زيادة مقدار الغطاء الخرساني إلى 3.5"، يتوافق ومتطلبات الأداء من ناحية القوة والتحملية المنصوص عليها لبلاطات الجسور من قبل هيئة المواصفات في تكساس.
5. ولو أنه تمت الإشارة في أحد المراجع⁽⁹⁾ إلى أحمال الإنهيار المقدرة بواسطة (ACI 318-08) بأنها مبالغ في التحفظ، وخصوصاً إذا ما كان نمط الإنهيار بسبب القص، إلا أنه وجد أن تقديرات (AASHTO LRFD) هي أكثر مبالغة. السبب الرئيسي في ذلك هو القيود الموضوعة على عرض السقف الفعّال في الـ (AASHTO LRFD). كان متوسط الفروق المطلقة عند استخدام الـ (ACI 318-08) يساوي 20.79% للكوابيل و 21.66% للنماذج المستخدمة للشبكات سابقة اللحم، بينما كانت 36.84% و 23.67% على التوالي عند استخدام الـ (AASHTO LRFD).
6. على الرغم من أنها تتباين قليلاً في تقدير أحمال الإنهيار لبعض النماذج، إلا أن الأحمال المقدرة بواسطة الـ (FIP) هي الأقرب إلى النتائج المعملية، وخصوصاً إذا كان نمط الإنهيار الفعلي بسبب القص في اتجاهين. 80% من النماذج المختبرة إنهارت بسبب القص؛ 90% منها كانت بسبب القص في اتجاهين. معادلات القص في اتجاهين في الـ (FIP) واعتبارها أن المستوى الحرج للإختراق هو بمحيط يبعد مسافةً وقدرها ضعف عمق حديد التسليح حول مساحة التحميل، كان له الأثر الكبير على مدى قرب تقديراتها من الواقع دون المواصفتين الأخرتين. كان متوسط الفروق المطلقة 16.57% للكوابيل و 19.18% للنماذج المستخدمة للشبكات سابقة اللحم. إضافةً لذلك، فإنها توقعت بشكل مناسب أنماط الإنهيار التي مرت بها النماذج المختبرة.
7. وجدت أحمال التصدعات المقدرة بحسب التحليل المقطعي البسيط قريبة للغاية إلى المقادير المعملية. كان متوسط الفروق المطلقة 14.30% للكوابيل و 33.50% للنماذج المستخدمة للشبكات سابقة اللحم.
- أخيراً، استخدمت هذه المنظومة في إنشاء جسر روك كريك بمقاطعة باركر، كول، تكساس. كما تم استخدامها في إنشاء جسر غرب الشارع السابع في مدينة فورث وورث، تكساس. إضافةً إلى ذلك، فإن جسوراً تستخدم هذه المنظومة هي قيد التصميم في ميزوري، تكساس، وأسبانيا.

المراجع

- .1 Phares, B., Wipf, T., Bigelow, J., Bowers, R., and Klaiber, F.; "Precast Concrete Elements for Accelerated Bridge Construction: Laboratory Testing, Field Testing, Evaluation of a Precast Concrete Bridge, Madison County Bridge," Research Report TR-561, Iowa State University for Iowa Department of Transportation, Ames, IA, January 2009, 68 pp.
- .2 Khaleghi, B.; "Use of Precast Concrete Members for Accelerated Bridge Construction in Washington State," Research Report CD 11-S, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2005, pp. 187-196.
- .3 Shoup, L., Donohue, N., and Lang, M.; "The State of Oklahoma's Bridges," Transportation for America Research Report, Washington, DC, March 2011, 17 pp.
- .4 Moretti, F. et al.; "FUTURE MOBILITY IN OKLAHOMA: Meeting the State's Need for Safe and Efficient Mobility," TRIP (a national transportation research group) Report, Washington, DC, April 2011, 23 pp.
- .5 Sneed, L., Belarbi, A., and You, Y.; "Spalling Solution of Precast-Prestressed Bridge Deck Panels," Research Report OR11-005, Missouri Department of Transportation Research, Development and Technology, Jefferson City, MO, September 2010, 211pp.
- .6 AASHTO LRFD, "Bridge Design Specifications and Commentary," 4th Edition, American Association of State Highway Transportation Officials, Washington, DC, 2007, 1520 pp.
- .7 ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2008, 465 pp.
- .8 FIP Commission 3, "Practical Design of Structural Concrete," FIP Recommendations, Fédération Internationale de la Précontrainte, Laussane, Switzerland, September 1996, 114 pp.
- .9 Guandalini, S., Burdet, O., and Muttoni, A.; "Punching Tests of Slabs with Low Reinforcement Ratios," ACI Structural Journal, V. 106, No. 1, January-February 2009.

دراسة العلاقة بين نفاذية ومسامية الخرسانة المتصلبة من خلال بعض العوامل المؤثرة عليهما

د. محمد سلمان اللامي - أستاذ مساعد كلية الهندسة بصبراتة - جامعة الزاوية
msalmanallamy@yahoo.com

ملخص

يهدف البحث إلى دراسة العلاقة بين نفاذية ومسامية الخرسانة المتصلبة ومدى تأثير مسامية الخرسانة على نفاذيتها. تم تنفيذ برنامج عملي لهذا الغرض كان المتغير فيه نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) ونسبة الركام إلى الإسمنت (A/C) بالإضافة إلى زمن الخلط حيث تم استخدام العديد من الخلطات الخرسانية يتم خلطها لفترات زمنية مختلفة. تم قياس المسامية باستخدام جهاز (Helium Gas Pores meter) بينما تم قياس النفاذية باستخدام جهاز (Nitrogen Gas Permeate) وقد أظهرت النتائج أن تأثير نسبة الماء إلى الإسمنت على نفاذية الخرسانة أكبر منه على مساميتها كما تزداد النفاذية بزيادة نسبة الركام بينما لوحظ سلوك معاكس على المسامية فهي تقل بزيادة تلك النسبة كما أشارت النتائج إلى اختلاف معدل التغير في المسامية والنفاذية بتغير نسبي الركام والماء إلى الإسمنت مما يفسر العلاقة غير الخطية بينهما ويؤكد بأن المسامية ليست العامل الوحيد في تحديد نفاذية الخرسانة.

مقدمة

تشير النفاذية إلى المعدل الذي تخترق فيه السوائل والعوامل العدائية (الكبريتات وأيونات الكلوريدات، إلخ) الخرسانة لذا فهي تلعب على المدى الطويل دوراً أساسياً في التأثير على ديمومتها وتعتبر في العديد من المنشآت الخازنة أو المعرضة للسوائل الخاصة الأهم بالمقارنة مع خواص المقاومة. تتأثر نفاذية الخرسانة بعدد كبير من العوامل أهمها مقياس الركام ونسبته ونوع وكمية الإسمنت ونسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) والمضافات المستخدمة وطرق التحضير والصب والإنضاج، ولذلك فإن معرفة تأثير هذه العوامل كل على حدة يؤدي إلى بناء منشآت خرسانية ذات ديمومة عالية وعمر افتراضي طويل [1].

تعتمد نفاذية الخرسانة على نفاذية مكوناتها والتي تشمل عجينة الإسمنت والركام، وحيث أن الركام مادة غير نفاذة نسبياً فإن نفاذية عجينة الإسمنت لها التأثير الأكبر على نفاذية الخرسانة وبشكل عام تقترن النفاذية الواطئة بالمسامية الواطئة. فالمسامية تعتمد بشكل أساسي على نسبة الماء إلى الإسمنت ودرجة الإماهة، فكلما استمرت عملية الإماهة كلما قلت المسامية الشعرية وكذلك معامل النفاذية إلى أن تصبح معظم الفجوات صغيرة وغير متصلة مع بعضها. نظرياً إذا كان هناك ماء كاف لإماهة الإسمنت فإن مسامية الجل لا تعتمد على نسبة الماء إلى الإسمنت، وهذا يعني أن الحجم الباقي من الفجوات الشعرية يتحدد بماء الخلط غير المتحد كيميائياً والذي يساوي حجم الماء غير المستخدم في إماهة الإسمنت. لهذا فإن نسبة الماء إلى الإسمنت لها التأثير الأكبر على هيكلية الفجوات الشعرية وبالتالي النفاذية [2]. كما يحصل نقصان في المسامية كلما زادت نسبة الركام بينما تزداد النفاذية، ويرجع السبب في ذلك إلى الفجوات والتشققات الشعرية في منطقة التماس بين عجينة الإسمنت والركام [3][4].

لا تعتمد النفاذية على المسامية الكلية كعامل وحيد في تحديد قيمتها بل هناك عوامل أخرى مثل حجم وتوزيع واتصالية الفجوات. فقد وجد أن جريان السوائل في عجينة الإسمنت يكون في قنوات محددة تتكون من خلال اتصال الفجوات [5][6] وأن نفاذية عجينة الإسمنت والمونة والخرسانة تتحدد بالفجوات الأكبر فقد أوضح الباحث أوكبالا [7] أن النفاذية للنفط الخام تتحدد بالفجوات التي بقطر أكبر من 650 إنكستروم كما أكد ذلك الباحث صالح [8] الذي استنتج أيضاً أن المسامية الكلية ليست كافية في تحديد النفاذية وهناك ضرورة لاستخدام معامل آخر للمسامية.

يهدف البحث إلى دراسة العلاقة بين نفاذية ومسامية الخرسانة المتصلبة ومدى تأثير مسامية الخرسانة على نفاذيتها من خلال تغيير بعض العوامل المؤثرة في تحديد قيمتهما وهما نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) ونسبة الركام إلى الإسمنت (A/C).

البرنامج العملي

يشمل البرنامج العملي اختبارات المسامية والنفاذية للعديد من الخلطات الخرسانية كان المتغير فيها نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) و نسبة الركام إلى الإسمنت (A/C) وكما يلي:

1. تثبيت نسبة الخلط للإسمنت والرمل والركام الخشن لتكون (3:2:1) على التوالي وتغيير نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) لتكون (0.5، 0.55، 0.6، 0.65).
2. تثبيت نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) (0.5) وتغيير نسب الخلط للإسمنت والرمل والركام الخشن لتكون (2:2:1، 4:2:1، 5.5:2:1، 5:3:1)
3. تثبيت نسبة الخلط للإسمنت والرمل والركام الخشن لتكون (2:2:1) وتغيير نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) لتكون (0.55، 0.6، 0.65)
4. تثبيت نسبة الخلط للإسمنت والرمل والركام الخشن لتكون (4:2:1) وتغيير نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) لتكون (0.55، 0.6، 0.65)
5. تثبيت نسبة الخلط للإسمنت والرمل والركام الخشن لتكون (5.5:2:1) وتغيير نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) لتكون (0.55، 0.6، 0.65)

مواد الخلط

الإسمنت: الإسمنت المستخدم نوع البورتلاندي العادي صنع محلي (زليطن) ويصنف من النوع الأول بموجب المواصفات الليبية (م ل 340 : 1997) [11].

الركام:

أ- **الركام الناعم:** تم استخدام الرمل المتوفر محلياً من منطقة زليطن وتم إجراء التحليل المنخلي له وكان ضمن الحدود المسموح فيها حسب المواصفات البريطانية (BS882:1983) [9] وكما مبين بالجدول (1).

جدول (1): التحليل المنخلي للركام الناعم

رقم المنخل	قطر المنخل (mm)	النسبة المئوية للمار (%)	الحدود المسموح بها للمواصفات البريطانية (BS882:1983)
1	2.36	85.5	100-80
2	1.18	73.05	100-70
3	600	63.00	100-55
4	300	25	70-5
5	150	0.4	15-0

ب- **الركام الخشن:** وهو ركام محلي غير منتظم الشكل تم إجراء التحليل المنخلي له وكان ضمن الحدود المسموح فيها حسب المواصفات البريطانية (BS882:1992) [10] وكما مبين بالجدول (2). أستخدم الركام وهو مشبع جاف السطح بعد غسله بالماء لإزالة المواد العالقة.

جدول 2: التحليل المنخلي للركام الخشن

رقم المنخل	قطر المنخل (mm)	وزن المتبقي على المنخل (kg)	النسبة المئوية للمار (%)	الحدود المسموح بها للمواصفات البريطانية (BS882:1992)
1	20	0	100	90-100
2	14	1259	65	40-80
3	10	1157	32.83	30-60
4	5	963.5	6.05	0-10

الماء: تم استخدام الماء الصالح للشرب الخالي من الأملاح والشوائب والمواد العضوية في الخلط والمعالجة.

تجهيز نماذج الإختبارات

هي نماذج إسطوانية الشكل بقطر (3.79 Cm) وبطول (5.45 Cm) لفحوصات المسامية والنفاذية يتم تجهيزها كما يلي:

- أ- بعد صب مكعبات خرسانية بمقاس (150 × 150 × 50) ملم وانقضاء فتره المعالجة لمدة (28) يوما يتم قصها واستخراج النماذج منها بواسطة آلات.
- ب- يتم تجفيف النماذج بوضعها داخل فرن في درجة حرارة (105°) درجة مئوية لمدة (24) ساعة ثم توزن وتستمر عملية التجفيف إلى حين أن يثبت وزن النموذج $0.05 \pm$ جم ليكون جاهزا لإجراء الإختبارات.
- ت- يتم استخدام نفس النماذج لاختباري المسامية والنفاذية ويتم احتساب النتيجة كمعدل لفحص ثلاثة نماذج.

إختبار المسامية

تم قياس المسامية باستخدام جهاز (Helium Gas Pores meter) الموضح بالشكل (1) باتباع الخطوات التالية:

- أ- معايرة الجهاز بإجراء اختبارات لقطع حديدية (Disks) معلومة الحجم وذلك لإيجاد الثوابت المتعلقة لعمل معادلة الخط المستقيم والتي تكون في هذه الحالة علاقة بين حجم القطع الحديدية (Disks) على المحور (y) و مقلوب الضغط (1/P) على المحور (x).
- ب- يتم رسم علاقة باستخدام جهاز الكمبيوتر للتعرف على الثوابت (a , b) حيث (a) تمثل نقطة تقاطع امتداد الخط المستقيم مع المحور (y)، و (b) تمثل ميل الخط المستقيم، وللتأكد من معايرة الجهاز يجب أن تكون نسبه التصحيح (R2=1) أو مساوي (0.999995)، بعدها يمكن الإستمرار في التجربة.
- ت- يتم حساب حجم الحبيبات (GV) من المعادلة :

$$GV=a+b \times 1/p$$



شكل 1: جهاز قياس المسامية

- ث- يتم قياس الحجم الكلي للنماذج باستخدام مضخة تعمل بالزئبق والشكل (2) يوضح جهاز (Mercury Pump Displacement) المستخدم لذلك.



شكل 2: جهاز قياس الحجم الكلي للعينات

ج- تؤخذ قراءة المضخة بعد ظهور أول قطرة زئبق تصل إلى الحوض المخصص لذلك، وهذه القراءة تضرب في معامل تصحيح خاص في المضخة بقيمة (0.46978) حيث تصحح قراءه الحجم الكلي (BV) :

$$BV = (0.46978 \times \text{قراءة المضخة})$$

ح- يحسب حجم الفراغات من المعادلة الآتية:

$$\text{حجم الفراغات} = \text{الحجم الكلي} - \text{حجم الحبيبات}$$

خ- تحسب المسامية من المعادلة الآتية:

$$\text{المسامية (\%)} = (\text{حجم الفراغات} / \text{الحجم الكلي}) \times 100$$

إختبار قياس النفاذية

تتم عملية الفحص باستخدام جهاز (Nitrogen Gas Permeate) الموضح بالشكل (3) باتباع الخطوات التالية:



شكل 3: جهاز إختبار النفاذية

- أ- بعد أن يتم التأكد من أبعاد النموذج يوضع داخل حامل عبارة عن اسطوانة معدنية بداخلها قطعة مطاطية إسطوانية الشكل.
- ب- يتم فتح الصمام الخاص بالضغط الخارجي بمقدار (200 psi) لضغط القطعه المطاطية على النموذج لضمان مرور الغاز من خلال نموذج الفحص فقط.
- ت- يتم فتح صمام مرور الغاز من خلال النموذج.
- ث- يتم أخذ قراءة فرق الضغط (ΔP) بوحدة (psi).
- ج- يتم أخذ قراءة معدل تدفق الغاز (Flow Rate) Q وهو بوحدة (cm^3/min).
- ح- يتم أخذ قراءة درجة الحرارة بوحدة الدرجة المئوية.
- خ- تحسب النفاذية من المعادلة الآتية:

حيث:

$$\mu N2 = \text{لزوجة غاز النيتروجين وهي حسب درجة الحرارة بـ (CP)}$$

$$\mu N2 = 0.0165815 + 4.8 \times 10^{-5} T$$

$$T = \text{درجة الحرارة بوحدة الدرجة المئوية.}$$

$$Q = \text{معدل التدفق (cm}^3/\text{min).}$$

$$L = \text{طول العينة بـ (cm).}$$

$$A = \text{مساحة مقطع العينة بـ (cm}^2\text{).}$$

$$\Delta P = \text{فرق الضغط.}$$

$$K_g = \text{معامل النفاذية للغاز بوحدة دارسي.}$$

النتائج والمناقشة

يبين الجدولان (3) و(4) نتائج إختبار المسامية والنفاذية، وتوضح الأشكال من (4) إلى (11) تأثير نسبة الركام إلى الإسمنت والماء إلى الإسمنت عليهما بينما يبين الشكل (12) العلاقة بين النفاذية والمسامية ومن خلال ذلك يمكن ملاحظة ما يلي:

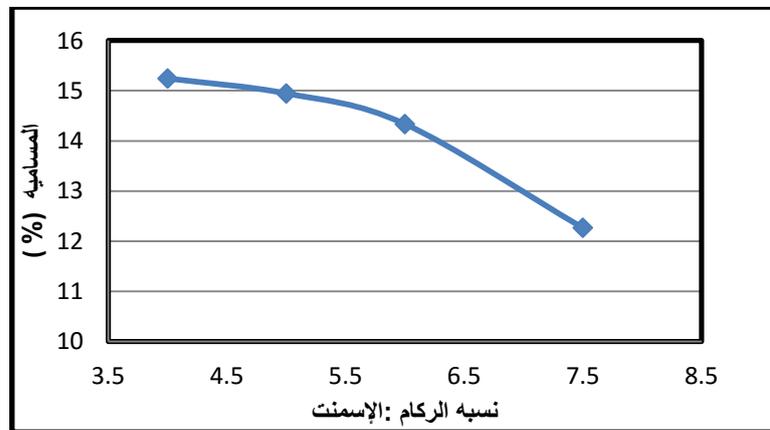
1. هناك تغير في قيمة المسامية للخرسانة عند تغير نسبة الركام حيث وجد أن قيمه المسامية تقل بزيادة نسبة الركام إلى الإسمنت، فعند زيادة نسبة الركام إلى الإسمنت من (1:4) إلى (1:5) كانت نسبة التغير (1.9%) وعند زيادة نسبة الركام إلى الإسمنت من (1:4) إلى (1:6) وجد أن نسبة التغير في قيمة المسامية (2.9%) وعند زيادة نسبة الركام إلى الإسمنت من (1:4) إلى (1:7.5) لوحظ أن نسبة التغير (19.5%) وقد يعزى سبب التغير غير الخطي في المسامية إلى أن الزيادة في كمية الركام بالنسبة للإسمنت قد يؤدي إلى زيادة مساحه المنطقة الإنتقالية حول حبيبات الركام التي تتميز بضعفها وكثرة الفجوات والشقوق فيها.

جدول 3: نتائج إختبار المسامية للخرسانة

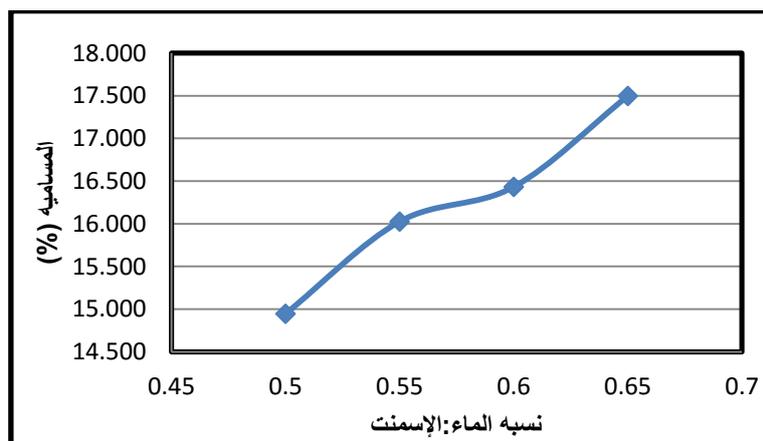
إسم النموذج	نسبة الركام للإسمنت (A/c)	نسبة الماء للإسمنت (w/c)	وزن النموذج (gm)	حجم النموذج (cm ³)	حجم الحبيبات (cm ³)	كثافة الحبيبات (gm/cc)	حجم الفراغات (cm ³)	معدل المسامية (%)
Pors-1	4	0.50	130.18	124.45	49.24	2.64	9.398	15.245
Pors-1	5	0.50	131.38	123.06	49.65	2.64	8.31	14.946
Pors-1	6	0.50	127.38	124.79	49.14	2.66	9.663	14.336
Pors-1	7.5	0.50	125.75	121.96	47.41	2.65	10.063	12.268
Pors-2	5	0.55	128.98	124.10	49.65	2.60	8.910	16.026
Pors-2	5	0.60	137.31	124.33	51.39	2.67	7.180	16.433
Pors-2	5	0.65	130.71	124.44	49.28	2.65	9.350	17.498

جدول 4: نتائج إختبارات النفاذية

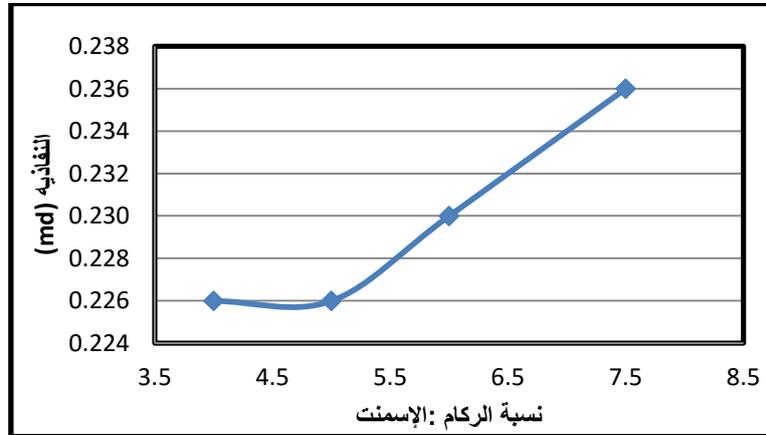
معامل النفاذية للماء ($\text{cm}^2 \times 10^{-12}$)	معامل النفاذية للغاز ($\text{cm}^2 \times 10^{-12}$)	معامل النفاذية للماء (md)	معامل النفاذية للغاز (md)	نسبة الماء إلى الإسمنت	نسبة الركام إلى الإسمنت	إسم النموذج
1.387	2.230	0.141	0.226	0.50	4	Prm-1
1.413	2.269	0.143	0.230	0.50	5	Prm-1
1.452	2.329	0.147	0.236	0.50	6	Prm-1
1.387	2.230	0.141	0.226	0.50	7.5	Prm-1
1.668	2.255	0.169	0.269	0.55	5	Prm-2
7.074	10.372	0.717	1.051	0.60	5	Prm-2
9.449	13.629	0.957	1.381	0.65	5	Prm-2



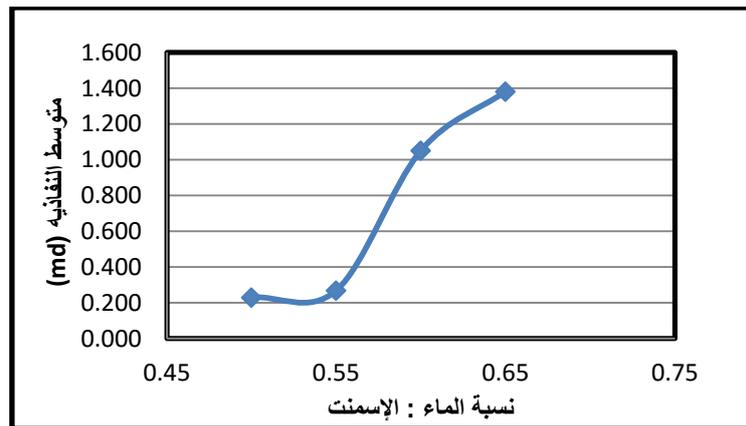
شكل 4: تأثير نسبة الركام إلى الإسمنت على مسامية الخرسانة



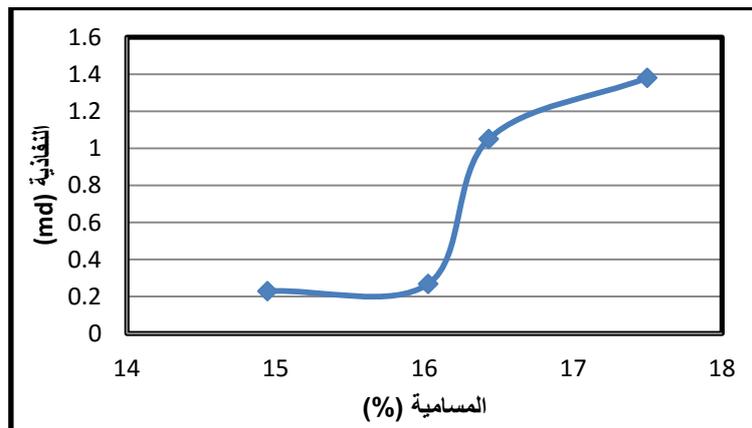
شكل 5: تأثير نسبة الماء إلى الإسمنت على مسامية الخرسانة



