

جامعة بني وليد



المؤتمر الوطني الثامن لمواد البناء والهندسة الإنشائية



مجلد الأبحاث العلمية

اعداد: اللجنة العلمية للمؤتمر

المقدمة

إن ما نراه من تطور كبير في علم الهندسة الإنشائية ومواد البناء الذي يشهده العالم أدى إلى تزايد التنافس في صناعات البناء والتشييد. التطور العلمي والتقني جاء نتيجةً لأبحاث ودراسات قام بها العلماء والباحث في مجال هندسة الإنشاءات وتكاثف جهود المؤسسات بمختلف المجتمعات لوضع التشريعات المناسبة وتنظيم ودعم برامج البحث العلمي بالجامعات ومراكز البحوث.

ونظراً لما تتمتع به الدولة الليبية بشكل عام بتوفر مختلف الثروات الطبيعية وبشكل خاص توفر المواد الخام التي تدخل في تصنيع مواد البناء والتشييد مما يمكن استغلاله بشكل أمثل في صناعات كثيرة لتحسين وتطوير صناعة البناء والتشييد بمختلف مناطق الدولة الليبية وذلك بما يتماشى وظروف المناطق العمرانية.

من هذا المنطلق تقرر استضافة وتنظيم المؤتمر الوطني الثامن لمواد البناء والهندسة الإنشائية 2021 من قبل كلية الهندسة بجامعة بني وليد ليكون استمراراً للمؤتمرات السابقة والتي كان أول انطلاق لها من قسم الهندسة المدنية بجامعة سبها عام 2002 وتواصل تنظيم بقية المؤتمرات بمختلف مدن ليبيا وكان آخرها المؤتمر الوطني السابع لمواد البناء والهندسية الإنشائية 2018 الذي استضافته جامعة عمر المختار.

اللجنة التحضيرية للمؤتمر الثامن 2021 تود أن تشيد بجهود اللجنة الدائمة للمؤتمر الوطني لمواد البناء والهندسة الإنشائية والتي أشرفت على سلسلة المؤتمرات السابقة، ووافر الشكر أيضاً لرئيس المؤتمر الدكتور صلاح الدين الساعدي محمد رئيس المؤتمر ورئيس جامعة بني وليد لدعمه الكبير للمؤتمر، والشكر والتقدير أيضاً لجميع أعضاء اللجنة العلمية للمؤتمر وجميع الداعمين والمنظمين والحضور.

أهداف المؤتمر:

1. التعرف على كل ما هو حديث في مجال صناعة مواد البناء وتبادل الخبرات العلمية بين المتخصصين في هذا المجال.
2. توفير مقومات التطوير المستمر في صناعة وإنتاج واختبار مواد البناء والهندسة الإنشائية وذلك لمواكبة التطورات العلمية والتكنولوجية المتسارعة.
3. الارتقاء بالمهتمين والمتخصصين في مجال البناء والهندسة الإنشائية إلى التنافس عالمياً وإنجاز البحوث والدراسات العلمية الرصينة.
4. المساهمة في ضبط وتأكيد الجودة لمشروعات التشييد الجارية وتقديم الخبرات الاستشارية والخدمات العلمية للجهات المحفلة من الهيئات والشركات العامة والخاصة.
5. إمكانية تطوير واستغلال مواد البناء في مجال التحليل والتصميم والتنفيذ والصيانة في مجال البناء.
6. مناقشة إعادة وتدوير واستغلال مواد البناء في المباني المتضررة والمنهارة.

محاوالمؤتمر:

1. استخدام مواد البناء وتقنياتها في أعمال البناء والتشييد

- معاير ومواصفات مواد البناء المحلية.
- أساليب وطرق تحسين الخواص الهندسية لمواد البناء وتطويرها.
- الإضافات الخرسانية واستخدامها على المستوى المحلي.
- أفاق صناعة مواد البناء واقتصادياتها.

2. التحليل والتصميم والتنفيذ الإنشائي

- الأساليب الحديثة في مجال التحليل والتصميم الإنشائي.
- الأساليب الحديثة في مجال التنفيذ والتصميم والإشراف.
- التأسيس والهندسة الجيوتقنية.

3. إعادة تأهيل المباني والمنشآت.

- الأساليب الحديثة في مجال تقييم وإصلاح وإعادة المنشآت.
- المواد الحديثة المستخدمة في إعادة تأهيل المنشآت.
- الأساليب الحديثة المستخدمة في تقوية العناصر الخرسانية.
- إعادة تدوير مخلفات البناء.

4. إعادة الإعمار والاستفادة من المنشآت المتضررة من الحروب.

- تقييم وإصلاح المنشآت المتعرضة للحرائق.
- تدوير واستغلال مواد البناء في المباني المنهارة.
- معالجة التصدعات الإنشائية ومدى إمكانية الاستفادة من المنشآت المتعرضة للانفجارات.
- إمكانية الاستفادة من المشاريع المتوقفة من النواحي الفنية.

رئيس المؤتمر

د. صلاح الدين الساعدي محمد

رئيس اللجنة الدائمة للمؤتمر

أ.د. عبد السلام المبروك عكاشة

اللجنة العليا للمؤتمر

رئيساً	رئيس الجامعة السابق	د. عبد الحميد فرج صالح
عضواً	وكيل الشؤون العلمية السابق	د. محمد عثمان الفيتوري
عضواً	عميد كلية الهندسة	أ. د. إبراهيم محمد الحاج الفقهي
عضواً	الكاتب العام	أ. محمد امحمد الربيعي
عضواً	مكتب البحوث والاستشارات	أ. عمران أحمد البيوني

اللجنة العلمية للمؤتمر

رئيساً	أ. د. مختار معمّر أبوراوي
مقررأ	أ. أيمن فتح الله المبروك
عضواً	أ. د. إبراهيم محمد الحاج الفقهي
عضواً	أ. د. عبد السلام المبروك عكاشة
عضواً	أ. د. صالح يحي الباروني
عضواً	أ. د. مصطفى محمد الطويل
عضواً	أ. د. علي سالم أنقاب
عضواً	أ. د. محمد امحمد شاهين
عضواً	أ. د. مسعود حركات أرحومة
عضواً	أ. د. ميلود العجيلي غبار
عضواً	أ. د. امحمد عبد الله الرزاقى
عضواً	أ. د. عمر رمضان الزروق
عضواً	د. ناجي امحمد صالح
عضواً	د. صلاح الدين الساعدي محمد

اللجنة التحضيرية للمؤتمر

رئيساً	أ. د. إبراهيم محمد الحاج الفقهي
عضواً	أ. د. عبد السلام المبروك عكاشة
عضواً	د. محمد عثمان الفيتوري
عضواً	د. عبد السلام علي أحمد دومه
عضواً	د. عمر صالح محمود جمعة
عضواً	أ. عبد العاطي أحمودة مصباح
عضواً	أ. أيوب حامد بشير
عضواً	أ. حمزة علي إبراهيم الصحراوي
عضواً	د. خالد صالح عبود
عضواً	أ. مصطفى مفتاح إبراهيم

اللجنة الإعلامية

رئيساً	أ. عبد الفتاح خميس الجدك
عضواً	أ. معمر مصباح محمد
عضواً	أ. الناير أحمودة اليعقوبي
عضواً	أ. فرج ميلاد الشقار

لجنة الخدمات والاستقبال والضيافة

رئيساً	خليفة المهدي سويبي
عضواً	رمضان سالم جمعة
عضواً	محمود امحمد عبد الرحمن
عضواً	حسين فرج المروم
عضواً	حسين فرج انبيية
عضواً	عامر المبروك كجمان

الفهرس

ii	.....المقدمة
ii	.....أهداف المؤتمر
iv	.....اللجنة العلمية للمؤتمر
v	.....اللجنة التحضيرية للمؤتمر
v	.....اللجنة الإعلامية
v	.....اللجنة الخدمات و الاستقبال والضيافة

المحور الأول: استخدام مواد البناء وتقنياتها في أعمال البناء والتشييد

1	.....تأثير درجات النعومة للرمل على خواص الخرسانة
12	.....تأثير الركام الناتج من مخلفات الأجر على خواص الخرسانة ذاتية الدمك
25	.....تأثير السطح النوعي للركام الخشن على خواص الخرسانة
34	.....تأثير الكاولين كبديل جزئي للإسمنت على مقاومة الضغط
52	.....تأثير الاوساط البيئية على الخرسانة بالمناطق الساحلية الصناعية في ليبيا
66	.....دراسة مقارنة بين الخواص الميكانيكية والفيزيائية للخرسانة الاعتيادية والخرسانة ذاتية الدمك
75	.....دراسة سلوك وخواص الخرسانة الحاوية على ألياف البولي بروبيلين
93	.....دراسة تأثير أنواع مختلفة من البودرة علي خواص مارشال للخلطات الاسفلتية الساخنة
105	.....نمذجة تأثير درجة حرارة الدمك على معاملات تصميم مارشال للخلطات الإسفلتية الساخنة والمحسنة
122	.....التغيرات في خواص الخرسانة عند تعرضها للتحميل المستمر والمتكرر مصاحبا للتغير في درجات التشبع بالرطوبة
130	.....تأثير نوع الركام على مقاومة الضغط للخرسانة

المحور الثاني: التحليل والتصميم والتنفيذ الإنشائي

141	.....الانبعاج الجانبي والفتلي لأعمدة لافتات بسبب الرياح
149	.....الطويل للتكامل المتناهي في التحليل الإنشائي
162	.....تصميم وتحليل جيوتقني لأساسات مبنى
170	.....دراسة تأثيرات الاحتكاك الحاصل بين حبيبات التربة وأسطح الأساسات
183	.....تأثير التمدد المرن للخرسانة على فواید الإجهاد في الخرسانة سابقه الإجهاد

المحور الثالث: إعادة تأهيل المباني والمنشآت

195	.....	خواص خرسانة الركام المعاد الحاوية علي غبار السيلكا.....
208	.....	دراسة تأثير إستخدام مسحوق مخلفات بلاط الحوائط والأرضيات (السيراميك) على بعض خواص الخرسانة الطرية والمتصلدة
224	.....	دراسة مرجعية لاستخدام الركام المعاد تدويره المعالج والغير معالج لإنتاج خرسانة صديقة للبيئة.....
241	.....	إعادة استخدام الخرسانة التالفة (المحطمة) في الخلطة الخرسانية.....
المحور الرابع: إعادة الإعمار والاستفادة من المنشآت المتضررة من الحروب		
253	.....	تأثير ضبط الجودة على إعادة العمل في مشاريع البناء.....
266	.....	دراسة أسباب إعادة العمل المتعلقة بإدارة المشروع في بعض مشاريع البناء في ليبيا.....
277	.....	اقتصاديات صناعة مواد البناء الواقع والتحديات.....
297	.....	تقييم تأثير الخواص الميكانيكية للخرسانة على خدمية العناصر الإنشائية وسلامة المنشآت الحافظة للسوائل.....

تأثير درجات النعومة للرمل على خواص الخرسانة

*أ. د إبراهيم محمد الحاج الفقهي¹، أ. حمزة علي إبراهيم ال صحراوي²

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

*المراسلة¹ DrEngimi61@gmail.com ²Hamza.alsahrawe@yahoo.com

المخلص

نعومة الرمل من العوامل التي تؤثر في قوام الخلطات الخرسانية بشكل مباشر حيث تعمل على زيادة نسبة الماء اللازمة للخلط، في الوقت الذي يؤدي فيه زيادة نسبة الماء على الخلطة في تغيير خواص الخرسانة الناتجة ، إلا أنه ليس بالضرورة أن لا يتم انتاج خرسانة مقبولة ، إذ أن الفحوصات التي تجرى على الركام ما هي إلا عوامل مساعدة لتقدير وتحديد صلاحية ذلك الركام للاستعمال في الخرسانة .

خلال هذه الدراسة العملية أخذت ثلاث عينات من الركام الناعم المتوفر في مدينة بني وليد مختلفة المصدر (زليتن ، سيدي السايح ، وادي سوف الجين-بني وليد) وأجريا لها الاختبارات والميكانيكية والكيميائية ، وتم إعداد خلطات خرسانية تحتوي على هذه الرمال منفردة وتم خلط هذه الرمال نسب مختلفة مع رمل وادي سوف الجين-بني وليد الأكثر توفرا في المنطقة.

أوضحت النتائج العملية أن رمل وادي سوف الجين-بني وليد وهو الأكثر نعومة يعطي مقاومة ضغط تقارب 50% من مقاومة الضغط المطلوبة والتي تتراوح بين (11-15) ميغا باسكال ، أما رمل سيدي السايح والذي يعتبر أقل نعومة من الأول يعطي مقاومة ضغط تقارب 80% من مقاومة الضغط المطلوبة والتي تتراوح بين (20-25) ميغا باسكال ، أما رمل زليتن والذي يعتبر الأكثر خشونة يعطي مقاومة ضغط تصل إلى 100% من مقاومة الضغط المطلوبة والتي تتراوح بين (28-34) ميغا باسكال .

وعند خلط رمل زليتن مع رمل وادي سوف الجين-بني وليد تبين أن مقاومة الضغط تزداد بزيادة نسبة رمل زليتن (0%-25%-50%-75%-100%) لتكون المقاومة (11- 22.4 - 29 - 30 - 34 ميغا باسكال على التوالي أما عند خلط رمل سيدي السايح مع رمل وادي سوف الجين-بني وليد تبين أن مقاومة الضغط لا تتأثر بكمية رمل سيدي السايح ويرجع السبب لتقارب معامل النعومة بينه وبين رمل وادي سوف الجين (0%-25%-50%-75%-100%) لتكون المقاومة (11 - 22 - 24 - 25) ميغا باسكال على التوالي .

الكلمات المفتاحية: خرسانة، رمل، الركام الناعم، مقاومة ضغط، نعومة.

المقدمة

الركام هو عبارة عن مواد حبيبية صلبة تدخل في العديد من الأعمال الهندسية المختلفة مثل الخرسانة والرصف والردم... إلخ، و لا تقل أهمية الركام في هذه الأعمال عن غيره من المواد الأخرى، ففي أعمال الخرسانة يشغل الركام حوالي (65%-80%) من حجم الخرسانة حسب نوعيتها كما أنه يساهم بشكل

مباشر في تحمل العنصر الإنشائي للإجهادات والأحمال المسلطة عليه، بالإضافة الى أنه يعتبر أقل المواد من حيث التكلفة الاقتصادية وذلك لأنه متوفر محليا

معامل النعومة

معامل نعومة الرمل من العوامل التي يتم حسابها من التحليل المنخلي للرمل حيث يعرف بأنه مجموع المتجمع للنسب المئوية المتبقية على كل منخل من المناخل القياسية . هذا وتكون قيمة معامل النعومة أكبر كلما كبر مقياس الركام ، ويمكن أن نعتبر أن معامل النعومة على أنه المعدل الموزون لقد أوضح بوبوايز أنه معدل لوغاريتمي لتوزيع المقاسي للحبيبات⁽¹⁾.

وبصفة عامة يمكن أن يعبر معامل نعومة واحد مالا نهاية من توزيعات مختلفة بالكامل للمقاس أو منحنى التدرج ، وبالتالي لا يمكن إستعمال معامل النعومة كوصف لتدرج الركام ولكنه ذو أهمية لقياس الاختلافات البسيطة الحاصلة في الركام الناتج من مصدر واحد أي يمكن أن يستعان به للتدقيق للركام بشكل يومي . وعلى الرغم من ذلك فإن معامل النعومة يعطي فكرة لسلكية المحتملة للخلطة الخرسانية المصنعة بركام بتدرج معين بالإضافة إلى تقييم الركام في مدى استخدامه وتصميم الخلطة الخرسانية⁽²⁾ .

استعمالات الركام الناعم

يستعمل الركام الناعم في أغراض هندسية مختلفة وتتمثل في :

1. صناعة الخرسانة 2. صناعة الطوب الإسمنتي 3. أعمال الرصف 4. تحسين الخواص الهندسية للتربة

المواد و الاختبارات المعملية.

الركام الناعم

إن معرفة خواص الركام المستخدم في الاعمال الهندسية المختلفة مؤشر واضح على مدى جودة العمل الهندسي المراد إنجازه , ولتحديد هذه الخواص يجب إجراء بعض التجارب المعملية ومقارنتها بالموصفات المحلية والدولية .

ومن التجارب المعملية التي تم إجرائها في هذه الدراسة الآتي:

أ . اختبار التحليل المنخلي.

تم إجراء هذا الاختبار على العينات منفردة ومن ثم دمج كل عينتين مع بعض نسب مختلفة ، حيث أوضحت نتائج هذا الاختبار ان العينات التي تحتوي على رمل وادي سوف الجين أغلبها تقع خارج المواصفات وذلك بسبب النعومة العالية ، بينما العينات التي تحتوي على رمل زليتن تعتبر مناسبة لأنها واقعة داخل المواصفات والشكل (1) يوضح نتائج الاختبارات ومقارنتها بالمواصفات القياسية الليبية(م ق ل 49-2002) والمواصفات البريطانية BS882:2002 .

ب . اختبار إيجاد كمية المواد الناعمة المارة من منخل رقم 200 بطريقة الغسل

يحدد هذا الاختبار كمية المواد الناعمة التي تمر من منخل رقم 200 (0.075 ملم) بطريقة الغسيل ، حيث يتم غسل العينة وتنفصل الأجزاء الطينية عن الأجزاء الخشنة بشكل أكثر فاعلية من التحليل المنخلي الجاف ويجرى هذا الاختبار قبل اختبار التحليل المنخلي الجاف والجدول (1) يوضح نتائج الاختبارات ومقارنتها بالمواصفات القياسية الليبية(م ق ل 49-2002) والمواصفات البريطانية BS882:2002 .

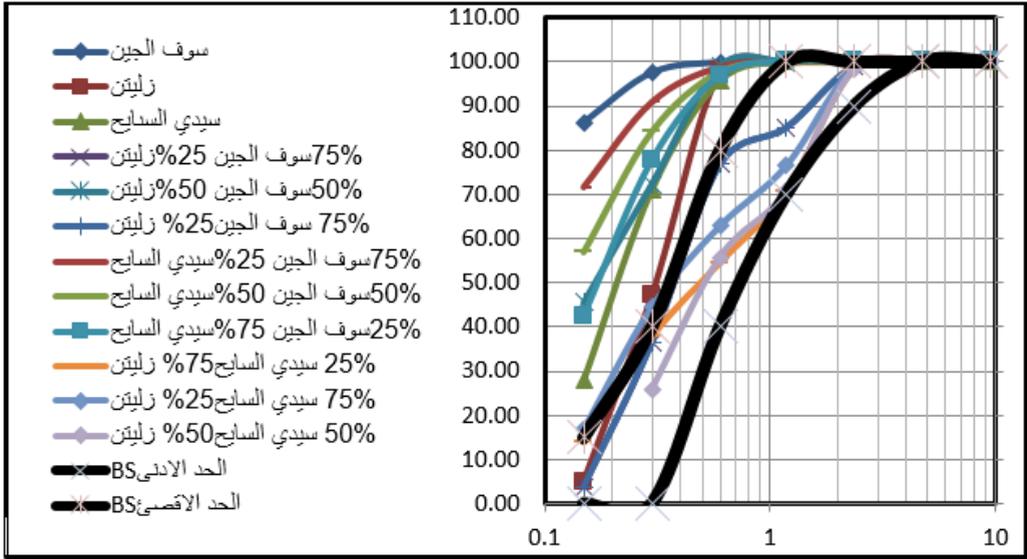
ج . اختبار تحديد الوزن النوعي ونسبة الامتصاص

إن الغرض من هذا الاختبار هو معرفة الوزن النوعي المشبع الظاهري والجاف ، حيث يتم الاستقادة منه في معرفة حجم الركام في الخلطات الخرسانية ونسبة الفراغات في الركام ، أما نسبة الامتصاص فتستخدم لتحديد كمية الماء الذي يمتصه الركام ، توضح النتائج أن نسبة الامتصاص لجميع العينات تقع داخل المواصفات القياسية الليبية(م ق ل 49-2002) و البريطانية BS882:2002 كما بالجدول (1) .

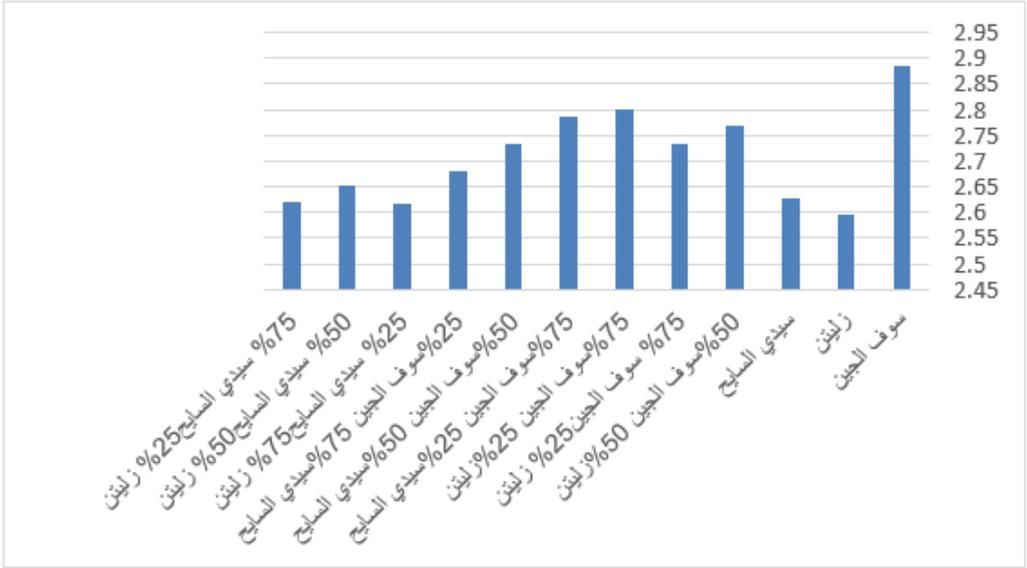
كما توضح النتائج أن الوزن النوعي أغلب العينات تقع داخل المواصفات القياسية الليبية(م ق ل 49-2002) والمواصفات البريطانية BS882:2002 كما بالشكل (2) .

الجدول رقم (1) نتائج الاختبارات الفيزيائية على عينات الرمل

وزن وحدة الحجم (Kg/m ³)	نسبة المواد الناعمة %	النسبة المئوية للإمتصاص %	الوزن النوعي SSD	اسم العينة	المواصفات
1800-1400	%4.0>	%3.0>	2.75>S. G>2.5	BS882:2002	
1800-1400	%3.0>	%3.0>	2.75>S. G>2.5	(م ق ل 49-2002)	
1588.3	6.7	0.866	2.64	رمل وادي سوف الجين	
1703	2.4	0.243	2.62	رمل سيدي السائح	
1690	1.72	0.517	2.697	رمل زليتن	



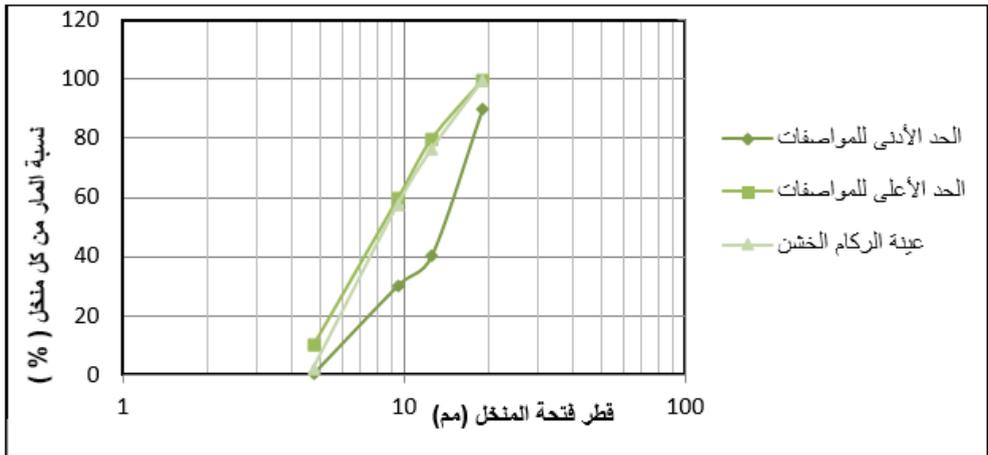
شكل (1) يوضح التحليل المنخلي لعينات الرمل



شكل (2) نتائج الوزن النوعي لعينات الرمل

الركام الخشن

تم توريد الركام الخشن من إحدى الكسارات الموجودة بمدينة بني وليد لصناعة الزلط بجميع أنواعه، ومن الاختبارات الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية كما هو موضح بالجدول (2) والشكل (3).