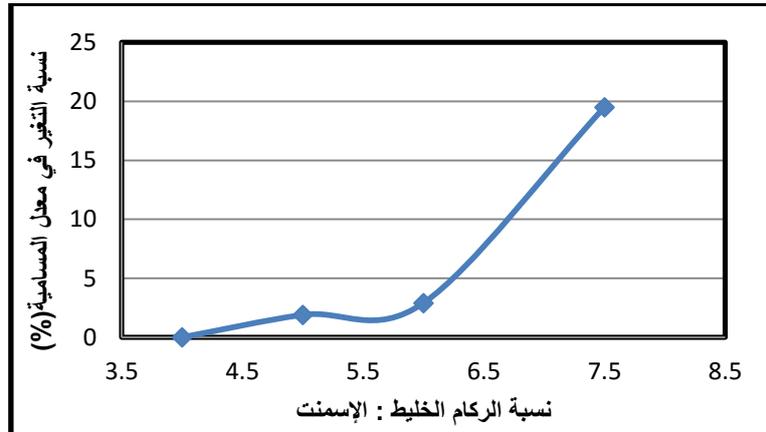
شكل 6: تأثير نسبة الركام إلى الإسمنت على نفاذية الخرسانة



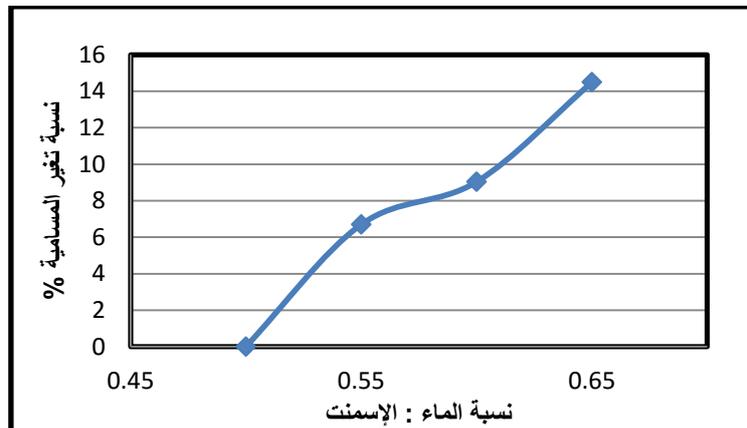
شكل 7: تأثير نسبة الماء إلى الإسمنت على نفاذية الخرسانة



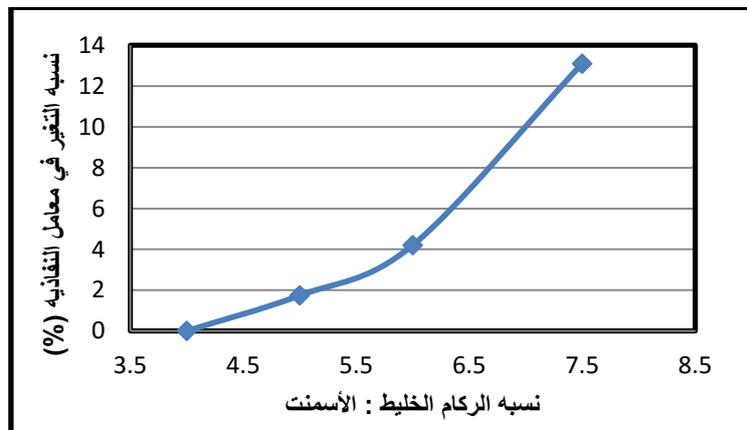
شكل 8: العلاقة بين النفاذية والمسامية



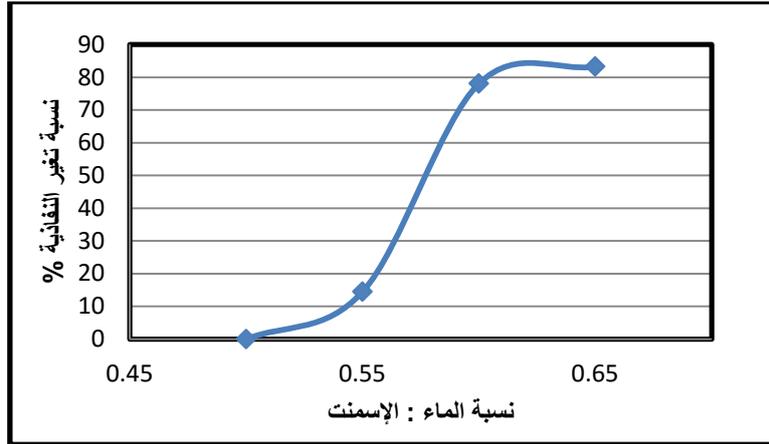
شكل 9: نسبة التغير في المسامية ونسبة الركام الخليط إلى الإسمنت



شكل 10: نسبة التغير في المسامية ونسبة الماء إلى الإسمنت



شكل 11 : نسبة تغير معامل النفاذية مع نسبة الركام إلى الإسمنت



شكل 12: نسبة تغير معامل النفاذية مع نسبة الماء إلى الإسمنت

2- هناك تغير في قيمة المسامية عند تغيير نسبة الماء إلى الإسمنت حيث وجد أن قيمة المسامية تزداد بزيادة نسبة الماء إلى الإسمنت، فعند زيادة نسبة الماء إلى الإسمنت من (0.5) إلى (0.55) وجد أن نسبة الزيادة في المسامية (6.7%) وعند زيادة نسبة الماء إلى الإسمنت من (0.5) إلى (0.6) لوحظ أن نسبة الزيادة (9.04%) وبزيادة نسبة الماء إلى الإسمنت من (0.5) إلى (0.65) وجد أن نسبة الزيادة (14.5%)، ويعزى سبب هذه الزيادة في المسامية إلى زيادة الفجوات داخل الخرسانة بزيادة نسبة الماء إلى الإسمنت.

3- هناك تغير في قيمة معامل النفاذية عند تغيير نسبة الركام إلى الإسمنت حيث وجد أن النفاذية تزداد بزيادة نسبة الركام إلى الإسمنت، فعند زيادة نسبة الركام إلى الإسمنت من (1:4) إلى (1:5) تكون نسبة التغير (1.74%) وعند زيادة نسبة الركام إلى الإسمنت من (1:4) إلى (1:6) وجد أن نسبة التغير (4.2%) و بزيادة نسبة الركام إلى الإسمنت من (1:4) إلى (1:7.5) لوحظ أن نسبة التغير هي (13.1%)، وقد يعزى سبب الزيادة في النفاذية إلى أنه عند زيادة نسبة الركام إلى الإسمنت يؤدي إلى زيادة التشققات في المنطقة الإنتقالية بين عجينه الإسمنت والركام.

4- حصول زيادة في معامل النفاذية عند زيادة نسبة الماء إلى الإسمنت، فعند زيادة نسبة الماء إلى الإسمنت من (0.5) إلى (0.55) كانت نسبة التغير في معامل النفاذية (14.5%) وعند زيادة نسبة الماء إلى الإسمنت من (0.5) إلى (0.6) كانت نسبة الزيادة في قيمة معامل النفاذية (78.1%) وعند زيادة نسبة الماء إلى الإسمنت من (0.5) إلى (0.65) وجد أن نسبة التغير في قيمة معامل النفاذية (83.3%). وقد يعزى سبب الزيادة في معامل النفاذية عند زيادة نسبة الماء إلى الإسمنت تؤدي إلى زيادة الفجوات داخل الخرسانة كما أنه بزيادة نسبة الماء إلى الإسمنت يصبح قوام الخرسانة مبتلا ويسمح بهبوط حبيبات الركام إلى الأسفل ومن ثم خروج الماء إلى السطح من خلال ممرات شعيرية تبقى موجودة بعد جفاف الخرسانة، كما يؤدي إلى زيادة الشقوق والفجوات في المنطقة الإنتقالية بين حبيبات الركام وعجينه الإسمنت بسبب انكماش الجفاف.

5- تزداد النفاذية مع زيادة المسامية بشكل غير خطي مما يؤكد بان المسامية ليست العامل الوحيد لتحديد قيمة النفاذية وأن اتصالية الفجوات لتكوين قنوات هو العامل الأكثر تأثيرا في تحديد النفاذية.

الإستنتاجات

1. لقد أشرت النتائج تأثيرا مختلفا لكل من نسبة الماء إلى الإسمنت ونسبة الركام إلى الإسمنت على مسامية ونفاذية الخرسانة. فقد كان هناك نقصان في المسامية بنسبة (19.5%) وزيادة في النفاذية بنسبة (13.1%) عند تغير نسبة الركام إلى الإسمنت من (1:4) إلى (1:75) بينما لم تتجاوز نسبة الزيادة في المسامية (14.5%) عند تغير نسبة الماء إلى الإسمنت من (0.5) إلى (0.65) في حين وصلت نسبة الزيادة في النفاذية إلى (83.3%).
2. إختلاف معدل التغير في المسامية والنفاذية بتغير نسبتي الركام والماء إلى الإسمنت مما يفسر العلاقة غير الخطية بينهما ويؤكد بان المسامية ليست العامل الوحيد في تحديد نفاذية الخرسانة.

شكر وتقدير:

يقدم الباحث الشكر لقسم الهندسة المدنية في كلية الهندسة صبراتة جامعة الزاوية لما قدموه من دعم لإنجاز هذا البحث وعلى الأخص المهندسين حسام علي العقيد وشادي أنيس فهد لإنجازهم الجانب العملي، والشكر أيضا إلى معهد المهن الشاملة في الزاوية لمساعدتهم في إجراء الفحوصات المخبرية.

المراجع

1. Mehta, P. K., 1986. Concrete : Structure , Properties and Materials, Prentice-Hall, New Jersey, 1986.
2. Nyame,B.K., 1985. Permeability of Normal and Light Weight Mortar, Magazine of Concrete Research, Vol.37, No.130 , March 1985, PP. 44-48.
3. Matti, M. A., 1976. Some Properties and Permeability of Concrete in Direct Contact with Crude Oil, Ph.D. Thesis, University of Sheffield, 1976.
4. Watson, A. J., and Oyeka, C. C., 1981. Oil Permeability of Hardened Cement Paste and Concrete, Magazine of Concrete Research, Vol.33, No.115, Jan. 1981, PP. 85- 95.
5. Nyame,B.K., and Illston,J.M.,1981.Relationship Between Permeability and Pore Structure of Hardened Cement Paste ,Magazine of Concrete Research, Vol.33, No116, September 1981, PP. 139 – 146 .
6. B. Miloud, 2005. Permeability and Porosity Characteristics of Steel Fiber Reinforced Concrete, Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing), Vol6, No. 4, 200, PP. 317-330.
7. Okpala, D. C., 1989. Crude Oil Permeability of Hardened Cement Mortar, The Indian Concrete Journal, Vol.63, No.6, March-April ,1989, PP.295-300.
8. Salih, S. A. 1987. Permeability and Pore Structure of Cementitious Composites, Ph.D. Thesis, University of Sheffield, 1987.
9. British Standards Institution, B.S. 882: 1992. Aggregate from natural sources for concrete, London.
10. B.S.1881, Part 116, 1989, Method for Determination of Compressive Strength of Concrete Cubes, British Standard Institute London.
11. المواصفات الليبية (م ل 340 : 1997).

تأثير إضافة ألياف البولي بروبيلين على خواص الخرسانة الطرية والمتصلبة

م. سارة سليمان العقبي
مهندسة مدنية

د. محمد على عبدالله الصغير
محاضر

د. غصن محمد الكفري
أستاذ مشارك

قسم الهندسة المدنية - جامعة سرت قسم الهندسة المدنية - جامعة سرت

ملخص

يدرس هذا البحث تأثير إضافة ألياف البولي بروبيلين (polypropylene fibers) على خواص الخرسانة الطرية والمتصلبة. أضيفت ألياف البولي بروبيلين ذات الطول 12ملم وكانت نسبة طول الألياف إلى قطرها 96.5 وبنسب (0.15، 0.30، 0.45) % من الحجم الكلي للخرسانة، وتمت مقارنة جميع الخلطات الخرسانية المضاف إليها ألياف البولي بروبيلين بخلطة خرسانية لم تستخدم فيها الألياف حيث أعتبرت هذه الخلطة مقياساً للمقارنة. ولدراسة تأثير الألياف على الخواص الميكانيكية للخرسانة أُجريت الاختبارات التالية:

- اختبار مقاومة الضغط (Compressive Strength Test)
- اختبار الشد غير المباشر (اختبار الإنشطار) (Splitting Tensile Strength Test)
- اختبار مقاومة الإنحناء (Flexural Strength Test)

تم إجراء هذه الاختبارات على العينات وهي بعمر 7 و28 يوم، حيث بلغ العدد الإجمالي للعينات 80 عينة. وأظهرت النتائج أن إضافة ألياف البولي بروبيلين بنسبة قليلة إلى الخرسانة تعطي زيادة ملحوظة في مقاومة الضغط والشد والإنحناء، وأكبر تحسن في الخواص الميكانيكية كان باستخدام الألياف بنسبة 0.15% من حجم الخرسانة. كما تم إجراء اختبار قابلية التشغيل للخلطات الخرسانية باستخدام مخروط إبرامز، وبالرغم من أن الألياف غير ممتصة للماء، إلا أنها قللت قابلية التشغيل للخرسانة الطرية بشكل كبير. إن الغاية من هذا العمل هو دراسة تأثير إضافة ألياف البولي بروبيلين على خواص الخرسانة الطرية والمتصلبة وحساب التحسن النسبي في خواص الخرسانة المقواة بالألياف (PFRC) وذلك عن طريق مقارنتها بالخرسانة العادية (Plain Concrete)، وإيجاد أفضل نسبة من الألياف تعطي أكبر تحسن في خواص الخرسانة، وتوضيح الاختلاف في أشكال الفشل ما بين الخرسانة العادية والخرسانة المقواة بالألياف.

1. مقدمة

شهدت العقود الثلاثة الماضية إهتماماً متزايداً لاستخدام الألياف في الخرسانة. هذه الألياف قد تكون مصنوعة من البلاستيك أو الحديد أو الزجاج أو من مواد طبيعية مثل الخشب، وهي مختلفة الأشكال والأحجام والسماكة حيث تتراوح أطوالها من 6 ملم إلى 150 ملم وسماكتها من 0.005 ملم إلى 0.75 ملم. وكما هو معلوم بأن الخرسانة هي مادة قصفة ذات مقاومة شد ضعيفة^[5]، ولتحسين خواصها تتم إضافة الألياف إليها أثناء عملية الخلط، ومن بين الألياف التي استخدمت بنجاح في الخرسانة هي ألياف البولي بروبيلين حيث أنها تتمتع بخواص جعلتها مناسبة للإستخدام في تقوية الخرسانة. فهي ذات كثافة منخفضة^[6] وخاملة كيميائياً أي أنها لا تتفاعل مع الخرسانة وغير قابلة للصدأ، وبالرغم من أن الألياف تعمل بنفس مبدأ حديد التسليح العادي إلا أنها تختلف عنه في كونها موزعة على كامل المقطع الخرساني بينما يوضع حديد التسليح في الأماكن المطلوبة فقط^[7].

1.1 مميزات استخدام الألياف^[9]

- مناسبة للإستخدام في المقاطع الخرسانية الرفيعة عندما يكون من الصعب وضع حديد التسليح العادي.
- التقليل من الوزن الذاتي للخرسانة.

2.1 عيوب استخدام الألياف^[9]:

- بما أن الألياف تكون موزعة على كامل المقطع الخرساني بالتالي فإن كمية كبيرة من الألياف الواقعة في منطقة الضغط لن يكون لها دور في مقاومة الشد.
- الكثير من الألياف تكون ممتدة خلال الشقوق بزوايا غير زاوية 90° أو يكون طول الجزء المغمور من الألياف في الخرسانة غير كاف لمقاومة اتساع الشق، لذلك فإن كمية كبيرة من الألياف لن تكون فعالة في مقاومة الشد والإنحناء.
- عملية استخدام الألياف في الخرسانة عملية حساسة ودقيقة ومكلفة أكثر من إنتاج الخرسانة العادية .

2. الدراسة العملية**1.2 عينات الإختبار**

كان إجمالي عدد العينات (مكعبات، إسطوانات، كمرات) 80 عينة: 24 مكعبا و 40 إسطوانة و 16 كمره. تم إختبار مقاومة الضغط على مكعبات أبعادها 150x150x150 ملم وإسطوانات قطرها 150 ملم وارتفاعها 300 ملم، وتم استخدام إسطوانات بنفس الأبعاد في إختبار الشد غير المباشر، أما إختبار مقاومة الإنحناء فقد تم باستخدام كمرات أبعادها 750x150x150 ملم.

2.2 المواصفات

الإختبارات التي أجريت على الخرسانة الطرية والمتصلبة وكذلك الإختبارات التي أجريت على مكونات الخرسانة من رمل وحصى وإسمنت كلها خاضعة للمواصفات العالمية، والجدول (1-2) يبين أرقام هذه المواصفات.

3.2 مكونات الخرسانة**1.3.2 الإسمنت:**

الإسمنت المستخدم في هذا البحث هو إسمنت بورتلاندي عادي من إنتاج مصنع زليتن، وتم إجراء الإختبارات العملية عليه لتحديد خواصه وكان من نتائج الإختبارات التالي: الوزن النوعي = 3.18.

2.3.2 الركام:**1.2.3.2 الحصى:**

نصف كمية الحصى المستخدم في الخلطة الخرسانية كانت بقطر 20 ملم تقريبا والنصف الآخر بقطر 10 ملم تقريبا، وقد تم إجراء التجارب والإختبارات على هذا الحصى لتحديد خواصه، فكانت نتائجها كالتالي:
الوزن النوعي = 2.363، نسبة الإمتصاص = 4.025 %، محتوى الرطوبة = 0.963 %

جدول (1-2): إختبارات البحث

الإختبارات	أرقام المواصفات
الإسمنت	
نعومة الإسمنت باستخدام منخل رقم 200	ASTM C 184-83
الكثافة والوزن النوعي للإسمنت	ASTM C 188-87
الركام (الحصى والرمل)	
محتوى الرطوبة للركام (الرمل والحصى)	ASTM C 566-84
الوزن النوعي ونسبة الإمتصاص للحصى	ASTM C 127-88
الوزن النوعي ونسبة الإمتصاص للرمل	ASTM C 128-88
التحليل المنخلي للحصى	ASTM C 136-84a
التحليل المنخلي للرمل	BS 882:1992
الخرسانة الطرية و المتصلبة	
إختبار الهبوط	ASTM C 143-89a
مقاومة الضغط للعينات الخرسانية المكعبة	BS 1881 : part 116 : 1983
مقاومة الضغط للعينات الخرسانية الإسطوانية	ASTM C 39-86
مقاومة الشد غير المباشر	ASTM C 496-86
مقاومة الإنحناء	ASTM C78 [C 1018 - 97]

التحليل المنخلي: نتائج إختبار التحليل المنخلي للحصى المستخدم موضحة في الشكل (1-2): منحنى يمثل التدرج الحجمي للحصى المستخدم ومنحنيان آخران يمثلان الحد الأعلى والحد الأدنى للمواصفات الأمريكية (ASTM)، وكما هو واضح من الرسم البياني فإن تدرج الحصى المستخدم يقع ضمن الحدود المسموح بها في المواصفات الأمريكية.



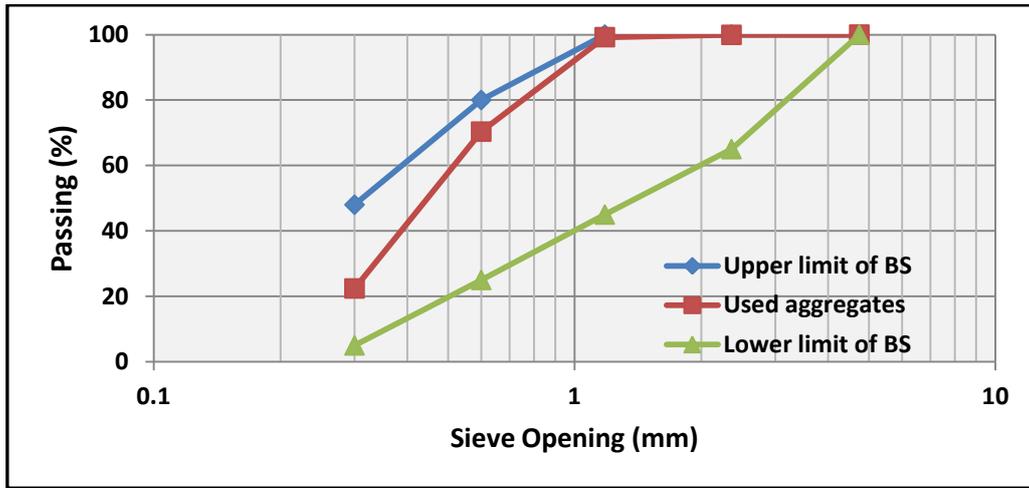
شكل (1-2): المنحنى البياني لنتائج التحليل المنخلي للحصى

2.2.3.2 الرمل:

الرمل المستخدم في تصميم الخلطة الخرسانية مصدره مدينة سرت، أجريت عليه الإختبارات المعملية اللازمة وتم الحصول على الخواص التالية:

الوزن النوعي = 2.778، نسبة الإمتصاص = 0.929 %، محتوى الرطوبة = 0.241 %

التحليل المنخلي: الرمل المستخدم لم يطابق المواصفات الأمريكية، ولكنه طابق المواصفات البريطانية. نتائج إختبار التحليل المنخلي للرمل موضحة في الشكل (2-2)، وطبقاً للمواصفات البريطانية (BS 882:1992) فإن هذا الرمل يصنف كرمال متوسط الحجم، ومعامل النعومة لهذا الرمل = 2.1.



شكل (2-2): المنحنى البياني لنتائج التحليل المنخلي للرمل

3.3.2 الماء:

الماء المستعمل للخلطات الخرسانية في هذا البحث هو من مياه الصنبور بالمعمل، وهي مياه نقية وخالية من الشوائب.

4.3.2 الألياف:

كما تم ذكره سابقاً فإنه تمت إضافة ألياف البولي بروبيلين إلى الخلطة الخرسانية بنسب مختلفة لدراسة تأثيرها على خواص الخرسانة، وخواص ألياف البولي بروبيلين التي أستخدمت هي كالتالي:

جدول (2-2): خواص ألياف البولي بروبيلين

الوزن النوعي: 0.91	الإمتصاص: لا تمتص الماء
مقاومة القلوويات: جيدة	مقاومة الأملاح و الأحماض: عالية
طول الألياف: 12ملم	نسبة طول الألياف إلى قطرها: 96.5
نقطة الذوبان: 162°م	نقطة الإشتعال: 593°م
توصيل الحرارة: منخفض	توصيل الكهرباء: منخفض

4.2 تصميم الخلطة

أستخدمت طريقة الحجم المطلق لتصميم الخلطة الخرسانية، وفي هذه الطريقة تحسب نسب الخلط اعتماداً على أن الحجم الكلي للخلطة الخرسانية الطازجة يساوي مجموع حجوم المكونات:

$$\frac{W_w}{\rho_w} + \frac{W_c}{\rho_c} + \frac{W_g}{\rho_g} + \frac{W_s}{\rho_s} + 0.01 = 1$$

ويعطي الجدول (3-2) الأوزان لمتر مكعب واحد من الخرسانة.

جدول (3-2): اوزان مكونات الخرسانة لكل متر مكعب

Weight (kg) for 1m ³	Cement	Sand	Gravel	Water
	350.0	717.5	1050.0	199.9

وتم إضافة ألياف البولي بروبيلين إلى الخرسانة بثلاث نسب مختلفة (0.15، 0.30، 0.45%) من الحجم الكلي للخرسانة.

3. النتائج

1.3 خواص الخرسانة الطرية

1.1.3 نتائج إختبار الهبوط:

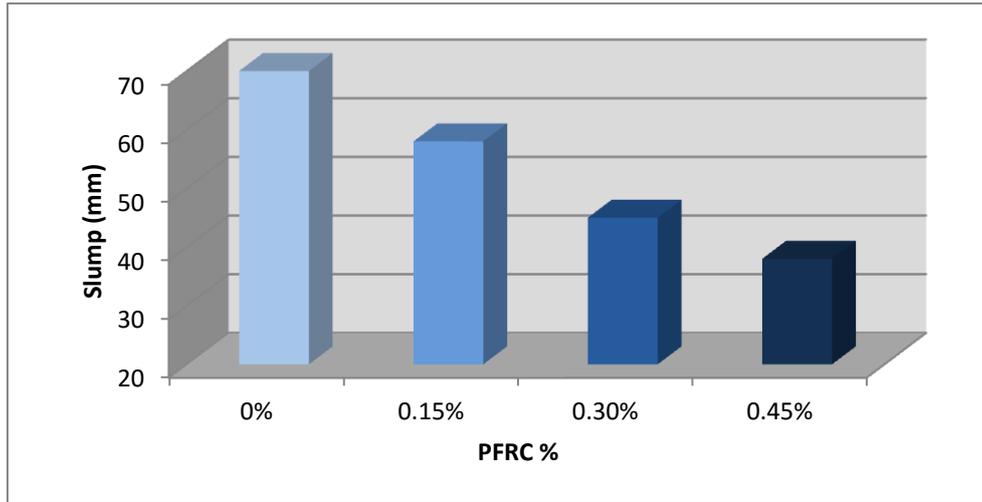
تم إجراء إختبار الهبوط باستخدام مخروط إبرامز، ونتائج هذا الإختبار للخلطة الخرسانية العادية (بدون ألياف) والخلطات الخرسانية المضاف إليها الألياف بنسب مختلفة مبينة في الجدول (3-1) والشكل (3-1).

جدول (3-1): نتائج إختبار الهبوط

Fiber content	Control (without fibers)	Polypropylene 0.15%	Polypropylene 0.3%	Polypropylene 0.45%
Slump (mm)	70	58	45	38

هناك اختلاف في الهبوط ما بين الخرسانة العادية والخرسانة المقواة بالألياف، تم ملاحظة نقص كبير في قابلية التشغيل حيث أن إضافة ألياف البولي بروبيلين قللت الهبوط بمقدار 17.1% و 35.7% و 45% عند نسبة ألياف 0.15 و 0.30 و 0.45% على التوالي.