شكل (3) التدرج الحبيبي لعينة الركام الخشن وحدود المواصفات.

جدول (2) يوضح نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام الخشن حسب المواصفات.

حدود المواصفات		النتيجة	نوع الاختبار
LQS 49 – 2002	BS 882:2002		
2.75>S. G>2.5	2.75>S. G>2.5	2.6	الوزن النوعي
1800-1400	1800-1400	1959.33	وزن وحدة الحجم (كجم/م ³)
%3.0>	%3.0>	%0.755	الامتصاص (%)

الأسمنت

نوع الاسمنت المستخدم في هذه الدراسة هو الاسمنت البورتلاندي العادي (Type I) من إنتاج مصنع لإتحاد العربي للأسمنت (زليتن)،

ماء الخلط

تم استخدام ماء صالح لإعداد الخلطات الخرسانية ، وتم أخْتباره في مركز البحوث الصناعية بتاجوراء للتأكد من مطابقته للمواصفات القياسية البيئية رقم 294 لسنة 2013 (29).

عملية الخلط والصب والمعالجة

تم تصميم الخلطات الخرسانية بموجب الطريقة البريطانية وكانت الأوزان كما بالجدول تم استعمال خلاطة معملية لها وعاء سعة 3م³0.1 وتمت عملية الخلط بإضافة كمية الركام الخشن وجزء من الركام الناعم إلى وعاء الخلاطة ، ومن ثم إضافة الاسمنت وباقي الركام الناعم وتخلط بالخلاطة لمدة دقيقة واحدة ومن ثم يخلط الماء مع الملدن الفائق وتضاف للخلطة ويستمر الخلط لمدة دقيقتين وتم إعداد وخط وصب ودمك الخرسانة في قوالب مكعبة بأبعاد (150X150X150) مم وفي كل خلطة يتم تنظيف القوالب بشكل جيد بإزالة بقايا الخرسانة وتزييتها من الداخل لمنع التصاق الخرسانة بالقوالب وسهولة الفك بعد تصلبها ، ومن ثم بعد 24 ساعة من الصب يتم فكها ومعالجتها بالغمر في الماء وفي درجة حرارة الغرفة (22-27)°C ، ومن ثم تمت معالجة جميع العينات بعد فكها وترقيمها حسب خطة الدراسة في حوض مملوء بالماء وعند درجة حرارة لا تقل عن 20 درجة مئوية ، وتم ترك العينات في الأحواض حتى تاريخ الاختبار

اختبار التشغيلية

تم إجراء هذا الاختبار لجميع الخلطات الخرسانية لتديد مدى تشغيليتها ومقارنتها بالتشغيلية التصميمية ، كما تم إجراء هذا الاختبار حسب المواصفات البريطانية (BS 1881 PART102:1983)(30) والجدول (3) يبين قيم الهبوط التي تمقياسها لكل الخلطات وتأثير معامل النعومة عليها. الجدول (3) يوضح التشغيلية لكل خلطة.

معامل النعومة	الخلطة الخرسانية	w/c	الهبوط الحقيقي	الهبوط التصميمي	درجة التشغيلية
3.56	Mix 1	0.6	65	120	متوسطة
2.54	Mix 2	0.6	120	120	متوسطة
1.9	Mix 3	0.55	110	120	متوسطة
2.67	Mix 4	0.6	115	120	متوسطة
2.32	Mix 5	0.55	90	120	متوسطة
2.1	Mix 6	0.55	90	120	متوسطة
2.95	Mix 7	0.6	125	120	عالية
2.74	Mix 8	0.55	100	120	متوسطة
2.33	Mix 9	0.6	130	120	عالية
1.98	Mix 10	0.5	115	120	عالية
1.78	Mix 11	0.55	110	120	متوسطة
1.8	Mix 12	0.55	120	120	عالية

اختبار مقاومة الضغط

يتم إجراء اختبار مقاومة الضغط على العينات ذات المقاس 150*150*150ملم عند فترة زمنية قدرها 28 يوم من تاريخ الصب. تم إجراء هذا الاختبار على العينات حسب المواصفات البريطانية (BS 1881 Part 116:1983) (4) باستعمال جهاز تكسير عينات بمعدل تحميل 6 كيلو نيوتن لكل ثانية والموجود بكلية الهندسة الجامعة الاسمرية - زليتن.

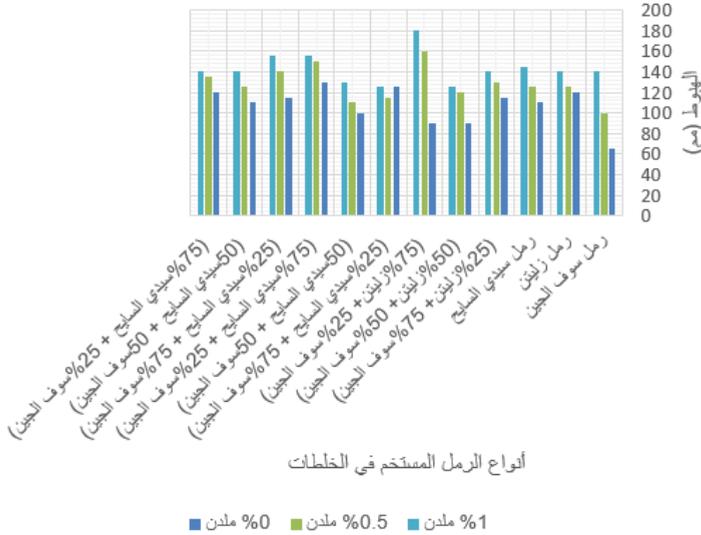
النتائج والمناقشة

نتائج اختبارات الخرسانة الطرية

الخواص الطرية لجميع الخلطات الخرسانية تم تقييمها باستخدام اختبار الهبوط (Slump Test) وذلك لغرض قياس مدى تشغيلية الخرسانة، ومن خلال المعاينة والملاحظة كانت نتائج اختبار الهبوط للخرسانة

المصنعة من أنواع مختلفة من الرمل متفاوتة، حيث أن هذه النتائج مقربة لأقرب كم ، وتشغيلية مجموعات الخلطات الخرسانية تتراوح من منخفضة إلى عالية حسب المواصفات البريطانية (BS 1881 Part 102:1983) (30) .

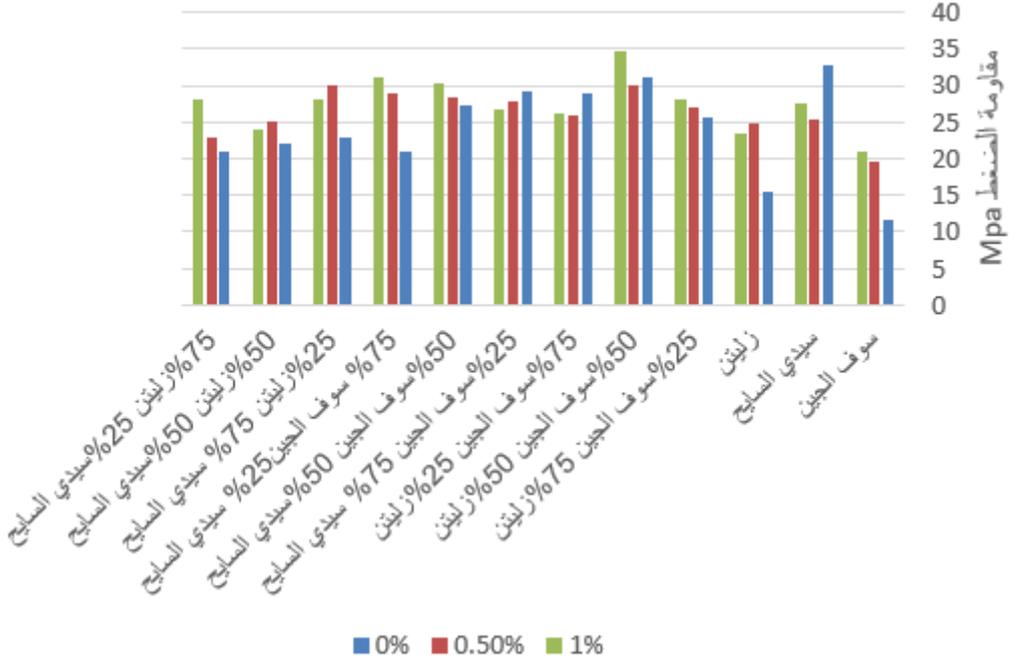
ان الخلطات المحتوية على رمل سوف الجين سجلت أقل معدل هبوط بحيث كانت تشغيليتها صعبة بعض الشيء ، حيث تطلب زيادة في كمية الماء اللازم للخلط حتى تصل نسبة الماء للأسمنت (0.6) و أكثر ، كما نلاحظ ان الخلطات المحتوية على رمل زليتن سجلت هبوط مناسب بنسبة ماء للأسمنت مناسبة (0.5) ، و نلاحظ ان الخلطات المحتوية على رمل سيدي السايح سجلت معدل هبوط يقارب لعينة رمل سوف الجين بحيث كانت تشغيليتها منخفضة بعض الشيء ، حيث تطلب زيادة في كمية زيادة الماء اللازم للخلط ، كما نلاحظ في الشكل (3) الذي يوضح الهبوط للخلطة المحتوية على هذه الرمال. عند خلط هذه الرمال مع بعضها تبين أن بعض خواصها تتحسن مما يعكس تحسن خصائص الخرسانة حيث نلاحظ ان الخلطات المحتوية على خليط من رمل زليتن وسوف الجين بنسب (25%-75%) على التوالي سجلت معدل هبوط يقارب لعينة رمل سوف الجين منفردة بحيث كانت تشغيليتها منخفضة ، كذلك الخلطات المحتوية على خليط من رمل زليتن وسوف الجين بنسب (50%-50%) على التوالي سجلت معدل هبوط منخفض حيث كانت جافة وصعبة التشغيل إلا أن الخلطات المحتوية على خليط من رمل زليتن وسوف الجين بنسب (25%-75%) على التوالي سجلت معدل هبوط أفضل من تلك التي في الحالتين السابقتين التي كانت متوسطة التشغيلية.



شكل (4) تأثير أنواع الرمل على هبوط الخرسانة

نتائج اختبارات مقاومة الخرسانة

تم اعتماد مقاومة الخرسانة بعمر (28) يوم محسوبة من لحظة إضافة ماء الخلط إلى مكونات الخرسانة وبعدد ثلاث عينات خرسانية لكل خلطة ويؤخذ متوسط قراءة جهاز الاختبار، وبثلاث نسب من الملدن



شكل (5) تأثير أنواع الرمل على مقاومة الخرسانة

من خلال الشكل (5) لم تكن نتائج مقاومة الضغط للعينات الخرسانية لرمل سوف الجين مطابقة للمقاومة التصميمية إلا أنه عند إضافة الملدن بنسب (0.5-1)% من وزن الاسمنت زادت تدريجاً بشكل ملحوظ ، سجلت نتائج مقاومة الضغط للعينات الخرسانية لرمل زليتن مطابقة للمقاومة التصميمية ، إلا أنه نلاحظ ايضاً ان كلما كانت نسبة الملدن (0.5%) أعطت مقاومة الضغط أفضل وذلك لأن هذا الرمل أعطى تشغيلية جيدة بأقل نسب الملدن ، وعند زيادة نسبة الملدن زادت التشغيلية وبالتالي ضعفت المقاومة وسجلت نتائج مقاومة الضغط للعينات الخرسانية لرمل سيفي السايح جيدة مقارنة بالمقاومة التصميمية ، كما نلاحظ ايضاً ان كلما كانت نسبة الملدن أعلى في هذه الخلطة كانت مقاومة الضغط أفضل حيث أن الخلطة التي لا تحتوي على ملدن كانت مقاومتها متقاربة

الخلاصة

رمل وادي سوف الجين له نعومة عالية مقارنة بالموصفات، و رمل سيدي السايح لا يختلف عنه كثير في معامل النعومة بينما رمل زليتن يعتبر أكثر خشونة منهما الأمر الذي يجعله بالكاد يكون ضمن حدود مواصفات التدرج.

نعومة رمل وادي سوف الجين العالية عملت على تقليل تشغيلية الخرسانة وذلك لزيادة المساحة السطحية لكمية الرمل في الخلطة وبالتالي تتطلب زيادة في محتوى الماء الأمر الذي يضعف مقاومة الضغط للخرسانة حيث تم تحسين التشغيلية بإضافة الملدن الذي أوضحت نتائج الهبوط تحسن في التشغيلية ، إلا أنه لم تتأثر مقاومة الضغط كثيرا به إذ أنه وصلت إلى 70% من مقاومة الضغط التصميمية فقط في أفضل حالاتها .

الخرسانة الناتجة عن استخدام رمل زليتن كانت أفضل من تلك الناتجة من رمل وادي سوف الجين حيث وصلت مقاومة الضغط إلى **36MPa** وأعطى تشغيلية جيدة للخرسانة ، وعند خلط رمل زليتن برمل وادي سوف الجين وصلت مقاومة الخرسانة للضغط عند الخلط بنسبة (50:50%) إلى **34MPa** وهي نتيجة أعلى من المقاومة التصميمية .

رمل سيدي السايح لم يختلف كثيرا عن رمل وادي سوف الجين في الخواص بالإضافة إلى تأثيره على الخرسانة حيث كانت نتائج مقاومة الضغط أقل من المقاومة التصميمية حيث وصلت إلى **27MPa** ، وعند خلطه مع رمل وادي سوف الجين لم يكن هناك تغيير كبير في خواص الخلطة حيث كانت متقاربة في الخواص من تشغيلية ومقاومة ضغط .

عند إضافة ملدن (**Super plasticizer Sika Ment 163 M**) في الخلطات زادت تشغيلية الخلطات التي تحتوي على رمل زليتن بشكل ملحوظ دون الحاجة لزيادة كمية الماء للإسمنت وعند زيادة كمية الملدن تناقصت مقاومة الضغط في هذا النوع من الرمل ، إلا أن خلطات رمل وادي سوف الجين كانت بحاجة لزيادة نسبة الماء حيث وصلت 0.6 من وزن الاسمنت الأمر الذي أضعف مقاومة الضغط بها ، وبالتالي عند استخدام هذا الملدن زادت مقاومة الضغط تدريجيا بزيادة نسبة الملدن في هذا الرمل .

الخرسانة الناتجة من رمل سوف الجين تصل مقاومتها للضغط حوالي 70% في أفضل حالاتها وبالتالي فإنها يمكن أن تستخدم في الخرسانة العادية ولا يمكن الإعتماد عليها في العناصر الإنشائية الأساسية التي تتعرض للأحمال .

التوصيات

من نتائج الدراسة المتحصل عليها تم اقتراح جملة من المقترحات والتوصيات الآتية :

- خلط الرمل الناعم مع ركام ذو نعومة منخفضة لتحسين خواصه.
- يفضل في حالة استخدام رمل عالي النعومة استخدام أنواع اضافات لتحسين قابلية التشغيل للخرسانة
- التوسع أكثر في هذا المجال ليشمل خرسانة ذات كميات مختلفة من الاسمنت
- دراسة تأثير نعومة الرمل على خواص أخرى للخرسانة مثل مقاومة الانحناء والشد والنفاذية.

المراجع

[1] S. Popovics, the use of the fineness modules for grading evolution of aggregates for concrete, Mag.Conrt.Res, sept1996, No56, pp131-40

[2] Neville A M., " Properties of Concrete ", 4th Edition, London Group Ltp., Essex,1995.

[3] BS 812-111:1991" Testing aggregates – Part 111: Methods for determination of ten per cent fines value (TFV)".British Standards Institution, 389 Chiswk high road, London, W4 4AL, UK, 1991.

[4] المواصفات القياسية الليبية رقم 340 الخاصة بركام الخرسانة من المصادر الطبيعية ، المركز

الوطني للمواصفات والمعايير القياسية – طرابلس، لسنة 2002ف

تأثير الركام الناتج من مخلفات الآجر على خواص الخرسانة ذاتية الدمك

أ. د مختار معمر أبوراوي¹، م. اياس الجيلي عباس²

¹ أستاذ - قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة الخمس

² مساعد باحث - قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة الخمس

aburawi2050@yahoo.com, mdark142@gmail.com

المخلص

تعتبر الخرسانة مادة مهمة في الإنشاءات لما تتميز به من خواص ميكانيكية والتي من أهمتها مقاومتها العالية للضغط. في الآونة الأخيرة تم الأخذ بعين الاعتبار استخدام المخلفات الناتجة عن إعادة التدوير من الخرسانات القديمة والطوب ومخلفات المواد في إنتاج الخرسانة لمساهمتها في التخلص من المخلفات والحفاظ على الموارد الطبيعية. إن معظم الدراسات السابقة اهتمت بدراسة تأثير مسحوق هذه المخلفات كنسبة من المادة اللاحمة (الإسمنت) على مقاومة الضغط والشد والانحناء. تركزت هذه الدراسة على معرفة مدى تأثير ركام الآجر الناعم وركام الآجر الخشن وركام الآجر الخليط (الناعم والخشن) في إنتاج خرسانة ذاتية الدمك على مقاومة الخرسانة للضغط والشد والانحناء. تتلخص نتائج هذه الدراسة في أن النسبة العالية من ركام الآجر تؤثر بشكل كبير على الخواص الميكانيكية للخرسانة ذاتية الدمك، حيث لوحظ انخفاض متوسط نسبته 5% في مقاومة الخرسانة للضغط بزيادة نسبة الإحلال من ركام الآجر الخشن وركام الآجر الناعم وركام الآجر الخليط، بينما زادت مقاومة الخرسانة للشد عند إضافة ركام الآجر.

الكلمات المفتاحية: الركام، الخرسانة، ذاتية المك.

مجال الدراسة والهدف

تهدف هذه الدراسة إلى معرفة تأثير الركام الخشن والناعم المصنَّع من مخلفات الآجر لصناعة خرسانة ذاتية الدمك، وكذلك محاولة لتوفير بعض البيانات من التجارب المعملية، ومعرفة تأثير استخدام الركام الخشن والناعم المصنَّع من مخلفات الآجر على مقاومة الضغط والشد والانحناء للخرسانة ذاتية الدمك.

أهمية الدراسة

تأتي أهمية هذه الدراسة في إمكانية استخدام الركام الخشن والناعم المصنَّع من مخلفات الآجر في إنتاج أنواع متطورة من الخرسانة ذاتية الدمك، وكذلك للاستفادة من المخلفات الصناعية للتقليل من تأثيرها السلبي على البيئة، بالإضافة الي مساهمتها المتوقعة في زيادة المتانة والتقليل من التشققات الشعرية الناتجة من الانكماش اللدن والجاف. [1-2]

مشكلة الدراسة

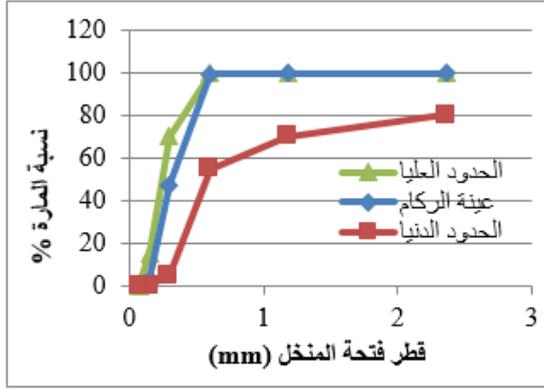
يعتبر طوب الأجر من أقدم مواد الإنشاء التي عرفها الإنسان حيث يصنَّع من خلال حرق الطين إلى درجات حرارة مرتفعة وإن عدم اتِّباع الطرق السليمة في التصنيع وسوء التخزين والمناولة أدى إلى ظهور كميات كبيرة من المخلفات في الساحات المفتوحة مما أضر بالبيئة. هذه الدراسة تبحث في تأثير الركام الناتج من مخلفات الأجر على خواص الخرسانة ذاتية الدمك بهدف إمكانية استخدام هذه المادة محلياً.

مقدمة

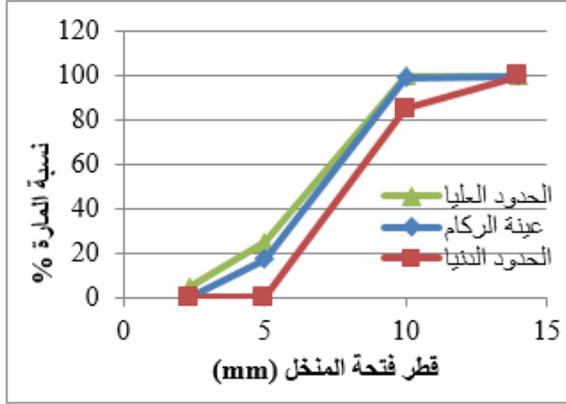
تعتبر ليبيا من الدول النامية والتي يقترح أن يكون لها مشاريع تنموية. ويشمل ذلك كل من تشييد الطرق والجسور والسدود ومشاريع البنية التحتية والمباني التعليمية والمباني السكنية وغيرها. وتتطلب جميع مخططات التشييد هذه استخداماً أمثل لموارد البناء. إن معظم المباني الحديثة تتطلب كميات ضخمة من الخرسانة التي تستنزف الموارد الطبيعية مثل الرمال والطبقات الصخرية مما استوجب الأمر إلى البحث عن بدائل جديدة لمصادر الركام وتساعد في نفس الوقت في التخلص من المخلفات الجانبية للصناعات. كما تعتبر عملية الدمك أثناء التنفيذ مهمة من ناحية التقليل من حجم الفراغات الموجودة بالخرسانة، حيث يعمل الدمك على الحد من الفراغات وتدفق الخرسانة داخل القوالب وحول حديد التسليح، وقد يصاحب تنفيذها في بعض الأحيان بعض المشاكل منها: حدوث الانفصال الحبيبي أو مشكلة التعشيش الناتجة عن عدم التمكن من استخدام الهزاز جيداً في الأماكن المزدحمة التسليح، مما أدى إلى التفكير في تطوير خرسانة تتغلب على معظم مشاكل تنفيذ الخرسانة التقليدية التي تصاحب النقل والصب والتشطيب وبدون انفصال حبيبي أو تعشيش وبأقل تكاليف ممكنة. وتمثل الخرسانة ذاتية الدمك Self-Compacting Concrete أحد هذه الأنواع الجديدة من الخرسانة التي تفي بالخواص المذكورة.

البرنامج العملي

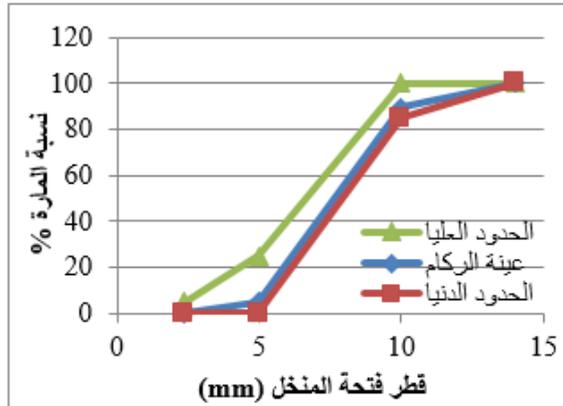
تضمن البرنامج العملي تجميع مخلفات طوب الأجر وتكسيه ونخله على المناخل القياسية وتجميع المحجوز على كل منخل وبعد ذلك تم خلطه حسب التدرج الحبيبي لحدود المواصفات، وإجراء الاختبارات المعملية على المواد الداخلة في الخلطات الخرسانية. الشكل رقم 1 يوضح نتائج التدرج الحبيبي للركام الناعم والشكل رقم 2 يوضح نتائج التدرج الحبيبي للركام الخشن حسب حدود المواصفات البريطانية. (BS812:1992)^[3] كما يوضح الشكل رقم 3 نتائج التدرج الحبيبي لركام الأجر الخشن والشكل رقم 4 يبين نتائج التدرج الحبيبي لركام الأجر الناعم.



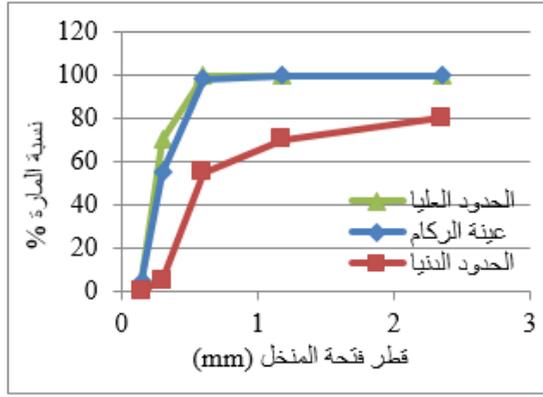
شكل 1: التدرج الحبيبي للركام الناعم وفق المواصفات البريطانية.



شكل 2: التدرج الحبيبي للركام الخشن وفق المواصفات البريطانية.



شكل 3: التدرج الحبيبي لركام الأجر الخشن وفق المواصفات البريطانية.



شكل 4: التدرج الحبيبي لركام الأجر الناعم وفق المواصفات البريطانية.

تم إضافة الملدنات الفائقة للمكونات بعد خلطها بنسبة 1.4 % من وزن الاسمنت إلى ماء الخلط عند إعداد خلطات الخرسانة ذاتية الدمك. والجدول رقم 1 يبين الخواص الهندسية للملدن المستخدم.

الجدول 1: الخواص الهندسية للملدن

الخواص الهندسية	
متعدد الكربوكسيل	المحتوى الكيميائي
سائل بني	المظهر، اللون
4-8	الرقم الهيدروجيني
$1,06 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$	الكثافة
$(\text{EN } 480-10) 0.1 >$	محتوى الكلوريدات %
$(\text{EN } 480-12) 10 >$	محتوى القلويات %
ASTM C 494 Type F TS-EN 934-2 Table 3.1 and 3.2 Ministry of Public Works Position. No: 04.613/1-A3	متوافق مع المواصفات

تصميم الخلطة

تمت الاستعانة بخلطة خرسانة ذاتية الدمك^[4] ومصممة بالطريقة الحجمية، بعد ذلك تم استخدام 4 نسب من الملدن (1% و 1.2% و 1.4% و 1.6%) في خلطات تجريبية لاختيار أفضل نسبة تحقق المتطلبات التشغيلية للخرسانة ذاتية الدمك وتم اختيار النسبة 1.4% لتكون ثابتة في جميع الخلطات. تم خلط

المكونات مع نسبة 70% من ماء الخلط لمدة دقيقتين باستخدام الخلاط الميكانيكي وبعد ذلك تم إضافة الملدن بعد خلطه مع نسبة الماء المتبقي واستمرار الخلط لمدة ثلاثة دقائق أخرى. الجدول رقم 2 يبين نسب مكونات كل خلطة.

الجدول 2: نسب مكونات كل خلطة

ملدن Lit/m ³	ركام ناعم Kg/m ³	ركام خشن Kg/m ³	ركام آجر ناعم Kg/m ³	ركام آجر خشن Kg/m ³	ماء Lit/m ³	إسمنت Kg/m ³	الخلطة
6.3	898	898	0	0	180	450	A
6.3	898	718.4	0	179.6	180	450	B
6.3	898	538.8	0	359.2	180	450	C
6.3	898	359.2	0	538.8	180	450	D
6.3	808.2	898	89.8	0	180	450	E
6.3	718.4	898	179.6	0	180	450	F
6.3	628.6	898	269.4	0	180	450	G
6.3	808.2	718.4	89.8	179.6	180	450	H
6.3	718.4	628.6	179.6	269.4	180	450	I
6.3	628.6	538.8	269.4	359.2	180	450	J

الاختبارات والمواصفات

حيث إن الغرض الرئيسي من استخدام الخرسانة ذاتية الدمك هو امكانية صبها بسهولة ودمكها ذاتياً في القوالب المحدودة السمك وذات التسليح المكثف، ولهذا السبب يجب التأكد من الخصائص الانسيابية للخرسانة الطرية قبل الشروع في اعداد وصب العينات، وفي هذه الدراسة فقد تم اختيار الاختبارات الأكثر استخداماً وهي اختبار الهبوط $Slump\ Flow + T_{50}$ واختبار الحلقة المعدنية $J-Ring\ Test$ واختبار $L-Box$ والتي تم تنفيذها ضمن برنامج الاختبارات المعملية المنفذة لهذه الدراسة ووفقاً للمواصفات الأوروبية (EFNARC)^[5]. كما تم اختبار مقاومة الخرسانة للضغط والشد الغير مباشر (الطريقة البرازيلية).

مناقشة النتائج

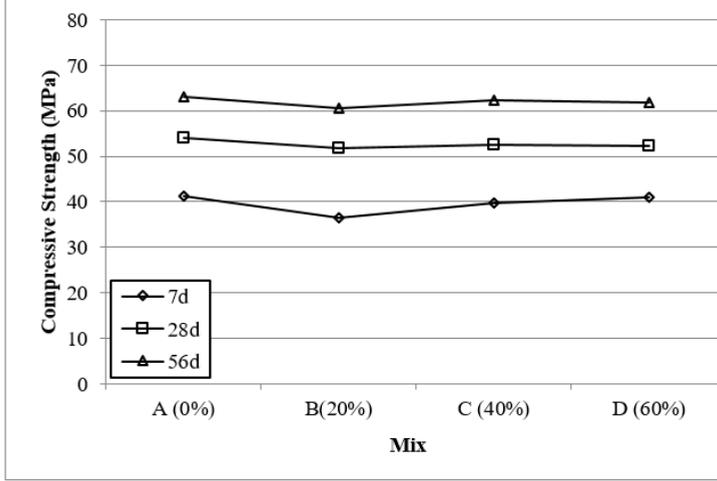
تم دراسة ثلاث خواص أساسية للخرسانة ذاتية الدمك وهي قابلية الانسياب وقدرة الخرسانة على العبور خلال العوائق والقوالب ذات المقاطع مختلفة الأبعاد وقابليتها على الاستواء الذاتي. وكما نلاحظ بالجدول رقم 3 أن جميع الخلطات كانت ضمن حدود مواصفات EFNARC^[5] ما عدا الخلطة (J) والمحتوية على نسبة ركام آجر عالية.

الجدول 3: نتائج الخواص الانسيابية للخلطات الخرسانية

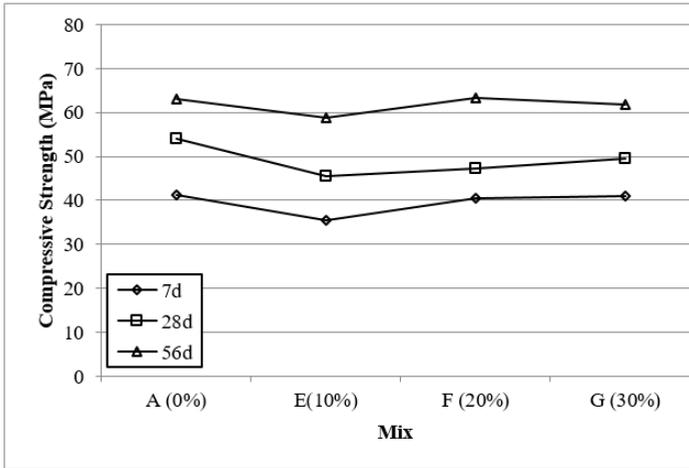
L-Box Test H ₂ /H ₁	J-Ring Test (ملم)	T ₅₀ (ث)	Slump Flow (ملم)	W/C	نسبة الملدن من وزن الاسمنت (%)	رقم الخلطة
1	2	2.05	760	0.4	1.4	A
0.95	2	2.52	753		1.4	B
0.92	4	2.73	747		1.4	C
0.9	6	2.9	738		1.4	D
0.93	3	2.81	739		1.4	E
0.91	7	3.44	713		1.4	F
0.87	10	3.82	682		1.4	G
0.94	5	2.92	741		1.4	H
0.9	9	3.87	715		1.4	I
0.81	11	4.97	678		1.4	J
0.8	0	2	650		أقل قيمة	توصيات EFNARC
1.0	10	5	800	أعلى قيمة		

من خلال الجدول رقم 4، نسبة الماء للإسمنت ثابتة في جميع الخلطات وكذلك نسبة الملدن، نلاحظ أنه بزيادة نسبة ركام الآجر وبالأخص الناعم في الخلطة يقل الانسياب ويزيد زمن T50 وكذلك يزيد الفرق في قيمة (J-RING) بينما تقل قابلية الخرسانة على الاستواء الذاتي في اختبار (L-BOX)؛ ويرجع سبب ذلك كله إلى نسبة الامتصاص العالية لركام الآجر لاحتوائه على مواد طينية. كذلك نلاحظ بأن الخلطة المرجعية أظهرت تشغيلية أعلى من نظيراتها المحتوية على ركام آجر لجميع الاختبارات الانسيابية. بالإضافة إلى أن الخلطات D و G و J والمحتوية على أعلى نسب إحلال من ركام الآجر الخشن وركام الآجر الناعم وركام الآجر الخليط على التوالي أظهرت تشغيلية ضعيفة إضافة إلى أن الخلطة J خرجت عن حدود المواصفات في اختبار J-Ring كما انخفض قطر هبوطها بنسبة تبلغ 10.79% عن الخلطة المرجعية. بينما الخلطة G سجل الفارق في اختبار J-Ring أعلى قيمة تنص عليها حدود المواصفات (10). لهذا السبب في هذه الدراسة قد تم اعتماد هذه النسب من ركام الآجر الناعم وركام الآجر الخشن وركام الآجر الخليط لتكون أعلى نسب في حالة تثبيت نسبة الماء للإسمنت 0.4 ونسبة الملدن 1.4%.

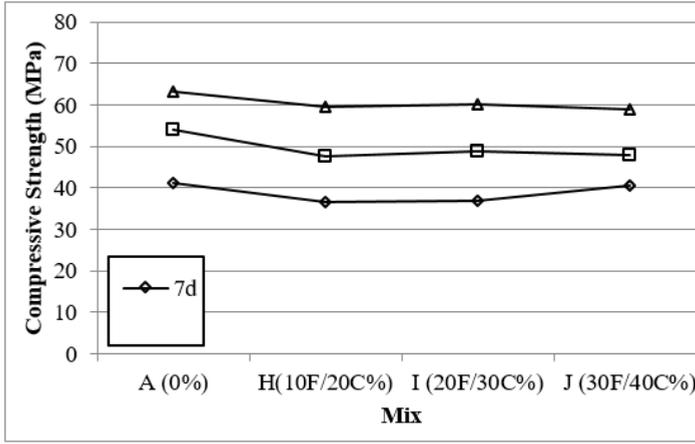
الأشكال من رقم 5 إلى 7 توضح نتائج مقاومة الخرسانة للضغط عند 7 و 28 و 56 يوم للعينات التي تحتوي على نسب إحلال مختلفة من ركام الأجر. والجدول رقم 4 يبين نسب التزايد في قيمة مقاومة الضغط لجميع الخلطات خلال فترات المعالجة.



شكل 5: مقاومة الخرسانة للضغط عند إضافة الأجر كركام خشن.



شكل 6: مقاومة الخرسانة للضغط عند إضافة الأجر كركام ناعم.

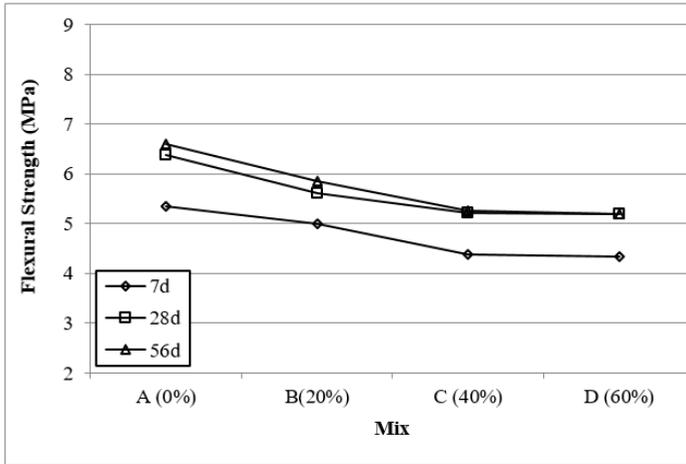


شكل 7: مقاومة الخرسانة للضغط عند إضافة الأجر كركام خشن وناعم.

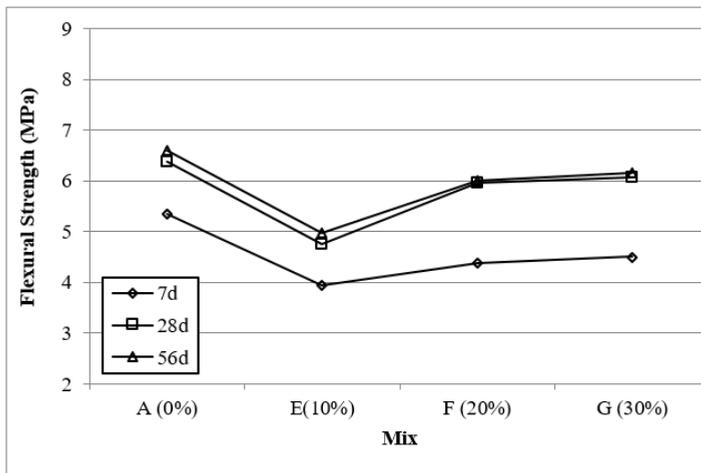
الجدول 4: التزايد في قيمة مقاومة الضغط لجميع الخلطات خلال فترات المعالجة

التزايد في قيمة مقاومة الضغط من 28 إلى 56 يوم	التزايد في قيمة مقاومة الضغط من 7 إلى 28 يوم	مقاومة الضغط للعينات (MPa)			الخلطة
		56 يوم	28 يوم	7 أيام	
%16.95	%31.32	63.18	54.02	41.13	A
%16.80	%42.08	60.60	51.89	36.52	B
%18.70	%32.09	62.31	52.50	39.74	C
%18.33	%27.30	61.95	52.35	41.11	D
%29.07	%28.62	58.73	45.50	35.37	E
%33.76	%17.04	63.26	47.29	40.41	F
%24.99	%21.12	61.94	49.55	40.91	G
%24.65	%30.75	59.47	47.71	36.49	H
%23.24	%32.15	60.13	48.79	36.92	I
%22.46	%18.56	58.82	48.03	40.51	J

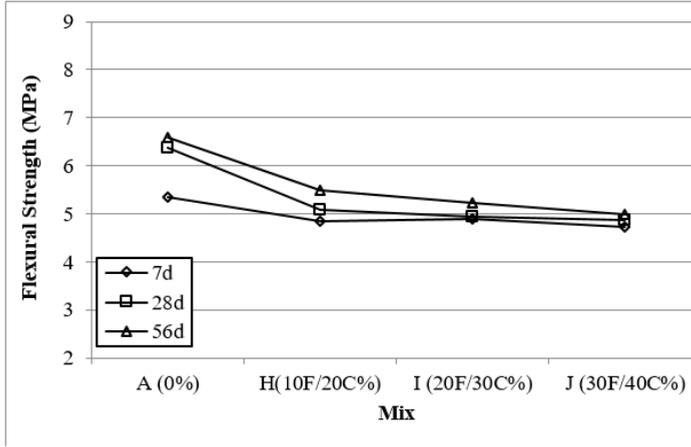
وتوضح الأشكال من رقم 8 إلى 10 نتائج مقاومة الخرسانة للانحناء عند 7 و28 و56 يوم للعينات التي تحتوي على نسب إحلال مختلفة من ركام الأجر. والجدول رقم 5 يبين نسب التزايد في قيمة مقاومة الانحناء لجميع الخلطات خلال فترات المعالجة.



شكل 8: مقاومة الخرسانة للانحناء عند إضافة الآجر كركام خشن.



شكل 9: مقاومة الخرسانة للانحناء عند إضافة الآجر كركام ناعم.

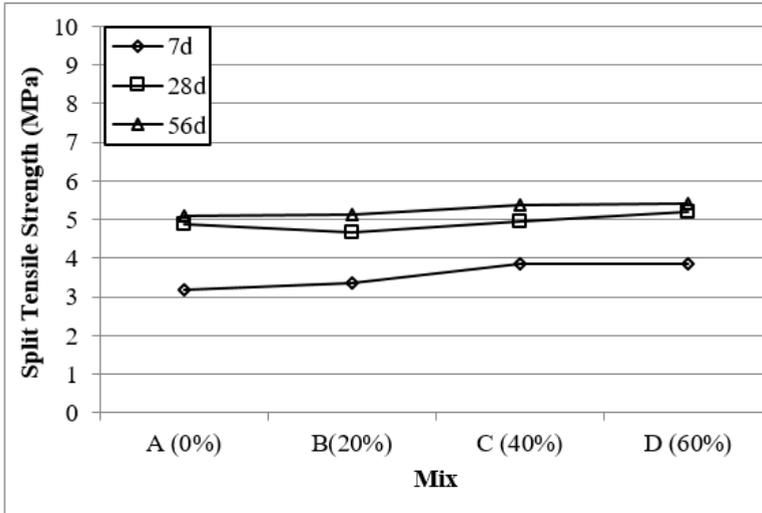


شكل 10: مقاومة الخرسانة للانحناء عند إضافة الأجر كركام ناعم وخشن.

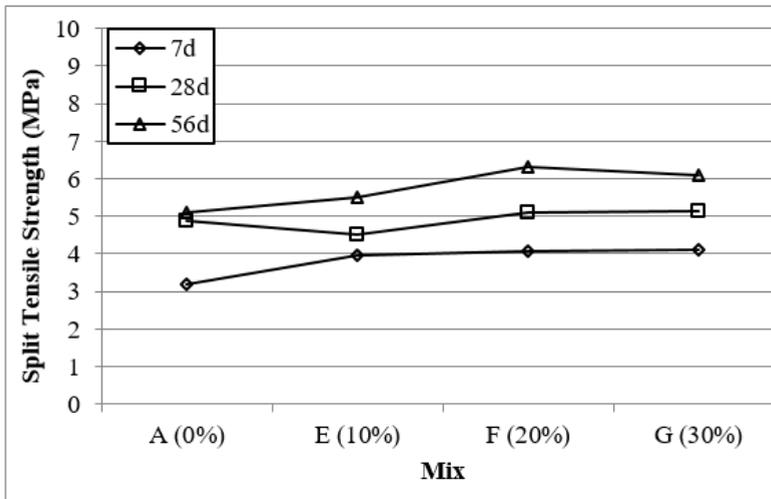
الجدول 5: نتائج مقاومة الانحناء لجميع الخلطات خلال فترات المعالجة

الخلطة	مقاومة الانحناء للعينات (MPa)			التزايد في قيمة مقاومة الانحناء من 28 إلى 56 يوم	التزايد في قيمة مقاومة الانحناء من 7 إلى 28 يوم
	7 أيام	28 يوم	56 يوم		
A	5.35	6.38	6.59	%3.29	%19.25
B	4.99	5.62	5.86	%4.27	%12.62
C	4.37	5.21	5.26	%1.00	%19.23
D	4.33	5.19	5.20	%0.20	%19.86
E	3.93	4.76	4.98	%4.62	%21.12
F	4.39	5.97	6.00	%0.51	%35.99
G	4.50	6.06	6.15	%1.49	%34.67
H	4.84	5.08	5.50	%8.27	%4.96
I	4.90	4.95	5.23	%5.66	%1.02
J	4.73	4.88	4.98	%2.05	%3.17

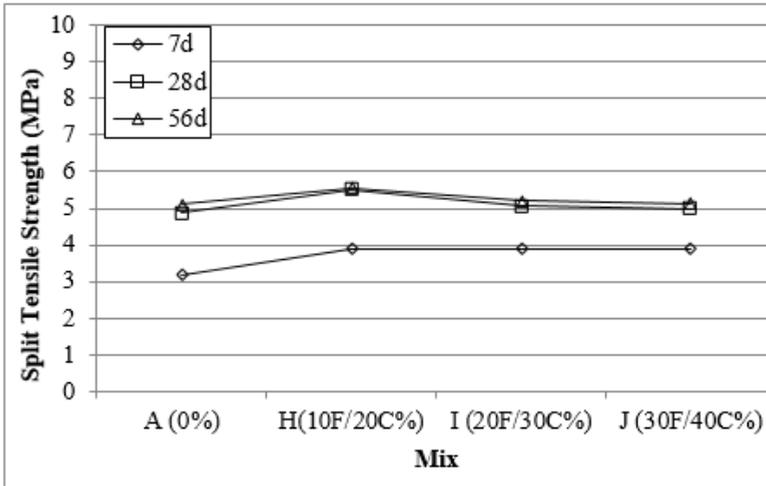
كما توضح الأشكال من رقم 11 إلى 13 نتائج مقاومة الخرسانة للانفلاق عند 7 و28 و56 يوم للعينات التي تحتوي على نسب إحلال مختلفة من ركام الأجر. والجدول رقم 6 يبين نسب التزايد في قيمة مقاومة الانفلاق لجميع الخلطات خلال فترات المعالجة.



شكل 11: مقاومة الخرسانة للانفلاق عند إضافة الأجر كركام خشن.



شكل 12: مقاومة الخرسانة للانفلاق عند إضافة الأجر كركام ناعم.



شكل 13: مقاومة الخرسانة للانفلاق عند إضافة الأجر كركام ناعم وخشن.

الجدول 6: مقاومة الانفلاق لجميع الخلطات خلال فترات المعالجة

الترابيد في قيمة مقاومة الانفلاق من 28 إلى 56 يوم	الترابيد في قيمة مقاومة الانفلاق من 7 إلى 28 يوم	مقاومة الانفلاق للعينات (MPa)			الخلطة
		56 يوم	28 يوم	7 أيام	
%4.72	%53.14	5.1	4.87	3.18	A
%10.08	%39.10	5.13	4.66	3.35	B
%8.68	%27.90	5.38	4.95	3.87	C
%3.83	%34.97	5.41	5.21	3.86	D
%22.44	%13.92	5.51	4.50	3.95	E
%24.11	%25.61	6.33	5.10	4.06	F
%18.90	%24.81	6.10	5.13	4.11	G
%1.45	%42.22	5.57	5.49	3.86	H
%3.17	%29.48	5.21	5.05	3.90	I
%2.61	%28.02	5.11	4.98	3.89	J

الاستنتاجات

1. تساهم عملية استبدال ركام مخلفات الأجر كنسب إحلال من الركام الطبيعي على المحافظة على البيئة عند إعادة استخدام هذه المخلفات في دورة البناء بدلاً من رميها في المكبات كما تساهم في التقليل من استنزاف الموارد الطبيعية لمصادر الركام.

2. يقل زمن الشك الابتدائي والنهائي بإضافة الآجر المسحوق للعجينة الإسمنتية، وخاصة النسبة العالية من ركام الآجر الخليط التي أظهرت تأخراً في التصلب.
3. بزيادة نسبة ركام الآجر الناعم والخشن تقل التشغيلية للخلطات، وكانت أفضل نسب إحلال من ركام الآجر الخشن وركام الآجر الناعم هي 40% و20% على التوالي.
4. يوجد تحسن ملحوظ في مقاومة الضغط وبعض الخواص المستهدفة في هذه الدراسة وذلك عند نسبة ركام الآجر الخليط (F20/C30%).
5. عند إضافة ركام الآجر الخشن وركام الآجر الناعم وركام الآجر الخليط (الناعم والخشن) تقل مقاومة الخرسانة للانحناء، على عكس مقاومة الشد غير المباشر التي تحسنت عند إضافة ركام الآجر.

المراجع

1. Guo RL. "The study on application of fully-graded coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete and mortar", Chinese, dissertation, Tianjing: Tianjing University, 2007.
2. Sun BJ, Ma X. "Research on the performances of concrete with organic modification recycled brick aggregate", J Science and Technology Information, Chinese, 2008,32:140-141.
3. BS 812:1992 "Specification for aggregates from natural sources for concrete". British Standards Institution, 389 Chiswick high road, London, W4 4AL, UK, 1992.
4. عبد الرؤوف محمد أبو زينة، "الخواص الميكانيكية لخرسانة الألياف ذاتية الدمك"، جامعة المرقب، كلية الهندسة، رسالة ماجستير، 2016.
5. "The European Guidelines for Self-Compacting concrete". Specification, Production and Use. (2005) edition.

تأثير السطح النوعي للركام الخشن على خواص الخرسانة

فؤاد فروح فرج¹، أ. محمد عبد السلام عكاشة²

^{1,2} كلية الهندسة، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة سبها، براك الشاطي، ليبيا

maakasha96@gmail.com:

المخلص

الركام هو عبارة عن المكون الأساسي للكتلة الخرسانية ويمثل حوالي 75% من حجم الكتلة الخرسانية، ويقصد بالركام تلك المواد الحبيبية التي تشكل الحجم الأكبر للكتلة الخرسانية بحيث تربط بين حبيباتها العجينة الإسمنتية، ويكون مصدر الركام من الصخور الطبيعية أو نواتج الترسيب الطبيعي أو نواتج تكسير كتل الصخور الكبيرة. تهدف هذه الدراسة الى معرفة تأثير السطح النوعي للركام الخشن من محاجر وادي الشاطي بالجنوب الليبي علي خواص الخرسانة بأخذ العديد من خلطات الركام الخشن (الشرشور) للحصول على اقل حجم فراغات بين الركام الخشن وتعبئة الفراغات بمونة معلومة المكونات (رمل معروف تدرجه + اسمنت + ماء) خلطة المونة موحدة لجميع الخلطات وبالحصول على حجم الفراغات الاصغرية تم اختيار اربعة خلطات تتضمن الخلطة الاولي خلطة (بنسبة أقل فراغات بالركام) ، الخلطة الثانية (بنسبة أكبر فراغات بالركام مقبولة التدرج) ، خلطة الثالثة (احادية التدرج) ، الخلطة الرابعة (خلطة متساوية نسب الخلط) . وباعتماد الخلطات المذكورة تمت مقارنة النتائج واستنتاج الناتج الافضل مقرونا بالشروط الصحراوية.