وجود الألياف سبب زيادة في كمية الهواء المحصور داخل الخرسانة وبالتالي أنقص قابلية التشغيل للخرسانة، ومع أن ألياف البولي بروبيلين غير ممتصة للماء لكنها تستهلك جزء من ماء الخلط لتغليف سطحها من الخارج مما يؤدي أيضا لتقليل قابلية التشغيل. وبالرغم من ذلك لا ينصح المقاولون بزيادة كمية الماء في الخلطة الخرسانية المضاف لها الألياف بالقول أن قابلية التشغيل للخرسانة المضاف لها الألياف تكون كافية لصبها ودمكها، كما أن زيادة كمية الماء في الخلطة تؤدي إلى نقص مقاومة الخرسانة وزيادة إنكماشها.

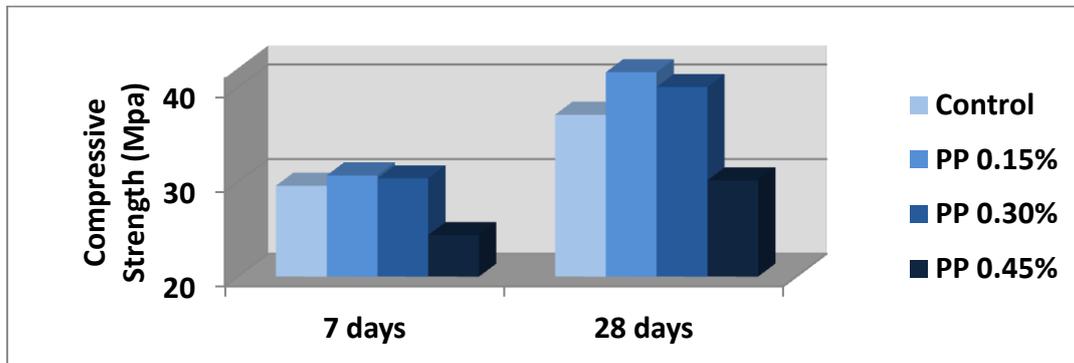


شكل (1-3): نتائج إختبار الهبوط

2.3 الخواص الميكانيكية للخرسانة المتصلبة

1.2.3 مقاومة الضغط:

نتائج إختبار مقاومة الضغط للمكعبات الخرسانية العادية والمكعبات الخرسانية المضاف لها ألياف البولي بروبيلين موضحة في الشكل (2-3)، حيث تم إجراء الإختبار على المكعبات وهي بعمر 7 ايام و 28 يوم، كذلك يبين الجدول (2-3) مقاومة الضغط النسبية لهذه المكعبات. في جميع إختبارات الخرسانة المتصلبة تم حساب المقاومة النسبية للعينات التي أستخدمت فيها الألياف وذلك مقارنة بعينات الخرسانة العادية لتوضيح تأثير الألياف بشكل أكبر.



شكل (2-3): مقاومة الضغط للمكعبات بعمر 7 و 28 يوم

جدول (2-3): مقاومة الضغط النسبية للمكعبات (%)

Fiber fraction by volume	Time of test in days	
	7 days	28 days
Control	100.0	100.0
PP 0.15%	108.9	112.1
PP 0.30%	102.6	107.9
PP 0.45%	82.4	81.3

تم إجراء اختبار مقاومة الضغط على عينات إسطوانية أيضاً، والنتائج مبينة في الجدول (3-3) والجدول (4-3)، بينما يبين الجدول (5-3) النسب بين مقاومة الضغط للمكعبات ومقاومة الضغط للإسطوانات.

جدول (3-3): مقاومة الضغط للإسطوانات (MPa)

Fiber fraction by volume	Time of test in days	
	7 days	28 days
Control	23.74	29.05
PP 0.15%	25.47	31.96
PP 0.30%	24.55	30.59
PP 0.45%	20.96	24.22

جدول (4-3): مقاومة الضغط النسبية للإسطوانات (%)

Fiber fraction by volume	Time of test in days	
	7 days	28 days
Control	100.0	100.0
PP 0.15%	107.3	110.0
PP 0.30%	103.4	105.3
PP 0.45%	88.3	83.4

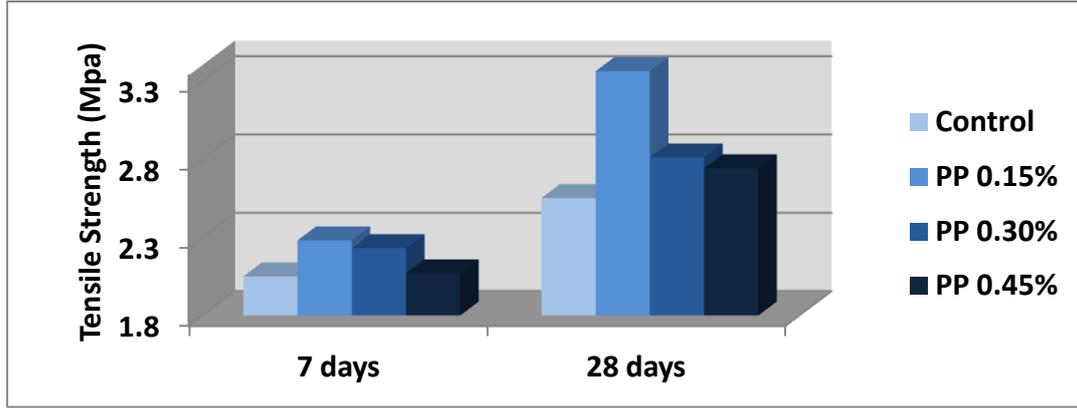
جدول (5-3): النسبة بين مقاومة الضغط للإسطوانات ومقاومة الضغط للمكعبات

Fiber fraction by volume	Time of test in days	
	7 days	28 days
Control	0.802	0.783
PP 0.15%	0.830	0.768
PP 0.30%	0.808	0.764
PP 0.45%	0.859	0.803

من النتائج السابقة يتضح أن ألياف البولي بروبيلين لها نفس التأثير على مقاومة الضغط للمكعبات والإسطوانات، حيث تتراوح النسبة بين مقاومة الضغط للإسطوانات ومقاومة الضغط للمكعبات من 0.764 إلى 0.859. إضافة ألياف البولي بروبيلين بنسب قليلة (0.15%) حسنت بشكل ملحوظ مقاومة الضغط بعمر 7 و 28 يوم، بينما حدث تحسن قليل في مقاومة الضغط عند نسبة ألياف (0.30%)، أما عندما زادت نسبة الألياف عن ذلك (0.45%) قلت مقاومة الضغط بعمر 7 و 28 يوم وأصبحت أقل من مقاومة الضغط لعينات الخرسانة العادية (بدون ألياف)، أي أن أفضل مقاومة ضغط تم الحصول عليها كانت عند نسبة ألياف 0.15%.

2.2.3 مقاومة الإنشطار (الشدة غير المباشر):

نتائج اختبار الإنشطار (الشدة الغير مباشر) لعينات الخرسانة العادية والخرسانة المضاف لها الألياف بعمر 7 و 28 يوم موضحة في الشكل (3-3)، كذلك يبين الجدول (6-3) مقاومة الإنشطار النسبية.



شكل (3-3): مقاومة الإنشطار بعمر 7 و 28 يوم

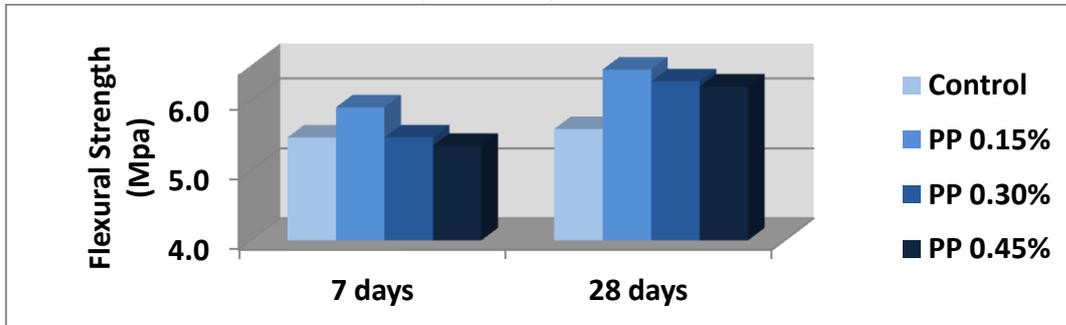
جدول (3-6): مقاومة الإنشطار النسبية (%)

Fiber fraction by volume	Time of test in days	
	7 days	28 days
Control	100.0	100.0
PP 0.15%	111.0	131.7
PP 0.30%	108.6	110.2
PP 0.45%	101.0	107.5

تبعاً لنتائج الإختبار بعد 7 و 28 يوم من تاريخ الصب، فإن هناك تحسناً كبيراً في مقاومة الإنشطار عند نسبة ألياف 0.15%. وقد لوحظ أن العلاقة بين نسبة الألياف والتحسين في مقاومة الإنشطار علاقة عكسية (أي أنه كلما زادت نسبة ألياف البولي بروبيلين قلت مقاومة الإنشطار)، ولكن مقاومة الإنشطار لجميع العينات المضاف لها الألياف مازالت أكبر مقارنة بمقاومة الإنشطار لعينات الخرسانة العادية كذلك لوحظ أن إضافة الألياف حسنت مقاومة الإنشطار (الشد غير المباشر) بشكل أكبر مقارنة بالتحسن في مقاومة الضغط، وهذه النتيجة متوقعة لأن دور الألياف يظهر بشكل أكبر عندما تتعرض الخرسانة للشد من لو أنها تعرضت للضغط.

3.2.3 مقاومة الإنحناء:

يوضح الشكل (3-4) نتائج إختبار مقاومة الإنحناء لعينات الخرسانة العادية والخرسانة المضاف لها الألياف بعمر 7 و 28 يوم، وكذلك تم حساب مقاومة الإنحناء النسبية وهي موضحة في الجدول (3-7).



شكل (3-4): مقاومة الإنحناء بعمر 7 و 28 يوم

جدول (3-7): مقاومة الإنحناء النسبية (%)

Fiber fraction by volume	Time of test in days	
	7 days	28 days
Control	100.0	100.0
PP 0.15%	107.9	115.2
PP 0.30%	103.4	112.2
PP 0.45%	100.0	110.9

من النتائج السابقة يتضح أن إضافة ألياف البولي بروبيلين ليس لها تأثير كبير على مقاومة الإنحناء للخرسانة بعمر 7 أيام. تأثير ألياف البولي بروبيلين كان واضحاً بشكل أكبر على الخرسانة التي بعمر 28 يوم، فقد لوحظ تحسن كبير في مقاومة الإنحناء للكمرات التي استخدمت فيها الألياف حيث تتراوح الزيادة في مقاومة الإنحناء لهذه الكمرات من حوالي 11% إلى 15% إذا ما قورنت بمقاومة الإنحناء لكمرات الخرسانة العادية وأعلى مقاومة إنحناء كانت عند نسبة ألياف 0.15%.

3.3 أشكال الفشل للعينات

3.3.3 العينات المستخدمة في اختبار الضغط:

هناك إختلاف كبير في شكل الفشل بين مكعبات الخرسانة العادية ومكعبات الخرسانة المضاف لها الألياف؛ ففي مكعبات الخرسانة العادية الفشل يأخذ الشكل التقليدي الذي هو عبارة عن مخروطين متداخلين، أما مكعبات الخرسانة المضاف لها الألياف فإنها تضل محافظة على شكلها حتى عند حمل الفشل النهائي.

3.3.3 العينات المستخدمة في اختبار الإنشطار (الشد غير المباشر):

شكل الفشل بالنسبة لإسطوانات الخرسانة العادية (بدون ألياف) كان بانقسامها إلى نصفين، أما في حالة إسطوانات الخرسانة المضاف لها الألياف فقد ظلت الإسطوانات متماسكة ومحافظة على شكلها حتى بعد الوصول إلى حمل الفشل النهائي ولكن تكون شق طويل على طول كل إسطوانة.

3.3.3 العينات المستخدمة في اختبار الإنحناء :

لم يكن هناك إختلاف في شكل الفشل بين عينات الخرسانة العادية وعينات الخرسانة المضاف لها الألياف؛ ففي كلا الحالتين الفشل حدث فجأة، أي يبدأ الشق في التكون ويمتد ويتسع ثم يحدث الفشل النهائي كل ذلك في لحظة واحدة.

4. الإستنتاجات

1. إضافة ألياف البولي بروبيلين قللت بشكل كبير قابلية التشغيل للخرسانة الطرية، حيث قل هبوط الخرسانة بمقدار 17.1% و 35.7% و 45.7% عند نسبة ألياف 0.15% و 0.30% و 0.45% على التوالي.
2. إضافة ألياف البولي بروبيلين بنسب قليلة تحسن الخواص الميكانيكية للخرسانة (مقاومة الضغط والإنشطار والإنحناء)، وأفضل نسبة من الألياف أعطت أعلى النتائج في إختبارات الخواص الميكانيكية هي 0.15% من الحجم الكلي للخرسانة.

3. عند نسبة ألياف 0.15% كان التحسن في مقاومة الضغط 8.9% و 12.1% بعمر 7 و 28 يوم، وعند نسبة 0.30% زادت مقاومة الضغط بمقدار 2.6% و 7.9% بعمر 7 و 28 يوم، وعندما زادت نسبة الألياف إلى 0.45% قلت مقاومة الضغط بمقدار 17.6% و 18.7% بعمر 7 و 28 يوم على التوالي.
4. النسبة بين مقاومة الضغط للمكعبات ومقاومة الضغط للإسطوانات تقريبا هي نفسها لكل من عينات الخرسانة العادية وعينات الخرسانة المضاف لها الألياف.
5. إضافة ألياف البولي بروبيلين حسنت مقاومة الإنشطار (الشد غير المباشر) بشكل أكبر من التحسن في مقاومة الضغط، حيث أنه بعمر 7 أيام كان التحسن في مقاومة الإنشطار 11% و 8.6% و 1% عند نسبة ألياف 0.15% و 0.30% و 0.45% على التوالي. وبعمر 28 يوم زادت مقاومة الإنشطار بمقدار 31.7% و 10.2% و 7.5% عند نسبة ألياف 0.15% و 0.30% و 0.45%.
6. تأثير الألياف البولي بروبيلين على مقاومة الإنحناء يظهر بشكل أكبر على الخرسانة بعمر 28 يوم، فبعمر 28 يوم كان التحسن 15.2% و 12.2% و 10.9% عند نسبة ألياف 0.15% و 0.30% و 0.45% مقارنة بمقاومة الإنحناء لكمرات الخرسانة العادية. أما بعمر 7 أيام فقد كان التحسن في مقاومة الإنحناء 7.9% و 3.4% عند نسبة ألياف 0.15% و 0.30% ولم يظهر أي تحسن عند نسبة ألياف 0.45%.
7. شكل الفشل للخرسانة المضاف لها الألياف تحت إختبار الضغط ولإنشطار (الشد غير المباشر) يختلف عنه في الخرسانة العادية؛ ففي حالة الخرسانة المضاف لها الألياف ظلت العينات متماسكة ومحافظه على شكلها حتى بعد الوصول إلى حمل الفشل النهائي.
8. في حالة إختبار مقاومة الإنحناء لا يوجد إختلاف في شكل الفشل بين كمرات الخرسانة العادية وكمرات الخرسانة المضافة لها الألياف، في كلا الحالتين يحدث الفشل فجأة وتنقسم الكمرات إلى جزأين عند الوصول إلى حمل الفشل النهائي.

5. المراجع

- [1] ACI Committee 544, State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete, ACI 544.1R-96, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1997.
- [2] Marikunte, S.; Aldea, C.; and Shah, S., "Durability of Glass Fiber Reinforced Cement Composites: Effect of Silica Fume and Metakaolin," Advanced Cement Based Materials, Volume 5, Numbers 3/4, April/May 1997.
- [3] Suprenant, Bruce A., and Malisch, Ward R., "The fiber factor," Concrete Construction, Addison, Illinois, October 1999.
- [4] Trottier, Jean-Francois, and Mahoney, Michael, "Innovative Synthetic Fibers," Concrete International, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, June 2001.
- [5] Clive, M., Calafut, T., Polypropylene-The definitive user's guide and data book, Plastics design library, PDL Handbook Series, 1998.
- [6] Frank, H.P., Polypropylene, Gordon and Breach Science Publishers, 1968.

[7] Daniel, J.I., Roller, J.J., and Anderson.E.D., Fiber reinforced Concrete, Portland Cement Association, Chapter 5, 1998.

[8] Varzavand, S “ Flexural and tensile characteristics of steel and polypropylene fiber hybrid reinforced concrete composite “Dissertation Abstracts International (USA), vol. 54, no.3, Sept. 1993.

[9] Saeed, A., Imran, A.B., Javed, I.S., and Shahzad, A.Q. “A study on properties of polypropylene fiber reinforced concrete”, Singapore, 31st Conference on “Our World in Concrete & Structures”: 16 - 17 August 2006.

[10] Ahmed, A.R. “Effect of polypropylene fibers on fresh and hardened properties of concrete”, M Eng Thesis, Sirte, Al Tahadi University, 2007.

[11] Priti, A.P., Atul, K.D., and Jatin, A. D. “Evaluation of engineering properties for polypropylene fiber reinforced concrete”, International Journal of Advanced Engineering Technology, Volume III, 2012.

توزيع الإجهادات الكامنة في وصلات الفولاذ الملحومة

أ. د. ميلود العجيلي غبار
كلية الهندسة - جامعة طرابلس
gabel20 @ yahoo.com

م. رواد أحمد كريم
ماجستير هندسة مدنية - كلية الهندسة - جامعة طرابلس
rawad_eng @ yahoo.com

المخلص

تعاني بعض الوصلات الأنبوبية الملحومة المكونة للمنشآت الفولاذية من تولد الشقوق عند قاع اللحام نتيجة الإجهاد الكامن ويرجع هذا الأخير إلى عمليات اللحام التي تسبب في حدوث تمدد محلي إما في المعدن المنصهر أو في الأجزاء الملحومة، وعندما تبرد الأجزاء الملحومة فإنها تتقلص بتفاوت تاركة إجهادات كامنة. أما بالنسبة لعمليات اللحام فينتج الإجهاد الكامن من الإجهاد مما قد يساعد في ظاهرة الكلال بالوصلات الملحومة مما يؤدي إلى تشققات تكون سببا في انهيار المنشأ.

والإجهاد الكامن (الإجهاد المتبقي) يمكن أن ينظر إليه كشكل من أشكال الطاقة الكامنة، ويشعر هذا الإجهاد بالإرتياح عندما يسלט عليه تيار دافئ أو عمليات القذف أو الإهتزاز أو حتى النقل غير المقصود، وتبقى الإجهادات الكامنة في المقطع العرضي للعنصر حتى بعد زوال المسبب الخارجي. والإجهادات الكامنة نتيجة عمليات التصنيع كانت إحدى المسببات الرئيسية لانهيار الجسر الفضي في فيرجينيا الغربية في الولايات المتحدة في ديسمبر 1967 عندما انهار وسقط في النهر. فقد أظهرت وصلات القضبان المصبوبة مستويات عالية من الإجهاد الكامن التي ساهمت في نمو الشقوق والتصدعات، وعندما وصلت الشقوق إلى أحجام حرجة كانت الكارثة حيث بدأ الجسر بالانهيار التتابعي، في أقل من دقيقة، وكان 46 سائقا ومسافرا في السيارات على الجسر في ذلك الوقت قد لقوا حتفهم، كما أن الإجهاد الكامن هو السبب الغالب للإنهيار المبكر للعناصر المهمة في الآليات.

وهذا البحث يقدم دراسة حول توزيع هذا الإجهاد الكامن عند قاع اللحام (أسفل اللحام) والمناطق المجاورة وعلاقة ذلك بتوزيع درجة حرارة اللحام وعمق اختراقه، وتخص الدراسة نوعين من الوصلات الأنبوبية الملحومة إحداها على شكل حرف (T) والأخرى على شكل حرف (K). وباستخدام كل من طريقة الأشعة السينية (X-ray) وطريقة حفر الفتحة التزايدية (incremental hole-drilling method) لتحديد توزيع الإجهادات في منطقة اللحام بالوصلتين تمت مقارنة النتائج بدراسات تجريبية أخرى. كما يقدم هذا البحث دراسة لاختبارات الكلال لهذه الوصلات الأنبوبية الملحومة لمعرفة كيفية تولد الشقوق عند قاع اللحام بسبب الإجهاد الكامن موضحا أشكال الفشل والعوامل المؤثرة على توزيع الإجهاد الكامن من سمك قطاع الأنبوب والمعالجة الحرارية لبقعة اللحام.

الكلمات الدالة: الإجهاد الكامن، المفاصل الأنبوبية، الكلال، حفر الحفرة التزايدية، المعالجة الحرارية لبقعة اللحام، الفشل.

1- المقدمة

الإجهاد الكامن (الإجهاد المتبقي) يمكن أن ينظر إليه كشكل من أشكال الطاقة الكامنة، ويشعر هذا الإجهاد بالإرتياح عندما يسלט عليه تيار دافئ أو عمليات القذف أو الإهتزاز أو حتى النقل غير المقصود، وتبقى الإجهادات الكامنة في المقطع العرضي للعنصر حتى بعد زوال المسبب الخارجي مما قد يسبب في كلال المنشأ ومن ثم انهياره. والإجهاد الكامن في التراكيب المعدنية يحدث من عدة أسباب أثناء عمليات التصنيع مثل عمليات التسخين والتبريد واللي والإحناء، ولأن البنية تنهار في أقل من دقيقة، فإن 46 سائقاً ومسافراً في السيارات على الجسر في ذلك الوقت قتلوا جراء الإجهادات الكامنة نتيجة عمليات التصنيع والتي كانت هي العامل الأول لانهيار الجسر المعلق في الجسر الفضلي في فيرجينيا الغربية في الولايات المتحدة في ديسمبر 1967. فقد أظهرت وصلات القضبان المصبوبة مستويات عالية من الإجهاد الكامن التي ساهمت في نمو الشقوق والتصدعات. وعندما تصل الشقوق إلى أحجام حرجة فإنها تنمو كارثياً وعندها تبدأ البنية بالانهيار بالتتابع، عندما انهار الجسر وسقط في النهر، كما أن الإجهاد الكامن هو السبب الغالب للانهار المبكر للعناصر المهمة في الآليات.

أما بالنسبة لعمليات اللحام فينتج الإجهاد الكامن من الإجهاد الحراري أثناء تدفئة وتبريد بقعة اللحام والمنطقة المجاورة لها وخاصة عند قاع اللحام، ومن خلال المستويات المجهرية لمنطقة اللحام لوحظ التوسع والإنكماش الحراري والتغيرات الحجمية الناتجة عنها مما يؤثر علي سلوك المنشأ.

ومن خلال النتائج التي سيتم التحصل عليها يمكن مساعدة المصممين للوصلات الفولاذية التحكم في الإجهادات التحميلية بالأخذ في الاعتبار تأثير اللحام على هذه الوصلات وتولد الإجهادات الكامنة وعلاقتها بالإجهادات التحميلية حتى يتمكن المصمم من تصميم الوصلات الفولاذية من حيث مثلاً سمك القطاع ونوع المعدن المستخدم واضعاً في الاعتبار هذه الإجهادات وكذلك أيضاً مساعدة المصممين من استخدام أفضل تقنيات اللحام وأنواعه.

2 - الوصلات الأنبوبية الملحومة

1.2 عملية اللحام

اللحام هو عملية وصل أجزاء من الفولاذ عند درجة حرارة الإنصهار (Molten State) دون اللجوء إلى أي ضغط ميكانيكي؛ فأجزاء الفولاذ المراد لحامها يتم إنصهارها بواسطة قوس كهربائي (Electric arc) أو لهب الأوكسجين والإستيلين (Oxyacetylene Flame) مع وجود سيخ اللحام (Weld Rod) والتي بدورها تعمل كمادة لاصقة من الفولاذ بالنسبة إلى الأجزاء المراد لحامها [1].

2.2 مزايا اللحام

الإنشاءات الملحومة عموماً أخف وزناً من الإنشاءات المبرشمة وهذا الجانب الإقتصادي في المواد المستعملة يرجع إلى عدم استخدام ألواح التجميع (Gusset Plates) أو مواد وصل أخرى على عكس الوصلات المبرشمة، أي توجد بها فتحات مثقبة تقلل من حجم المساحة الفعالة، بينما في اللحام تأخذ كامل مساحة المقطع. فعلى سبيل المثال، الأجزاء المسطحة الصغيرة والزوايا والمساحات يمكن لحامها بسهولة.

- اللحام يسمح بترتيب الأجزاء المعدنية المراد لحامها بحيث تعطي أكبر فعالية.
- إمكانية الإضافة والتغير للمنشأ القائم بسهولة.
- يمكن لحام أي مساحة مهما كان شكلها وحتى التي يتعذر برشمتها.