الكلمات المفتاحية: الركام، السطح النوعي للركام، المونة الإسمنتية، الفراغات الاصغرية.

مقدمة

تعتبر دراسة مواصفات الركام الخشن في صناعة الخرسانة من المواضيع التي درست من قبل الكثير من الباحثين ضمن اطار علمي سمي بتأثير التدرج الحبيبي للركام على مواصفات الخرسانة وقد كانت الدول الاوربية سباقة الى دراسة هذه الظاهرة نسبتا الى تأثيرها الفعلي على كلفة المنتج مع الحفاظ على مزايا المخرجات (مواصفات الخرسانة الطازجة بالإضافة الى ديمومة الخرسانة ومتانتها) وقد تطرقت الابحاث الى التأكيد على ان حجم الفراغات بين الشرشور له تأثير واضح على ما يلي ؛ امكانية الخلط والتموضع في المكان بشكل سهل ، قدرة التحمل تبعا لتتوع حجوم الحصىيات في الركام ، الوفرة الحاصل في كمية الاسمنت المستخدم تبعا للتدرج الحبيبي ، التغيرات الحجمية تبعا للتدرج الحبيبي وكمية الركام الخشن في الخلطة ، وغير ذلك من التأثيرات على خواص الخرسانة. بالاعتماد على الدراسات السابقة (2) يستنتج التأثير الواضح للتغيرات الحجمية للخرسانة تبعا لكمية الشرشور الداخل في تركيبها خاصة في الشروط الصحراوية ، حيث ان زيادة كمية الشرشور في الكتلة يحد من التغيرات الحجمية لذلك فان دراسة ظاهرة تقليل حجم الفراغات في الركام في الشروط الصحراوية يعتبر من المواضيع الهامة

التي تحسن من مواصفات المنتج وتقلل كلفة الانتاج بسبب توفير في كمية الاسمنت المستخدم الذي يعتبر الاغلى ثمنا في الكتلة الخرسانية . تعتبر الاختبارات الدقيقة للعلاقة بين السطح النوعي للركام الخشن والحجم الأصغر للفراغات باعتماد عامل شكل الركام الخشن من الامور التي تحدد مواصفات الخرسانة فقد تبين ان السطح النوعي للركام بشقيه عند 24 سم³ يعطي أفضل المقامات حتى باختلاف التدرج للركام (1).

البرنامج العملي للتجارب

بناء على ما تم عرضه في مقدمة البحث فقد اعتمدنا ايجاد خلطات خرسانية فيها حجم فراغات مختلف بين الركام تبعا لنسبة مقاسات الركام في الكتلة وتعمدنا ايجاد حجم الفراغات الاصغرية بين الركام وتوحيد المونة الاسمنتية في الكتلة الخرسانية من حيث مكوناتها لكي لا يكون لها تأثير في النتائج وذلك بتثبيت مواصفات الملاط اللاصق لجميع الخلطات بجميع مكوناته وطريقة تنفيذه (رمل، اسمنت، ماء) كما هو موضح في النقاط التالية:

- 1- استجلاب شرشور من محاجر في منطقة براك من محجر واحد لأجل توحيد المؤثرات الخارجية على الناتج
- 2- فرز المقاسات على المناخل الخاصة بالشرشور حسب المتوفر في المعمل
- 3- اعتماد خلط الشرشور بنسب مختلفة في وعاء ثابت الحجم بهدف الحصول على حجم الفراغ الاصغرية بين الركام الخشن ويتم عندها احتساب:
 - السطح النوعي للشرشور
 - عامل الشكل للشرشور (عامل الزاوية)
 - الوزن الحجمي
 - الوزن النوعي
 - حجم الفراغات بين الشرشور لكل حالة

جدول (1) الخلطات المدروسة مبدئياً والخلطات المعتمدة في البحث.

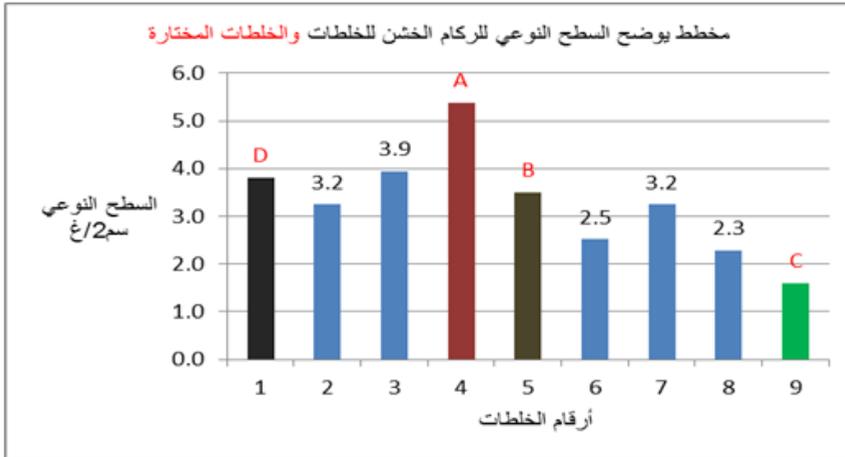
حجم الحصىات المدموك (Litter)	حجم الحصىات الغير مدموكه	الغراغات في الركام المدموك (Litter)	وزن الوعاء بالركام المدموك (Kg)	الغراغات في الركام الغير مدموك	وزن الوعاء بالركام المدموك (Kg)	حجم الوعاء فارغ (Litter)	وزن الوعاء فارغ (Kg)	نسب الخلط تبعاً للمناخل %
1.800	1.625	1.00	8.100	1.175	7.120	2.800	2.985	الخلطة (1) D 20/20/20/20 20
1.028	1.595	1.030	7.305	1.205	6.915	2.800	2.985	الخلطة (2) 30/30/20/10 10 0.8/1/1.25/1.5
1.827	1.610	1.065	7.435	1.220	6.920	2.800	2.985	الخلطة (3) 20/20/30/10 20
1.735	1.580	0.973	7.250	1.170	6.835	2.800	2.985	الخلطة (4) A 30/50/10/10 0.6/0.8/1/1.25
1.700	1.515	1.100	7.220	1.350	6.750	2.800	2.985	الخلطة (5) B 10/30/40/20 0.6/0.8/1/1.25
1.720	1.490	1.080	7.320	1.310	6.735	2.800	2.985	الخلطة (6) 30/40/30 0.8/1/1.25
1.745	1.540	1.055	7.305	1.260	6.800	2.800	2.985	الخلطة (7) 10/40/30/20 0.6/0.8/1/1.25
1.780	1585	1.020	7.490	1.215	6.975	2.800	2.985	الخلطة (8) 20/10/40/30 0.8/1/1.25/1.5
1.720	1520	1.080	7.350	1.280	6.810	2.800	2.985	الخلطة (9) 20/40/40 0.8/1/1.25
1.630	1.505	1.170	7.115	1.295	6.770	2.800	2.985	رقم (1.25) C الاحادي

اما باقي المؤثرات من المونة ومكوناتها وطرق تنفيذها فقد وحدت لجميع الخلطات بهدف اعتماد الناتج لتأثير السطح النوعي في البحث وتحديد الوفر لمادة الاسمنت في حالة استخدام حجم الفراغات الاصغرية في الكتل الخرسانية مع مراعاة شروط التنفيذ في الظروف الصحراوية وقد حددت نسب خلط الركام الخشن كما هو مبين في الجدول التالي:

4. اعتماد الخلطات المختارة في البحث من الجدول (1) وحساب المساحة السطحية والسطح النوعي لها الجدول (3) , الشكل (1) وتحديد عامل الشكل لمقاسات الركام الجدول (4) وقد اختيرت الخلطات كما هو موضح في الجدول (2).

جدول (2) الخلطات المختارة من الخلطات السابقة للتجارب.

رمز الخلطة	حجم الفراغات
A	أقل نسبة فراغات في الركام الخشن المتدرج
B	أكبر نسبة فراغات في الركام الخشن المتدرج
C	أحادي التدرج
D	حجم الفراغات بخلط بنسب متساوية من المقاسات



الشكل (1): السطح النوعي لخلطات الركام المدروس مبدئياً والمختارة في البحث.

جدول (3) طريقة حساب المساحة السطحية للركام الخشن للخلطة (A) وقد اعتمد الحساب بنفس الطريقة لجميع الخلطات

القطر	المحجوز الجزئي	المار عبر المنخل	المحجوز الجزئي	المار عبر المنخل	المحجوز الكلي	الوزن النوعي	الاقطار الحسابية المتوسطة	المساحة السطحية	عامل الزاوية	المساحة السطحية باعتماد عامل الزاوية
25	0	غ	%	%	غ	غ/سم ³	سم	2سم	-	2سم
20	0	3000	0	100	0	2.6	2.25	0.00	1.13	0.0
14	327	2673	10.9	89.1	327	2.6	1.7	443.89	1.13	501.6
10	212	2461	7.067	92.9	539	2.6	1.2	407.69	1.13	460.7
5	1507	954	50.23	49.8	2046	2.6	0.75	4636.92	1.13	5239.7
0	952	2	31.73	68.3	2998	2.6	0.25	8787.69	1.13	9930.1
مساحة سطح الركام 2سم										
الوزن الكلي لعينة الركام غ										
السطح النوعي للركام سم / 2 غ										
16132.1										
3000										
5.4										

الجدول (4) يوضح طريقة حساب عامل الشكل (عامل الزاوية) للركام الخشن.

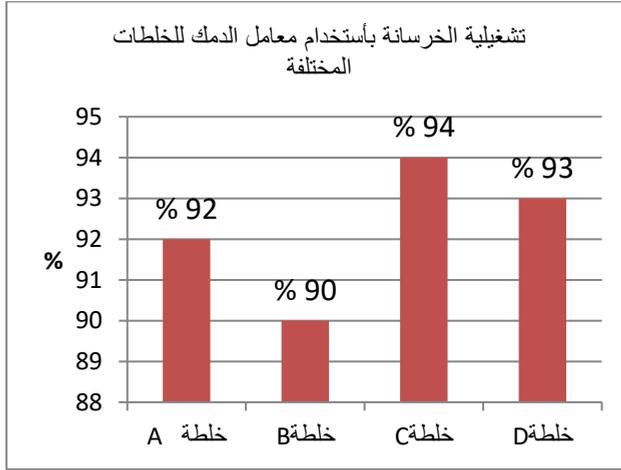
حساب عامل الشكل للركام الخشن						
حجم الركام الأحادي	وزن الوعاء بالركام	وزن الوعاء بالركام المدموك	حجم الوعاء فارغ	نسبة الفراغات الاعظمية	نسبة الفراغات الاصغرية	عامل الشكل
Mm	(Kg)	(Kg)	((Litter	%	%	
20	4000.00	4495.00	2.80	4006.00	4501.00	1.12
14	3970.00	4315.00	2.80	3976.00	4321.00	1.10
5	3820.00	4280.00	2.80	3826.00	4286.00	1.12
0	3760.00	4305.00	2.80	3766.00	4311.00	1.14
					عامل الشكل	1.13

5. بالاعتماد على ما تقدم من اختيار لبرنامج البحث تمت ملاحظة ما تتميز به الخلطات في حالتها الطازجة والصلبة واستخلاص النتائج وفقا لما هو مبين في الجداول والخطوط البيانية اللاحقة.

مناقشة النتائج

من خلال النتائج التي حصلنا عليها تبين لنا الآتي:

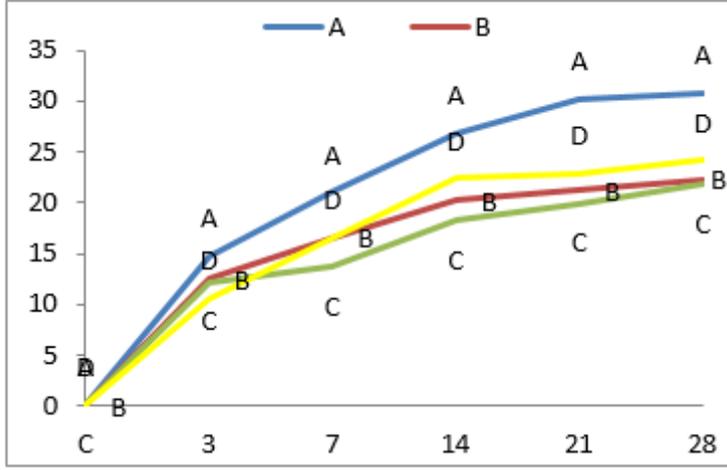
ان جميع الخلطات كانت قوام متجانس ولزوجة عالية قابلة للتموضع في كتل الخرسانة المختلفة بدون دمك حيث ان عامل الدمك لجميع الخلطات كان اكبر من 90 % وعلية فان الخلطات كانت جميعها مقبولة لتنفيذ الاعمال الخرسانية والموضع في المكان بتجانس جيد ونسبة فراغات اصغري الشكل (2).



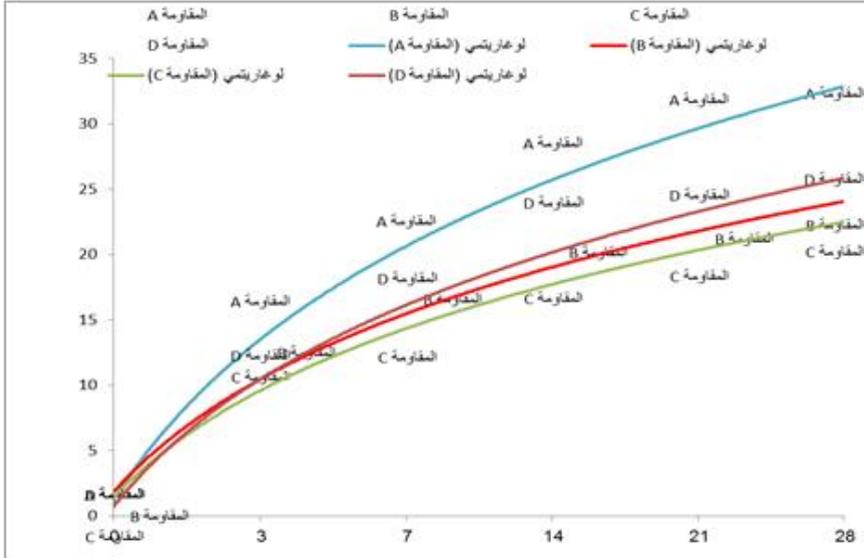
الشكل (2) معامل الدمك للخلطات المختارة للبحث.

وبالتدقيق في مخططات مقاومة الخلطات الخرسانية المدروسة تبين ان المقاومات كانت متباينة للخلطات المدروسة وقد حصلنا على اعلى المقاومات للخلطة التي كانت نسبة الفراغات فيها أصغرية وبمعنى ادق للخلطة التي كان المونة اللاصقة فيها اقل ما يمكن حيث تميزت بنسبة فراغات اقل ما يمكن بين ركامها وهذه الدلالة هامة جدا في ناتج البحث مقاومة جيدة باقل نسبة مونة لاصقة اي باقتصادية عالية بالنسبة لاستخدام مادة الاسمنت الشكل (3) ، الشكل (4). الخلطة B ذات التدرج المتوازن في النسب كانت اقل من الخلطة A وافضل من الخلطات الباقية ، اما الخلطة C احادية التدرج فقد اعطت اسوأ النتائج في المقاومة. واذا تعمدنا الاخذ بعين الاعتبار الظروف الصحراوية فإننا نجد ان الخلطة A (الفراغات الاصغرية) افضل الخلطات ليس فقط من اجل حجم المونة اللازمة بل ومن اجل التغيرات الحرارية في الظروف الصحراوية حيث ان الركام وزيادة الكمية في الخلطات الخرسانية يقلل من تأثير التغيرات الحرارية وعوامل النقل والانكماش في الظروف الصحراوية . وللمقارنة في الكلف الاقتصادية للتنفيذ فقد حسبنا الوفرة الحاصل في استخدام مادة الاسمنت عند تنفيذ مبنى متوسط الحجم كمية الخرسانة فيه

1000 م3 اخذين بعين الاعتبار كمية المونة اللازمة للتنفيذ باعتماد حالات البحث لنفس المبنى حيث وضحت النتائج الاقتصادية في الجدول (5).



الشكل (3) مقاومة الضغط للخلطات المختارة للبحث



الشكل (4) مقاومة الضغط للخلطات المختارة للبحث.

جدول (5) نسب الكميات والفرق في استهلاك الاسمنت في 1000 م³ خرسانة.

الفرق	كمية الاسمنت في 1000م ³ خرسانة	كمية المواد في خلطة المعمل			الغرض	النسب	رقم الخلطة
		أسمنت (Kg)	رمل (Kg)	شرشور (Kg)			
1000/كغ م	أسمنت (Kg)	شرشور (Kg)	رمل (Kg)	أسمنت (Kg)			
0	200000	16	6	2	ركام أقل فراغات	الخلطة (4) 30/50/10/10 0.6/0.8/1/1.25	A
33000	233000	15	8	2.33	ركام أكبر فراغات	الخلطة (5) 10/30/40/20 0.6/0.8/1/1.25	D
65000	265000	14	7.40	2.65	ركام متوازن متدرج	الخلطة (1) 20/20/20/20/20 0.6/0.8/1/1.25/1.5	B
100000	300000	13	6.65	3	ركام أحادي التدرج	الخلطة (9) الاحادية 100	C

الاستنتاجات:

مما سبق وبناء على نتائج البحث نستنتج الآتي:

- 1- يعد التدرج الحبيبي ذات أهمية كبرى في صناعة الخرسانة خاصة في الشروط الصحراوية.
- 2- ان وجود جميع المقاسات في الركام للحصول على حجم فراغات اصغري بين حبيبات الركام يجعلنا نحصل على خرسانة عالية المتانة وذات مواصفات تنفيذية جيدة.
- 3- باعتماد حجم الفراغات الاصغري بين الركام الخشن واستخدام مونة ثابتة نستطيع الحصول على وفر في استهلاك الاسمنت و يصل الوفرة الى 25 % واكثر في الدراسة الدقيقة.
- 4- السطح النوعي ذات أهمية كبيرة في صياغة الخرسانات في الشروط الصحراوية لما له من تأثير في عامل التغيرات الحجمية في درجات الحرارة المرتفعة والقدرة على تفادي التشققات الناجمة عن زيادة كمية المونة اللاصقة التي تتأثر بدرجات الحرارة اكثر من الركام.

المراجع

- [1] أحمد علي العريان, و عبد الكريم محمد عطا (تكنولوجيا الخرسانة - الجزء الاول) (1974ف الطبقة الثانية) (القاهرة مصر).
- [2] عبد السلام المبروك عكاشة (تكنولوجيا الخرسانة) (ليبيا 2013 الطبعة الاولى).
- [3] عبد الرحمن مجاهد أحمد (الجزء الاول دليل المهندس الانشائي لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية) (مصر)
- [4] محمود أمام (الخرسانة) (الجزء الاول 1999ف) (قسم الهندسة الانشائية, جامعة المنصورة).

تأثير الكاولين كبديل جزئي للإسمنت على مقاومة الضغط

أ. د مختار معمر أبوراوي¹، أ. محمد إبراهيم محمد القايد²، أ. سفيان نزاهات بشير الصغير³

^{1,2,3} كلية الهندسة، جامعة الخمس، الخمس، ليبيا

¹aburawi2050@yahoo.com, ²mohmmedalged@yahoo.com, ³sufianalzayan@yahoo.com

المخلص

الطين المحروق يعتبر من المواد البوزلانية ويمكن استخدامه كإحلال جزئي للإسمنت البورتلاندي العادي لصناعة المونة الإسمنتية، وذلك لغرض تحسين بعض الخصائص وللتقليل من التكلفة. حيث تم الحصول على عينات من الطين الخام من ستة مواقع مختلفة في منطقتي جنوب وشمال ليبيا. وبعد الحرق تم اختيار العينات التي سجلت أقل فاقد حراري. أجريت التحاليل الكيميائية لتحديد نسب الأكاسيد للطينات بعد الحرق عند درجتي حرارة 700م° و1000م° لمدة ساعتين وثلاثة ساعات. تم طحن العينات بعد التبريد لغرض الحصول على عينات لمادة الميكاكولين الفعالة. في هذه الدراسة تم استخدام الميكاكولين بنسبة 15% من وزن الإسمنت البورتلاندي العادي لإعداد وخلط وصب عينات من العجينة والمونة الإسمنتية لاختبار مقاومة الضغط بعد 3 و7 و28 و90 يوم من الصب، كل العينات تمت معالجتها بالغمر في الماء. أظهرت النتائج أنه بإضافة الميكاكولين للعجينة والمونة الإسمنتية، تتحسن مقاومة الضغط في الأعمار المتأخرة.

الكلمات المفتاحية: الكاولين، الإسمنت، مقاومة الضغط.

المقدمة

الخرسانة واحدة من أكثر مواد البناء استخدمت على نطاق واسع، والإسمنت المادة الرئيسية المكونة للخرسانة. يستهلك إنتاج الإسمنت الكثير من الطاقة مما يؤدي إلى الشواغل البيئية من حيث الاستفادة من المواد الخام وانبعاثات CO₂ (1) حيث تهدف هذه الأبحاث لزيادة وتحسين معاملات الأمان وتطوير الخصائص الميكانيكية للخرسانة. في هذا الفصل سيتم تناول بعض النتائج التي تم نشرها فيما يتعلق بإضافة المواد البوزلانية (Pozzolanic Materials) وتصنيف المواد البوزلانية من حيث مصدرها وفعاليتها، وايضا اهم الدراسات السابقة في مجال استخدام المواد البوزلانية وبوجه الخصوص الطين المحروق (الميكاكولين).

البوزولانا هي مادة سليكية أو سليكية الومينية فعالة لا تمتلك لوحدها صفات رابطة ولكن بعد الحرق عندما تطحن ناعما تتفاعل كيميائيا مع الجير وبوجود الماء في درجات الحرارة الاعتيادية تتكون مركبات واطنة الإذابة ولها خواص إسمنتية أصبح الآن مصطلح البوزولانا يطلق بصورة عامة على عدد من المواد الطبيعية والمواد المحضرة صناعيا مثل الطين المحروق شرط ان يحتوي على سليكا غير متبلورة لتكون ذات فعالية عالية، وأن تكون لدرجة عالية من النعومة لتتمكن من التفاعل مع الجير بوجود الماء. (3)

المواد البوزولانية الطبيعية والصناعية تختلف من حيث الأصل والتركيب الكيميائي والمعدني، وعلى الرغم من عدم وجود علاقة مباشرة بين المحتوى الكيميائي وبين النشاط البوزولاني إلا أنه يوجد تشابه في خاصية النشاط البوزولاني للمواد البوزولانية الطبيعية والصناعية. إضافة إلى أن هناك بعض الخصائص الأخرى يمكن أن تؤثر على درجة التفاعل أو النشاط البوزولاني مثل النعومة والتركيب البلوري. (7) المواد البوزولانية الطبيعية والمواد البوزولانية الصناعية مختلفين تماما من حيث الأصل والتركيب الكيميائي والتركيب المعدني وبالرغم من ذلك يتشابهان في خاصية النشاط البوزولاني. (4) المواد البوزولانية الطبيعية تشمل المواد الأوبالية (التربة الدياتومية والجيرت والأوبال) والرواسب البركانية وتشمل (الفتات البركاني والرماد البركاني) والصخور الفتاتية البركانية والبوزولانا من الصخور البازلتية. (5) (6) (7) بينما المواد البوزولانية الصناعية تنتج من معالجة بعض المواد الخام لإنتاج مواد بوزولانية غنية بالسليكا والألومينا، معالجة بعض المواد الخام تتم غالبا بتسخين تلك المواد إلى درجات حرارة مختلفة ثم الطحن ثم الخلط مع الجير.