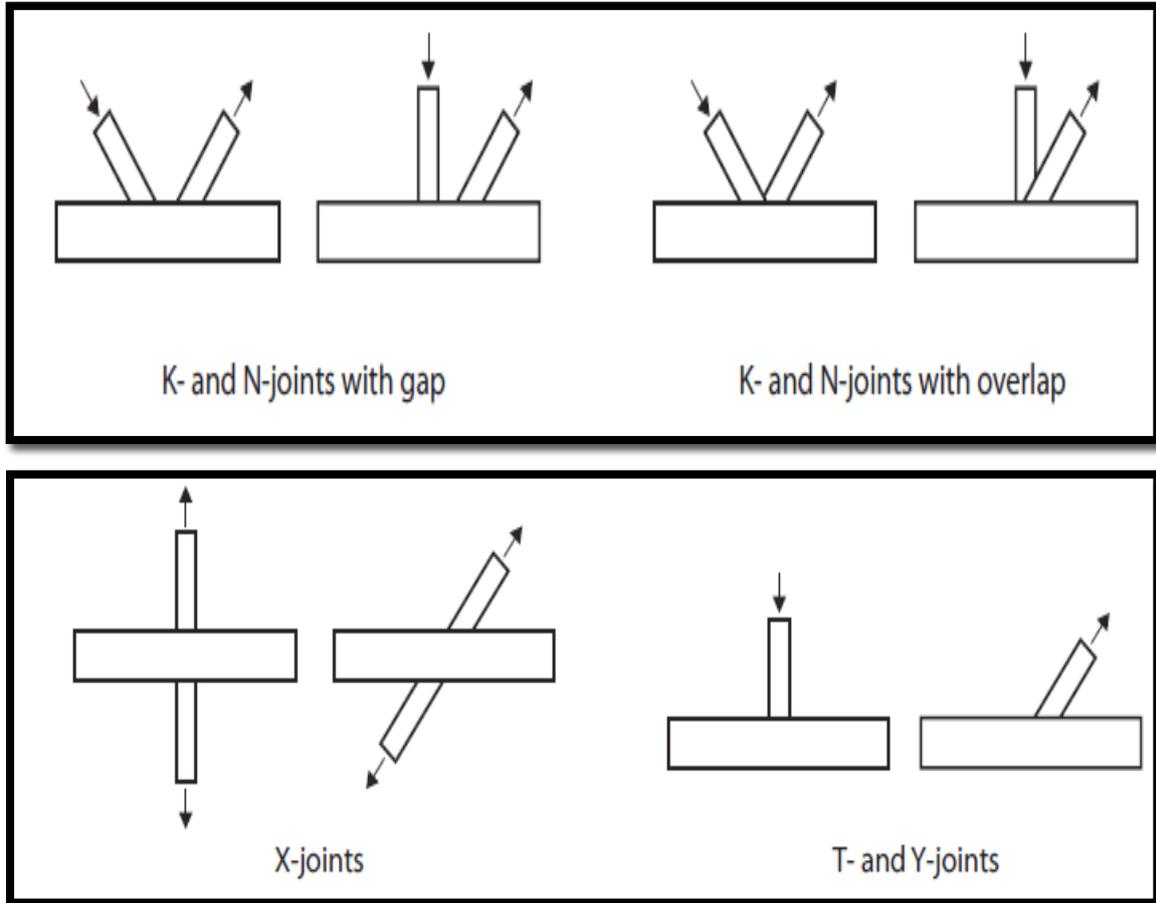
- المنشآت الملحومة تتميز بحسن جمالها ونعومة مظهرها مما يساعدها على استعمال أقل الدهانات والصيانة (بحيث يجعلها لا تحتاج إلى كمية معتبرة من الصيانة والدهانات) [1].

3.2 عيوب اللحام

- عملية اللحام تحتاج إلى إشراف ومهارة عالية.
- أثناء عملية اللحام هناك تسخين وبرودة غير منتظمة مما يسبب إنكماشاً غير متساو في الأجزاء الملحومة، وهناك بعض الإحتياجات يجب مراعاتها خلال عملية اللحام.
- يجب استعمال أقل كمية من أسياخ اللحام.
- يجب استعمال أقل عدد من الأجزاء المركبة [1].

4.2 أنواع الوصلات الأنبوبية الملحومة

الشكل (1.2) يوضح الأنواع الرئيسية من الوصلات الأنبوبية الملحومة ويجب أن تكون الزاوية بين الوتر (chord) والدعامتين (Two Bracings) بين (30-90 درجة)، وإذا كانت أقل من 30 درجة فيجب أن يضمن المصمم المتطلبات التالية:



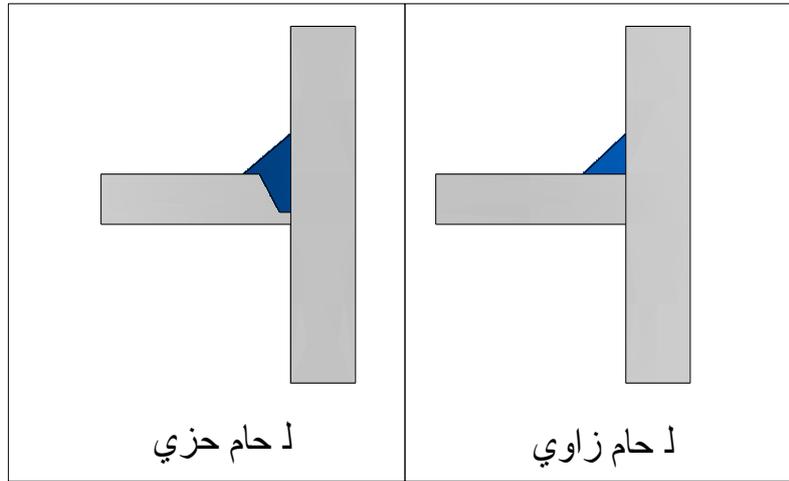
الشكل (1.2) أنواع الوصلات الأنبوبية الملحومة [10]

1. يجب على المصمم ضمان أن يكون اللحام بدرجة كافية في الزاوية الحادة.
2. يجب أن يتم حساب المقاوم المشتركة باستخدام زاوية 30 درجة بدلا من الزاوية الفعلية [2].

5.2 أنواع الوصلات الأنبوبية الملحومة حسب نوعية اللحام

يمكن تصنيف الوصلات الملحومة كما يلي [9] :

- لحام حزي (أخدودي) (Groove Weld)، الشكل (2.2)
- لحام زاوي (Fillet Weld)، الشكل (2.2)
- لحام سدادي (Plug Weld)
- لحام شقي (Slot Weld)

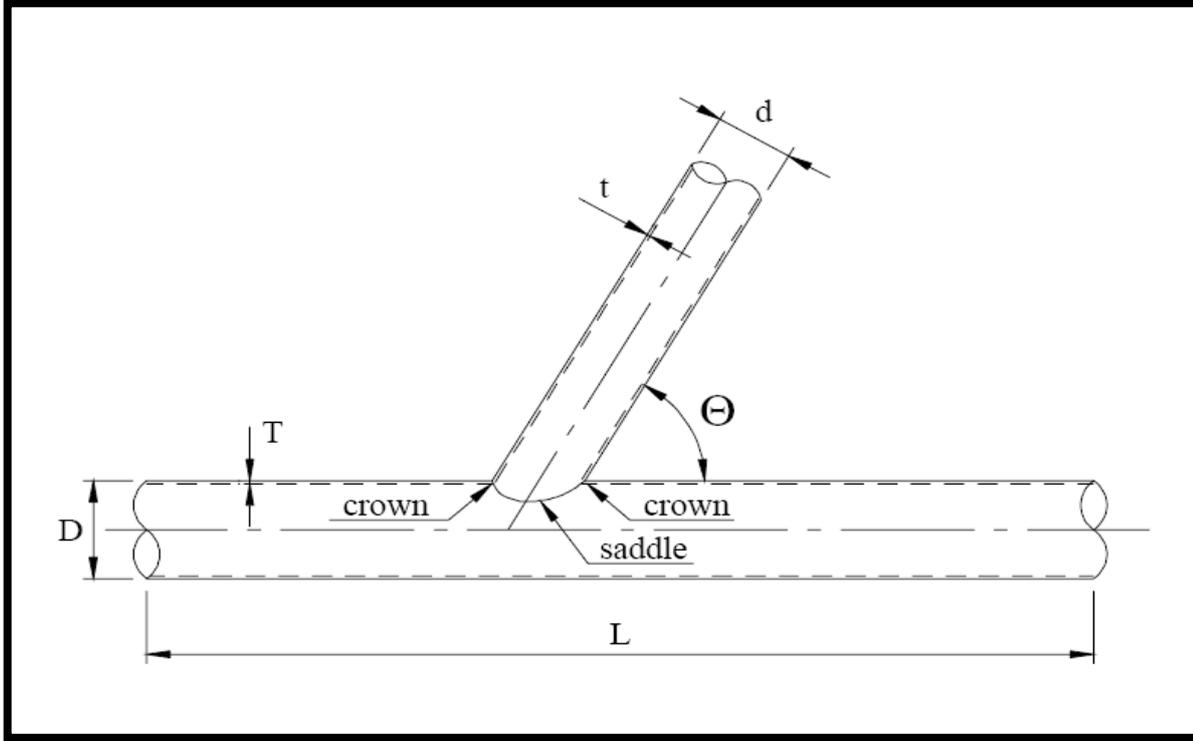


الشكل (2.2) أنواع الوصلات الأنبوبية الملحومة حسب نوعية اللحام [1]

6.2 التعريفات والرموز للوصلات الأنبوبية الملحومة

الشكل (3.2) يبين الرموز على وصلة أنبوبية ملحومة على شكل (Y) وهذه الرموز تنطبق تقريبا على أشكال الوصلات الأخرى حيث أن [3]:

- (D) القطر الخارجي للوتر (Chord).
- (d) القطر الخارجي للدعامة (Brace).
- (T) سمك جدار الوتر.
- (t) سمك جدار الدعامة.
- (L) طول الوتر.
- (θ) زاوية ميل الدعامة.



الشكل (3.2) الرموز علي وصلة أنبوبية ملحومة علي شكل (Y) [3]

7.2 إستعمالات الوصلات الأنبوبية الملحومة

تستخدم الوصلات الأنبوبية الملحومة على نطاق واسع في الأنواع التالية من المنشآت:

- 1- الإنشاءات السطحية، وتتضمن التالي:
 - الأبنية، مثل مباني الإدارة والسكن وأبنية وقوف السيارات.
 - أبنية الصالات (شكل 4.2)، مثل صالات التخزين - صالات العمل - صالات المعارض - صالات تربية المواشي - صالات الطائرات.
- 2- الجسور، وتشمل جسور السكك الحديدية - جسور الطرقات - جسور المشاة - جسور أنابيب نقل المياه والطاقة - الجسور المعدة لأغراض عسكرية.
- 3- المنشآت تحت سطح الأرض، مثل تجهيزات المناجم والأنفاق.
- 4- السقالات المعدنية والدعامات، وتشمل سقالات الحماية - سقالات الحمل - سقالات المساعدة على تنفيذ الجسور المعدنية.
- 5- الإنشاءات المائية، مثل بوابات الأمان - بوابات التحكم - منشآت رفع السفن - جسور أقينية الري - المنصات البحرية (شكل 5.2).
- 6- الروافع، مثل روافع المرفأ - روافع الورش - روافع النقل والتخزين كالروافع المتحركة.



الشكل (4.2) الوصلات الأنبوبية الملحومة المكونة للصالات [4]

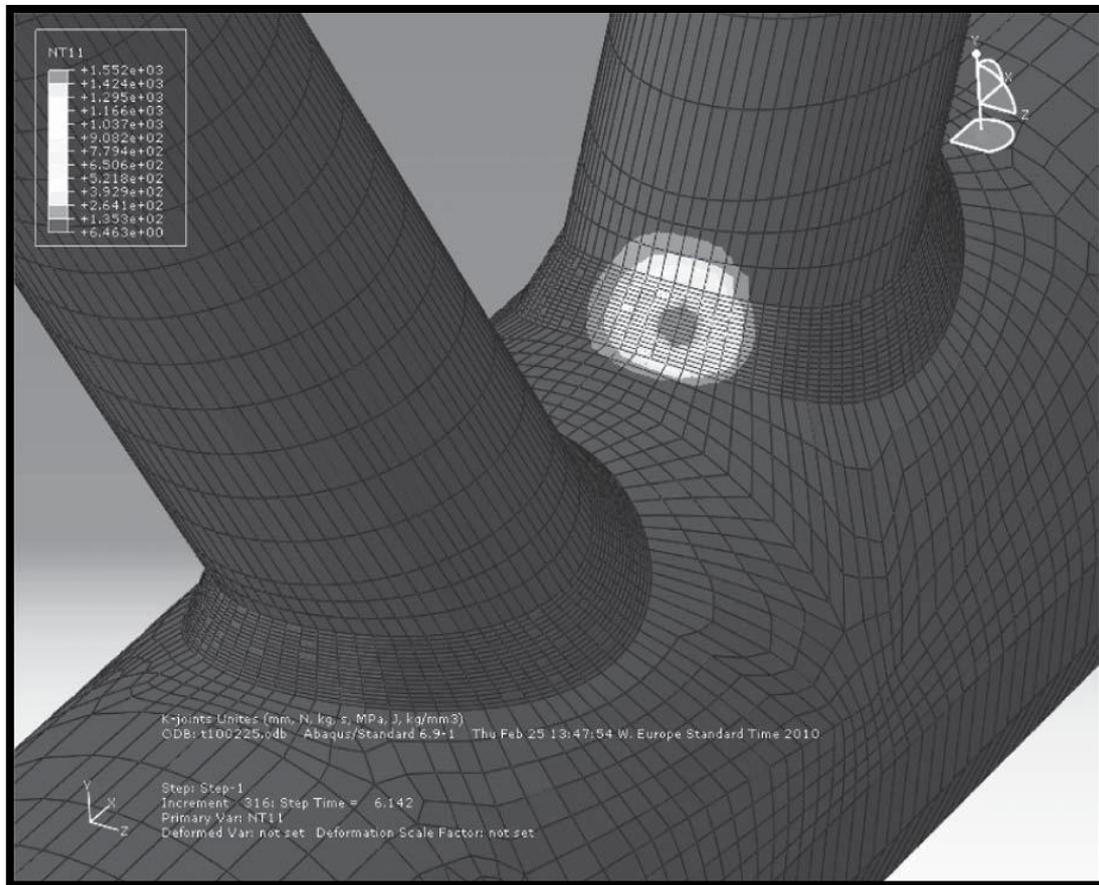


الشكل (5.2) الوصلات الأنبوبية الملحومة المكونة لمنصة بحرية [4]

3 - توزيع الإجهاد الكامن والإعياء المتعدد في الوصلات الأنبوبية الملحومة على شكل (K)

1.3 تحليل الحرارة الناتجة من اللحام

يلاحظ من الشكل (1.3) توزيع الحرارة الناتجة من اللحام في الوصلة الملحومة، حيث تبين أن أقصى درجة حرارة هي بالقرب من منطقة اتصال الدعامة بالوتر وهي المتمثلة بالمنطقة الرمادية والتي تصل درجة الحرارة فيها إلى 1552 درجة مئوية حسب الشكل، وهي أخطر منطقة حيث تتركز فيها الإجهادات الكامنة وينتج من خلالها نمو الشقوق، وأدنى قيمة لدرجة الحرارة حوالي 6.643 درجة مئوية وهي متمثلة باللون الرمادي القاتم وهذه المنطقة هي بعيدة عن منطقة الإتصال المتعرضة إلى اللحام [5].

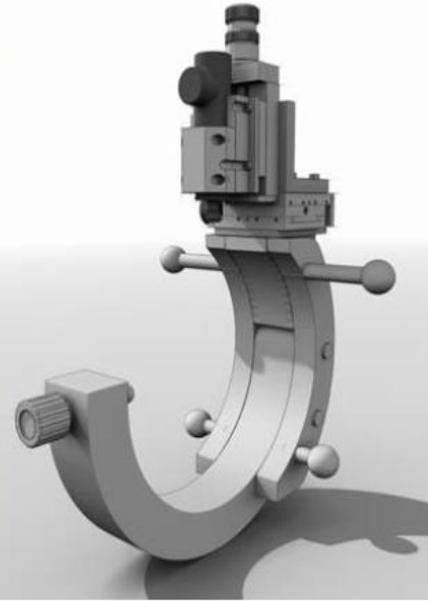


الشكل (1.3) توزيع الحرارة الناتجة من اللحام في الوصلة الملحومة [5]

2.3 الوصلة الأنبوبية الملحومة وكيفية إجراء الإختبار عليها

يتم التعرف على الإجهاد الكامن هنا من خلال جهاز متصل بأسلاك مع آلة الحفر التي تقوم بحفر الفتحة التزايدية في منطقة اللحام (منطقة اتصال الدعامة بالوتر) والمناطق المجاورة لها، والشكل (2.3) يبين ذلك، ويشترط في هذا الإختبار أن يكون المفصل خالياً من الشقوق [6].

يتم قياس الإجهاد الكامن هنا عن طريق حفر فتحة بعمق (2 مم) بالقرب من منطقة الإتصال ثم تليها الفتحات الأخرى بمسافات متباعدة عن منطقة الإتصال (قاع اللحام) وتكون المسافة بين الفتحة والأخرى (20 مم)، حيث يلاحظ أن منطقة الإتصال معرضة إلى إجهاد شد كامن يسبب في نمو الشقوق وينخفض هذا النوع من الإجهاد كلما تم الإبتعاد بمسافات عن منطقة الإتصال، والشكل (3.3) يبين الوصلة التي أجري عليها الإختبار. وقد تم قياس الإجهاد الكامن بطريقة الإجهاد المنتظم حيث أجري الإختبار على عدد ثلاث فتحات قياس حفرت على الوتر (Chord) عند كل جانب من الدعامتين (Tow Braces) [6].



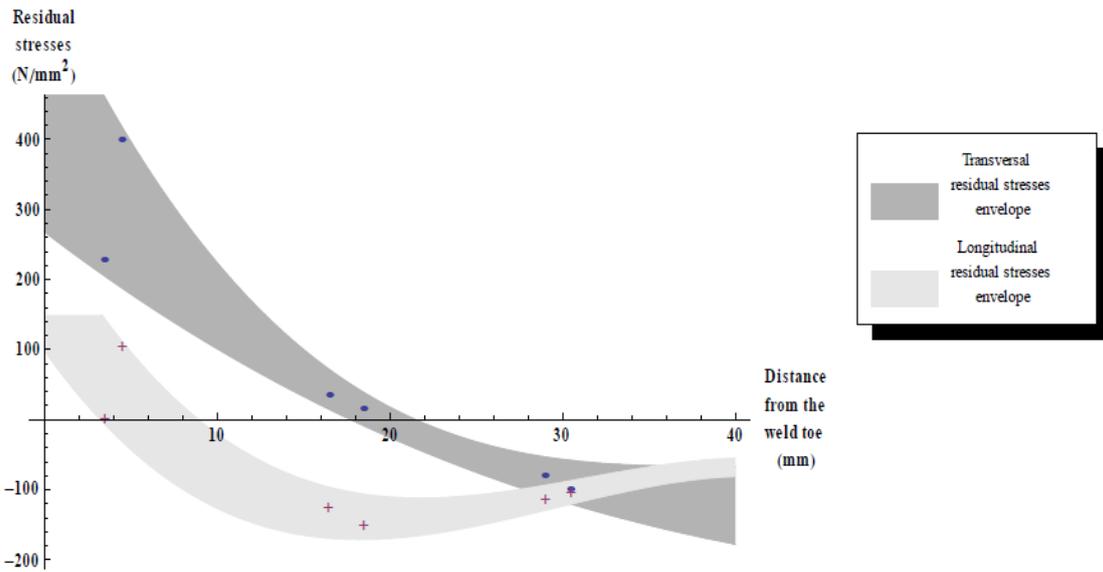
الشكل (2.3) آلة قياس الإجهاد الكامن [6]



الشكل (3.3) الوصلة التي أجري عليها الإختبار وأماكن فتحات القياس [6]

3.3 توزيع الإجهاد الكامن

الشكل (4.3) يبين الإجهادات الكامنة العرضية والتمثلة بالرموز الدائرية وكذلك الإجهادات الطولية والتمثلة بالرموز المتقاطعة [6]. ويلاحظ من الشكل (4.3) ومن خلال الإختبار الذي أجري على فتحة القياس الأولى بالقرب من اتصال الدعامة بالوتر (عند قاع اللحام) أن هذه المنطقة معرضة إلى أقصى إجهاد شد كامن عرضي ثم ينخفض هذا الإجهاد كلما ابتعدنا بمسافة متتالية عن منطقة الإتصال إلى أن يتحول إلى إجهاد ضغط كامن عندما يتم الإبتعاد بمسافة قدرها (20 مم) عن منطقة الإتصال (أي عند نقطة القياس الثانية)، وكلما أبتعد أكثر كلما ارتفع إجهاد الضغط الكامن، ومن المعلوم أن إجهاد الشد الكامن يعمل على تعب الوصلة ونمو الشقوق؛ وفي المقابل يقوم إجهاد الضغط الكامن بالتخفيض من قيمة إجهاد الشد الكامن ومقاومة نمو الشقوق. أما الإجهادات الطولية الكامنة ومن خلال الشكل (4.3) يتبين أنه عند فتحة القياس الأولى والتي هي قريبة من منطقة إتصال الدعامة (عند قاع اللحام) معرضة إلى أقصى إجهاد شد كامن ثم ينخفض هذا الإجهاد كلما أبتعد عن منطقة اتصال الدعامة بالوتر إلى أن تتحول إلى إجهادات ضغط كامنة عند مسافة (8 مم) تقريبا عن منطقة الإتصال، حيث يصل إجهاد الضغط الكامن إلى أقصاه عندما يبتعد بمسافة (19 مم) تقريبا عن منطقة الإتصال ثم ينخفض بعدها بالتتالي.

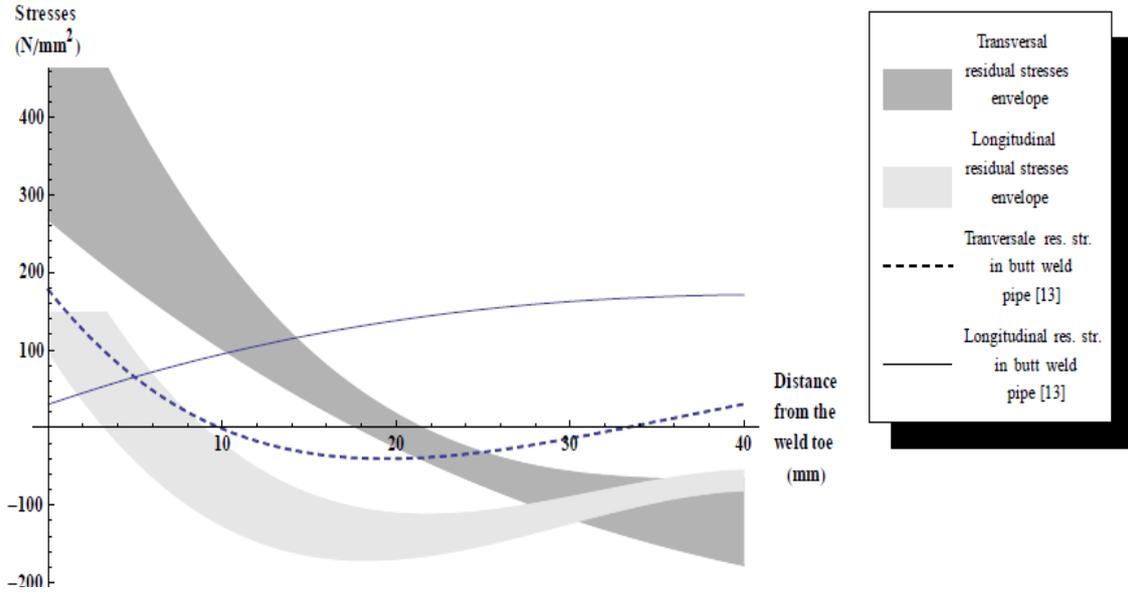


الشكل (4.3) الإجهادات الكامنة العرضية والطولية [6]

والشكل (5.3) يبين الإجهادات الكامنة العرضية والطولية للأنايبب المتصلة على شكل (K) لكل من حسابات الإختبار الذي أجري بواسطة حفر الفتحة (incremental hole-drilling method) في قطاع الأنبوب وكذلك حسابات دراسة الباحث [7] والتي أجراها على أنابيب رقيقة السمك متصلة في شكل (K).

ويتبين من خلال الشكل البياني (5.3) بأن الإجهادات الكامنة الطولية عند نقطة القياس الأولى والتي هي قريبة من منطقة اتصال الدعامة بالوتر هي من نوع الشد. وتزداد إجهادات الشد الكامنة الطولية كلما أبتعد بمسافات متتالية من منطقة اتصال الدعامة بالوتر. أما الإجهادات الكامنة العرضية فتكون عند نقطة القياس الأولى هي من نوع

الشد، ثم ينخفض مقدار هذا الإجهاد كلما أبتعد بمسافات متتالية عن منطقة اتصال الدعامة بالوتر إلى أن يتحول إلى إجهاد ضغط كامن حيث يصل إلى أقصاه عند مسافة قدرها (18 مم) تقريبا من منطقة الإتصال، ثم يعود مرة أخرى إلى إجهاد شد كامن عند مسافة قدرها (34 مم) تقريبا.



الشكل (5.3) الإجهادات الكامنة العرضية والطولية لكل من حسابات دراسة [7] وحسابات الإختبار [6]

ويتبين من الشكل (5.3) ومن خلال نتائج دراسة الباحث [7] التي أجريت على أنابيب رقيقة السمك بأن الإجهادات الكامنة الطولية أقل من الإجهادات الكامنة العرضية عند قاع اللحام ويحدث العكس عندما يبتعد بمسافة قدرها (5 مم) من منطقة الإتصال، ونتائج دراسة هذا الباحث تختلف تماما على نتائج الإختبار الذي أجري على الوصلة الملحومة في شكل (K). ومن خلال استخدام طريقة الإجهاد المنتظم يلاحظ أن الإجهاد الكامن العرضي في هذا النوع من المفاصل (K - joint) يمكن أن يجتاز ($0.6 f_y$) فوق هذه القيمة، أي بمعنى يجتاز 60% من إجهاد الخضوع وبالتالي فإن طريقة حفر الفتحة هي غير مضمونة في الحصول على نتائج تقريبية.