النعومة خاصية للإسمنت والمواد البوزولانية، حيث تلعب النعومة دورا هاما في عملية التفاعل، بالنسبة للمادة البوزولانية كلما ازدادت درجة النعومة تزداد المساحة السطحية لحبيبات المادة، وهذا بدوره يزيد من درجة التفاعل الذي يحقق مقاومة تضاهي تلك قيم المقاومة التي يمكن الحصول عليها باستخدام الإسمنت البورتلاندي فقط عند 28 يوم. ومن خلال الدراسات السابقة يتضح أن نعومة المادة البوزولانية تساهم أيضا في تحسين التشغيلية وزيادة في زمن الشك الابتدائي للخرسانة يمكن تحديد النعومة باستخدام طريقة بلين (Blain). النعومة المناسبة يمكن الحصول عليها وذلك بطحن المادة البوزولانية لأزمنة مختلفة داخل اسطوانات الطحن (Ball milling) (13).

الميتاكولين مادة بوزولانية عالية التفاعل، إضافة الميتاكولين للخرسانة يحسن إلى حد كبير قوته وممانته وخصائصه. الميتاكولين له تأثير ايجابي جدا على قوة الخرسانة بعد يومين وخاصة عند 28 يوما و90 يوما. خرسانة الميتاكولين اظهرت قدر اقل من نفاذية الكلوريد، ونفاذية الغاز، واقل من حيث الامتصاصية وحجم القنوات الشعرية مقارنة مع خرسانة الاسمنت البورتلاندي العادي. درجة الحرارة المثلى لتسخين الكولين من أجل المحافظة على ميتاكولين عالي المحتوى البوزولاني مازالت تحت الاختلاف من باحث لآخر. فترة التسخين أيضا لا تزال غير معلومة أو محددة تماما.

مشكلة البحث

الإسمنت من أهم مكونات الخلطات الخرسانة، وهذا يعني أنه من الضروري استخدام هذه المواد الاسمنتية في صناعة التشبيد. ونتيجة للطلب المتزايد على مادة الإسمنت، ربما مستقبلا تواجه هذه الصناعة مشكلة

نقص في هذه المادة؛ وعلاوة على ذلك الطاقة العالية المستهلكة لإنتاجه. اعتماد استراتيجيات وتقنيات مختلفة تعمل على التقليل من تكلفة الإنتاج وتساهم في حماية البيئة، وذلك باستخدام مواد أخرى تكون الأكثر صديقة للبيئة. يمكن استخدام هذه المواد بشكل كلي أو جزئي محل المواد التقليدية الباهظة الثمن. هذه الدراسة تتناول إمكانية استخدام والاستفادة بعض الطينيات المحلية (البوزولانا الطبيعية)، كبديل جزئي للإسمنت في صناعة المونة الاسمنتية، وذلك نظرا لتوفر هذه الطينيات بكميات هائلة واقتصادية في الغرب الليبي (يفرن، غريان، زليتن) والجنوب الليبي (ثاروت وعافية وتمننت). كما تعمل هذه الدراسة على معرفة تأثير زمن ودرجات حرارة الحرق على الطينيات قبل وبعد خلطها مع الإسمنت لإنتاج الإسمنت المخلوط، بهدف التقليل من استخدام الإسمنت وكذلك تقليص الطاقة المستخدمة في إنتاجه.

أهداف ونطاق البحث

لارتباط زيادة استهلاك الطاقة لإنتاج الاسمنت والانبعاثات المتصاعدة لثاني أكسيد الكربون في طبقات الغلاف الجوي ولما لذلك من أثر بيئي سلبي على الصحة العامة. استهدفت هذه الدراسة إمكانية استخدام الميكاكولين بالإحلال الجزئي من وزن الاسمنت لصناعة المونة الاسمنتية لتحسن في الخواص الطرية والمتصلبة للمونة الاسمنتية، إضافة الى توفير 40% من مادة الكانكر المنتج لصناعة الاسمنت، مما يساهم في التقليل من استهلاك الطاقة وانبعاث ثاني أكسيد الكربون خلال الغلاف الجوي⁽¹³⁾. تهدف هذه الدراسة لمعرفة تأثير زمن ودرجة حرارة الحرق على بلورة البوزولانا الطبيعية والمتوفرة محليا (الكولين)، حيث تم تجميع العينات من مناطق مختلفة في جنوب والغرب الليبي كما موضحة علي الخريطة الجيولوجية الشكل رقم 1.1⁽¹⁴⁾. تم في هذه الدراسة حرق الطينيات التي سيتم تجميعها في درجات حرارة من 400 الي 1000 درجة مئوية ولفترات زمنية مختلفة للوصول الي الزمن ودرجة حرارة الحرق المثالية والاكثر فعالية من الناحية الفنية والاقتصادية.

البرنامج العملي

تم استخدام الإسمنت البورتلاندي العادي المطابق للمواصفات القياسية الليبية رقم 340 لسن 1997م⁽²²⁾، وهو من إنتاج مصنع البرج بمدينة زليتن التابع لشركة الاتحاد العربي للمقاولات، وتم قياس النعومة للإسمنت بواسطة جهاز بلين طبقا للمواصفات الأمريكية⁽²⁴⁾ (ASTM C204-92). كما تم استخدام الرمل القياسي المتوفر بمعمل مراقبة الجودة بمصنع البرج زليتن التابع لشركة الاتحاد العربي للمقاولات المطابق للمواصفة EN 196-1 ISO 679:2009⁽²³⁾.

تم جمع وتوريد كمية كافية من مادة الطين الطبيعي لتحضير ستة عينات، على اساس ثلاثة عينات من منطقة الجنوب (تمننت وعافية وثاروت) وثلاثة عينات من منطقة الشمال (غريان ويفرن وزليتن). تم

وضع العينات داخل أكياس بلاستيكية موضح عليها أسم المنطقة، تمت المعالجة الحرارية للطين في معمل مراقبة الجودة بمصنع الحديد والصلب بمدينة مصراته. تم تكسير عينات الكاولين بعد الحرق والتبريد بواسطة مطرقة وطحنها لمدة 5 دقائق. تم نخل نواتج الطحن في منخل رقم 200 (0.075مم). تم وضع الطين المعالج حراريا والمطحون في أواني خاصة مقاومة للحرارة العالية ومحدودة السعة 1500 جرام داخل الفرن، بعد تحديد درجة الحرارة المطلوبة لكل عينة. في هذه الدراسة تم تحديد ثلاث درجات حرارة 400 و700 و1000 درجة مئوية لحرق العينات لمدة ساعتين و3 ساعات من وصول الفرن لدرجة الحرارة المطلوبة. فمثلا زمن وصول الفرن لدرجة الحرارة 400 درجة مئوية حوالي 24 دقيقة أي بمعدل تقريبا 16.6 درجة مئوية/دقيقة بعدها يستمر الحرق لمدة ساعتين اضافية وبعد ذلك تترك العينات خارج الفرن ولمدة 24 ساعة حتى تبرد. جميع العينات تم وزنها قبل وبعد الحرق لمعرفة الفاقد في الوزن. والجدول رقم 1 و الجدول 2 يوضحا تأثير درجة حرارة الحرق لمدة ساعتين و3 ساعات على نسبة الفاقد على التوالي لجميع العينات. تم إجراء اختبار التركيب الكيميائي لعينات الكاولين قبل الحرق والميتاكاولين بعد الحرق باستخدام جهاز (XRF) داخل مصنع البرج التابع لشركة الاتحاد العربي للمقاولات

جدول 1: تأثير درجة حرارة الحرق لمدة ساعتين على نسبة الفاقد لجميع العينات.

اسم المنطقة	درجة حرارة الحرق 400 م°		درجة حرارة الحرق 700 م°		درجة حرارة الحرق 1000 م°	
	وزن العينة		وزن العينة		وزن العينة	
	نسبة الفاقد %	قبل الحرق	نسبة الفاقد %	قبل الحرق	نسبة الفاقد %	قبل الحرق
تمنهنت	1.33	493.33	5.21	473.91	8.36	458.2
يفرن	3.86	480.66	6.14	469.3	8	460
عافية	3.72	481.4	9.13	454.33	10	450
ثاروت	1.28	493.6	7.5	462.5	8.76	456.2
غريان	6.72	466.4	12.38	438.1	13.28	433.6
زليتن	8.46	457.7	14.58	427.1	15.36	423.2

جدول 2: تأثير درجة حرارة الحرق لمدة 3 ساعات على نسبة الفاقد لجميع العينات.

اسم المنطقة	درجة حرارة الحرق 400 م°			درجة حرارة الحرق 700 م°			درجة حرارة الحرق 1000 م°		
	وزن العينة		نسبة الفاقد %	وزن العينة		نسبة الفاقد %	وزن العينة		نسبة الفاقد %
	قبل الحرق	بعد الحرق		قبل الحرق	بعد الحرق		قبل الحرق	بعد الحرق	
تمنهنت	500	492.4	1.52	500	456.4	8.72	500	452.1	9.58
يفرن	500	479.5	4.1	500	454.3	9.14	500	441.3	11.74
عافية	500	478.7	4.26	500	441.1	11.78	500	429	14.2
ثاروت	500	493	1.4	500	459	8.2	500	453.3	9.34
غريان	500	466.4	6.72	500	437.1	12.58	500	431.9	13.62
زليتن	500	456.3	8.74	500	426.3	14.74	500	421.5	15.7

الجدول رقم 3 يوضح نتائج اختبار التحليل الكيميائي لعينات الميكاكولين. في هذه الدراسة تم اعتماد عينتين من مادة الكاولين على اساس اقل فاقد في الوزن بعد الحرق لكل من الغرب والجنوب الليبي، وبذلك تم اختيار عينة يفرن MKY من منطقة الغرب لزمان حرق ساعتين و3 ساعات، وعينة تمنهنت MKT من منطقة الجنوب ولكن عند النظر لزمان حرق 3 ساعات فإن عينة ثاروت أعطت فاقد في الوزن أقل من عينة تمنهنت بنسبة 6%، ولكن عند زمن حرق ساعتين أعطت عينة تمنهنت أقل فاقد في الوزن مقارنة بعينة ثاروت بنسبة 30%، وبالتالي تم إختيار عينة تمنهنت لزماني حرق ساعتين و3 ساعات، وحرق العينتين بدرجتين حرارة هما 700 و1000 درجة مئوية، وبنسبة إحلال ثابتة (15%). بالإضافة إلي الخلطة المرجعية بدون مادة الميكاكولين (OPC)، وبذلك يصبح عدد الخلطات 11 خلطة، جميع العينات تم معالجتها في الماء لزمان اختبار مقاومة الضغط عند 3 أيام و7 أيام و28 يوم و90 يوم، وتم قياس النسبة المئوية لامتناس الماء والمسامية ونفاذية الماء لفترة 28 يوم.

تم تحديد نسبة الخلط للمونة الإسمنتية باستخدام المواصفات الأمريكية (ASTM C109-92)⁽²⁾ وذلك باستخدام الاوزان الثابتة وما يقابله لكل قالب 50×50×50مم من وزن الاسمنت والرمل والماء بنسب بنسب خلط ثابتة (1:2.75) (الاسمنت: الركام الناعم) وتم استخدام نسبة ماء الخلط الى الاسمنت (w/c = 0.485)، ونسبة الإحلال من مادة الميكاكولين ثابتة 15% من وزن الاسمنت والجدول رقم 4 يوضح الاوزان لكل من مكونات المونة الإسمنتية . تمت عملية الخلط بواسطة خلاط كهربائي، وبعد 5 دقائق من الخلط تم صبها علي طبقتين ودمك كل طبقة بواسطة قضيب الدمك 16 مرة تم استخدام أداة لتسوية السطح، تم وضعها في جهاز طارد الرطوبة عند درجة 20 درجة مئوية لمدة 24 ساعة تم تفك القوالب وتوضع في حوض المعالجة تحت درجة حرارة ثابتة 21 درجة مئوية. كما تم إجراء بعض الاختبارات

علي مكونات الخلطة أثناء مزج مادة الميتاكوولين بنسبة 15% مع الإسمنت قبل إضافة الماء. والجدول رقم 5 يوضح نتائج بعض الاختبارات.

جدول 3: التركيب الكيميائي لعينات الميتاكوولين

MKT10003	MKT10002	MKT7003	MKT7002	MKT	العنصر الكيميائي %
78.74	78.81	77.14	71.04	67.07	SiO ₂
27.05	25.84	26.71	27.59	5.01	Al ₂ O ₃
2.66	3.09	2.38	2.22	6.50	Fe ₂ O ₃
6.12	6.12	6.17	6.23	5.81	CaO
0.71	0.71	0.71	0.71	0.10	MgO
0.05	0.06	0.04	0.02	0.26	Na ₂ O
0.07	0.07	0.06	0.16	0.08	K ₂ O
0.21	0.20	0.20	0.18	0.23	SO ₃
0.11	0.11	0.11	0.11	0.17	Cl
2.41	2.42	2.48	2.67	-	LSF
2.65	2.72	2.65	2.38	-	SIM
10.19	8.35	11.22	12.46	-	ALM
MKY10003	MKY10002	MKY7003	MKY7002	MKY	العنصر الكيميائي %
72.93	71.44	76.87	67.83	64.15	SiO ₂
17.33	16.53	17.11	16.23	18.04	Al ₂ O ₃
9.96	12.30	8.47	8.72	8.59	Fe ₂ O ₃
6.52	7.06	6.54	8.93	4.50	CaO
0.82	0.83	0.82	0.85	1.84	MgO
0.01	0.02	0.01	0.01	0.06	Na ₂ O
2.41	2.39	2.38	2.37	2.56	K ₂ O
0.45	0.34	0.37	0.53	0.48	SO ₃
0.11	0.11	0.07	0.07	0.02	Cl
2.82	3.10	2.71	4.16	-	LSF
2.67	2.48	3.01	2.72	-	SIM
1.74	1.34	2.02	1.86	-	ALM

الجدول 4: الاوزان لكل من مكونات المونة الإسمنتية (2)

عدد المكعبات	وزن الإسمنت (جم)	وزن رمل قياسي(جم)	وزن ماء(0.485) من وزن الإسمنت (جم)	وزن ميتاكولين (جم) (%15)
6	500	1375	242	75
9	740	2035	359	111

جدول 5: نتائج بعض الاختبارات علي مزيج الإسمنت والميتاكولين

رقم الخلطة	المساحة السطحية بلمن CM ² /gm ⁽²⁴⁾	الفاقد الحراري (%) ⁽³⁴⁾	أكسيد الكالسيوم الحر (%) ⁽³⁴⁾
S1	3180.00	1.17	1.22
S2	5084.33	2.35	0.45
S3	4509.94	0.46	1.39
S4	3650.48	1.77	0.60
S5	3824.00	0.44	1.21
S6	4608.84	1.37	0.60
S7	4386.00	0.49	1.32
S8	4102.78	1.26	0.66
S9	3889.67	0.40	1.17
S10	5004.88	0.61	0.96
S11	3349.91	0.54	0.97
STANDARD	3300 – 3000	1.00 – 0.10	1.40 – 0.70

تمت لكل خلطة معالجة 15 مكعب في الماء ، كل 3 مكعبات لزمن معين من 3 و 7 و 28 و 90 يوم، و3 مكعبات للنفاذية والمسامية لزمن 28 يوم في حوض المعالجة تحت درجة حرارة 21 درجة مئوية وللحفاظة علي نفس درجة نقاوة الماء المستخدم تمت تغير ماء المعالجة كل 15 يوم، بحيث كانت درجة حرارة المعمل 19 درجة مئوية ونسبة الرطوبة 43%.

مناقشة النتائج

الانسيابية تعبر عن قوام المونة الإسمنتية الطرية من حيث مدى سهولة خلط ومناولة وصب ودمك وتشطيب المونة الإسمنتية. تم قياس الانسيابية بجهاز اختبار الانسياب وفق طريقة المواصفات الأمريكية (ASTM C230-83)⁽³⁵⁾. كما تم إحلال الميتاكولين كبديل جزئي للإسمنت في خلطة العجينة الإسمنتية بنسبة ثابتة 15% لعدد 10 خلطات . مع اختلاف درجات الحرارة وزمن الحرق وكذلك نعومة

خلطتين وبنفس درجة الحرارة 1000 درجة مئوية لزمان 3 ساعات. والجدول رقم 6 يوضح نسب وكميات الخلط. تم الخلط بواسطة الخلاط الكهربائي سعة 4730 سم³ وفق المواصفات الأوروبية البريطانية، وتم إجراء اختبار زمني الشك الابتدائي والنهائي بواسطة جهاز فيكات وفق المواصفات الأوروبية البريطانية (BS EN 196-3:2005)⁽²⁵⁾.

تم إجراء اختبار مقاومة الضغط في شركة الرباط الخاصة بمدينة مصراته لعدد 12 مكعب لكل خلطة من خلطات المونة الإسمنتية 3 مكعبات لكل زمن، وذلك بعد 3 و7 و28 و90 يوم. ثم تم وضع المكعبات في جهاز اختبار مقاومة الضغط بمعدل تحميل 0.89 كل/ثانية، جميع العينات وصلت إلى حالة الانهيار عند أقصى حمل في مدة زمنية تراوحت ما بين 20 إلى 80 ثانية وفق المواصفات الأمريكية (ASTM C109-92)⁽²⁾ الخاصة باختبار مقاومة الضغط لمكعبات المونة الإسمنتية. وبما أن تم خلط وصب العينات في معمل البرج التابع لشركة الاتحاد العربي للمقاولات وأن إجراء اختبار المقاومة في شركة الرباط بمدينة مصراته وبالتالي عند رفع العينات الي المختبر وان الزمن ما بين نقل العينات من معمل البرج الي شركة الرباط تستغرق من الوقت حوالي 45 دقيقة وأكثر وبالتالي لابد من وضع العينات في حوض وتغليفه بالخيش المبلل بالماء لكي لا تتعرض العينات للهواء في هذه المدة.

الجدول 6: نسب وكميات الخلط للعجينة الإسمنتية القياسية المستخدمة في زمن الشك الابتدائي والنهائي

رقم خلطة	رمز العينة	وزن الإسمنت (جم)	نسبة الميكاكولين (%)	وزن مادة الميكاكولين (جم)	نسبة الماء (%)	وزن الماء (جم)
S1	OPC	650	0	0	0.28	182
S2	MKT7002	552.5	15	97.5	0.3	195
S3	MKY7002	552.5	15	97.5	0.3	195
S4	MKT10002	552.5	15	97.5	0.3	195
S5	MKY10002	552.5	15	97.5	0.297	193
S6	MKT7003	552.5	15	97.5	0.3	195
S7	MKY7003	552.5	15	97.5	0.2976	193.5
S8	MKT10003	552.5	15	97.5	0.2999	194.5
S9	MKY10003	552.5	15	97.5	0.3	195
S10	MKT-a10003	552.5	15	97.5	0.3015	196
S11	MKY-a10003	552.5	15	97.5	0.292	190

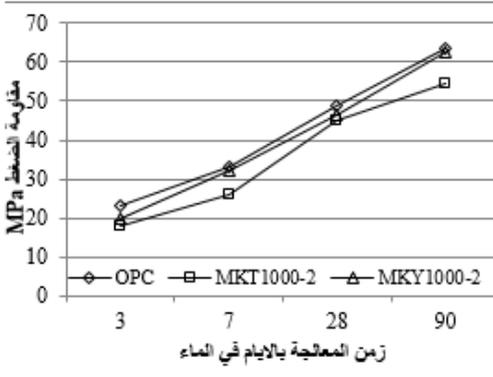
تم اختبار عدد 132 مكعب مقاس $50 \times 50 \times 50$ مم، تم معالجة جميع العينات في حوض المعالجة الذي يحتوي على ماء معالج بدرجة حرارة ثابتة 21 درجة مئوية، ودرجة حرارة المعمل 19 درجة مئوية ورطوبة المعمل 43%. لمدة 3 أيام و 7 أيام و 28 يوم و 90 يوم. عدد العينات لكل خبطة 12 مكعب للحصول على متوسط لعدد ثلاثة قراءات لكل زمن. والجدول رقم 2.4 يبين نتائج اختبار مقاومة الضغط للعينات المعالجة في الماء. من خلال نتائج العينات التي تمت معالجتها في الماء يتضح أن قيم مقاومة الضغط للخطات سجلت قيم أقل من قيم مقاومة الضغط للعينات التي تم معالجتها بعد 28 يوم وذلك عند ثلاثة أيام و 7 أيام من المعالجة. بعد ثلاثة أيام سجلت العينة MKT1000-3 أعلى نسبة انخفاض قدرها 66%، بينما أقل نسبة انخفاض كانت للعينة (OPC) بمقدار 52% بالمقارنة مع قيم العينات التي تم معالجتها بعد 28 يوم. أما بالنسبة للعينات التي تم اختبارها بعد 7 أيام تحسنت مقاومة الضغط للعينات وسجلت العينة MKT1000-3 أعلى نسبة انخفاض قدرها 44% وأقل نسبة انخفاض كانت للعينة (OPC) بمقدار 32% بالمقارنة مع قيم العينات التي تم معالجتها بعد 28 يوم. أيضا من خلال نتائج مقاومة الضغط للعينات بعد مدة معالجة 90 يوم، حيث أعطت العينات مقاومة ضغط بنسبة أعلى من نسبة قيم مقاومة الضغط للعينات التي تم معالجتها بعد 28 يوم. بنسبة تتراوح من 10% الي 45% والشكل رقم 2.4 الذي يوضح تأثير درجة وزمن الحرق على مقاومة الضغط لعينات المونة الإسمنتية حيث تمت مقارنة جميع النتائج بقيم نتائج العينة المرجعية (OPC) نلاحظ أن العينتين MKY و MKT عند زمن حرق ساعتين وبدرجة حرارة حرق 700°م و 1000°م أعطت قيم مقاومة ضغط أقل من قيم مقاومة ضغط للعينة المرجعية (OPC) لجميع أيام المعالجة ثلاثة أيام و 7 أيام و 28 يوم و 90 يوم، حيث أعطت العينة MKT1000-2 أعلى نسبة انخفاض قدرها 23%، وأقل نسبة انخفاض كانت للعينة MKY700-2 تقدر بنسبة 6% من قيم مقاومة الضغط للعينة المرجعية OPC وذلك عند مدة معالجة ثلاثة أيام. وأعطت العينة MKT1000-2 أعلى نسبة انخفاض بمقدار 22% من قيم مقاومة الضغط للعينة المرجعية (OPC) وأقل نسبة انخفاض كانت للعينة MKY1000-2 تقدر بنسبة 4% وذلك عند مدة معالجة 7 أيام. وعند مدة معالجة 28 يوم أعطت العينة MKY700-2 قيم مقاومة الضغط أقل من قيم مقاومة الضغط للعينة المرجعية (OPC) بنسبة انخفاض الأعلى من جميع العينات التي تم معالجتها بعد 28 يوم بمقدار 10% وأقل نسبة انخفاض كانت للعينة MKY1000-2 تقدر بنسبة 4% عند مدة معالجة 28 يوم. أما عند مدة معالجة 90 يوم أعطت العينة MKT700-2 أعلى نسبة انخفاض بمقدار 20% من قيم مقاومة الضغط للعينة المرجعية OPC وأقل نسبة انخفاض كانت للعينة MKY1000-2 تقدر بنسبة 2%. وعند زمن حرق ثلاثة ساعات بدرجة حرارة حرق 700°م و 1000°م

م ° فإن العينات أعطت قيم مقاومة ضغط أقل من قيم مقاومة ضغط للعينة المرجعية OPC عند مدة معالجة ثلاثة أيام و7 أيام وزادت مقاومة الضغط في بعض العينات مع اختلاف درجة الحرارة عند مدة

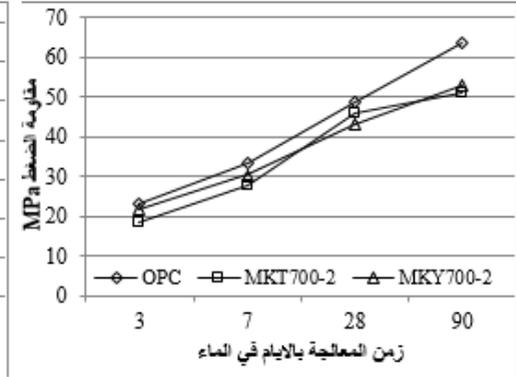
معالجة 28 يوم و90 يوم. أعطت العينة MKT700-3 أعلى نسبة انخفاض بمقدار 33% و23% من قيم مقاومة الضغط للعينة المرجعية (OPC) وذلك عند مدة معالجة ثلاثة أيام و7 أيام علي التوالي وأقل نسبة انخفاض كانت للعينتين MKY1000-3 و MKY-a1000-3 بمقدار 10% من قيم مقاومة الضغط للعينة المرجعية OPC عند مدة معالجة ثلاثة أيام. وأعطت العينة MKT-a1000-3 أقل نسبة انخفاض بمقدار 5% من قيم مقاومة الضغط للعينة المرجعية OPC عند مدة معالجة 7 أيام.