4 - العوامل المؤثرة على توزيع الإجهادات الكامنة

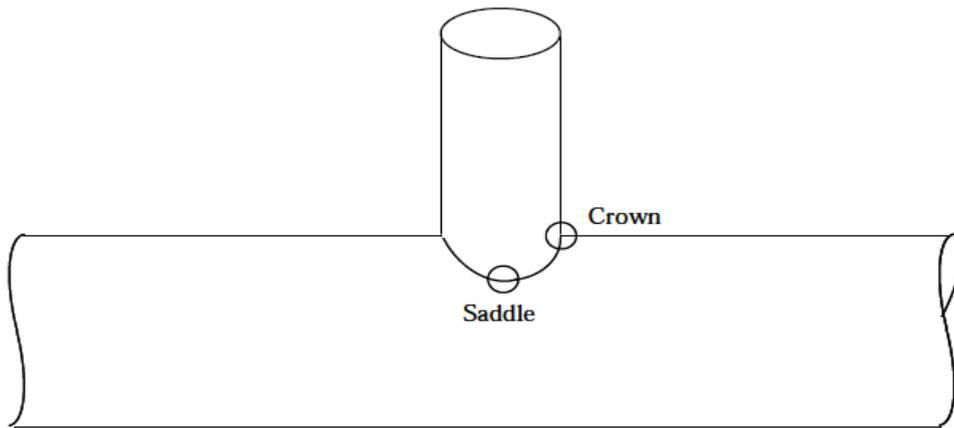
1.4 سمك قطاع الأنبوب

إن السمك له تأثير مهم على توزيع الإجهاد المتبقي في الوصلات الأنبوبية وقد تبين ذلك من خلال الشكل (1.4) حيث وجد أن الإجهاد الكامن العرضي في الوصلات الأنبوبية عند قاع اللحام وخلال سمك الوتر للوصلة الأنبوبية (chord thickness) أنه قابل للشد ويكون أقصاه عند السطح [8].

وقد أُجري الإختبار في دراسة الباحثين (S K Bate) و (D Green) و (D Buttle) [2] على ثلاث وصلات أنبوبية علي شكل (T) مختلفة في سمك قطاع الأنبوب وقطره وكذلك مختلفة في مقدار إجهاد الخضوع، وهذا الإختلاف سواء كان في وتر الوصلة (Chord) أو في الدعامة المتصلة بالوتر (Brace) وكما هو موضح في الجدول (1.4).

الجدول (1.4) الوصلات الأنبوبية على شكل (T) التي أُجري عليها الإختبار [8]

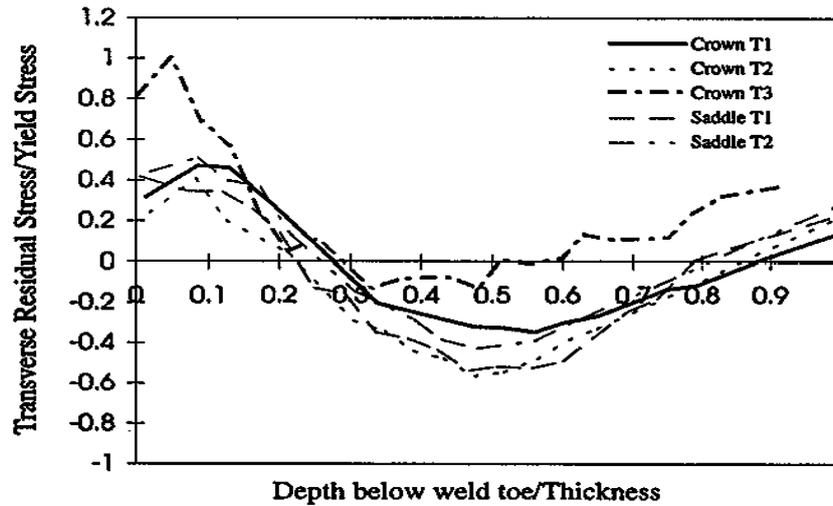
Specimen	Chord Diameter × thickness	Brace Diameter × thickness	Yield stress (MPa)
T1	915 × 22 mm	610 × 16 mm	488
T2	915 × 22 mm	455 × 11 mm	491
T3	915 × 36 mm	610 × 14 mm	365



الشكل (1.4) منطقة (crown) ومنطقة (saddle) [8]

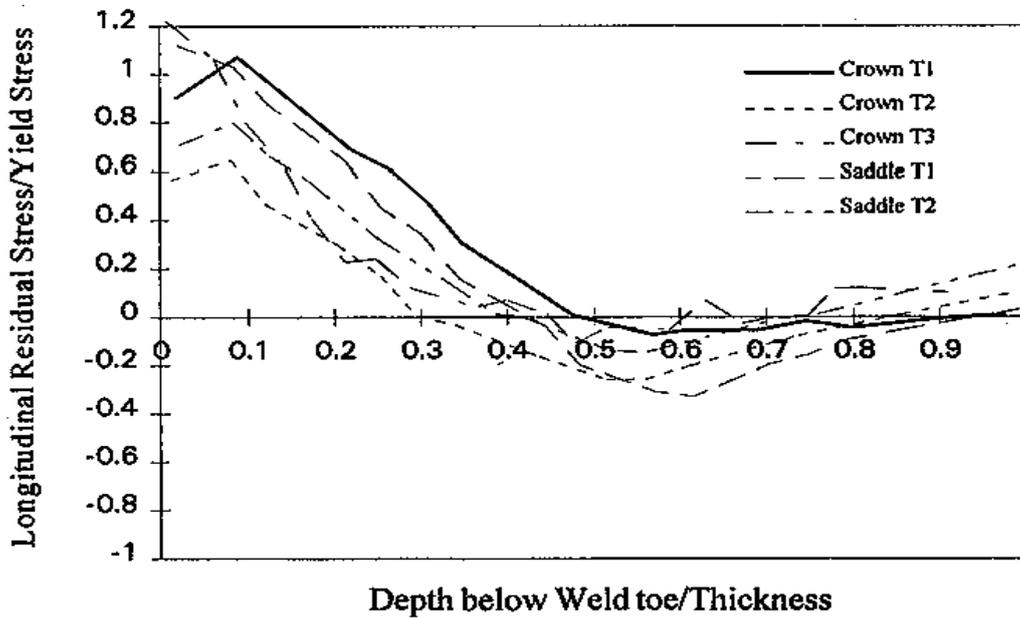
والشكل (2.4) يبين نسبة الإجهاد الكامن العرضي إلى إجهاد الخضوع إعتامدا على نسبة العمق أسفل اللحام إلى سمك قطاع الأنبوب للوصلات الأنبوبية الثلاث (T_1, T_2, T_3) وقد تم الحصول على النتائج أسفل اللحام في منطقة (Crown) وكذلك أيضا في منطقة (Saddle) كما هو موضح بالشكل (1.4).

ويستنتج من الشكل البياني أن إجهاد الشد الكامن العرضي يصل إلى أقصاه عند السطح ويزداد مقدار هذا الإجهاد كلما زاد سمك قطاع الأنبوب، فمثلا الوصلة الأنبوبية (T_3) عند قاع اللحام في منطقة (Crown) وكما موضح في الشكل (1.4) يكون أقصى قيمة لإجهاد الشد الكامن العرضي إلى إجهاد الخضوع عند نسبة (نسبة العمق أسفل اللحام إلى سمك القطاع الأنبوب) مقدارها (0.05) أسفل سطح الأنبوب وكما موضح في الشكل (2.4)، ثم ينتقل الإجهاد الكامن العرضي ويصبح قابلا للضغط عند نسبة (نسبة العمق أسفل اللحام إلى سمك القطاع الأنبوب) مقدارها (0.24)، ثم ينتقل مرة أخرى إلى إجهاد الشد عند نسبة مقدارها (0.62) من السطح.



الشكل (2.4) نسبة الإجهاد الكامن العرضي إلى إجهاد الخضوع [8]

ويبين الشكل (3.4) نسبة الإجهاد الكامن الطولي إلى إجهاد الخضوع اعتماداً على نسبة العمق أسفل اللحام إلى سمك قطاع الأنبوب للوصلات الأنبوبية الثلاث (T_1, T_2, T_3) وقد تم الحصول على النتائج أسفل اللحام في منطقة (Crown) وكذلك أيضاً في منطقة (Saddle).



الشكل (3.4) نسبة الإجهاد الكامن الطولي إلى إجهاد الخضوع [8]

ويستنتج من الشكل البياني أن إجهاد الشد الكامن الطولي يصل إلى أقصاه عند السطح ويزداد مقدار هذا الإجهاد كلما زاد سمك قطاع الأنبوب، فمثلاً الوصلة الأنبوبية (T_1) عند قاع اللحام في منطقة (Crown) تكون أقصى قيمة لإجهاد الشد الكامن الطولي إلى إجهاد الخضوع عند نسبة (نسبة العمق أسفل اللحام إلى سمك القطاع الأنبوب) مقدارها (0.1) أسفل سطح الأنبوب، ثم ينتقل الإجهاد الكامن الطولي ويصبح قابلاً للضغط عند نسبة

(نسبة العمق أسفل اللحام إلى سمك القطاع الأنبوب) مقدارها (0.5)، ثم ينتقل مرة أخرى إلى إجهاد الشد عند نسبة مقدارها (0.95) من السطح.

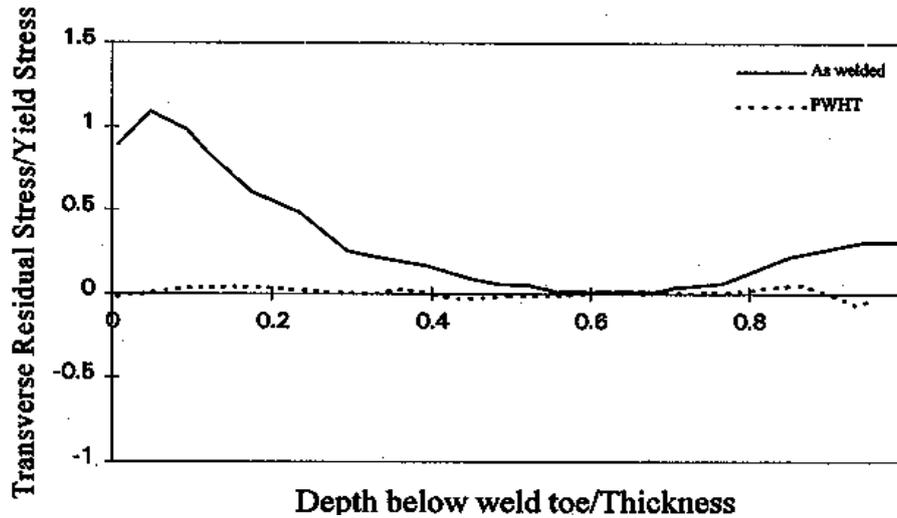
2.4 المعالجة الحرارية

الشكلان (4.4) و(5.4) يبينان تأثير المعالجة الحرارية (PWHT) على توزيع الإجهاد الكامن في وصلة فولاذية ملحومة بين أنبوب وصفيحة (plate) على شكل حرف (T) وقد تم إجراء الاختبار على ثلاثة أنابيب في هذا النوع من الوصلات مختلفة في إجهاد الخضوع ونسبة التسخين القصوى وكذلك نسبة التبريد القصوى ودرجة الحرارة القصوى كما هو موضح في الجدول (2.4)[8].

جدول (2.4) الأنابيب الثلاثة التي أجري عليها الاختبار وهي مختلفة في نسبة التسخين والتبريد ودرجة الحرارة وكذلك إجهاد الخضوع [8]

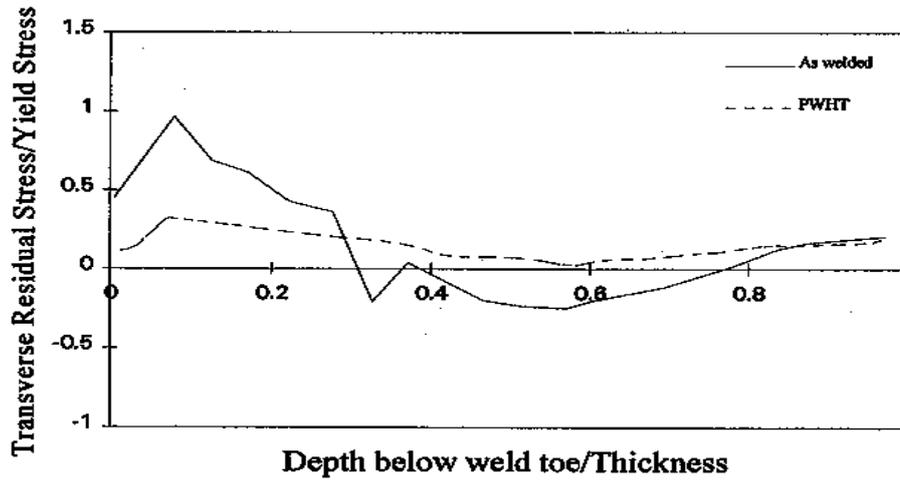
Specimen	Yield stress (MPa)	Heating rate max C°/hr	Cooling rate max C°/hr	Max Temp C°	Comment
P1	420	60	58	579	226 mins above $550 C^{\circ}$
P2	375	138	113	550	112 mins above $545 C^{\circ}$
P3	360	150	97	583	184 mins above $550 C^{\circ}$

يبين الشكل (1.4.4) نسبة الإجهاد الكامن العرضي إلى إجهاد الخضوع للأنبوب الأول (P1) الذي أجري عليه الاختبار، حيث يشير المنحنى المستمر على مقدار الإجهاد الكامن العرضي إلى إجهاد الخضوع نتيجة اللحام، أما المنحنى المنقط فيشير إلى مقدار الإجهاد الكامن العرضي إلى إجهاد الخضوع بعد إجراء المعالجة الحرارية (PWHT).



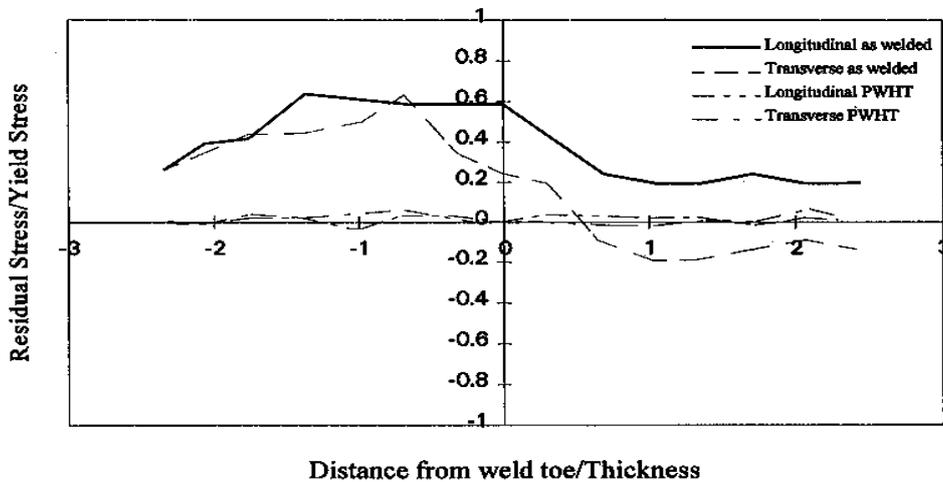
الشكل (1.4.4) نسبة الإجهاد الكامن العرضي إلى إجهاد الخضوع للأنبوب الأول (P1)[8]

ويبين الشكل (2.4.4) نسبة الإجهاد الكامن العرضي إلى إجهاد الخضوع للأنبوب الثاني (P2)، حيث يلاحظ من الشكل أن نسبة الإجهاد العرضي إلى إجهاد الخضوع عند السطح كان مقداره تقريبا (0.45) وهو قابل للشد ثم انخفض مقدار الإجهاد بعد إجراء عملية المعالجة الحرارية عند (0.18) تقريبا؛ أما عند نسبة العمق أسفل اللحام إلى سمك قطاع الأنبوب (0.57) كانت نسبة الإجهاد الكامن العرضي إلى إجهاد الخضوع قابلة للضغط وعند قيمة قصوى بمقدار (0.25)، ولكن بعد إجراء المعالجة الحرارية انخفضت هذه النسبة لتقترب إلى قيمة الصفر.



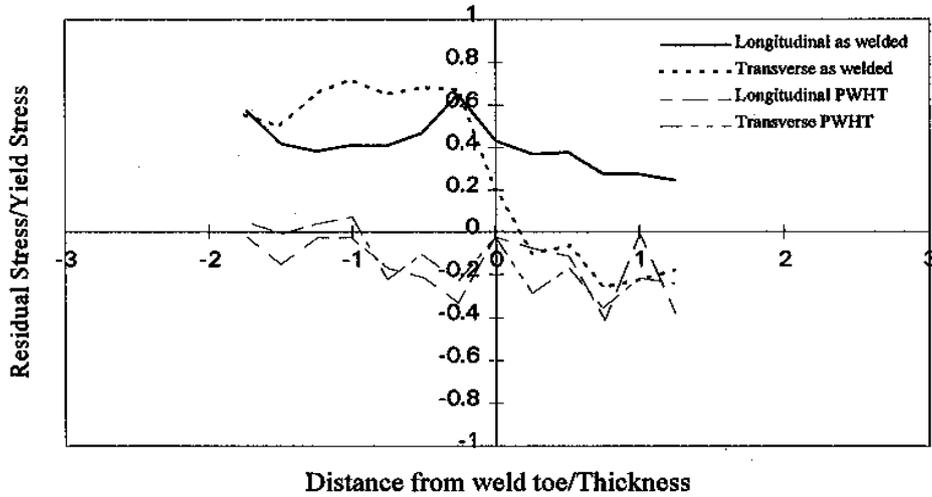
الشكل (2.4.4) نسبة الإجهاد الكامن العرضي إلى إجهاد الخضوع للأنبوب الثاني (P2) [8]

والشكل (1.5.4) يبين نسبة الإجهاد الكامن العرضي والطولي إلى إجهاد الخضوع للأنبوب (P1) للوصلة الفولاذية التي أجري عليها الإختبار وذلك إعتقادا على نسبة المسافة من قاع اللحام على طول المحور (X) إلى سمك قطاع الأنبوب وقيمة الصفر على المحور (X) تكون عند نقطة الإتصال ما بين الأنبوب والصفحة (PLATE)، حيث يلاحظ من خلال الشكل أن الإجهاد الكامن الطولي الناتج من اللحام والممثل بالمنحنى المستمر يكون قابلا للشد وتكون أقصى قيمة له عند نقطة الإتصال أسفل اللحام ثم ينخفض تدريجيا كلما أبتعد عن منطقة الإتصال سواء من الجهة اليمنى أو اليسرى لمنطقة الإتصال أسفل اللحام ويكون قابلا للشد أيضا.



الشكل (1.5.4) نسبة الإجهاد الكامن العرضي والطولي إلى إجهاد الخضوع للأنبوب (P1) [8]

ومن الشكل أيضا يلاحظ بأن أقصى نسبة للإجهاد الكامن العرضي إلى إجهاد الخضوع والمتمثلة بالمنحنى المتقطع تساوي تقريبا (0.6) وهو من نوع الشد وتنخفض نسبة هذا الإجهاد كلما أبتعد عن منطقة الإتصال، وتنخفض قيمة هذه الإجهادات مساوية تقريبا للصفر لجميع المسافات وذلك بعد إجراء المعالجة الحرارية وهي ممثلة في الشكل بخط منقط. والشكل (2.5.4) يبين نسبة الإجهاد الكامن العرضي والطولي إلى إجهاد الخضوع للأنبوب (P2).



الشكل (2.5.4) نسبة الإجهاد الكامن العرضي والطولي إلى إجهاد الخضوع للأنبوب (P2) [8]

5 - الخلاصة

- 1- تعرض قاع اللحام في الوصلات الملحومة إلى أقصى إجهاد شد كامن عرضي و طولي الذي يسبب بدوره في كلال الوصلة ونمو الشقوق وكلما أبتعد عن قاع اللحام في اتجاه المحور السيني (x) كلما انخفض إجهاد الشد الكامن إلى أن يتحول إلى إجهاد كامن قابل للضغط والذي يعمل على مقاومة نمو الشقوق.
- 2- كلما أبتعد عن قاع اللحام في الوصلة الأنبوبية الملحومة في اتجاه المحور الصادي (y)، (أي كلما تعمق في سمك الأنبوب) كلما انخفض إجهاد الشد العرضي إلى أن يتحول إلى إجهاد كامن قابل للضغط.
- 3- إجهاد الضغط الكامن يعمل على مقاومة إجهاد الشد الكامن ويمنع من تكون الشقوق أو تقليلها.
- 4- عند استخدام طريقة حفر الفتحة التزايدية في قياس الإجهاد الكامن، فإن الإجهاد الكامن العرضي يمكن أن يجتاز 60% من إجهاد الخضوع، وبالتالي هذه الطريقة غير مضمونة في الحصول على نتائج تقريبية. ولذا يوصى باستخدام طريقة الأشعة السينية (x-ray) لأنها تعطي نتائج أكثر دقة.
- 5- كلما زاد سمك قطاع الأنبوب كلما زاد مقدار الإجهاد الكامن في الوصلات الفولاذية الملحومة.
- 6- إن إجراء المعالجة الحرارية للوصلات الملحومة تقلل من قيمة الإجهادات الكامنة.

6 - المراجع

- [1] كتاب إنشاءات معدنية، المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني، المملكة العربية السعودية.
- [2] Design of welded joints, Tata Steel, United Kingdom (2011).
- [3] J. Waegter, ."Stress concentrations in simple tubular joints", April (2009).
- [4] S. Swaddiwudhipong, Q.Xudong , R.Peerlings, 'Stress Concentration Factors (SCFs) for Partial Joint Penetration Plus (PJP+) welds for tubular joints", Eindhoven, September (2010).
- [5] C. Acevedo, A. Nussbaumer, "Influence of welding residual stresses on stable crack growth in tubular K-joints under compressive fatigue loadings", ICOM-EPFL, Lausanne, Switzerland (2010).
- [6] C. Acevedo, A. Nussbaumer, "Residual stress estimation of welded tubular k-joints under fatigue loads", Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne, Switzerland (July 2009).
- [7] R.H. Leggatt, "Residual stresses in welded structures", Int. Jour. of Pressure Vessels and Piping 85 (2008) 144-151.
- [8] S. K. Bate, D. Green, D. Buttle, "A review of residual stress distributions welded joints for the defect assessment of offshore structures", prepared by AEA Technology plc for the Health and Safety Executive (1997).

التحقيقات المعملية لتصرف مفاصل الهياكل الحديدية والخرسانية المركبة عند تعرضها للأحمال الإستثنائية

د. بشير صالح

جامعة وارسو التقنية (WUT)

bashiak2003@yahoo.com, b.saleh@il.pw.edu.pl

ملخص

في هذه البحث يتم دراسات التحقيق التجريبي المعملية لاتصال الأعمدة بالكمرات والأسقف في الهياكل الكبرى المكونة من قطاعات الحديد والخرسانة (steel-concrete composite frame) والتي تتعرض لأحمال الخدمة (الأحمال الحية والأحمال الميتة) مع الأحمال الإستثنائية الناتجة من حدوث زلازل أو انفجارات أو حرائق (خسارة وانهيار أحد عناصر الهيكل كعمود أو كمرّة) ودراسة سلوك الإطارات وتصرفها في الحالات العادية والإستثنائية التي سبق ذكرها. يتم هذا التقييم لتشكيل صورة لسلوك العام للإطار الكامل على المستويين، السلوك الكلي للإطار أو الهيكل من حيث خاصية التحميل والتشوه (Load-Displacement)، والسلوك المحلي للمفاصل من حيث حساب قيمة العزوم مقابل الدوران (Moment-Rotation)، والتقييم يتم بالتفاصيل حول التفاعل بين العناصر المشتركة للإطار وكيفية العمل معا بطريقة متوازنة خلال الأحداث الإستثنائية. وتعلق هذه الدراسة للمفاصل التي تخضع لانهايار جزئي أو كامل، وتشمل أيضا سلوك المفاصل حتى درجة الإنهيار الكلي لإمكانية إيجاد حلول تصميمية متقدمة لتجنب هذه الحالة. إن تعقيد هذه التحقيقات وصعوبتها تظهر من التأثيرات اللاخطية المرتبطة بالتوقعات غير المعروفة للسلوك المشترك أو عمل مفاصل الإطار وتصرفه أثناء فقدان أحد عناصره (كمرّة أو عمود)، مثل أوجه القصور الهيكلية، المتمثلة في التشوه الكبير والإزاحة مع قياس الدوران مقابل العزوم. أيضا الخصائص غير المرنة للخرسانة المسلحة والتأثير غير الخطي ما بين الصلب والخرسانة والإنزلاق بين الخرسانة وهيكلية الصلب (slip between concrete and structural steel). وتتناول هذه الورقة البحثية هذه المشاكل باستخدام نوعين من المفاصل (flush and extended end-plate with four and eight bolts) بالنسبة للهياكل الحديدية والهياكل الحديدية-الخرسانية. وتقدم هذه الورقة التوصيات والنتائج والمنطق التقني لسلوكية الهيكل من خلال الملاحظات التي سجلت أثناء التجربة المعملية والحسابات التي تم قياسها للهياكل بشكل عام، أو للمفاصل بالشكل التفصيلي (evaluation of joint moment-rotation response when exposed to negative and positive moments together). وهذه النتائج سيتم تقييمها بشكل واسع باستخدام تقنية النمذجة (FE modeling) في وقت لاحق لإمكانية الحصول على نتائج أكثر دقة.

الكلمات الدالة: المفاصل المعزولة، المتانة، التشوه، المركب، الدوران، الصلب المشترك، المفاصل المركبة، إختبار الإطار أو الهيكل، فقدان العمود، الليونة المشتركة.

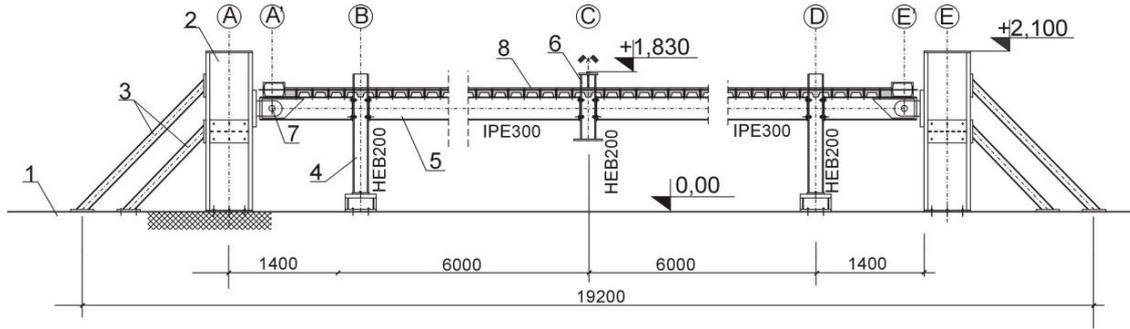
مقدمة

الكود الأوروبي (Euro codes) [1]، [2] يغطي فقط بما يسمى أساسيات تصميم المفاصل عند تعرضها للعزوم الموجبة مع تجاهل التام للقوى المحورية وتأثيرها. إن متطلبات التصميم في المفاصل للحصول على المتانة المطلوبة في الحالات الإستثنائية وعند خضوع الهياكل للأحمال غير المتوقعة (الزلازل والإنفجارات والحرائق) أصبحت في تطور مستمر من نتائج الأبحاث والأوراق العلمية المتزايدة بعد انهيار برج مركز التجارة العالمية والأحداث المشابهة [3]. إن الأضرار المحلية للهياكل من ناتج هذه الأعمال قد تتسبب في انهيار تدريجي جزئي أو انهيار كامل للهيكال الإنشائي وذلك متوقف على قدرة الهيكال على مقاومة الأحمال المستجدة وغير المتوقعة من ناتج الحوادث من حيث المتانة اللازمة والمرونة وإمكانية توزيع هذه الأحمال بشكل منتظم من المفصل المتضرر إلى المفاصل المجاورة. النتائج اللاحقة أو ما يأتي لاحقا من نتائج لربما يضمن تصاميم أفضل تمكن المفاصل من قدرة في إرسال ما يسمى بالقوة الرابطة (tying force) بين مفاصل الهياكل الحديدية والهياكل الحديدية-الخرسانية المركبة (steel and steel concrete composite frame). الكود الأوروبي لا يعطي أي تفاصيل أو أي مبادئ توجيهية بشأن كيفية حساب مقاومة المفاصل للأحمال الإستثنائية، وذلك أساسا بسبب عدم وجود أدلة تجريبية ومعملية على ليونة المفاصل في الهياكل عند تعرضها للأحمال غير المتوقعة أو أي أبحاث جديّة بالخصوص، وذلك لارتفاع كلفة هذه التحقيقات مقارنة بالنتائج المتوقعة. و لكي تكون المفاصل أكثر متانة و ليونة (robust design) لمقاومة الأحمال غير المتوقعة (الإستثنائية) فهي تحتاج لقدرة على التشكيل والتشوه والدوران بشكل مناسب وتكون لها قوة و قدرة على التحمل بحيث تستطيع توصيل وإرسال القوى المحورية المستجدة بعد الإنهيار للمفاصل المجاورة وتستطيع هذه المفاصل التعاون على تحمل هذه الأحمال المذكورة (alternative equilibrium path) بشكل متوازن [4]. إن قدرة الهياكل والمباني للحفاظ على الضرر المحلي لعناصرها أو تضرر أجزائها بدون الإنهيار الكلي يتم تقييمه من خلال فقدان جزء من عناصره (عمود أو أكثر) وفحص ما إذا كان الضرر المحلي قد يختزله النظام الهيكلي للمبنى وبدون تدهور أو انهيار كلي للهيكال؛ وهذا يتطلب تحقيقات في سلوك إستجابة المفاصل للترهل والإلتواء مصحوبا بالترابط المحوري والمتمثل في القوى المحورية (axial force) وتوزيعها ووصولها إلى المفاصل الجانبية.

هذا البحث يحتوي على اختبارات معملية على الهيكال الحديدي والحديدي الخرسانة المركب (-steel and steel concrete composite frame) وأيضا تقييم لسلوك الهيكال عند تعرضه لأحمال الخدمة والأحمال غير المتوقعة (case of exceptional or extreme actions). الدراسة تشمل أيضا المشاكل المتعلقة بقوة المفاصل ومرونتها في نفس الوقت، والصلابة وقدرة إستجابة الدوران تحت الترهل أو التشوه في حالة إزالة عمود أو أعمدة وخضوع المفاصل للعزوم الموجبة ثم السالبة (sagging and hogging bending moment) والذي يحاكي سلوك النظام في إطار حالة إستثنائية ومعالجتها والإستنتاجات المستخلصة من جراء سلوك الهيكال بالكامل.

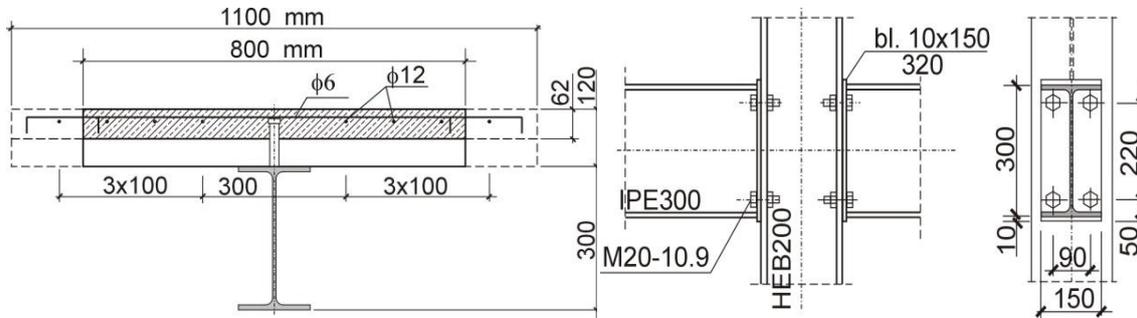
فكرة التحقيقات المعملية

معظم التحقيقات التجريبية التي أجريت حتى الآن في جميع أنحاء العالم على قطاعات الصلب والمفاصل المركبة (الحديد والخرسانة) على المفاصل المنعزلة فقط، على شكل الكوابيل (cruciform or cantilever test arrangements) أي في حالة الإختبارات النموذجية المشتركة، عندما تتعرض المفاصل لعزوم موجبة فقط (hogging moment)، بينما لاتوجد أبحاث تخص المفاصل عندما تتعرض للعزوم السالبة والقوى المحورية معا



شكل 3 الإطار المركب (خرسانة وحديد)، من 1 - 5 كما هو موضح في الشكل (2) - 8 البلاطة الخرسانية

كل النماذج مكونة من أعمدة مصنعة من المقطع (HEB200) والكمرات مصنعة من مقطع (IPE300) والأعمدة عند المحاور ("A" and "E") هي فقط للتثبيت ومنع النموذج من الإنهيار الجانبي أثناء مراحل التجربة. في النموذج المركب (الحديد و الخرسانة)، المسامير الرابطة تكون بقطر 19مم والمسافة بين هذه المسامير 207ملم و خرسانة السقف نفذت فوق شرائح الحديد المسطح نوع (60 المصلع) أما المقطع العرضي للخرسانة فيساوي 800 ملم عند الأطراف و 110 ملم عند المفاصل (وفقا لمواصفات للكواد الأوروبي)، مقطع بلاطة السقف سمك 120 ملم و صنف الفولاذ المستخدم هو S235J، أما الخرسانة فهي نوع 30/25 بالنسبة للسقف وحديد التسليح هو بأقطار 12 و 6 مم كل 100 مم في الإتجاهين. أما اتصال الكمرة بالعمود فتم اختيار لوحة النهاية سمك 10مم و بعدد 4 مسامير تثبيت (flush end-plate) و مسامير التثبيت نوع 20 مم صنف 10.9. تفاصيل أكثر في الشكل 4 - أ والشكل 4 - ب. الخواص الميكانيكية للحديد تم اختبارها في المعمل وأخذ فقط متوسط النتائج كما هو معطى في الجدول 1.



شكل 4 - ب مقطع في نموذج المركب

شكل 4 - أ مقطع في نموذج الحديد

شكل 4 مقاطع في نموذج قطاع الحديد والخرسانة

جدول 1 الخواص الميكانيكية للحديد والخرسانة المستخدمة في التجربة المعملية

الحديد			
النوع	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]
IPE 300	290	415	33
HEB200			28
$\phi 12$	670	750	17
الخرسانة			
$f_{ck,cube}=32$ N/mm ²			

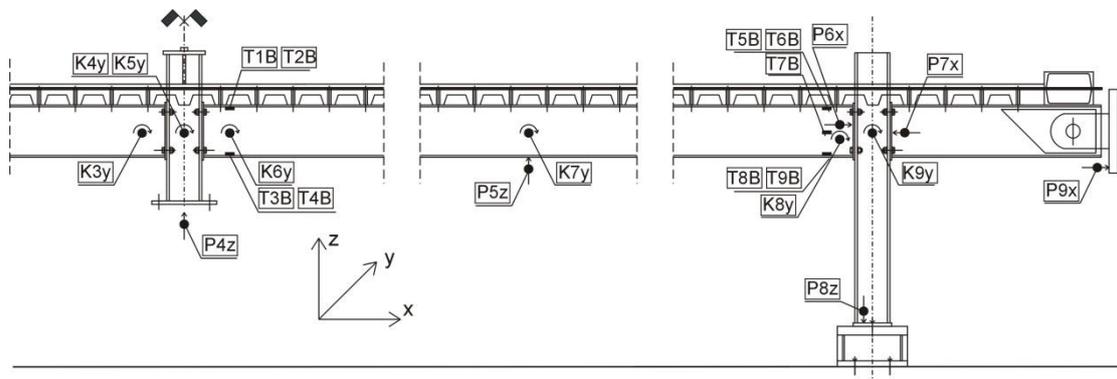
إجراءات الإختبارات والقياسات

في هذا الإختبار الدراسة تشمل فقط التأثير الإستاتيكي (static response) مع التجاهل التام للتأثير الديناميكي (no dynamic effects)، كما أنه تم تثبيت النموذج بشكل جيد لتفادي أي انهيار مفاجئ أو دوران محوري للكمرات (against lateral torsional instability).

بالنسبة لنموذج الحديد يتم تثبيت العمود الوسطي بالرافعة الهيدرولوكية و تثبيت العمود من أسفل لمنعه من التحرك في الإتجاه الرأسي، وعند بداية الإختبار يتم رفع العمود لمسافة 5 مم لإزالة أداة التثبيت وتركه مرفوعا بواسطة الرافعة الهيدرولوكية والتحكم به وإجراء القياسات اللازمة للإزاحة الرأسية. في المرحلة الأولى، تم تطبيق زيادة الإزاحة الرأسية إلى 1 ملم وذلك لأجل ضبط العينة والتأكد من سير الإختبار بالصورة الصحيحة، ومن بعد زيادة مقدار الإزاحة الرأسية بمقدار يساوي 4 ملم إلى أن تصل قيمة القوة 20 كيلو نيوتن. في وقت لاحق يتم زيادة الإزاحة إلى 8 ملم حتى أول علامة على الإنهيار. يتم إضافة وصلة بين الحين والآخر بين الرافعة والعمود وذلك لقصر طول ذراع الرافعة، ويتم زيادة الإزاحة الرأسية بالتدريج إلى حين الوصول إلى الإنهيار الكلي.

بالنسبة للنموذج المركب (حديد و خرسانة)؛ الإختبار يتم في مرحلتين هامتين، المرحلة الأولى يتم تحميل النموذج بمكعبات خرسانية (صنعت خصيصا لهذا الإختبار) بأبعاد $0.5 \times 1.0 \times 1.2$ متر ومتوسط الوزن 15 كيلو نيوتن وضعت من طبقتين على سقف النموذج لمحاكاة أحمال الخدمة، لنموذج مبنى مكاتب تقليدي (أحمال ميتة 4.5 كيلو نيوتن/متر مربع و 2.0 كيلو نيوتن/متر مربع أحمال حية). في هذه المرحلة كل المفاصل متعرضة للعزوم الموجبة (hogging bending). المرحلة الثانية من التجربة تتم بمحاكاة حدث تعرض العمود للإنهيار، يتم الإبقاء على أحمال الخدمة (gravity loading) و في نفس الوقت إزالة تثبيت العمود الوسطي وتبسيط الإزاحة الرأسية عليه بواسطة الآلة الهيدرولوكية (hydraulic jack) وبنفس فكرة التجربة السابقة لقطاعات الحديد فقط.

بالنسبة لجميع الإختبارات تؤخذ القراءات عند المفاصل الداخلية والخارجية للإزاحة الرأسية والجانبية (displacements of selected points) والإجهاد والإنفعال (strains in bolts as well as in selected sections of beams and rebars) في أعلى وأسفل الكمرات وأيضا حديد التسليح (لحساب العزوم في المفاصل)، وكذلك الدوران في المفاصل (rotations of joints)، كما هو موضح في الشكل 5.



شكل 5 موقع القياسات للإزاحة الرأسية و الدوران

(Localization of displacement and rotational transducers at the joints)

النتائج

بالنسبة للاختبار الأول الذي يخص اختبار القطاع الحديدي، كانت التجربة والاختبار على سلوك الإطار واستجابة المفاصل للإزاحة الرأسية (الحمل على العمود الوسطي) والقوى المسجلة في الرافعة الهيدرولوكية من الصفر وحتى انهيار الإطار بالكامل. الملاحظ على الاختبار في المفاصل الداخلية والخارجية درجة التشوه في مكونات المفصل حيث كان الإنحناء شديدا في كل من العمود (column flanges) و في لوحة النهاية (end-plate) الرابطة بين الكمرة و العمود؛ أما وسط العمود (column webs) فهو ما بين الشد والضغط. لقد تميّز السلوك العام للإطار بانهيارات متتالية في أجزائه و تشوهات كبيرة في لوحة النهاية وتمزق جزئي متزايد بجانب المسامير، الشكل 6، والموضح فيه الشكل العام لتجربة قطاع الحديد والحديد والخرسانة؛ والشكل 7 يوضح حالة المفصل الفولاذي والانهيار الميكانيكي وتفاصيل التشوه للمفصل الوسطي والذي يحاكي تعرض الإطار إلى خسارة عمود، ويظهر السلوك العام في كل من الإطارات (الفولاذ والفولاذ والخرسانة)، وتتميز العلاقة بين الأحمال الرأسية و التشوه أو الإزاحة الرأسية في الأعمدة الداخلية. وكما يلاحظ الانتقال السريع بين مراحل السلوك البلاستيكي، الحد الأقصى لقيمة التحميل الرأسي المتحصل عليها في الاختبار هو: 69.1 كيلو نيوتن مقابل إزاحة تساوي 431 ملم. إن سبب فشل الإطار بهذه الصورة هو بدء وزيادة الشقوق في لوحة النهاية (flush end-plate) وبالقرب من اللحام مع الكمرة، لقد بدأت الشقوق الأولى في مفصل من الأعمدة الداخلية وتبعتها في المفاصل الخارجية.



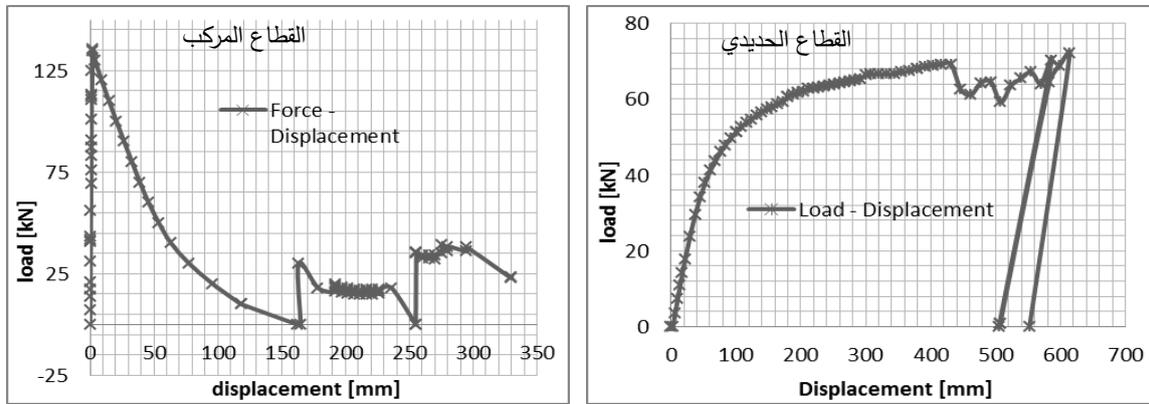
شكل 6 التجارب المعملية التي تمت على سلوك الإطارات أو الهياكل بالنسبة لقطاعات الحديد والحديد والخرسانة



شكل 7 التشوه في المفاصل الداخلية بالنسبة للهيكل الحديدي والخرساني الحديدي

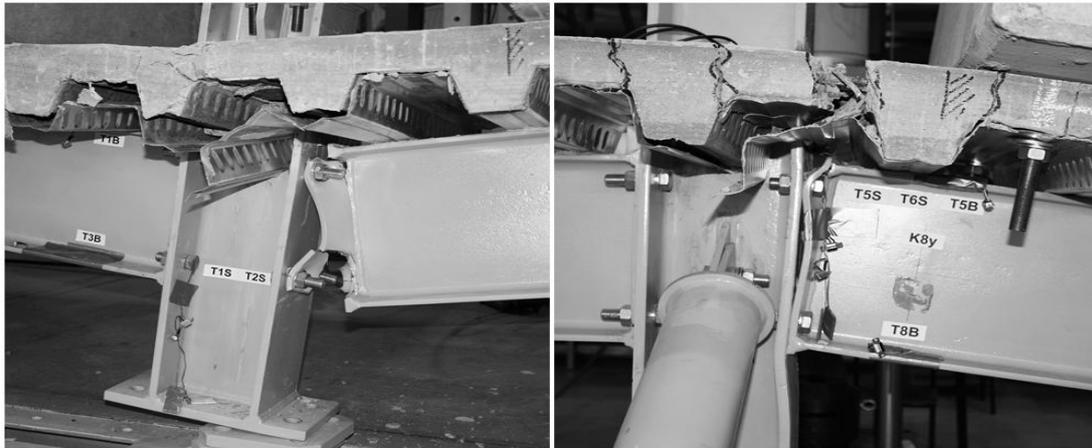
في الحالة الثانية (الإطار المركب)، تسبب المرحلة الأولى من التحميل التفاعل الرأسي (رد الفعل) في العمود الداخلي (internal column) يساوي القيمة المطلقة وهي 135 كيلو نيوتن، وفي هذه المرحلة، لوحظت أول الشقوق الصغيرة في البلاطة الخرسانية في محيط الأعمدة الخارجية (external columns) وهذه محاكاة لعملية إزالة العمود الوسطي (خسارة عمود) والذي سبب خسارة مستمرة لصلابة ومتانة الهيكل. وانهيار المفاصل تدريجيا كان بسبب زيادة التشوهات البلاستيكية في لوحة النهاية (plastic deformations of end-plates) في الإنحناء الذي تعرض له المفصل والعمود الداخلي.

القوة العمودية القصوى المسجلة في الرافعة الهيدروليكية في توازن ثابت وسجلت 0.00 كيلو نيوتن وهذا تقابله إزاحة رأسية قدرها 165 ملم (يلاحظ الفرق في اختبار الحديد فقط 520 ملم) وهذا يرتبط بالتقدم السريع في الإنهيار والتمزق التدريجي في لوحة النهاية (flush end-plate) وبالذات في العمود الداخلي، الشكل 8.



شكل 8 العلاقة بين الحمل الرأسي والإزاحة بالنسبة لقطاع الحديد والحديد والخرسانة

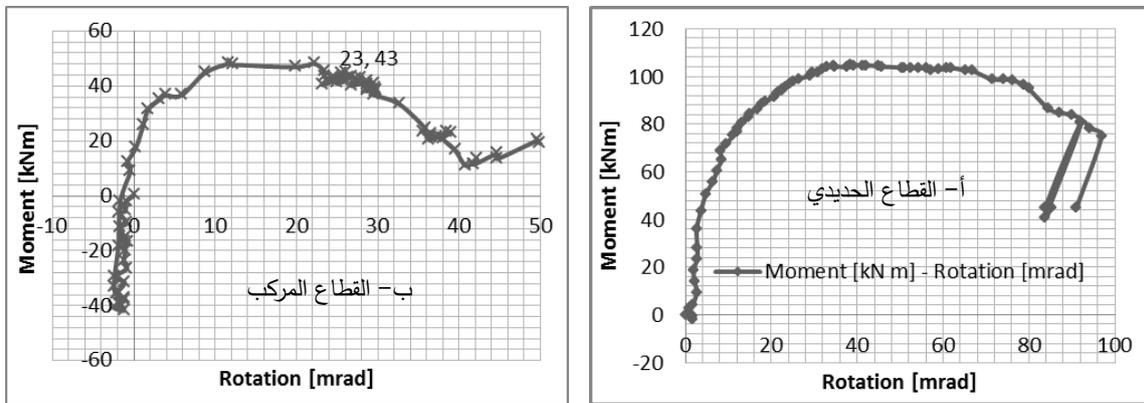
إن سبب فشل الإطار هو جانب التطور والتصدع في المفاصل الداخلية وتحديدًا في لوحة النهاية وأيضاً أماكن اللحام واتصالها بالكمرة كما هو موضح بالشكل رقم 9، حيث التشوه الكامل للمفاصل الداخلية والخارجية عند نهاية الاختبار بعد الإنهيار الكلي للاختبار أو للقطاع الحديدي الخرساني.



شكل 9 المفصل الداخلي والخارجي عند الإنهيار الكلي للاختبار المعملّي التجريبي

الشكل 10- أ يبين العلاقة ما بين العزوم و الدوران (moment - rotation curve) بالنسبة للإختبار العملي لقطاعات الحديد، وعندما يكون العزم مساويا 89 كيلو نيوتن متر يكون الدوران 46 راديان (mrad) عندما يكون المفصل متعرضا للعزوم السالبة (sagging bending moment)، أما في المفاصل الجانبية عندما تكون متعرضة للعزوم الموجبة (hogging bending moment) يكون العزم مساويا 93 كيلو نيوتن متر والدوران 45 راديان (mrad)؛ كما تم الإشارة إليه في السابق حيث التزايد في تمزق نهاية اللوحة (flush end-plate 10mm) هو السبب في فشل المفصل.

بالنسبة للشكل 10- ب، والخاص بالإختبار الثاني القطاع المركب (خرسانة و حديد)، فالإختبار كما تمت الإشارة إليه يخضع لمرحلتين (أحمال الخدمة والأحمال الإستثنائية) وفي المرحلة الأولى يكون العزم موجبا في كل المفاصل 42 كيلو نيوتن متر ومن بعد يتغير في المفصل المتعرض لخسارة عمود إلى العزوم السالبة حيث يكون العزم مساويا 48 كيلو نيوتن متر.



شكل 10 العلاقة ما بين العزم والدوران في المفصل

الإستنتاجات والتوصيات

الإستنتاجات الأولية والتوصيات من خلال الإختبارات يتم وصفها على النحو التالي:

- مفاصل قطاعات الحديد (steel frame) توضح إظهار السلوك المرن في التعامل أثناء خسارة العمود والتي تتميز بمرونة دوران قدرها 46 راديان (mrad) من أول علامة تدهور لقوتها. فإنه يؤكد أن تطبيق المفاصل مع لوحة النهاية رقيقة (flush end-plate) غير مجدي، حيث أنها انهارت قبل أن توزع أو تنقل الأحمال الأفقية (axial force) للمفاصل المجاورة وهذا أحد أسباب الإنهيارات التي تحصل في الوقت الحالي.
- بالنسبة لمفاصل قطاعات الحديد والخرسانة (steel-concrete composite frame) فهي أقل ليونة من السابق وبمرونة دوران قدرها 28 راديان (mrad) وهذا الرقم أقل بكثير عن تجارب سابقة (Demonceau and Jaspert) [5] مما يستدعي المزيد من التحقيقات باستخدام النمذجة (FE modeling).
- بهذه التجارب والتحقيقات يستنتج أنه ومن الضروري إجراء تحقيقات أخرى مع تغيير لوحة النهاية وزيادة تقوية المفاصل؛ لربما الأفضل إختبار لوحة نهاية طويلة الجوانب (extended end-plate) وعدد أكثر

من المسامير والأفضل أن تكون عدد 8 ومن الجهتين وذلك لتعرض المفاصل للعضوم الموجبة والسالبة على التوالي، و لكي لا يحدث إنهيار سريع كما هو الحال في هذه التجربة (flush end-plate) (10mm).

- أنه من الضرورة مواصلة التحقيقات، وسيتم استخدام هذه النتائج في التقييم النهائي بعد عمل اختبارات المرحلة الثانية والتي سيتم فيها تغيير المفاصل وزيادة نسبة حديد التسليح ودراسة أكثر دقة لمقدار تأثير التشوه في كل المفاصل وفي توزيع الأحمال من المفصل المتضرر إلى المفاصل المجاورة.
- استخدام النظرية المحدودة (FEM) في عمل نماذج لمحاكاة الاختبار التجريبي و امكانية الحصول على نتائج متطابقة ليتم التحقيق بشكل اوسع و ذلك لعدم امكانية تكرار الاختبارات التجريبية، لان مثل هذه التجارب تحتاج الى كلفة مادية كبيرة جدا.
- تغيير مواضع المسامير وإعادة توزيعها والتي تربط المفاصل وذلك للتحكم في زيادة قدرة تحمل المفاصل حتى إذا كان على حساب المرونة لتفادي تحمل المفصل للتشوه والإنهيار الكلي والمتسارع قبل نقل جزء من القوى الأفقية للمفاصل المجاورة.