وعند مدة معالجة 28 يوم أعطت العينة MKT-a1000-3 أعلى نسبة انخفاض بمقدار 11% من قيم مقاومة الضغط للعينة المرجعية (OPC) وازدادة قيمة مقاومة الضغط عن قيم مقاومة الضغط للعينة المرجعية (OPC) بمقدار 1% وذلك عند العينة MKT700-3 وازدادت قيم مقاومة الضغط للعينة MKY1000-3 بمقدار 3% وأيضا العينة MKY-a1000-3 أعطت قيم متساوية لقيم مقاومة الضغط للعينة المرجعية (OPC) علي التوالي.

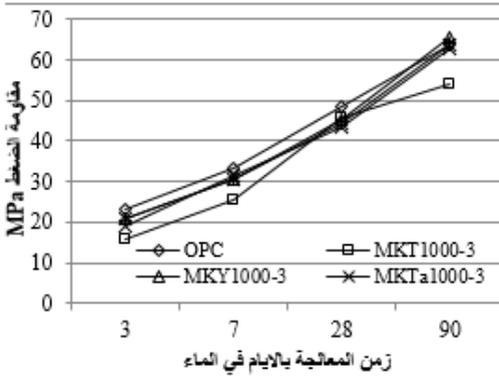
الشكل رقم 1 يوضح تأثير زمن المعالجة علي مقاومة الضغط للعينات التي تم حرقها بدرجة حرارة 700 م ° بزمن حرق ساعتين بحيث نلاحظ أن مقاومة الضغط للعينة MKY أعلى من مقاومة العينة MKT عند مدة معالجة 3 و7 و90 يوم، وأعطت مدة معالجة 28 يوم نتائج مقاومة الضغط عكسية مقارنة بباقي أيام المعالجة. وعند الحرق بدرجة حرارة 1000 درجة مئوية في ساعتين نلاحظ أن العينتين MKT و MKY أن مقاومة الضغط تزداد بزيادة مدة المعالجة في جميع الاعمار حيث أعطت MKY مقاومة ضغط أعلى من مقاومة الضغط للعينة MKT في جميع أعمار مدة المعالجة كما في الشكل رقم 2. ونلاحظ عند الحرق بدرجة حرارة 700 درجة مئوية بزمن حرق ثلاثة ساعات أن مقاومة الضغط للعينة MKT أعلى من مقاومة الضغط للعينة MKY في جميع أعمار مدة المعالجة إلا مدة معالجة العينات 3 أيام أعطت العينة MKY مقاومة ضغط أعلى من مقاومة الضغط للعينة MKT كما في الشكل رقم 3. عند الحرق بدرجة حرارة 1000 درجة مئوية في 3 ساعات نلاحظ تفاوت في قيم مقاومة الضغط عند كل مدة معالجة حيث أعطت العينة MKYa أعلى مقاومة ضغط عن باقي العينات عند مدة معالجة 3 أيام وعند مدة معالجة 7 أيام أعطت MKTa مقاومة أعلى من باقي العينات، والعينة MKT أعطت مقاومة ضغط أعلى من باقي العينات عند مدة معالجة 28 يوم. وعند مدة المعالجة النهائية 90 يوم أعطت العينة MKY أعلى قيم لمقاومة الضغط من باقي العينات كما في الشكل رقم 4.



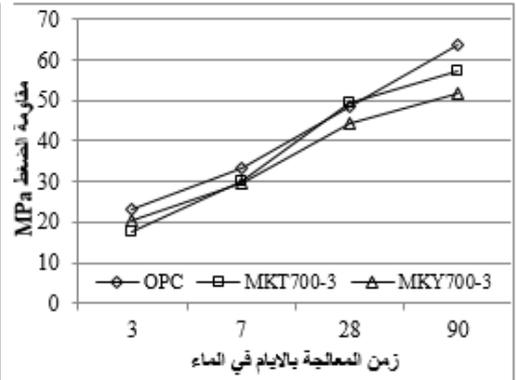
شكل 2: تأثير زمن المعالجة علي مقاومة الضغط للمعينات 1000-2



شكل 1: تأثير زمن المعالجة علي مقاومة الضغط للمعينات 700-2



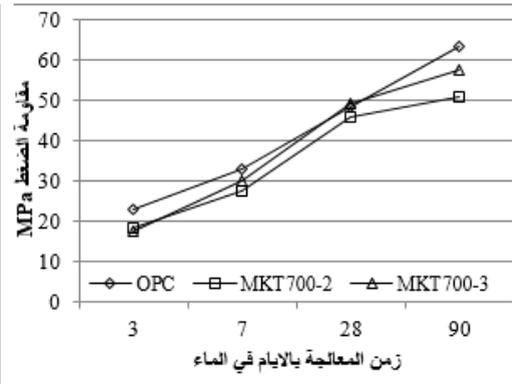
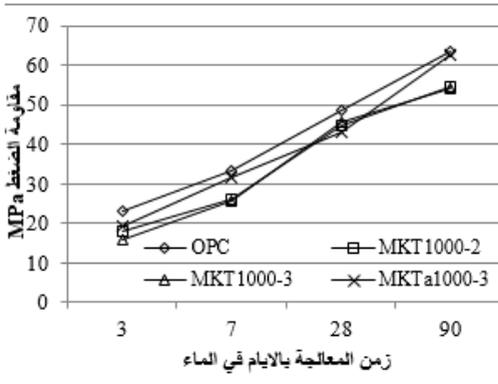
شكل 4: تأثير زمن المعالجة علي مقاومة الضغط للمعينات 1000-3



شكل 3: تأثير زمن المعالجة علي مقاومة الضغط للمعينات 700-3

الشكل رقم 5 يوضح تأثير زمن الحرق لدرجة حرارة 700 درجة مئوية علي مقاومة الضغط للعينات MKT لزمن حرق ساعتين و3 ساعات فإن مقاومة الضغط تقل كلما زاد زمن الحرق للمادة الكاولين من ساعتين إلي ثلاثة ساعات عند مدة معالجة 3 أيام وتزداد مقاومة الضغط بزيادة زمن الحرق من ساعتين

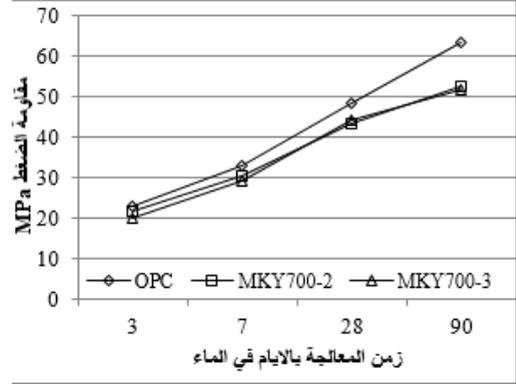
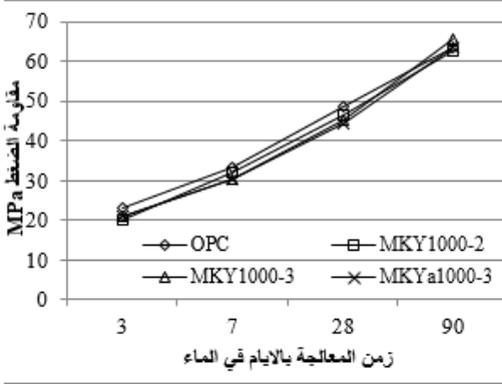
إلي ثلاثة وذلك لمدة معالجة 7 و28 و90 يوم وتكون مقاومة الضغط أقل من قيم مقاومة الضغط للعيينة المرجعية (OPC)، أما بالنسبة للعيينة MKT وعند درجة حرارة حرق 1000 درجة مئوية فإن قيمة مقاومة الضغط تقل مع زيادة زمن الحرق من ساعتين إلي 3 ساعات وذلك لمدة معالجة 3 أيام و7 أيام و90 يوم وتزداد مقاومة الضغط عند مدة معالجة 28 يوم، حيث أعطت العينة (MKTa1000-3) زيادة في مقاومة الضغط بزيادة زمن الحرق من ساعتين إلي 3 ساعات لمدة معالجة 3 و7 و90 يوم. وقلت مقاومة الضغط عند مدة معالجة 28 يوم. كما في الشكل رقم 6. أما بالنسبة للعيينة MKY وعند درجة حرارة حرق 700 درجة مئوية فإن قيمة مقاومة الضغط تقل مع زيادة زمن الحرق من ساعتين إلي 3 ساعات وذلك لمدة معالجة 3 و7 و90 يوم. وتزداد مقاومة الضغط عند مدة معالجة 28 يوم كما في الشكل 7. أما عند درجة حرارة 1000 درجة مئوية فإن مقاومة الضغط للعيينة MKY تقل مع زيادة زمن الحرق من ساعتين إلي 3 ساعات وذلك عند عمر العينة أيام 7 و28 يوم وتزداد مقاومة الضغط مع زيادة زمن الحرق من ساعتين إلي ثلاثة ساعات عند مدة معالجة 3 و90 يوم كما في الشكل رقم 8، حيث أعطت العينة MKY1000-3 مقاومة ضغط أعلى مقارنة بالعيينة المرجعية OPC بنسبة 2.90%.



شكل 5: تأثير زمن الحرق لدرجة حرارة 700 م ° شكل 6: تأثير زمن الحرق لدرجة حرارة 1000

م ° علي مقاومة الضغط للعينات MKT

علي مقاومة الضغط للعينات MKT



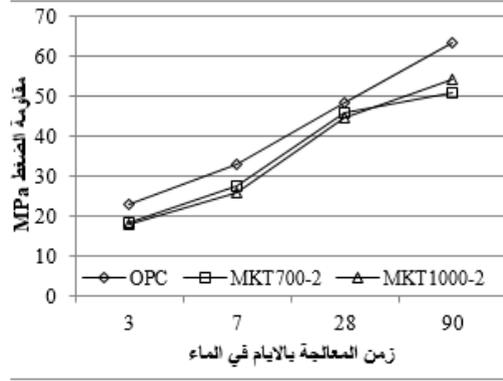
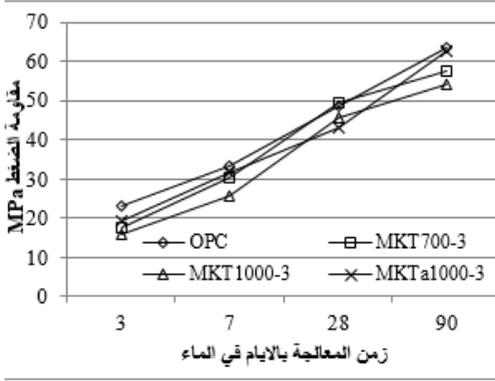
شكل 8: تأثير زمن الحرق لدرجة حرارة 1000

شكل 7: تأثير زمن الحرق لدرجة حرارة 700

م ° علي مقاومة الضغط للعينات MKY

م ° علي مقاومة الضغط للعينات MKY

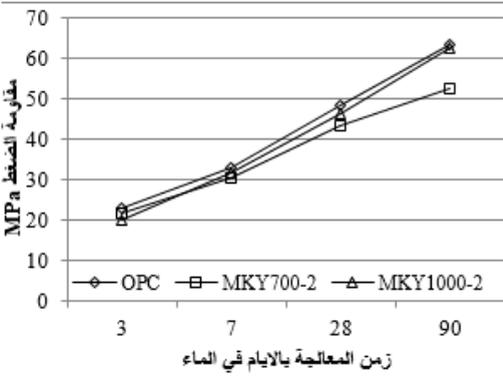
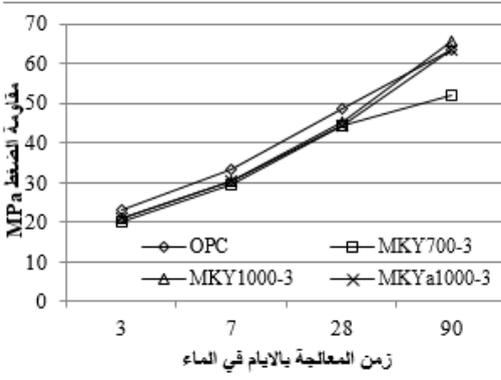
الشكل 9 يوضح تأثير درجة حرارة الحرق علي مقاومة الضغط عند نسبة إحلال ثابتة 15% من مادة الميتاكوولين لجميع الخلطات مع المعالجة في الماء لعدة أيام ،بالنسبة للعيينة MKT عند زمن حرق ساعتين عند درجة حرارة حرق 700 و 1000 درجة مئوية فإن مقاومة الضغط تقل عند زيادة درجة الحرق من 700 و 1000 درجة مئوية بنسبة 2.98% عند مدة معالجة 3 وبنسبة 6.47% عند مدة معالجة 7 ايام وبنسبة 2.81% عند مدة معالجة 28 يوم، وتزداد مقاومة الضغط بنسبة 6.87% عند فترة معالجة 90 يوم، حيث أن جميع القيم أعطت مقاومة ضغط اقل من قيمة مقاومة الضغط للعيينة المرجعية OPC. من خلال الشكل رقم 10 أيضا سجلت العينة MKT عند زمن حرق ثلاثة ساعات عند درجة حرارة حرق 700 و 1000 درجة مئوية فإن مقاومة الضغط تقل عند زيادة درجة الحرق من 700 إلي 1000 درجة مئوية في جميع أيام المعالجة من 3 إلي 90 يوم باستثناء العينة MKTa-1000 فإن مقاومة الضغط تزداد عند جميع أعمار المعالجة إلا عند مدة 28 يوم من المعالجة فإنها تقل مقاومة الضغط أيضا وكل نتائج المقاومة أقل من قيم مقاومة الضغط للعيينة المرجعية OPC.



شكل 10: تأثير درجة حرارة الحرق علي مقاومة الضغط للعينات MKT التي تم حرقها في 3 ساعات

شكل 9: تأثير درجة حرارة الحرق علي مقاومة الضغط للعينات MKT التي تم حرقها في ساعتين

أما بالنسبة للعيينة MKY عند زمن حرق ساعتين عند درجة حرارة حرق 700 و 1000 درجة مئوية فإن مقاومة الضغط تزداد عند زيادة درجة الحرق من 700 إلي 1000 درجة مئوية عند مدة معالجة 7 أيام إلي 90 يوم وتقل عند مدة معالجة ثلاثة أيام كما في الشكل رقم 11. من خلال الشكل رقم 12 للعيينة MKY عند زمن حرق ثلاثة ساعات عند درجة حرارة حرق 700 و 1000 درجة مئوية فإن مقاومة الضغط تزداد عند زيادة درجة الحرق من 700 إلي 1000 درجة مئوية عند جميع أيام المعالجة من 3 إلي 90 يوم، حيث أعطت العينتين MKY1000 و MKYa-1000 مقاومة الضغط أعلي من قيمة مقاومة الضغط للعيينة المرجعية OPC وتزداد بنسبة ضغط 2.90%.



شكل 12: تأثير درجة حرارة الحرق علي مقاومة الضغط للعينات MKY التي تم حرقها لمدة 3 ساعات

شكل 11: تأثير درجة حرارة الحرق علي مقاومة الضغط للعينات MKY التي تم حرقها لمدة ساعتان

الخلاصة

من خلال الدراسة المعملية ومناقشة النتائج يمكن تلخيص النقاط التالية:-

1. سجلت عينة تمنهنت عند درجة حرارة 1000 م° لزمني حرق ساعتين و3 ساعات مع اختلاف درجة النعومة لمادة الميتاكوولين حققت مقاومة ضغط عالية بعد 90 يوم من المعالجة بالغمر في الماء مقارنة بالعينة المرجعية OPC.
2. بزيادة درجة الحرارة وزمن الحرق للميتاكوولين سجلت النتائج زيادة في الانسيابية للمونة الإسمنتية باستثناء عينة يفرن لكلا درجتي حرارة الحرق 700 و1000 درجة مئوية حيث اظهرت انسيابية عالية مقارنة مع باقي درجات الحرارة.
3. بزيادة درجة حرارة الحرق يزداد زمني الشك الابتدائي والنهائي، ويقل مع زيادة زمن الحرق باستثناء عينة تمنهنت في درجة حرارة الحرق 1000 درجة مئوية لزمني حرق 2 و 3 ساعات حيث لوحظ ان زمن الشك الابتدائي والنهائي يزداد.

المراجع

- 1 W.Sha. 2002? " Differential scanning calorimetry• study of the hydration products in Portland cement pastes with metakaolin replacement". Advances in building technology. Proceedings of the international conference on advances in balding technology, 881-889.
- 2 ASTM C109-92, (1992): "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. Or 50-mm Cube Specimens)". ASTM, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103, USA.
- 3 FINDING OF THE IRAQI NATURAL POZZOLANA IN INJANA AREA, HEMRIN SOUTH, CENTRAL IRAQ Khaldoun A. Ma`ala , Nawal A. Al – Saudi and Husam H. Abdul Allah (2006/المجلد2/العدد2/2006)
مجلة الجيولوجيا والتعدين العراقية /المجلد2/العدد2/2006
- 4 Venkata sairam kumar.N. Dr.B.Panduranga Rao, Krishna Sai.M.L.N. 2013. "Experimental study on partial replacement of cement with quarry dust. IJAERS, Vol. II, Issue III, April-June,2013 pp. 136-137
- 5 مشرف محمد عبد الغنى عثمان مشرف "أسس علم الرسوبيات"، جامعة الملك سعود. الرياض. مطابع دار المريخ للطباعة والنشر، المملكة العربية السعودية . 1995

- 6 مشرف محمد عبد الغنى عثمان مشرف "الجيولوجيا العامة"، جامعة الملك سعود . الرياض، مطابع دار المريخ للطباعة والنشر . المملكة العربية السعودية. 1993
- 7 رفعت محمود سلام" (2004) أسباب تلف الخرسانة وأساليب الإصلاح والوقاية" منشأة المعارف.
- 8 Siyam, A.M. (1987), (pozzolana Stabilized Blocks for low cost Housing), M.Sc thesis , BRRU University of Khartoum. Ellis and Moore Consulting Engineer, Intermediate Technology publications, London , WEB, 4.HH, UK.
- 9 Neville, A. M., "Properties of Concrete" 4th Edition, Prentice Hall. 1995.
- 10 Ganesan, K., Rajagopal, K. & Thangavel, K., "Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material". Cement and Concrete Composites, 29, 515–524. 2007.
- 11 Shvarzman, A., Kovler, K., Schamban, I., Grader, G. & Shter, G. "Influence of chemical and phase composition of mineral admixtures on their pozzolanic activity". Advances in cement research, 14, 35–41. 2002.
- 12 Bendapudi, S.C.K. & Saha, P., "Contribution of Fly ash to the properties of Mortar and Concrete", International Journal of Earth Sciences and Engineering, 4, pp. 1017–1023, 2011.
- 13 Hago, A.W., "Effect of the Fineness of Artificial Pozzolana on the Properties of Lime–Pozzolana Mix", Science and Technology, 7, pp.252–258, 2002.
- 14 Industrial Research Center, "Raw materials in Sebha and Wadi Shatti regions", *Industrial Research Journal*, Tripoli, Libya, 7, 126–138, (1998).
- 15 إبراهيم أحمد المختار الحضيبي، "الإنكماش في الخرسانة البوزلانية"، المؤتمر الوطني السادس لمواد البناء والهندسة الإنشائية، قسم الهندسة المدنية – كلية الهندسة جامعة الجبل الغربي، 29-30/03/2016
- 16 جمال محمد عبدالله ، "متانة البوزلانية ضد هجوم الكبريتات"، المؤتمر الوطني السادس لمواد البناء والهندسة الإنشائية، قسم الهندسة المدنية – كلية الهندسة جامعة الجبل الغربي، 29-30/03/2016
- 17 V. Kannan and K.Ganesan, “Strength and water absorption properties of ternary blended cement mortar using rice husk ash and metakaolin”, *Scholarly Journal of Engineering Research* Vol. 1(4), pp. 51–59. 2012.
- 18 Viswanadha Varma D.¹, Rama Rao G. V.², Sindhu J³, “Effect of Temperature on Metakaolin Blended High Strength Concrete”, *International*

Journal of Engineering Research and Development, Volume 10, Issue 5, (May 2014), PP.57-67.

19 حمزة محمد المدني ، تأثير استخدام مخلفات ثمار الزيتون كبديل جزئي للإسمنت علي خواص المونة الإسمنتية، رسالة ماجستير، جامعة المرقب -كلية الهندسة، 2015.

22 BS 882-1992, "Specification for aggregates from natural sources for concrete". British Standards Institution, 389 Chiswick high road, London, W4 4AL, UK.

21 المواصفات القياسية الليبية رقم 294 لسنة 1988 (ف) الخاصة بالمياه المستعملة في الخرسانة، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية_طرابلس.

22 المواصفات القياسية الليبية رقم 340 لسنة 1997 (ف) الخاصة بالإسمنت البورتلاندي، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية_طرابلس.

23 EN 196-1 ISO 679, "CEN STANDARD SAND CERTIFIED IN ACCORDANCE WITH EN 196-1 CONFORMING TO IOS 679 . 2009

24 ASTM C204-92, "Standard Test Method for Fineness of Portland Cement by Air Permeability Apparatus". ASTM, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103, USA, 1992

25 BS EN 196-3:2005 Methods of testing cement .Determination of setting times and soundness.

26 ASTM C642-97, (1997): "Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete". ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, USA.

27 AT315-EN 12390-8 (2000) "Testing hardened Concrete-Part8: Depth of Penetration of Water Under Pressure".

28 هيثم عبد الهادي كلوب، (2009) "دراسة تأثير درجات الحرارة العالية علي ديمومة الخرسانة" رسالة ماجستير ، قسم الهندسة المدنية- جامعة المرقب.

29 J MENDHAM. R C DENNY. J D BARNES. M J K THOMAS. "VOGEL'S – Textbook of Quantitative Chemical Analysis". 6th Edition, Prentice Hall.

- 30 ASTM C305-91, "Standard practice for mechanical mixing of hydraulic cement pastes and mortars of plastic consistency". ASTM, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103, USA. 1991.
- 31 P. Kumar Mehta,, and Paulo J.M. Monteiro. "Microstructure and Properties of Hardened Concrete." Concrete: Microstructure, properties and materials. Department of Civil and Environmental Engineering University of California at Berkeley/ 2006.
- 32 Karen scrivener ,Ruben Snelling & Barbara Lothenbach."A practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials".
- 33 C. Suryanarayana & M. Grant Norton "X-Ray Diffraction A practical Approach"
- 34 EN197-1:1992 ,European Standard for Composition, specifications and conformity criteria for common cements.
- 35 ASTM C230-83,(1990) "Standard specifications for flow Table for use in testes of Hydraulic cement.

تأثير الاوساط البيئية على الخرسانة بالمناطق الساحلية الصناعية في ليبيا

د. أبو القاسم يحيى أبو القاسم أبوصبيح¹، د. ابراهيم علي محمد هويدي²

^{1,2,3} كلية الهندسة، جامعة صبراتة، ليبيا

¹abulgasemyaha@yahoo.com, ²Ebrhawaidi@Gmail.com

المخلص

يعد تآكل المنشآت الخرسانية المسلحة في ليبيا من المشاكل الخطيرة و بالذات واجهات المباني الخرسانية القريبة من البحر و المقامة في المناطق السُّبْحِيَّة (اي شديدة الملوحة) وبالتالي تتعرض لتغيرات بيئية ومناخية مختلفة نظراً لوجود أملاح الكبريتات والكلوريدات و غيرها بتركيز مرتفعة نسبيا في هذه التربة، وكذلك المباني والمنشآت المعرضة إلى تأثير الغازات الصادرة من المصانع و المنشآت النفطية حيث تسبب هذه الظواهر حدوث خسائر للمنشآت الخرسانية وبالتالي هناك ضرورة ملحة للاهتمام بها وضمان مقاومة خرسانتها للمؤثرات البيئية المحيطة بها .

تم في هذا البحث دراسة معملية من أجل معرفة مدى تأثير محتوى الكبريتات والكلوريدات والرطوبة والأوساط المخربة الأخرى علي مقاومة الضغط للخرسانة مع الزمن، لذلك فقد تم تحضير عينات من مكعبات خرسانية من الإسمنت البورتلاندي العادي وإجراء بعض الاختبارات عليها في أزمنة مختلفة "28 يوم و60 يوم و90 يوم و365 يوم" وتعرضها لظروف مماثلة للظروف المخربة (ماء شرب والهواء الجوي و تربة السبخة) ومقارنة النتائج مع بعضها من خلال التحاليل الكيميائية عليها لمعرفة ما مدي تأثير المؤثرات البيئية المحيطة بها، كما تم تغليف بعض من هذه المكعبات الخرسانية من الخارج بأنواع مختلفة من الحميات مثل البيتومين والايوكسي والبوليمر و تعرضها في وسط التربة السبخية لمعرفة ما مدي ممانعتها لنفاذية الكلوريدات والكبريتات الي داخل الخرسانة.