المراجع

- [1] EN 1993-1-8. Eurocode 3: “Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints. European Committee for Standardization”, Brussels.
- [2] EN 1994-1-1. Eurocode 4: “Design of composite steel and concrete structures - Part 1.1: General rules and rules for buildings”, European Committee for Standardization, Brussels.
- [3] Gizejowski M., Barcewicz W., Uziak J, Saleh B., “Composite steel-concrete joints for efficient applications in modern building structures”, Botswana Journal of Technology, April 2012.
- [4] Gizejowski M., Barcewicz W., Uziak J, Saleh B., “Evaluation of a unified moment-rotation characteristic of steel and steel-concrete composite joints”, SEMC 2013: The Fifth International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation, 2-4 September 2013, Cape Town, South Africa.
- [5] Demonceau J. F., “Steel and composite building frames: sway response under conventional loading and development of membrane effects in beams further to an exceptional action”, PhD thesis presented at Liège University.
- [6] Gizejowski M., Saleh B., Kozłowski A., Pisarek Z., Słeczka L., “Experimental Investigations of Frame Behavior Subjected to Exceptional Actions”, 85th Annual Conference on Scientific Problems of Civil Engineering, Krynica- Rzeszow, Poland, September 2012.

معادلة للتنبؤ بالخواص الميكانيكية للخرسانة

د. نوري محمد الباشا - أ.د. سليم صالح السيد أحمد
جامعة الزاوية - كلية الهندسة - قسم الهندسة المدنية

ملخص

تتميز الخرسانة بمميزات أهمها قدرتها الفائقة على التحمل مع الزمن وارتفاع نسبة المقاومة إلى الوزن. وهذه المميزات جعلت الخرسانة أكثر اقتصادية. ويحتاج استخدام الخرسانة إلى الإلمام الكافي بخواصها الهندسية والتي تختلف كثيرا عن خواص المواد الأخرى للإنشاء، وقد أجريت العديد من الأبحاث والاختبارات لاستنتاج مجموعة من العلاقات الرياضية للتنبؤ بالخواص الميكانيكية للخرسانة.

التقدم في صناعة البناء والتشييد أدى إلى البحث والإستمرار في تحسين خواص مواد البناء ويمكن استغلال تلك المواد في إنشاء العناصر الإنشائية للمبنى بما يوافق المتطلبات الأساسية لمواصفات البناء. مثلا إستخدام الخرسانة العالية المقاومة والتي تزيد مقاومتها للضغط عن 60 ميجا باسكال، ليس فقط كخرسانة سابقة التجهيز ولكن كخرسانة مصبوبة في الموقع، وذلك لما لها من مميزات إنشائية تخدم المهندس المصمم. والسلوك الميكانيكي للخرسانة عالية المقاومة يختلف عن السلوك للخرسانة العادية. وفي هذا البحث تمت دراسة وتقييم الخواص الميكانيكية للخرسانة عالية المقاومة متمثلة في مقاومة الضغط - مقاومة الشد غير المباشر - مقاومة الإنحناء ومتانة الكسر، وذلك بعد إستخدام ثلاثة أنواع مختلفة من الركام الخشن هي الزلط - البازلت - الدولوميت. وقد أظهرت النتائج في هذا البحث أن هناك تأثيرا واضحا لنوع الركام على السلوك الميكانيكي للخرسانة عالية المقاومة وخصوصا مقاومة الضغط ومقاومة الشد غير المباشر ومتانة الكسر، بينما لم تظهر مقاومة الإنحناء تأثيراً ملحوظا كالخواص الأخرى. كما تم إستنتاج علاقات رياضية تقريبية تربط بين مقاومة الضغط للخرسانة عالية المقاومة وباقي الخواص الميكانيكية. وتمت مقارنة هذه العلاقات بعلاقات رياضية منشورة سابقا.

المقدمة

تتميز الخرسانة عالية المقاومة بمميزات أهمها قدرتها الفائقة على التحمل مع الزمن وارتفاع نسبة المقاومة إلى الوزن. وهذه المميزات جعلت الخرسانة عالية المقاومة أكثر إقتصادية وخصوصا في المنشآت ذات الفراغات الواسعة [1]. ويحتاج إستخدام الخرسانة عالية المقاومة إلى الإلمام الكافي بخواصها الهندسية والتي تختلف كثيرا عن خواص الخرسانة عادية المقاومة (مقاومة الضغط أقل من 50 ميجا باسكال). وقد أجريت العديد من الأبحاث والاختبارات [2-5] لإستنتاج مجموعة من العلاقات الرياضية لتوقع قيم الخواص الميكانيكية للخرسانة عالية المقاومة مثل مقاومة الشد - معامل المرونة - مقاومة الإنحناء - متانة الكسر. وقد أوضح المرجع [6] أن هناك تأثيرا ملحوظا للركام الكبير على مقاومة الإنحناء ومقاومة الضغط للخرسانة وهذا التأثير تصل نسبته إلى حوالي 30-40% طبقا لنوع الركام. كما أعطت المراجع [7-9] مجموعة من العلاقات الرياضية التي تربط مقاومة الشد غير المباشر مع مقاومة الضغط للخرسانة وذلك لمجموعة من الخلطات الخرسانية تتراوح قيم مقاومة الضغط لها بين الخرسانة العادية والخرسانة عالية المقاومة. وقد أثبتت الأبحاث أن النسبة بين مقاومة الشد غير المباشر ومقاومة الضغط للخرسانة عادية المقاومة تزيد على 10%. وأن هذه النسبة تقل لتصل إلى حوالي 5% في حالة

الخرسانة عالية المقاومة. كما أوضحت هذه الأبحاث أن مقاومة الشد غير المباشر تكون أعلى بحوالي 8% في حالة استخدام ركام مهشم في الخرسانة. وقد أوضح المرجع [10] أن العلاقة الرياضية المستخدمة في الكود الأمريكي لتوقع مقاومة الشد غير المباشر ومقاومة الإنحناء من مقاومة الضغط يجب أن تعدل لتأخذ في الاعتبار سلوك الخرسانة عالية المقاومة وكذلك نوع الركام الكبير لما له من تأثير ملحوظ على سلوك الخرسانة عالية المقاومة.

ومن خلال الأبحاث السابقة تبين أن معظم النتائج المتوفرة لم تغط بالقدر الكافي كافة العوامل المؤثرة على سلوك الخرسانة عالية المقاومة وخصوصاً نوع الركام الكبير ونسبة غبار السيليكيا وبالتالي فإن العلاقات الرياضية المستخدمة لتوقع الخواص الميكانيكية للخرسانة عالية المقاومة تحتاج إلى المزيد من الدراسة والبحث. وفي هذا البحث سوف تتم دراسة تأثير نوع الركام الكبير ونسبة غبار السيليكيا على الخواص الميكانيكية للخرسانة عالية المقاومة كما سوف يتم عمل ربط بين مقاومة الضغط لهذه الخرسانة والخواص الميكانيكية الأخرى أخذاً في الاعتبار تأثير الركام الكبير وغبار السيليكيا.

البرنامج العملي ومنهج البحث

في هذا البحث تم تصميم برنامج عملي موضح في الجدول رقم (1) لدراسة تأثير نسبة غبار السيليكيا ونوع الركام الكبير على السلوك الميكانيكي للخرسانة عالية المقاومة. وتم استخدام خمس نسب من غبار السيليكيا وهي 5 ، 10 ، 15 ، 20 ، 25% تم إضافتها كنسبة من وزن الإسمنت المستخدم. كما تم استخدام ثلاثة أنواع من الركام الكبير وهي الزلط والبازلت والدولوميت. وقد أجريت جميع الإختبارات بعد مرور 56 يوم من صب الخرسانة. وقد استخدم في الخلطات الخرسانية إسمنت بروتلاندي عادي ورمل كركام صغير وثلاثة أنواع من الركام الكبير. الزلط ويمثل الركام الدائري الأملس والبازلت والدولوميت يمثلان الركام المهشم ذا السطح الخشن. ويعطى الجدول رقم (2) الخواص الطبيعية والميكانيكية للركام الصغير (الرمل) والركام الكبير (الزلط -البازلت - الدولوميت)، كما يعطى الجدول رقم (3) التدرج الحبيبي للركام المستخدم. وكان المقاس الإعتباري الأكبر للركام الكبير 19 مم. وقد استخدم غبار السيليكيا كإضافة إلى الإسمنت، وغبار السيليكيا المستخدم يحتوى على 95% من السيليكيا ومساحته السطحية حوالي 18 م²/جم. ويعطى الجدول رقم [4] كميات الإسمنت والرمل والركام المستخدمة لكل 1م³ من الخرسانة. وفي جميع الخلطات تم الحفاظ على نسبة الماء إلى الإسمنت عند 0.39 . وفي جميع الخلطات سواء المرجعية (بدون غبار السيليكيا) أو الخلطات المحتوية على غبار السيليكيا تم الحفاظ على مقدار الهبوط للخرسانة الطازجة ليكون بين 20-40 مم وذلك باستخدام كميات متغيرة من الإضافات فاتقة للدونة.

جدول(1) البرنامج العملي في هذا البحث

نوع الركام الكبير	الزلط-البازلت- الولوجميت
نسبة غبار السيليكيا	0,5,10,15,20,25
الإختبارات	مقاومة الضغط مقاومة الشد غير المباشر مقاومة الإنحناء متانة الكسر

جدول(2) الخواص الطبيعية والميكانيكية للركام المستخدم

القيم المقاسة				الخواص
الرمل	الزلط	البازلت	الدولوميت	
1.6	1.75	1.55	1.46	وزن وحدة الحجم طن/م ³
2.52	2.56	2.67	2.5	الكثافة النوعية
-	16.1	18.2	22.8	معامل التهشم %
-	10.1	15.9	20.03	معامل الصدم %
1	0.8	1.01	2.21	معامل الإمتصاص %

جدول(3) التدرج الحبيبي للركام المستخدم

المواصفات اللببية	المواصفات اللببية	نسبة المرور				فتحة المنخل مم
		الرمل	الزلط	البازلت	الدولوميت	
الركام الصغير	الركام الكبير					
100	100-98	100	100	100	100	19
100	75-55	100	60	55	57	14
100	45-25	100	30	28	26	9.5
100	5-1	100	2	1	1	4.75
100-92	0	93.5	0	0	0	2.36
85-75	0	81.3	0	0	0	1.18
65-40	0	50.6	0	0	0	0.6
15-5	0	6.4	0	0	0	0.3
3-1	0	1	0	0	0	0.15

جدول(4) مكونات الخلطة الخرسانية لكل نوع ركام

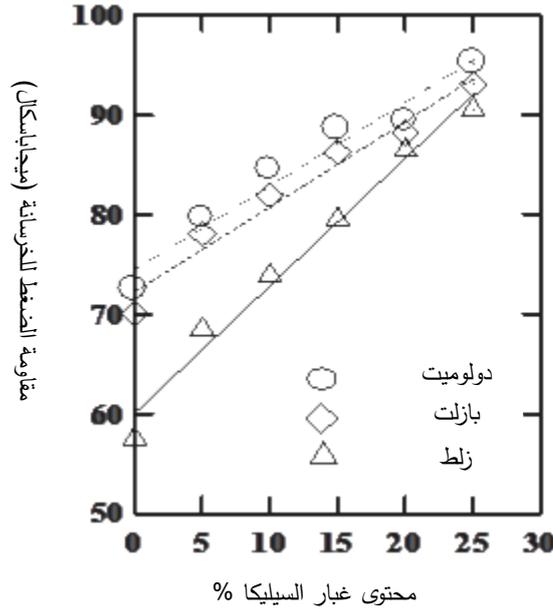
نوع الخرسانة	الركام الكبير كجم/م ³	الركام الصغير كجم/م ³	محتوى الأسمنت كجم/م ³
الزلط	1157.2	578.6	450
البازلت	1189.8	594.8	450
الدولوميت	1139.03	569.5	450

وتم صب عينات على شكل مكعبات بأبعاد 15*15*15 سم لقياس مقاومة الضغط وعينات إسطوانية بأبعاد 15سم قطر وإرتفاع 30 سم لقياس مقاومة الشد غير المباشر. أما مقاومة الإنحناء فقد قيست من خلال كمرات بأبعاد 10*10*35 سم. ولقياس متانة الكسر تم تخليق شرخ بسمك 0.5 مم وعمق 30 مم في منتصف الكمرة وفي جهة الشد. وجميع العينات تم رفعها من قالب الصب بعد 24 ساعة وتمت معالجة جميع العينات في ماء شرب حتى ميعاد الإختبار. ولكل إختبار تم تجهيز ثلاث عينات لأخذ متوسط القراءات.

النتائج والمناقشة

يعطى شكل (1) العلاقة بين مقاومة الضغط للخرسانة بعد 56 يوم بالميجا باسكال ونسبة محتوى غبار السيليكا في الخلطة. وتظهر النتائج أن مقاومة الضغط للخرسانة تزداد بزيادة نسبة محتوى غبار السيليكا في الخلطة وأن هذا التزايد موجود لكل أنواع الركام الكبير المستخدم. ويتضح من النتائج في هذا الشكل أن مقاومة الخرسانة المصنوعة من الدولوميت أعلى من المصنوعة من البازلت والزلط، بينما أعطى الزلط أقل مقاومة مقارنة بالبازلت والدولوميت. وتظهر النتائج أن مقاومة الضغط لخرسانة الدولوميت تزيد بنسبة تصل إلى 20% عن مقاومة الخرسانة المصنوعة من الزلط. ويرجع ذلك إلى خشونة سطح الدولوميت مما يساعد على زيادة قوى الترابط بين الركام الكبير والمونة

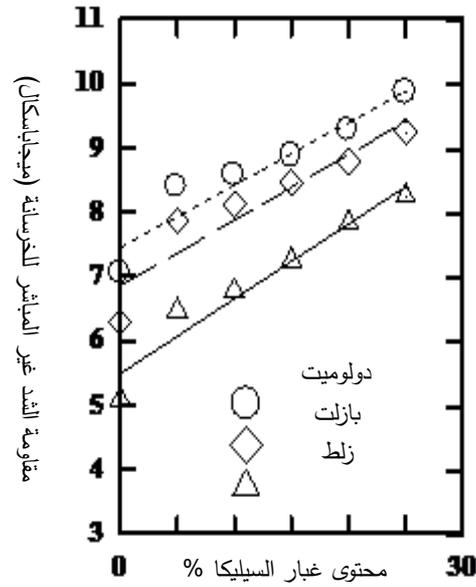
الإسمنتية مقارنة بسطح الزلط الأملس. وقد وجدت نتائج مشابهة في أبحاث أخرى [9]. وقد أرجع ذلك إلى أن زيادة قوى الترابط بين الركام الكبير والمونة الإسمنتية يؤدي إلى زيادة فاعلية دور الركام الكبير وبالتالي يعطي مشاركة أكبر في تحمل الإجهادات داخل الخرسانة وزيادة المقاومة الكلية للخرسانة.



شكل (1) مقاومة الضغط للخرسانة ضد محتوى غبار السيليكا

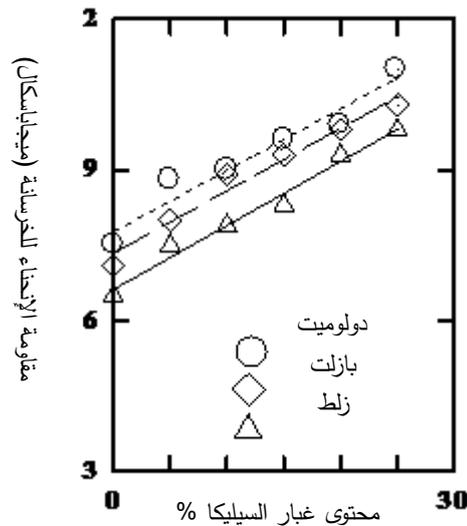
وتظهر النتائج في شكل (1) أيضا أن تأثير نوع الركام الكبير مرتبط بنسبة محتوى غبار السيليكا، حيث وجد أن نوع الركام يؤثر بوضوح على مقاومة الخرسانة للضغط عند النسب المنخفضة من غبار السيليكا (0 ، 5 ، 10 %) حيث يظهر الفرق بوضوح بين أنواع الركام الثلاثة. ومع زيادة نسبة محتوى غبار السيليكا يقل الفرق بين قيم المقاومات الناتجة من أنواع الركام المختلفة ويصبح الفرق أقل وضوحا. وترجع هذه النتائج إلى المساهمة الفعالة لغبار السيليكا في زيادة قوة الترابط بين المونة الإسمنتية والركام الكبير بسبب المركبات الكيميائية التي تنتج من تفاعلات غبار السيليكا مع نواتج عملية الإماهة للإسمنت والتي تعمل بدورها كمادة لاصقة تزيد من قوى التماسك. ونتيجة لزيادة وتحسن قوى الترابط بين الركام الكبير والمونة الإسمنتية تتغير آلية وشكل الإنهيار داخل الجسم الخرساني مما يجعل الشروخ تمر عبر جسم الركام الكبير نفسه. (أي بمعنى حدوث الكسر في جسم الركام نفسه وليس العجينة الإسمنتية)، وبالتالي تقل الفاعلية الناتجة من دور الركام الكبير.

يعطى شكل رقم (2) العلاقة بين مقاومة الشد غير المباشر للخرسانة بعد 56 يوم ونسبة غبار السيليكا في الخلطة الخرسانية. وتظهر النتائج أن مقاومة الشد غير المباشر للخرسانة تزيد بزيادة محتوى غبار السيليكا وذلك لجميع أنواع الركام المستخدم. كما تظهر النتائج أيضا أن ركام الدولوميت يعطي للخرسانة مقاومة شد أكبر من ركام البازلت أو الزلط. ويرجع ذلك إلى طبيعة سطح ركام الدولوميت حيث تساعد خشونة السطح على زيادة قوى الترابط بين الركام والمونة الإسمنتية مما يساعد على منع الانفصال بين الركام والمونة الإسمنتية وبالتالي زيادة المقاومة ضد إجهادات الشد. ويلاحظ من النتائج في شكل (2) أن دور غبار السيليكا فيوم بالنسبة لنوع الركام في حالة الشد غير المباشر تكون أقل فاعلية عنه في حالة الضغط. حيث أنه في حالة مقاومة الشد غير المباشر يكون التأثير الأكبر لطبيعة سطح الركام وليس لنوع الركام.



شكل (2) مقاومة الشد غير المباشر للخرسانة ضد محتوى غبار السيليكا

مقاومة الإنحناء للخرسانة بعد 56 يوم تم قياسها على كميرات ابعادها $100 \times 100 \times 350$ مم. وهذه الكميرات تم تحميلها بحمل مركز في منتصف بحر الكمرة. وقد أعطيت نتائج الإختبارات في شكل رقم (3) بين مقاومة الإنحناء ونسبة غبار السيليكا لجميع أنواع الركام المستخدم. ويتضح من شكل (3) أن مقاومة الإنحناء تسلك نفس سلوك مقاومة الشد غير المباشر ومقاومة الضغط حيث تزداد قيمتها بزيادة محتوى السيليكا فيوم. كما تظهر النتائج أيضا أن فاعلية تأثير نوع الركام الكبير على مقاومة الإنحناء أقل من حالة الشد غير المباشر أو حالة الضغط، حيث أن مقاومة الإنحناء لخرسانة الدولوميت تقترب إلى مقاومة الإنحناء لخرسانة البازلت والزلط. ويتضح من النتائج أن فاعلية دور السيليكا فيوم بالنسبة لنوع الركام تشبه إلى حد كبير حالة الشد والضغط.

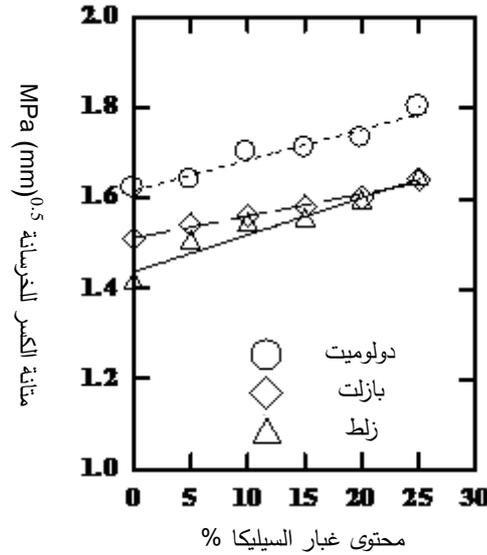


شكل رقم(3) مقاومة الإنحناء للخرسانة ضد محتوى غبار السيليكا

يعطى شكل رقم (4) سلوك متانة الكسر للخرسانة معبرا عنه بمعامل شدة الإجهاد (K_{IC}) مع زيادة نسبة محتوى السيليكا في الخلطة الخرسانية عند 56 يوم. وتم حساب معامل شدة الإجهاد في هذا البحث باستخدام المعادلة الآتية:

$$K_{IC} = Y \sigma_f (\pi a)^{0.5} \quad [11]$$

حيث يمثل Y معامل الشكل وهو دالة في طول الشرخ وارتفاع العينة، σ_f تمثل إجهاد الكسر للكمرة و a تمثل طول الشرخ في الكمرة.



شكل (4) متانة الكسر للخرسانة ضد محتوى غبار السيليكا

ويتضح من شكل (4) أن معامل شدة الإجهاد تزداد قيمته بزيادة محتوى السيليكا في الخلطة، كما أن هناك تأثيراً واضحاً لنوع الركام الكبير على قيمة معامل شدة الإجهاد؛ حيث يظهر في الشكل أن معامل شدة الإجهاد لخرسانة الدولوميت أعلى من خرسانة البازلت والزلط. كما أنه ليس هناك فرقا واضحاً بين خرسانة البازلت وخرسانة الزلط وخصوصاً عند نسب غبار السيليكا المرتفعة. ومن خلال النتائج العملية المعطاة في شكل (1) إلى شكل (4) تم عمل ربط بعلاقات خطية تعبر عن هذه النتائج لتوقع مقاومة الخرسانة نتيجة وجود غبار السيليكا ولكل نوع من أنواع الركام. وهذه العلاقات أخذت الشكل الآتي:

$$P = P_0 + A * SF$$

حيث: P تعبر عن مقاومة الخرسانة عند نسبة معينة من غبار السيليكا

P_0 تعبر عن قيمة مقاومة الخرسانة عند نسبة غبار السيليكا = 0

A ثابت يعتمد على نوع الركام ومحتوى الإسمنت في الخلطة

SF تعبر عن نسبة غبار السيليكا في الخلطة إلى وزن الإسمنت

ويعطى الجدول رقم (5) القيم الخاصة بالثابت (A) لكل نوع من أنواع الركام المستخدم.

جدول (5) قيم الثابت (A)

نوع الخرسانة	مقاومة الضغط	مقاومة الشد غير المباشر	مقاومة الإنحناء	متانة الكسر
الدولوميت	0.84	0.097	0.122	0.005
البازلت	0.86	0.102	0.129	0.004
الزلط	1.28	0.116	0.127	0.004

الإستنتاجات

من خلال الدراسة المعملية في هذا البحث يمكن إستنتاج الآتي:

- 1- تأثير غبار السيليكا على مقاومة الضغط والشد غير المباشر والإنحناء ومتانة الكسر للخرسانة يمكن ربطه وتوقعة من خلال علاقات خطية.
- 2- هناك تأثير واضح لنوع الركام على مقاومة الضغط والشد غير المباشر ومتانة الكسر للخرسانة عالية المقاومة بينما التأثير محدود في حالة مقاومة الإنحناء.
- 3- ركام الدولوميت أعطى خرسانة عالية المقاومة لها خواص ميكانيكية أفضل من باقي أنواع الركام المستخدم.
- 4- نقل فاعلية غبار السيليكا في تحسين قيمة مقاومة الخرسانة كلما زادت نسبتها في الخلطة.

التوصيات

من خلال الدراسة المعملية في هذا البحث يمكن التوصية بالآتي:

- 1- دراسة تأثير نسبة غبار السيليكا على الخواص الميكانيكية للخرسانة في حال إستخدامها كبديل جزئي عن الإسمنت.
- 2- دراسة تأثير نسبة غبار السيليكا على الخواص الميكانيكية للخرسانة عند إستخدام مقاسات مختلفة من المقاس الإعتباري الأكبر للركام الكبير.
- 3- دراسة تأثير التغير في كمية ونوع الركام الناعم مع إختلاف نسبة غبار السيليكا.

المراجع

- [1] Elbasha N. M., "High strength reinforced concrete beam and helix confinement", First International Conference on Concrete Sustainability, (2013), Tokyo, Japan.
- [2] M. Mazloom a., A.A. Ramezani pour b., J.J. Brooks, " Effect of silica fume on mechanical properties of high-strength concrete", Cement & Concrete Composites, 26, (2004), 347-357.
- [3] Aitcin, P.C. and Mehta, P. K., "Effect of coarse aggregate characteristics on mechanical properties of high strength concrete", ACI Materials Journal, 87, 2, (1990), 103-107.
- [4] Ha-Won Song, Jong-Chul Jang, Velu Saraswathy, Keun-Joo Byun, " An estimation of the diffusivity of silica fume concrete", Building and Environment, 42, (2007), 1358-1367.
- [5] Harun Tanyildizi, Ahmet Coskun, "Performance of lightweight concrete with silica fume after high temperature", Construction and Building Materials, Volume 22, Issue 10, October (2008), Pages 2124-2129.
- [6] Kaplan M. F., "Flexural and compressive strength of concrete as affected by the properties of the coarse aggregates", ACI Journal, 56, 5, (1959), pp. 1193-1321.

-
- [7] Dewar J. D., "The indirect tensile strength of concretes of high compressive strength", Technical report No. 377, Cement and Concrete Association, London, 12, (1964).
- [8] Penttala, V. and Komonen, J., "Effects of aggregates and microfillers on the flexural properties of concrete", Magazine of Concrete Research, 49, 179, (1997), pp. 81-97.
- [9] Hordijk, D. A., Wolsink, G. M. and de Vries, J., "Fracture and fatigue behaviour of a high strength limestone concrete as compared to gravel concrete", ISSN 0046 - 7316, HERON, 40, 2, (1995), pp. 125-146.
- [10] Ahmad, S. H., and Shah, S.P. "Structural properties of high strength concrete and its implications for precast prestressed concrete", PCI journal, 30, 6, (1985), pp. 92-119.
- [11] John, R. and Shah, S.P., "Fracture mechanics analysis of high strength concrete", Journal of materials in civil engineering, 1, 4, (1989), pp. 185-197.

قياس كفاءة ألياف الكربون في تدعيم وتقوية الكمرات الخرسانية

أ. جمعة عبد العزيز حسن
مساعد محاضر
قسم الهندسة المدنية - جامعة سرت

م. أحمد البوسيفي
مهندس مدني
جامعة سرت

ملخص

البحث هو عبارة عن دراسة معملية الهدف منها قياس كفاءة الشرائح البوليمرية المسلحة بألياف الكربون في تدعيم الكمرات الخرسانية المعرضة لإجهادات الإنحناء والقص. تم لصق هذه الشرائح على عدد 9 كمرات بأبعاد (150 X 750) مم، وتم قياس نسبة الزيادة في قدرة تحمل الكمرات المدعمة على الإنحناء والقص مقارنة بالكمرات المرجعية (بدون تدعيم).

1 الغاية من البحث

الغاية من هذا البحث هو القيام بالدراسات التالية:

1. دراسة التغير في سلوك الكمرات المدعمة بشرائح ألياف الكربون لمقاومة قوة القص والإنحناء.
2. دراسة شكل الإنهيار للكمرات الخرسانية المدعمة بشرائح ألياف الكربون والمعرضة للقص والإنحناء ومقارنته بالكمرات غير المدعمة.
3. دراسة العلاقة بين قوة التحميل المسلطة على الكمرات الخرسانية المدعمة بشرائح ألياف الكربون والهبوط الناتج عن هذه الحمولة (Load - Deflection Relationship).

البرنامج العملي

المواد المستخدمة

تم استعمال المواد آتية الذكر في البرنامج العملي للدراسات المستهدفة.

- الإسمنت البورتلاندي العادي (ASTM Type I)، نوعته 2800 سم²/جم.
- الرمل المستخدم له نوعته 3.12.
- المتر المكعب من الخرسانة يتكون من 380 كجم إسمنت و630 كجم من الرمل وركام مقاس 15 مم 550 كجم وركام مقاس 10 مم 700 كجم و200 لتر ماء.
- الحديد الطولي المستخدم في الكمرات الخرسانية هو حديد عالي المقاومة ذو إجهاد خضوع 620 نيوتن/مم².
- حديد الكانات من الحديد الطري له إجهاد خضوع يساوي 175 نيوتن/مم².
- شرائح الكربون المستخدمة هي عبارة عن نسيج موحد الإتجاه كثافته 1.76 جم/سم³ وتمتاز بمقاومة شد عالية جداً في حدود 238 كيلو نيوتن/مم² واستطالة عند الإنهيار في حدود 1.8% طبقاً لنشرة المصنع ومواصفاته كما هو موضح بالجدول (1).

- المادة اللاصقة المستخدمة سيكا دور 330 (sikadur330) وهي عبارة عن مركبين من الإيبوكسي يتم مزجها جيداً للحصول على مادة متجانسة ولاصقة. والجدول (2) يعطي مواصفات هذه المادة.

جدول (1) مواصفات شرائح الكربون

نوع (CFRP)	Sika Wrap-230C نسيج أحادي الإتجاه
الوزن المساحي	230 جم/م ² ± 10 جم/م ²
كثافة الليف	1.76 جم/سم ³
سمك النسيج التصميمي	0.131 مم
مقاومة الشد (ميغا باسكال)	4300 نيوتن/م ²
معامل المرونة (ميغا باسكال)	238000
الإنفعال عند تقطع الألياف	1.8%

جدول (2) مواصفات المادة اللاصقة

نوع (Epoxy adhesive)	Sikadur -330
معامل المرونة (ميغا باسكال)	3800
الإستطالة عند الإنهيار	0.9%
مقاومة الشد (ميغا باسكال)	4500

المواصفات

الإختبارات التي أجريت على الخرسانة الطرية والتمصلبة وكذلك الإختبارات التي أجريت على مكونات الخرسانة من رمل وحصى وإسمنت، كل هذه الإختبارات كانت خاضعة للمواصفات العالمية. الجدول (3) يبين أرقام هذه المواصفات.

جدول (3): إختبارات البحث حسب المواصفات العالمية

أرقام المواصفات	الإختبارات
	الإسمنت
ASTM C 184-83	نعومة الإسمنت باستخدام منخل رقم 200
ASTM C 188-87	الكثافة والوزن النوعي للإسمنت
	الركام (الحصى والرمل)
ASTM C 566-84	محتوى الرطوبة للركام (الرمل والحصى)
ASTM C 127-88	الوزن النوعي ونسبة الإمتصاص للحصى
ASTM C 128-88	الوزن النوعي ونسبة الإمتصاص للرمل
ASTM C 136-84a	التحليل المنخلي للحصى
BS 882:1992	التحليل المنخلي للرمل
	الخرسانة الطرية و المتصلبة
ASTM C 143-89a	إختبار الهبوط
BS 1881 : part 116 : 1983	مقاومة الضغط للعينات الخرسانية المكعبة
ASTM C78 [C 1018 - 97]	مقاومة الإنحناء
	حديد التسليح
ASTM E8M	إختبار الشد

عملية الصب

تم صب ودمك الكمرات في قوالب معدنية محكمة لضمان الحصول على أسطح مستوية وأبعاد وأركان منتظمة كما هو موضح في الشكل (1). كما تم صب عدد 4 مكعبات مقاس (150X150X150) مم عند صب الكمرات، وذلك لقياس مقاومة الضغط للخرسانة. بعد مرور 24 ساعة من الصب تم فك قوالب المكعبات وقوالب الكمرات وتم غمرها بالماء لمدة 7 أيام.



الشكل (1) قوالب معدنية لصب الكمرات

وقد أظهرت نتائج إختبار الخلطة قواما لدنا وبهبوط يتراوح من 7سم إلى 12سم، ومتوسطا لمقاومة الضغط للخرسانة في حدود 24.75 نيوتن/مم².

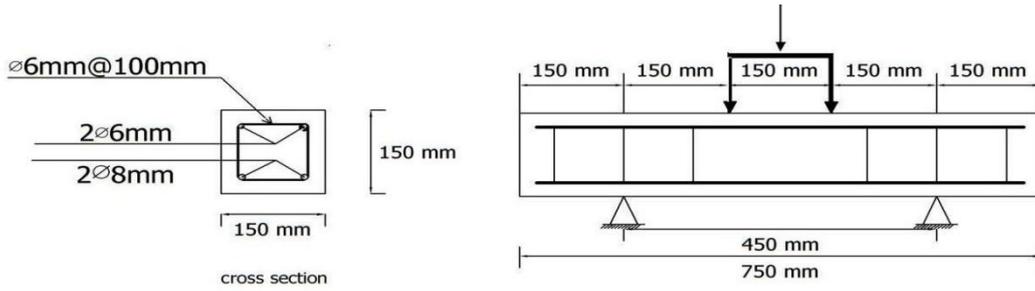
طريقة التدعيم

تم تدعيم الكمرات بشرائح ألياف الكربون على النحو التالي:

1. تجهيز سطح الكمرة الخرسانية بواسطة قرص صاروخ التجليخ وتم تنظيف السطح من الأتربة والأجزاء السائبة بواسطة شفاط. وتم بعد ذلك تجفيف سطح الكمرة الخرسانية بواسطة الهواء الساخن.
2. تجهيز المادة اللاصقة وذلك عن طريق خلط مركبي الإيبوكسي في وعاء بواسطة سكين مزر خاصة طبقاتاً للتوصيات المنصوص عليها في النشرة الخاصة بالسليكا دور 330.
3. تم وضع الخليط في خلاط كهربائي وخلطه لمدة 3 دقائق حتى تختفي أي خطوط لأي من مركبي الإيبوكسي. ثم يتم وضع المركبين في وعاء نظيف ويتم إخراج فقاعات الهواء منه عن طريق ضربه في الخلاط بسرعة أقل ولمدة دقيقة واحدة فقط.
4. تم وضع مادة الإيبوكسي على سطح الخرسانة بواسطة فرشاة خاصة وبمعدل 1.2 كجم/م² حسب النشرة الخاصة للمادة.
5. وضعت شرائح ألياف الكربون على المادة اللاصقة (الإيبوكسي) وتم فردها برولة خاصة بلاستيكية.

الإختبارات والنتائج

كل الكمرات الخرسانية تم إختبارها ككمرات بسيطة الإسناد معرضة لحملين مركزين، المسافة الصافية بين الركيزتين 450مم كما هو موضح في الشكل رقم (2). تم التأثير بالحمل من خلال مضخة هيدروليكية، وقد تم التحميل تدريجياً على مراحل تزايدية من صفر حتى حمل الإنهيار. تم تثبيت عداد قياس في منتصف الكمرة الخرسانية من الأسفل لقياس السهم الناتج عند كل حالة تحميل.



شكل (2) طريقة تحميل الكمرات

تم صب واختبار عدد عشر كمرات خرسانية مساحة قطاعها (150 مم X 150 مم) وطولها 750 مم. وتم تقسيم الكمرات الخرسانية على النحو التالي:

الكمرة رقم (1): هذه الكمرة كانت بدون تدعيم حيث الغرض منها المرجعية للمقارنة. الشكل (3) يوضح الكمرة قبل إجراء الإختبار، والشكل (4) يوضح شكل الإنهيار بعد الإختبار. يوضح الجدول (4) أقصى حمولة وأقصى هبوط ونوع الإنهيار.



الشكل (4) الكمرة بعد الإختبار



الشكل (3) الكمرة قبل الإختبار

الجدول (4) أقصى حمولة وأقصى هبوط ونوع الإنهيار

الحمل الأقصى	الهبوط الأقصى	نوع الإنهيار	الزيادة في الحمل الأقصى %
95.3 كيلو نيوتن	3.48 مم	إنحناء	0.00 %

الكمرة رقم (2): تم تدعيم الكمرة من الأسفل على الإنحناء بشريحة طولها 400 مم وعرضها 100 مم، ولم يتم تدعيمها على القص، كما هو موضح في الشكل (5). الشكل (6) يوضح شكل الإنهيار بعد الإختبار، ويوضح الجدول (5) أقصى حمولة وأقصى هبوط ونوع الإنهيار.



الشكل (6) الكمرة بعد الإختبار



الشكل (5) الكمرة قبل الإختبار

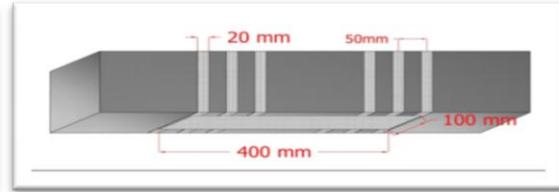
الجدول (5) أقصى حمولة وأقصى هبوط ونوع الإنهيار

الحمل الأقصى	الهبوط الأقصى	نوع الإنهيار	الزيادة في الحمل الأقصى %
136 كيلو نيوتن	3.40 مم	قص	42.71 %

الكمرة رقم (3): تم تدعيم الكمرة من الأسفل على الإنحاء بشريحة طولها 400 مم وعرضها 100 مم، وتم تدعيمها على القص بعدد 3 شرائح على شكل حرف U بعرض 20 مم لكل شريحة وبتباعد 50 مم من مركز الشريحة، كما هو موضح في الشكل (7). الشكل (8) يوضح شكل الإنهيار بعد الإختبار، ويوضح الجدول (6) أقصى حمولة وأقصى هبوط ونوع الإنهيار.



الشكل (8) الكمرة بعد الإختبار



الشكل (7) الكمرة قبل الإختبار

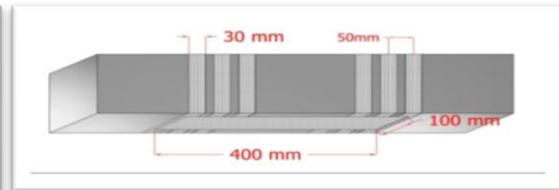
الجدول (6) أقصى حمولة وأقصى هبوط ونوع الإنهيار

الحمل الأقصى	الهبوط الأقصى	نوع الإنهيار	الزيادة في الحمل الأقصى %
150 كيلو نيوتن	2.24 مم	قص	57.40 %

الكمرة رقم (4): تم تدعيم الكمرة من الأسفل على الإنحاء بشريحة طولها 400 مم وعرضها 100 مم، وتم تدعيمها على القص بعدد 3 شرائح على شكل حرف U بعرض 30 مم لكل شريحة وبتباعد 50 مم من مركز الشريحة، كما هو موضح في الشكل (9). الشكل (10) يوضح شكل الإنهيار بعد الإختبار، ويوضح الجدول (7) أقصى حمولة وأقصى هبوط ونوع الإنهيار.



الشكل (10) الكمرة بعد الإختبار



الشكل (9) الكمرة قبل الإختبار

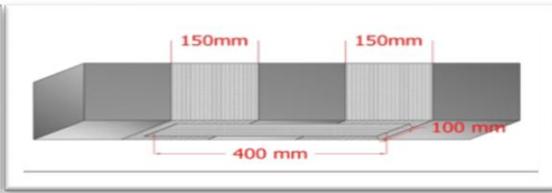
الجدول (7) أقصى حمولة وأقصى هبوط ونوع الإنهيار

الحمل الأقصى	الهبوط الأقصى	نوع الإنهيار	الزيادة في الحمل الأقصى %
155 كيلو نيوتن	3.09 مم	قص	62.64 %

الكمرة رقم (5): تم تدعيم الكمرة من الأسفل على الإنحناء بشريحة طولها 400 مم وعرضها 100 مم ، وتم تدعيمها على القص بشريحة واحدة على كامل منطقة القص بعرض 150مم وعلى شكل حرف U، كما هو موضح في الشكل (11). الشكل (12) يوضح شكل الإنهيار بعد الإختبار، ويوضح الجدول (8) أقصى حمولة وأقصى هبوط ونوع الإنهيار.



الشكل (12) الكمرة بعد الإختبار



الشكل (11) الكمرة قبل الإختبار

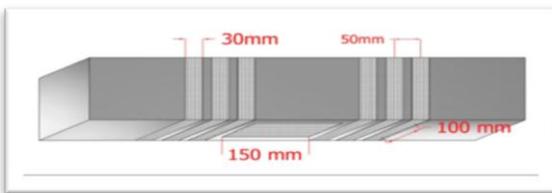
الجدول (8) أقصى حمولة وأقصى هبوط ونوع الإنهيار

الحمل الأقصى	الهبوط الأقصى	نوع الإنهيار	الزيادة في الحمل الأقصى %
160 كيلو نيوتن	2.94 مم	لا انهيار	67.9 %

الكمرة رقم (6): تم تدعيم الكمرة من الأسفل على الإنحناء بشريحة طولها 150 مم وعرضها 100 مم، وتم تدعيمها على القص بعدد 3 شرائح على شكل حرف U بعرض 30مم لكل شريحة وبتباعد 50 مم من مركز الشريحة، كما هو موضح في الشكل (13). الشكل (14) يوضح شكل الإنهيار بعد الإختبار، ويوضح الجدول (9) أقصى حمولة وأقصى هبوط ونوع الإنهيار.



الشكل (14) الكمرة بعد الإختبار



الشكل (13) الكمرة قبل الإختبار

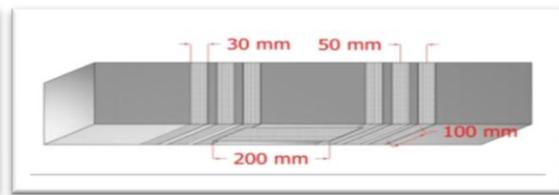
الجدول (9) أقصى حمولة وأقصى هبوط ونوع الإنهيار

الحمل الأقصى	الهبوط الأقصى	نوع الإنهيار	الزيادة في الحمل الأقصى %
150 كيلو نيوتن	5.1 مم	إنحناء	57.40 %

الكمرة رقم (7): تم تدعيم الكمرة من الأسفل على الإنحناء بشريحة طولها 200 مم وعرضها 100 مم، وتم تدعيمها على القص بعدد 3 شرائح على شكل حرف U بعرض 30 مم لكل شريحة وبتباعد 50 مم من مركز الشريحة، كما هو موضح في الشكل (15). الشكل (16) يوضح شكل الإنهيار بعد الإختبار، ويوضح الجدول (10) أقصى حمولة وأقصى هبوط ونوع الإنهيار.



الشكل (16) الكمرة بعد الإختبار



الشكل (15) الكمرة قبل الإختبار

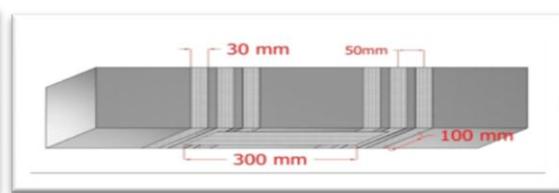
الجدول (10) أقصى حمولة وأقصى هبوط ونوع الإنهيار

الحمل الأقصى	الهبوط الأقصى	نوع الإنهيار	الزيادة في الحمل الأقصى %
152 كيلو نيوتن	4.39 مم	قص - إنحناء	59.50 %

الكمرة رقم (8): تم تدعيم الكمرة من الأسفل على الإنحناء بشريحة طولها 300 مم وعرضها 100 مم، وتم تدعيمها على القص بعدد 3 شرائح على شكل حرف U بعرض 30 مم لكل شريحة وبتباعد 50 مم من مركز الشريحة، كما هو موضح في الشكل (17). الشكل (18) يوضح شكل الإنهيار بعد الإختبار، ويوضح الجدول (11) أقصى حمولة وأقصى هبوط ونوع الإنهيار.



الشكل (18) الكمرة بعد الإختبار

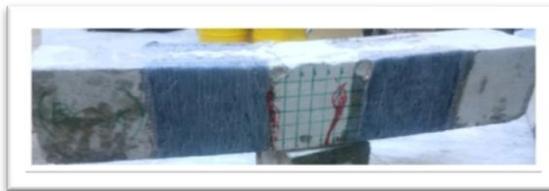


الشكل (17) الكمرة قبل الإختبار

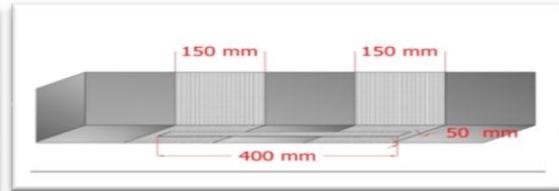
الجدول (11) أقصى حمولة وأقصى هبوط ونوع الإنهيار

الحمل الأقصى	الهبوط الأقصى	نوع الإنهيار	الزيادة في الحمل الأقصى %
153 كيلو نيوتن	3.85 مم	قص- إنحناء	60.54 %

الكمرة رقم (9): تم تدعيم الكمرة من الأسفل على الإنحناء بشريحة طولها 400 مم وعرضها 50 مم، وتم تدعيمها على القص بشريحة على شكل حرف U بعرض ثابت 150 مم، كما هو موضح في الشكل (19). الشكل (20) يوضح شكل الإنهيار بعد الإختبار، ويوضح الجدول (12) أقصى حمولة وأقصى هبوط ونوع الإنهيار.



الشكل (20) الكمرة بعد الإختبار



الشكل (19) الكمرة قبل الإختبار

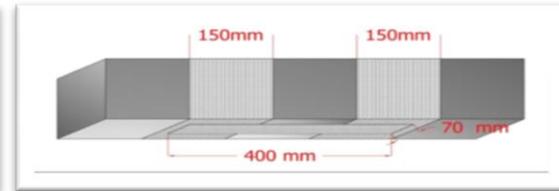
الجدول (12) أقصى حمولة وأقصى هبوط ونوع الإنهيار

الحمل الأقصى	الهبوط الأقصى	نوع الإنهيار	الزيادة في الحمل الأقصى %
153 كيلو نيوتن	2.54 مم	إنحناء	61.1 %

الكمرة رقم (10): تم تدعيم الكمرة من الأسف على الإنحناء بشريحة طولها 400 مم وعرضها 70 مم، وتم تدعيمها على القص بشريحة على شكل حرف U بعرض ثابت 150 مم، كما هو موضح في الشكل (21). الشكل (22) يوضح شكل الإنهيار بعد الإختبار، ويوضح الجدول (13) أقصى حمولة وأقصى هبوط ونوع الإنهيار.



الشكل (22) الكمرة بعد الإختبار



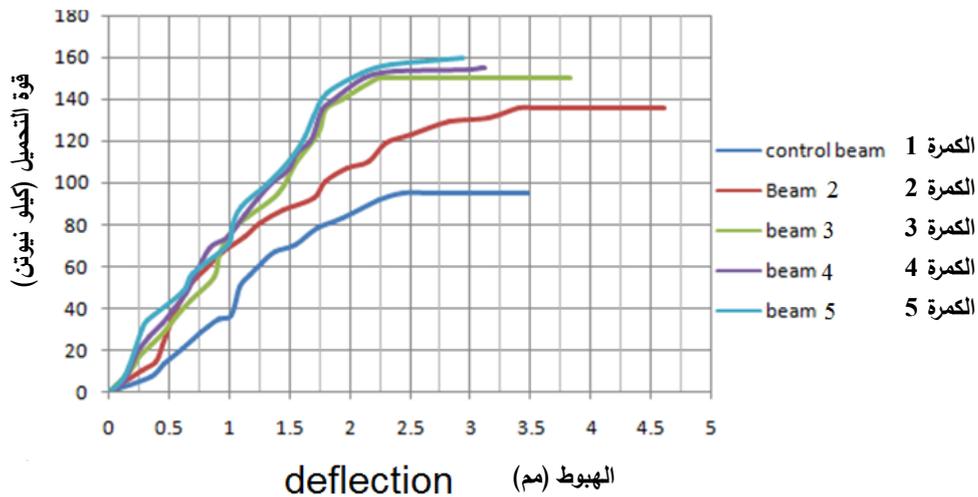
الشكل (21) الكمرة قبل الإختبار

الجدول (13) أقصى حمولة وأقصى هبوط ونوع الإنهيار

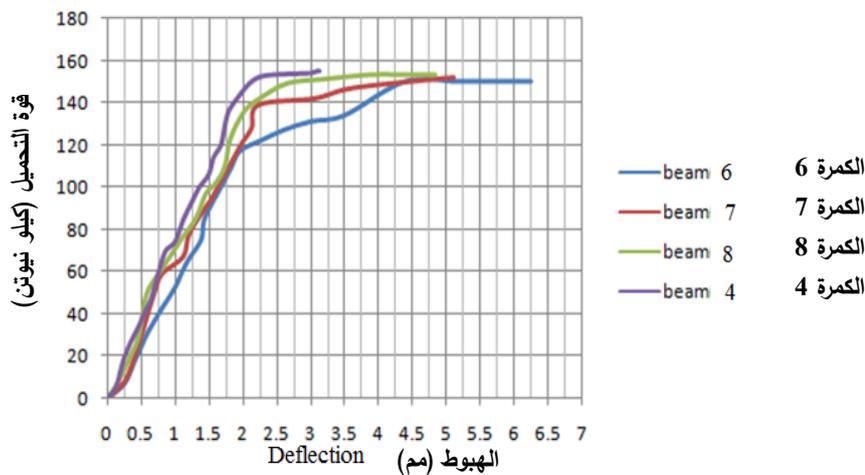
الحمل الأقصى	الهبوط الأقصى	نوع الإنهيار	الزيادة في الحمل الأقصى %
156 كيلو نيوتن	2.41 مم	إنحناء	63.7 %

العلاقة بين قوة التحميل والهبوط

يبين الشكل البياني (23) العلاقة فيما بين قوة التحميل والهبوط للكمرات المختبرة (1، 2، 3، 4 و5)، بينما يبين الشكل البياني (24) العلاقة فيما بين قوة التحميل والهبوط للكمرات المختبرة (6، 7 و8).



الشكل (23) العلاقة فيما بين قوة التحميل والهبوط للكمرات المختبرة (1، 2، 3، 4 و5)



الشكل (24) العلاقة فيما بين قوة التحميل والهبوط للكمرات المختبرة (6، 7 و8)

الإستنتاجات المستخلصة

فيما يلي أهم الإستنتاجات المستخلصة من هذا البحث:

- 1- التحسن في السعة التحميلية للكمرات على القص نتيجة تقويتها بشرائح الكربون، ففي الكمرات من 2 إلى 5 تراوحت نسبة الزيادة في السعة التحميلية من 42.71% إلى 67.9%، ويعتمد ذلك على نسبة شرائح الكربون وأسلوب وشكل التقوية.
- 2- لنسبة التقوية بشرائح الكربون أثر كبير في تحسين السعة التحميلية للكمرات على الإنحناء، ففي الكمرات من 6 إلى 10 فإن السعة التحميلية زادت بنسبة تتراوح بين 57.40% إلى 63.70%، ويعتمد ذلك على نسبة وأبعاد شرائح الكربون.
- 3- في الكمرتين 9 و 10، وعند تغيير عرض شريحة ألياف الكربون من 100 إلى 70مم ثم إلى 50مم فإن قوة التحمل على الإنحناء قلت بنسبة 11% مقارنة مع الكمرة المدعمة بشريحة عرضها 100مم، وهذا يدل على أن النسبة الأنسب للطول على العرض هي 0.25 في حالة التدعيم على الإنحناء.
- 4- صلابة الكمرات المدعمة بألياف الكربون زادت بشكل ملحوظ.
- 5- شكل الفشل للكمرات المدعمة بألياف الكربون يختلف عنه في الكمرات العادية، ففي حالة الكمرات المدعمة بألياف الكربون ظلت الكمرات متماسكة ومحافطة على شكلها حتى بعد الوصول إلى حمل الفشل النهائي.

المراجع

1. FRP Strengthening of Concrete Structures – Design Constraints and Practical Effects on Construction Detailing, (Rob Irwin and Amar Rahman)
2. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, ACI 440.2R-02
3. BBR Systems 2002; Guide to the Design and Application of FRP Materials for Enhancement of Concrete Structures; Internal Publication, Revision 1, September 2002.
4. Master thesis - Catalin Andrei Neagoie, (Concrete Beams Reinforced With CFRP Laminates), (Febrer 2011)
5. Doctor of Philosophy, Use of CFRP to Provide Continuity in Existing Reinforced Concrete Members Subjected to Extreme Loads, (August 2008)
6. Arab Republic of Egypt, Ministry of Housing, Utilities and Urban Utilities.