تم التوصل في هذا البحث ان اختبار المقاومة وجد ان أقل مقاومة لضغط للعينة الخرسانية الغير مغلقة و المعرضة للتربة السبخية والموجودة بالقرب من المناطق الساحلية والصناعية وبأقل من العينة الخرسانية المعرضة لماء الشرب بنسبة 5%، و هذا ربما راجع لمحتوي المرتفع للكلوريدات و كذلك الكبريتات داخل هذه العينة الخرسانية حيث اظهرت النتائج المعملية ان اعلي محتوى تركيز الكلوريدات والكبريتات في العينة الخرسانية الغير مغلقة و المعرضة للتربة السبخية، كما تبين أن تغليف الخرسانة من الخارج له دور كبير في حماية الخرسانة من نفاذ الكبريتات الي داخلها حيث قلت نسبتها بحوالي 60% للخرسانة المغلقة بالايوكسي و كذلك المغلقة بالبوليمر .

الكلمات المفتاحية: الخرسانة، الكلوريدات، الكبريتات، مقاومة الخرسانة، الغازات.

1. المقدمة

تؤثر الظروف المناخية بشكل بالغ على تدهور حالة المنشآت الخرسانية، فمعدلات الكربنة وتوغل الأملاح الضارة تعتمد على معدلات الرطوبة النسبية ودرجات الحرارة السائدة خلال فصول السنة. كما أن قرب المباني من البحر والمناطق الصناعية وتعرضه لحركة الرياح المحملة بالبخار المشبع بالأملاح أكثر عرضة لتدهور حالة الخرسانة وتآكلها، فكلما قرب المبنى من البحر كلما كان الجو المحيط مشبعاً بالرطوبة المحتوية على الكلوريدات والكبريتات والأملاح التي تترسب على سطح خرسانة المبنى وتتوغل داخلها، وخاصة الواجهات المقابلة للبحر وتزداد حدة المشكلة عندما تكون الرياح السائدة تهب من رياح شمالية، كما أنه في نفس المنشأ يمكن ملاحظة أن العناصر الخارجية بالواجهات المطلة على البحر والمعرضة للرياح البحرية تتلف بصورة أكبر من العناصر الداخلية، والعناصر الأخرى الواقعة بالواجهات المحمية من هذا التأثير [1].

من الخواص المهمة أيضاً للخرسانة ما يسمى بالتحملية، يمكن أن يحدث نقص في التحملية نتيجة عوامل خارجية تنشأ من المحيط أو عوامل داخلية تكمن داخل الخرسانة أي قدرة الخرسانة على الاحتفاظ بمقاومتها للمؤثرات البيئية بالقدر الكافي طوال المدة المستهدفة لعمر المنشأ الخرساني . ويمكن تصنيف أسباب نقص التحملية على أنها فيزيائية وكيميائية.

تنشأ الأسباب الفيزيائية من تأثير الصقيع ومن الفروق بين الخواص الحرارية للركام والعجينة الإسمنتية، أما الأسباب الكيميائية فهي هجوم الكبريتات والأحماض وماء البحر وكذلك الكلوريدات التي تساعد على التآكل الكيميائي لتسليح الفولاذ.

ونظراً لأن درجة تأثير هذه العوامل مرتبطة بقدرتها على النفاذ داخل الخرسانة فإن الكتامة تعتبر من الخواص المهمة للخرسانة، توجد مشاكل خاصة تتعلق بأعمال الخرسانة في الطقس الحار تنشأ عن كل من درجة حرارة الخرسانة المرتفعة، وزيادة معدل التبخر من الخلطة الطازجة، وتفقد الخرسانة المسلحة قدرتها على تحمل الشد وتصبح مقاومتها اقل بعد صدا الفولاذ نتيجة لحدوث أكسدة للفولاذ مما يسبب تآكل أسياخ فولاذ التسليح وتنتج مادة جديدة عديمة الفائدة حجمها أكبر من حجم الفولاذ نفسه 3 مرات مما يسبب حدوث إجهادات داخلية على الخرسانة وتنتج الشروخ وتكون شروخ ظاهره وكبيرة نسبياً [1].

أظهرت بعض الدراسات السابقة و التي استخدمت الخرسانة بإضافة البوليمر وعمل مكعبات و وضعها في حامض الكبريتك المخفف بنسب (10%، 15%) والماء والهواء الجوي لمدة 28,60,90 يوم وجد ان المقاومة زادت في الماء العادي بينما في الحامض انخفضت وتآكل جميع النماذج الموضوعة في الحامض [2].

الهدف الرئيسي من هذا البحث دراسة معملية لمعرفة تأثير محتوى الكبريتات والكلوريدات علي مقاومة الضغط للخرسانة مع الزمن، وذلك بعمل نماذج من مكعبات خرسانية من الإسمنت البورتلاندي العادي واجراء بعض الاختبارات عليه في أزمنة مختلفة "28 يوم و60 يوم و90 يوم و365 يوم" وتعرضها لظروف مختلفة (ماء شرب والهواء الجوي و تربة السبخة)، كما تم في هذا العمل تغليف بعض من هذه المكعبات الخرسانية من الخارج بأنواع مختلفة من الحماية مثل البيتومين والايوكسي والبوليمر و تعرضها في وسط التربة السبخية لمعرفة ما مدي ممانعتها لنفاذية الكلوريدات والكبريتات الي داخل الخرسانة في المناطق الساحلية الصناعية.

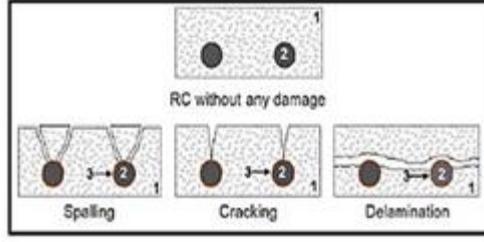
2. تداخل أملاح الكلوريدات في الخرسانة

تعتبر أيونات الكلوريدات من أكثر المواد التي تدمر الحماية السلبية لفولاذ التسليح داخل الخرسانة من خلال تداخل الكلوريدات في الشقوق الموجودة في الخرسانة ومن الممكن أن تكون موجودة في الخرسانة من لحظة خلطها بمصادرها الركام أو ماء الخلط أو تصل إلى الخرسانة بعد استعمال المبني ووجود الكلوريدات أي كان مصدرها في الخرسانة يؤدي إلى تنشيط عملية الصدأ ولو كانت قاعدية الخرسانة مازالت مرتفعة. وتتركز الكلوريدات على فولاذ التسليح إلى أن يتوفر كل من الرطوبة والأكسجين فيحدث الصدأ وكلما تم بناء طبقة من الصدأ فإن قوى الشد الناتجة عن الصدأ تحدث شروخاً في الخرسانة وانفصالها إلى طبقات رقيقة وتطور الشروخ والتفتت يؤدي إلى زيادة معدلات الصدأ وذلك لسهولة وصول عوامل الصدأ من أملاح الصدأ والرطوبة والأكسجين يبدأ الصدأ في الوصول والتأثير على فولاذ التسليح المدفونة في أعماق كبيرة داخل الخرسانة كما يتأثر تمرکز الكلوريدات بدرجة كبيرة بمقدار معامل الوسط الحامض (الأس الهيدروجيني) للخرسانة و تعتمد سرعة انتشار الكلوريدات داخل المسام علي عدة عوامل منها الطبيعة الكيميائية للإسمنت المستخدم و حجم و مساحة المسام داخل الخرسانة (النفاذية) [3].

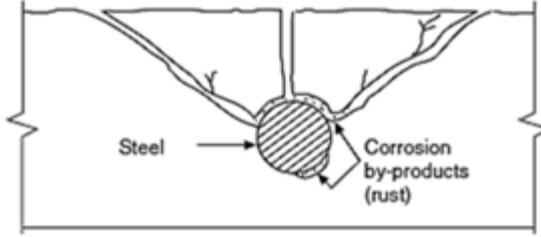
3. تداخل الأبخرة والمحاليل الحامضية

يفقد فولاذ التسليح الحماية القاعدية للخرسانة نتيجة تداخل الأبخرة الحامضية الموجودة بالهواء غالباً ثاني أكسيد الكربون وفي المناطق الصناعية ثاني أكسيد الكبريت دخل الخرسانة كما في الشكل رقم (2)، يعتمد هذا التداخل على نفاذية الخرسانة بدرجة كبيرة والخرسانة الرديئة غالباً ما تكون منفذة أما الخرسانة الجيدة فهي غير منفذة كما يعتمد هذا التغلغل على سمك الغطاء الخرساني.

أن نفاذية الخرسانة وسمك الغطاء الخرساني هما المسئولان عن حماية الفولاذ التسليح ضد المؤثرات الخارجية وغيرهما الكثير من منشأ لأخر هو الذي يفسر التغير الكبير في وقت بداية الصدأ في المباني المختلفة المعرضة لنفس الظروف الجوية.



شكل رقم 1 يوضح كيفية تداخل اداخل الخرسانة و حدوث التشقق وتآكل الفولاذ.

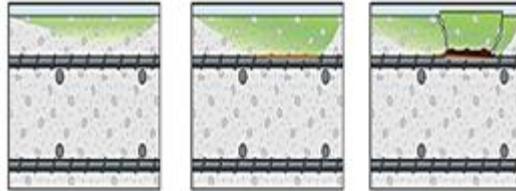


الشكل رقم 2 يوضح كيفية تداخل ثاني أكسيد الكربون أو الأبخرة الحامضية في الشقوق [4]

4. تداخل أملاح الكبريتات في الخرسانة

تتعرض الخرسانة المسلحة لظروف مهاجمة بتركيزات عالية من الكبريتات مثل ماء البحر أو الماء الجوفي أو تربة السُّبْحَة أو غيرها وفي مثل هذه الظروف تتأثر خاصة تحمل الخرسانة مع الزمن سلبياً بالإضافة لصدأ فولاذ التسليح وقد يكون هذا التعرض بالغمر الكامل أو لدورات من البلل والجفاف.

يحدث للخرسانة المصبوبة حديثاً ارتفاع في درجات الحرارة ناتجاً عن إماهة الإسمنت حيث ترتفع الحرارة خلال الساعات الأولى أو الأيام الأولى وبعد الصب مباشرة ثم تبرد الخرسانة حتى تصل إلى درجة حرارة الجو المحيط بها وعندما يحدث التبريد بعد يومين أو ثلاثة أيام من الصب فإن الخرسانة يحدث فيها إجهادات شد قليله جدا وهذه الإجهادات المصحابة بالتقلصات الحرارية تؤدي إلى زيادة احتمالات تكون شروخ شد مبكرة كما في الشكل رقم (3).



الشكل رقم 3 يوضح كيفية شروخ الخرسانة نتيجة التقلصات الحرارية (5)

ان زيادة تركيز الانبعاثات الغازية في الهواء الجوي في المناطق الصناعية من غاز ثاني اكسيد الكربون (CO_2) و اكاسيد الكبريت (SO_x) , وأكاسيد النيتروجين (NO_x) وغيرها من الغازات ازاء استعمال الوقود الأحفوري أو الغاز الطبيعي كمصدر للطاقة فضلا عن نسبة الرطوبة العالية في الهواء الجوي في المناطق الساحلية القريبة من البحر تساعد علي تلوث البيئة و تدهور المنشآت الخرسانية, وذلك بتفاعل هذه الغازات و بالذات المحتوية علي عنصر الكبريت و اهمها ثاني اوكسيد الكبريت مع الاكسجين بوجود الاشعة فوق البنفسجية الصادرة من الشمس ليعطي حامض الكبريتيك و يمكن ان يتحد الكبريت مع بعض الغازات الأخرى الموجودة في الهواء مثل غاز النشادر و ينتج مركب جديد وهو كبريت النشادر حيث تبقى هذه المركبات عالقة في الهواء علي شكل رذاذ دقيق تنقله الرياح من مكان الي اخر [6].

عندما يصبح الجو ملائما لهطول الامطار او الندى فان هذا الرذاذ الموجود في الهواء يذوب في الماء و يسقط علي الارض علي هيئة قطرات و هو ما يسمى بالمطر الحمضي (Acid rain) و تتميز هذه المياه بانخفاض قيمة الرقم الهيدروجيني الي اقل من 7 ومن ثم تعمل هذه المياه علي خفض قاعدية الخرسانة المسلحة مما يحفز من عمليات التآكل و ذلك بفقد حديد التسليح الحماية القاعدية للخرسانة و تدهور حالة الخرسانة نتيجة تغلغل هذه الاحماض على الجدران من خلال الشقوق ويتفاعل المطر الحمضي مع الكالسيوم كربونات ($CaCO_3$) لتشكل كربونات هيدروجين الكالسيوم القابلة للذوبان أو بيكربونات الكالسيوم كما توضحها الصور الفوتوغرافية لبعض الانابيب (الشكل 4) [7] .



شكل رقم 4 تدهور الخرسانة بفعل الغازات و المركبات المنبعثة في الغلاف الجوي [7]

5. طرق حماية الخرسانة

هناك العديد من الطرق لحماية الخرسانة من المؤثرات الخارجية من اهمها الاتي :-

أ- **الطلاء بالبولىمير** وهي مواد بولمورية سائلة على هيئة سائل يتم خلطها, وتختلف نسبة المواد الصلبة إلى السائلة حسب درجة السيولة وتستخدم هذه المونة في تعبئة الخرسانة القديمة في الشقوق الخرسانية.

ب- **الطلاء بالإيبوكسي** هو مركب كيميائي من أشد أنواع الكيماويات اللاصقة ومتميز من ناحية مقاومته الاحتكاك، والمواد الكيماوية سواء الأحماض أو القواعد أو المذيبات، حيث يتشكل كطبقة عازلة عند جفافه، فهو غير قابل لتراكم الأتربة أو المياه أو الأوساخ والميكروبات و يستخدم كدهان على جميع أنواع الأسطح

ج- **الطلاء بالبيتومين** هو أسفلت في الحالة السائلة ويتم الحصول عليه عن طريق خلط الأسفلت الصلب بمادة مذيبة لتقليل لزوجته حتى يمكن استخدامه بسهولة في درجات الحرارة العادية .

6. البرنامج العملي

تم في هذه الدراسة تصميم الخلطة الخرسانية وعمل مكعبات خرسانية ووضعهم في أوساط مختلفة وهي ماء الشرب والهواء الجوي و تربة السبخة، كما تم تغليف بعض من هذه المكعبات و ذلك باستخدام البيتومين والايوبوكسي والبوليمر و وضعهم في تربة السبخة

و إجراء اختبار مقاومة الضغط لكل عينة من مكان معالجتها واخذ عينة منها وإجراء تحليل محتوى الكلوريدات والكبريتات في كل الازمنة الاتية "60 يوم و90 يوم و180يوم و 360 يوم".

7.1 تصميم الخلطة الخرسانية

تم تصميم الخلطة الخرسانية بعد إجراء بعض الإختبارات على المواد الداخلة فيها وهي الإسمنت البورتلاندي العادي (OP) كما موضح في الجدول رقم (1)أ والجدول (1)ب، كما تم إجراء الاختبارات الميكانيكية و الكيميائية للركام الخشن و كذلك الركام الناعم كما موضح في الجدول رقم (2) والجدول رقم (3) ، علما بان التصميم تم وفق المواصفة الدولية "ISO19338:2007" حيث كانت نسبة الماء إلى الإسمنت تساوي $w/c=0.4$ ومقاومة الضغط المطلوبة 40 N/mm^2 وكانت النسب على النحو الآتي:-

الإسمنت : ركام خشن : ركام ناعم
1 : 3 : 1.5

جدول رقم (1) أ إختبارات الإسمنت البورتلاندي

الإختبار	نتيجة الإختبار	حدود المواصفات الليبية رقم (1997/340) (BS4550part 3:78)
زمن الشك الابتدائي	120 دقيقة	ليست اقل من 45 دقيقة
زمن الشك النهائي	150 دقيقة	لا تزيد عن 10 ساعات
ثبات الحجم للإسمنت	0.5 مم	لا يزيد عن 10مم

جول رقم (1) ب اختبارات الاسمنت الكيمائية والميكانيك

MPa (21)	32.1	بعد 3 يوم MPa
Mpa(39)	49.9	بعد 28 يوم MPa
%2.5	%0.55	SO ₂ ⁻ محتوى الكبريتات
%0.1	%0.01	CL ⁻ محتوي الكلوريدات
-	12.56	الأس الهيدروجيني PH

جدول رقم 2 الإختبارات الميكانيكية للركام

حدود المواصفات	رقم المواصفة الليبية	رقم المواصفة البريطانية	نتيجة الإختبار	الإختبار
الركام الخشن				
حد أقصى 25%	2006/255	BS812	%8.4	معامل الصدم
2.7-2.6	2006/256	BS812.2:75	2.7	الوزن النوعي
لا يزيد عن 3%	2006/256	BS812.2:75	%1.7	الامتصاص
1400-1800kg/m ³	2006/250	BS812.2:75	1603 kg/m ³	وزن وحدة الحجم
الركام الناعم				
2.7-2.6	2006/256	BS812.2:75	2.63	الوزن النوعي للرمل
لا تزيد عن 2%	2006/256	BS812.2:75	%0.17	الامتصاص
1400-1800 kg/m ³	82/250	BS812.2:75	1681kg/m ³	وزن وحدة الحجم

جدول رقم 3 الاختبارات الكيميائية للركام

المواد	إختبار pH	إختبار TDS	الموصلية الكهربائية EC	نسبة الكلوريدات في الركام الخشن %	نسبة الكبريتات في الركام الخشن %
ركام خشن	10.3	225	281	0.041	0.0265
ركام ناعم	9.35	132	164	0.036	0.0065

7.2 إختبار مقاومة الضغط للخرسانة

بعد خلط الخرسانة بشكل جيد وصيها في مكعبات مقاس (150×150×150)م حوالي اكثر من 180 مكعبا وتركها لمدة 24 ساعة يتم بعدها فك هذه المكعبات و وضعها في الماء العذب لمدة 28 يوما كما موضح في الصورة ادناه (الشكل رقم 5)، يتم خلال هذه الفترة اجراء اختبارات مقاومة الضغط عليها و ذلك بعد مرور 7 ايام وكذلك بعد مرور 28 يوما، بعد ذلك يتم وضع المكعبات الخرسانية في اوساط مختلفة و هي ماء الشرب كما موضح في الصورة (الشكل رقم 5) والهواء الجوي كما موضح في الصورة (الشكل رقم 6) وتربة السبخة لمدة 365 يوما، يتم خلال هذه الفترة الزمنية الطويلة اجراء اختبار مقاومة الضغط علي العينات عند ازنمة مختلفة " 60 يوما و 90 يوما و 180 يوما و 365 يوما" والجدول رقم 4 يبين ملخص النتائج المتحصل عليها.

الشكل رقم 7 يبين كيفية تغليف الخرسانة بالبببوتومين والايوكسي والبوليمر ووضعا في وسط تربة السبخة لمعرفة ما مدي مقاومتها لنفاذية الكلوريدات والكبريتات الي داخل الخرسانة.



الشكل رقم 6 المكعبات الخرسانية في الهواء الجوي



الشكل رقم 5 المكعبات الخرسانية المعالجة بالماء



الشكل رقم 7 كيفية تغليف الخرسانة

الجدول رقم 4 ملخص التغير في مقاومة الضغط للخرسانة في الأوساط المختلفة

نوع الوسط	نوع الحماية	28 يوم MPa	60 يوم MPa	90 يوم MPa	180 يوم MPa	365 يوم MPa
ماء شرب	لا يوجد	45.1	55.9	55.8	57.6	63.0
الهواء الجوي	لا يوجد	44.8	55.5	49.7	57.6	61.1
تربة السبخة	لا يوجد	44.3	50.8	51.6	-	59.9

7.3 إختبار محتوى الكلوريدات في الخرسانة

لمعرفة محتوى الكلوريدات في الخرسانة وهي تمثل مجموع الكلوريدات الواردة من الركام والماء والإسمنت والوسط الخارجي المعرضة لها العينة الخرسانية طبقاً لما ورد بالمواصفات القياسية البريطانية رقم BS1881part6-1971^[8] تم اخذ عينات من الخرسانة وطحنها كما موضح في الصورة ادناه (الشكل

رقم 8) عند كل فترة معالجة "28 يوم و60 و90 يوم و180 يوم و365 يوم" لجميع العينات يتم حساب نسبة كلوريدات الكالسيوم

$$(CaCl_2 = (V-V_1)N(0.555 \times 100)/0.1(w)(M \%)$$

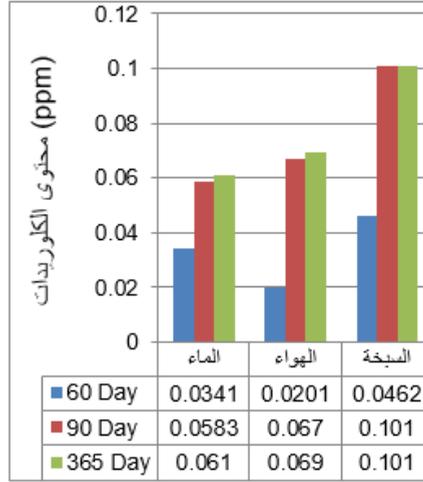
$$V = \text{حجم نترات الفضة} = V_1 = \text{حجم ثيوسيانات الامونيوم} = W = \text{وزن العينة} M$$

$$= \text{النسبة المئوية لمحتوى الاسمنت بالخرسانة (يتم حساب نسبة الكلوريدات \% = (CaCl_2 \% \times 0.318)$$

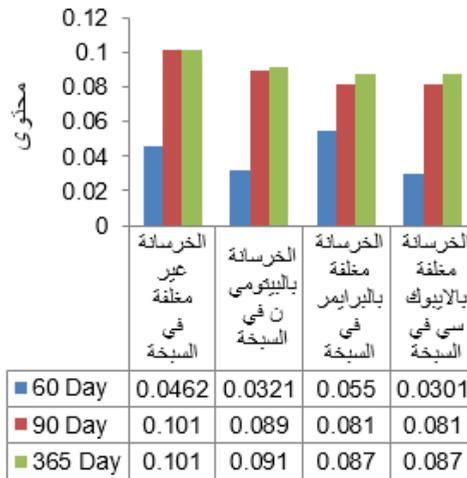
إختبار محتوى الكبريتات

يعين محتوى الكبريتات في الخرسانة لمعرفة ما اذا كانت الخرسانة تعرضت للكبريتات مهاجمة من الوسط المحيط بالخرسانة طبقا لما ورد بالموصفات القياسية رقم "375.4" الطرق القياسية للإختبار ماء الصرف الصحي .

“standard methods forex amination of water and wastewater to (United States Environmental Protection Agency) USEPA method 375.4)” الصادرة من وكالة حماية البيئة الأمريكية [9].



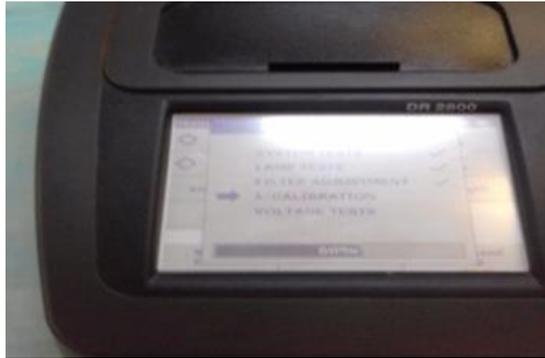
الشكل رقم 10 محتوى الكلوريدات في الخرسانة غير محمية



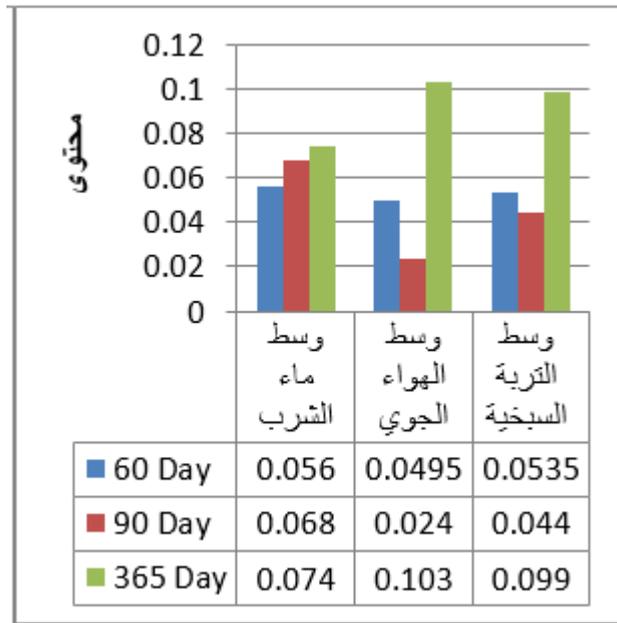
الشكل رقم 11 محتوى الكلوريدات في الخرسانة المحمية



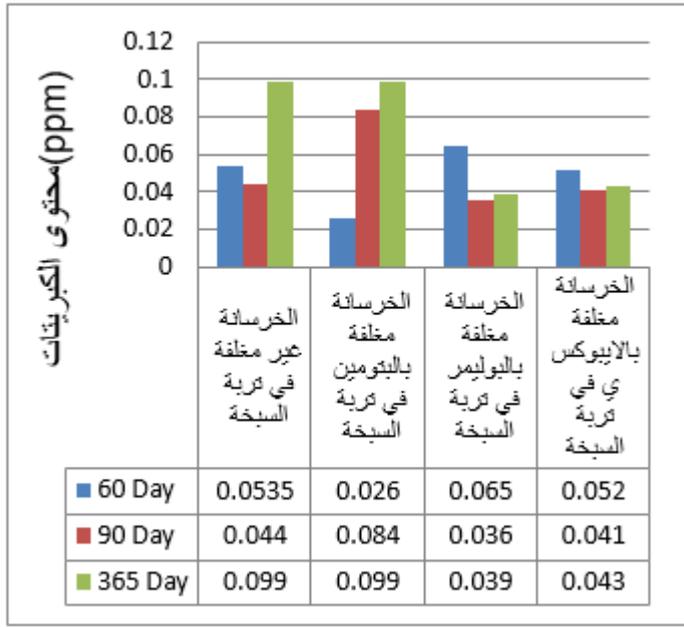
الشكل رقم 12 كيفية تجهيز العينات



الشكل رقم 13 جهاز المطياف الضوئي



الشكل 14 محتوى الكبريتات في الخرسانة الغير مغلقة



الشكل 15 محتوى الكبريتات في الخرسانة المغلقة مع الزمن

7. مناقشة النتائج

تبين من خلال نتائج اختبارات مقاومة الضغط للخرسانة (جدول رقم 4) أن مقاومة الضغط تزداد مع الزمن لجميع العينات حيث وصلت اعلي مقاومة ضغط 63.01 MPa في زمن 365 يوما للعيينة المعرضة لماء الشرب، بينما كانت أقل مقاومة ضغط للعيينة الخرسانية الموجودة في تربة السبخة وهي حوالي 59 MPa في زمن 365 يوما اي بأقل من العينة المعرضة للماء العادي بنسبة حوالي 5%.

يوضح الشكل رقم 10 والشكل رقم 14 النتائج العملية المتحصل عليها لمحتوى الكلوريدات والكبريتات (PPM) مع الزمن للعينات الخرسانية الغير مغلقة، حيث اظهرت النتائج ان تركيز الكلوريدات والكبريتات لمعظم العينات في زيادة مستمرة مع الزمن، حيث كانت أعلي نسبة زيادة لمحتوى الكلوريدات في الخرسانة حوالي 100% للعينات الغير مغلقة المعرضة لتربة السُّبْحَة و بتركيز حوالي (0.101 ppm) بعد مرور 365 يوم. تعتبر هذه الكلوريدات التي تتسرب من الخارج اشد خطورة و تأثيرا علي صلب التسليح من الكلوريدات الموجودة اصلا داخل الخلطة [10,11] وهذا مؤشر يدل علي انه يجب اخذ الحيطة و ضرورة حماية هذه الخرسانة من هذه المركبات التي لها تأثير سلبي علي متانة و قوة تحمل الخرسانة .

اما بالنسبة لمحتوى الكبريتات في الخرسانة الغير مغلقة (الشكل رقم 14) فكانت اقل محتوى كبريتات بعد مرور 365 يوما في الخرسانة الغير مغلقة المعرضة لماء الشرب حوالي (0.074 ppm) بينما

أعلي تركيز لمحتوي الكبريتات بعد مرور 365 يوما في الخرسانة الغير مغلغة المعرضة للهواء الجوي حوالي (0.103ppm) أي بنسبة زيادة حوالي 100% و كذلك الخرسانة الغير مغلغة المدفونة في التربة السُّبْحَة حوالي (0.099ppm)، وهذا ربما راجع الي ان العينتان كانتا في الخارج و معرضة لسقوط الأمطار و الندي خلال ايام السنة (365 يوم) و التي يمكن ان تكون مطرا حمضيا، علما بان المنطقة التي اقيم فيها هذا العمل واقع بين مصفاة لتكرير النفط شرقا و مجمع لتصفية و صناعة الغاز الطبيعي غربا.

يبين الشكل رقم (11) و الشكل رقم (15) تغير محتوى الكلوريدات و الكبريتات مع الزمن للخرسانة المغلطة (المحمية) من الخارج بأنواع مختلفة وهي الايبوكسي والبوليمر و البتومين للخرسانية المعرضة للتربة السبخية ولمدة 365 يوما.

من خلال النتائج المتحصل عليها لم تكن كفأه الحماية من نفاذ ايون الكلور للخرسانة لجميع انواع التغليف المستخدمة في هذه الدراسة نو فعالية كبيرة حيث قل محتوى الكلوريدات بنسبة قليلة حوالي اقل من 13% مقارنة مع العينة الغير مغلطة، و هذا يدل علي قوة و سرعة نفاذ ايون الكلور [7].

بينما كانت كفأه تغليف الخرسانة بالايوكسي و كذلك بالبوليمر جيدة جدا بالنسبة لمحتوي الكبريتات في الخرسانة مقارنة مع العينة الغير مغلطة المدفونة في تربة السبخة حيث قلت نسبة تراكيز الكبريتات في الخرسانة بعد مرور 365 يوما بحوالي 60% مقارنة بالغير مغلطة.

9 الاستنتاجات:

- ✓ من خلال الفحص الخارجي لتقييم العلامات الظاهرة وجد أن العينات لم يحدث لها أي تششير أو انسلاخ في الطبقة السطحية لجميع العينات خلال 365 يوما. ومقاومة الضغط في الخرسانة المنتجة إيجابية مع الزمن
- ✓ محتوى الكبريتات بعد مرور 365 يوما عالي في الخرسانة الغير مغلطة الموضوعة في الهواء الجوي و التربة السبخية مقارنة بالعينة في الماء العادي، وهذا يدل على تأثير الغازات المنبعثة في الهواء الجوي.
- ✓ أعلي تركيز لمحتوي الكلوريدات في الخرسانة الموضوعة في تربة السُّبْحَة، هذا يدل على تأثير المحاليل الموجودة في هذه التربة ذات الملوحة المرتفعة .
- ✓ تغليف الخرسانة بالايوكسي والبوليمر و البتومين كان لهم دور بسيط في حماية الخرسانة
- ✓ من خلال اختبار المقاومة وجد ان أقل مقاومة ضغط للعينة الخرسانية الغير مغلطة و المعرضة للتربة السبخية، وهذا راجع لارتفاع نسبة للكلوريدات و الكبريتات داخل هذه الخرسانة.
- ✓ تغليف الخرسانة من الخارج له دور كبير في حماية الخرسانة المدفونة

المراجع :

- [1] الشركة الهندسية للمقاولات "العوامل التي تساعد في حدوث التآكل" موقع الهندسية
2014.ELHandasia1A.www
- [2] علي عبدالله، د. زينب عامر " استخدام الخرسانة البوليميرية لمعالجة الارضيات المعرضة للحوامض
الكبريتية " مشروع بكالوريوس في الهندسة المدنية، الجامعة التكنولوجية، العراق، 2010
- [3] عبير محمد عبد الأميرة "حماية حديد التسليح المغمور في المحلول الالكتروليتي من التآكل باستخدام
المثبطات "مجلة جامعة بابل، 2014
- [4] Sluljter W. L. "corrosion of inforcement in concrete types", 2004.
- [5] Cathodic protection Evaluation "The Oregon Department of Transportation
"USA, 2008.
- [6] US government : Acid rain weatherwise.oct.1984
- [7] عائشة ابوبكر و مهدي هنداوي " تدهور المنشآت الخرسانية بفعل التآكل و التقنيات المستخدمة
للوفاية و الحماية منه " المؤتمر الوطني السابع لمواد البناء و الهندسة الانشائية 5-8-11-2018
- [8] BS 1881 part 6:1971 "determination of chloride salt "1971.
- [9] USEPA method 375.4 "determination examination.
- [10] Rosenberg, A. Hansson, C. M., and Andrade, C.(Mechanisms of
corrosion of Steel in concrete, in The Materials Science of Concrete) J. Skainy,
Editor (1989) The American Ceramic Society.[11] Hansson, C. M.,
(Comments on Electrochemical Measurements of Rate of Corrosion of Steel in
Concrete) Cement and Concrete Research, (1998).

دراسة مقارنة بين الخواص الميكانيكية والفيزيائية للخرسانة الاعتيادية والخرسانة ذاتية الدمك

*أ. محمد عبد الفتاح صالح¹، د. امال عبدالعاطي موسى²، د. مجدي احمد ادم³

^{1,2,3} قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة عمر المختار

*المراسلة ¹mohamed.aljewifi@omu.edu.ly, ²amal.allafi@omu.edu.ly, ³majdi.yousef@omu.edu.ly

المخلص

مع التطور السريع في البناء والتقدم التكنولوجي والعمراني والذي يعتمد علي التقدم في المواد المستخدمة في البناء لتحسين خواص الخلطات الخرسانية. تم التطرق الي دراسة المقارنة بين الخرسانة الاعتيادية والخرسانة ذاتية الدمك.

البحث المقدم يعرض نتائج بعض الاختبارات المعملية علي عينات من الخرسانة الاعتيادية والخرسانة ذاتية الدمك والتي شملت اختبارات الحالة الطرية من حيث الهبوط والهبوط واختبارات الحالة الصلدة من حيث الاختبارات الميكانيكية والتي شملت مقاومة الضغط لعدد 36 عينة بعمر (3 ، 14 ، 28 يوم) واختبار مقاومة الشد الغير مباشر (الاختبار البرازيلي) لعدد 18 عينة بعمر 28 يوم وأخيرا اختبار مقاومة الانحناء علي عدد 18 عينة بعمر 28 يوم . كذلك الاختبارات الفيزيائية والتي شملت حساب نسبة الامتصاص للخرسانة المستهدفة. تم الحفاظ علي نسبة الماء الي الاسمنت ثابتة في الخلطات الخرسانية والتي تساوي 0.53 .

أظهرت نتائج الاختبارات ان الخواص الميكانيكية للخرسانة ذاتية الدمك تعطي نتائج افضل من الخرسانة العادية تحت نفس الظروف المناخية.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة ذاتية الدمك، الخرسانة الإعتيادية، الخواص الميكانيكية، الخواص الفيزيائية.

1. المقدمة

الخرسانة العادية تتكون من الاسمنت والرمل والماء مع إضافة الركام مختلف المقاسات حيث عند خلطهم جيدا تتم عملية التماسك بينهم و للخرسانة خصائص كثيرة تمتاز بها عن المواد الأخرى ، فهي تأخذ شكل صلد ومتين مع الزمن تدريجيا [1].

كذلك فهي شديدة المقاومة للضغط ولكنها في نفس الوقت ضعيفة جدا في مقاومتها للشد لذلك فالخرسانة العادية (غير المسلحة) لا تستخدم ابدا في الأماكن التي تحدث فيها إجهادات الشد [2].

اما الخرسانة ذاتية الدمك فهي خليط مكون من الإسمنت والرمل والماء والركام المقاس الصغير (6-12.5مم) مع إضافة نوع من الملدنات الفائقة ومسحوق الفيلير (filler) حيث عند خلطها تتم عملية

التماسك وهي خرسانة ذات قابلية تشغيل عالية بحيث تستطيع التغلغل داخل العناصر الإنشائية المزدهمة بحديد التسليح تحت تأثير وزنها دون الحاجة الى استعمال الهزاز [3].

كذلك ما يميز استخدام الخرسانة ذاتية الدمك عن الخرسانة الاعتيادية هو دمك نفسها بطريقة كاملة و منتظمة مما يؤدي الى تكوين خرسانة ذات سطح أملس وكثيف مما يجعلها ذات مقاومة عالية للضغط والشد والانحناء [4]. ان قدرة الخرسانة ذاتية الدمك على التحمل هو نتيجة لقابلية التشغيل العالية والحد من الفراغات بشكل جيد وكذلك الحد من ظاهرة النضح ، بالإضافة الى زيادة قوة التلاصق بين الخرسانة وحديد التسليح [5].

يهدف هذا البحث الي دراسة مقارنة بين الخواص الخرسانة في الحالة الطرية والحالة الصلبة للخرسانة الاعتيادية و الخرسانة ذاتية الدمك ، مع الحفاظ علي نسبة الماء الي الاسمنت ثابتة.

2. اهمية البحث

- تقييم خصائص الخرسانة ذاتية الدمك و التي تنتج باستخدام المواد المتاحة محليا وفقا للمواصفات القياسية.
- تحليل إحصائي للنتائج المتحصل عليها.
- عمل مقارنة بين خواص الخرسانة الاعتيادية مع الخرسانة ذاتية الدمك.

3. البرنامج العملي

1.3 المواد المستخدمة

الاسمنت تم استخدام الاسمنت البورتلاندي العادي المتوفر محليا من انتاج مصنع الفتائح درنة، ومطابق للمواصفات القياسية الليبية (CEMI 42.5N) رقم 340 لسنة 2009 م الخاصة بالإسمنت البوتلاندي [6].

جدول (1) : خصائص الاسمنت البوتلاندي المستخدم

مقاومة الانضغاط بعمر 7 يوم ميغا بسكال	الوزن النوعي	النعومة م ² /كجم	CHS2	C4AF	C3A	C2S	C3S	التحليل الكيميائي (%)
26	3.15	340	6	8	10	18	55	الاسمنت

الركام

تم استخدام نوعين من الركام الخشن مقاس 16 - 20 مم ومقاس 6-12 مم ، والذي تم توريده من محاجر منطقة (أم الغزلان). حيث المار من المناخل القياسية تم اختبارها معمليا وفق المواصفات القياسية الاميريكية [4], فكانت نتائجه الوزن النوعي 2.65 , نسبة الامتصاص 2.70 % . اما نتائج التحليل المنخلي فكانت كما موضحة بالشكل (1). حيث كانت نسبة المار ضمن الحدود المسموح بها حسب المواصفات القياسية الاميريكية [7]. والجدول (1) يوضح التدرج الحبيبي للركام الخشن.

الجدول(2) يوضح التدرج الحبيبي للركام الخشن

حدود المواصفة (%)	100	100 -90	80 -40	60 -30	10 -0
نسبة المار (%)	100	98	73	34	0

الركام الناعم: الرمل المستخدم في تصميم الخلطات الخرسانية مصدره من منطقة القرضبة، اجريت عليه الاختبارات المعملية اللازمة وجد انه ضمن المواصفات [8]. حيث كان الوزن النوعي 2.63 , انظرالشكل (1). والجدول (2) يوضح التدرج الحبيبي للركام الناعم.

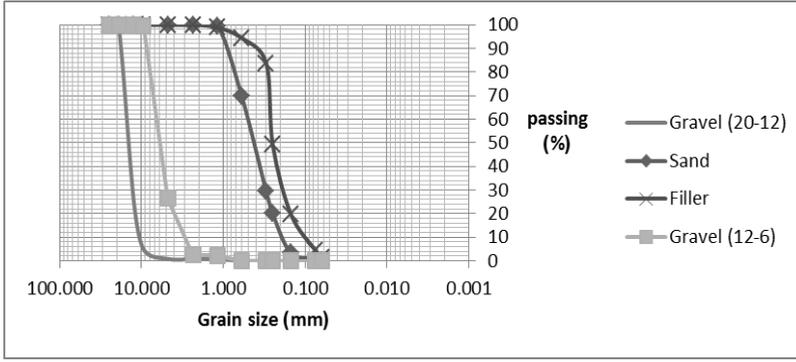
الجدول(3) يوضح التدرج الحبيبي للركام الناعم

حدود المواصفة (%)	-	100-89	100-65	90-30	80-25	50-5	15-0
نسبة المار (%)	100	98	96	90	60	20	7

الفيلير: تم توريد الغبار الناعم (الفيلير) من منطقة (قصر ليبيا) واجريت عليه الاختبارات المعملية اللازمة وجد انه ضمن المواصفات القياسية [9] ، انظرالشكل (1).

ماء الخلط: الماء المستخدم في الخلط هو ماء صالح للشرب. و المطابق لحدود المواصفات الليبية رقم 294 لسنة 1988م [11].

الملدنات الفائقة : تم استخدام اضافات لتقليل كمية الماء في الخلطة الخرسانية (-Viscocrete 5400) وبنسبة 1.5-2% من وزن الاسمنت.



الشكل (1) التحليل المنخلي للركام والفيلير.

2.3 تصميم الخلطة الخرسانية

تم صب الخلطة الخرسانية الاعتيادية والخرسانة ذاتية الدمك باستخدام طريقة الوزن الحجمي ، تمت عملية التصميم باستخدام الأوزان المتحصل عليها من المواصفة رقم **ACI 211.1** الجدول رقم (4) يوضح الأوزان المتحصل عليها من تصميم الخلطة.

عملية الخلط اجريت بمعامل كلية الهندسة بجامعة عمر المختار. تم خلط الركام الخشن والناعم معا اولا لمدة دقيقة واحدة. بعد ذلك تمت اضافة الاسمنت بالكامل وخلطه لمدة دقيقة واحدة ثم اضافة الماء وخلطة لمدة دقيقة ونصف. بعد اتمام عملية الخلط، اجريت اختبارات الخرسانة للحالة الطرية.

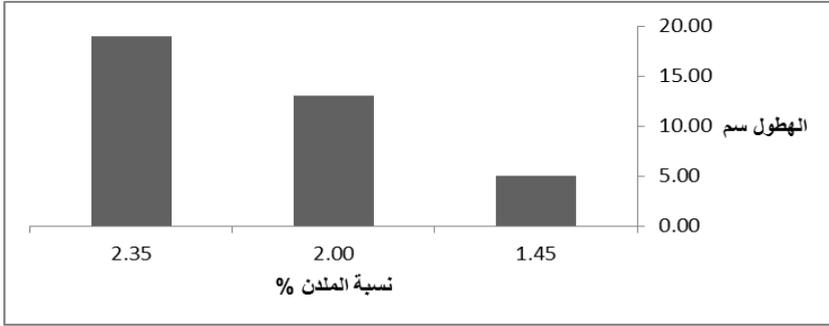
تم صب عدد 3 مكعبات مقاس 100 مم و 3 أسطوانات قياس **x200100** مم لتحديد مقاومة الانضغاط و مقاومة الشد الغير مباشر (الاختبار البرازيلي)، وصب عدد 3 كمرات مقاس **100*100*500** مم.

جدول (4) مكونات الخلطة الخرسانية

الخرسانة الاعتيادية		الخرسانة ذاتية الدمك		
الوزن (كجم/م ³)	الكثافة (كجم/م ³)	الوزن (كجم/م ³)	الكثافة (كجم/م ³)	
198	1000	215	1000	الماء
373	3150	405	3150	الاسمنت
1000	2566	785	2664	الركام الخشن
585	2233	590	2233	الركام الناعم
10.444	1180	12.15	1180	SP
-	-	135	2300	الفيلير
2.00	-	2.5	-	Air (%)
0.53				w/c

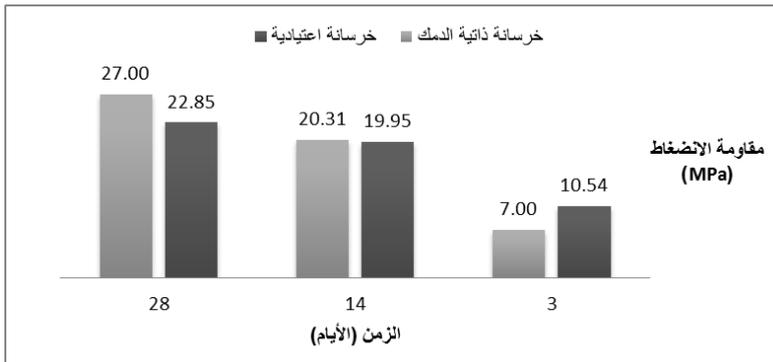
4. النتائج

اجريت اختبارات الحالة الطرية علي الخرسانة ذاتية الدمك طبقا للمواصفات الاوروبية (EFNARC) [9]، ومنها اختبار الانتشار (Slump Flow Test) ومقاومة الانفصال الحبيبي (V-funnel) واختبار العبور بين قضبان حديد واختبار صندوق (L-Box) التسليح للخلطات الخرسانية ذاتية الدمك. تم اضافة المادة الملدنة للخلطة بنسب وزنية من الوزن الكلي للإسمنت، وذلك لتقليل نسبة الماء والحصول على تشغيلية أعلى، مع الحفاظ على نسبة الماء الي الاسمنت ثابتة، الشكل رقم (2) توضيح لقيمة الهطول بما يقابلها من نسبة الملدن في الخلطة. نلاحظ انه بزيادة نسبة الملدن تزداد قيمة الهطول، فمثلا عند زيادة نسبة الملدن من 1.45% إلى 2.00% زاد الهطول بمقدار 7 سم، وبزيادة نسبة الملدن من 2.00% إلى 2.35% زاد الهطول بمقدار 6 سم



شكل (2) يوضح العلاقة بين الهطول و نسبة المادة الملدنة

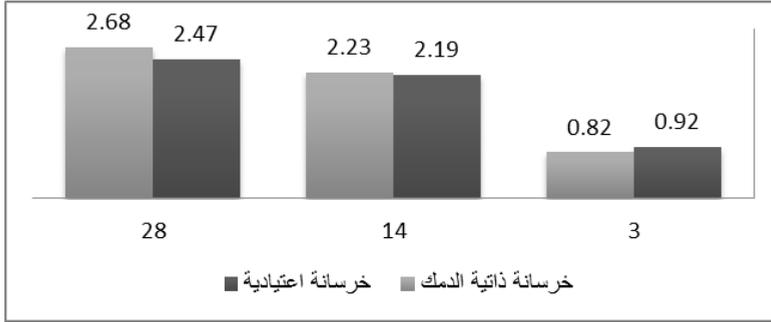
الشكل رقم (3) يوضح مقاومة الانضغاط لكل من الخرسانة الاعتيادية و الخرسانة ذاتية الدمك لكل فترة زمنية .



شكل رقم (3) يوضح العلاقة بين مقاومة الانضغاط و الزمن

نلاحظ أنه عند اختبار العينات عند 3 أيام أعطت الخرسانة الاعتيادية مقاومة أعلى من الخرسانة ذاتية الدمك والسبب في ذلك أن الخرسانة ذاتية الدمك تحتاج لفترة أطول من الخرسانة الاعتيادية لتعطي مقاومة أعلى ، و عند اختبار العينات عند 14 يوم تكاد أن تكون المقاومة متساوية ، أما عند 28 يوم فكان الفارق ملحوظ بشكل كبير وهو زيادة مقاومة الخرسانة ذاتية الدمك عن مقاومة الخرسانة الاعتيادية بما يقارب عن 4.5 MPa .

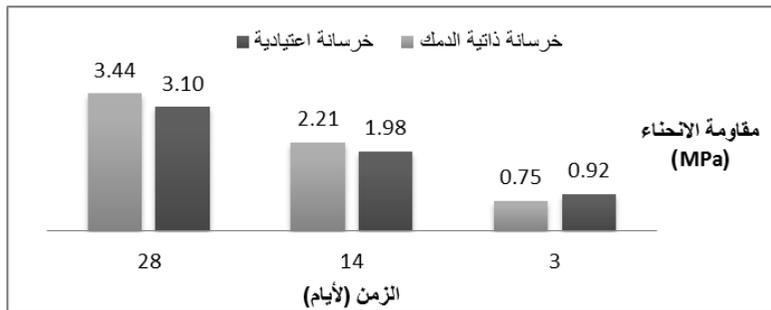
الشكل رقم (4) يبين مقاومة الشد الغير مباشر لفترات (28,14,3) يوم لنوعي الخرسانة الاعتيادية و الخرسانة ذاتية الدمك .



شكل رقم (4) يوضح العلاقة بين مقاومة الشد الغير مباشر و الزمن

في هذا الاختبار الخرسانة الاعتيادية أعطت مقاومة أعلى للشد من الخرسانة ذاتية الدمك عند 3 أيام من صب العينات ، أما بعد مرور 14 يوم فقد كان الفرق بينهما بسيط جدا و الزيادة كانت ملحوظة عند 28 يوم حيث وصلت الخرسانة الذاتية الدمك إلى 2.68 MPa وهي أقصى قيمة لها .

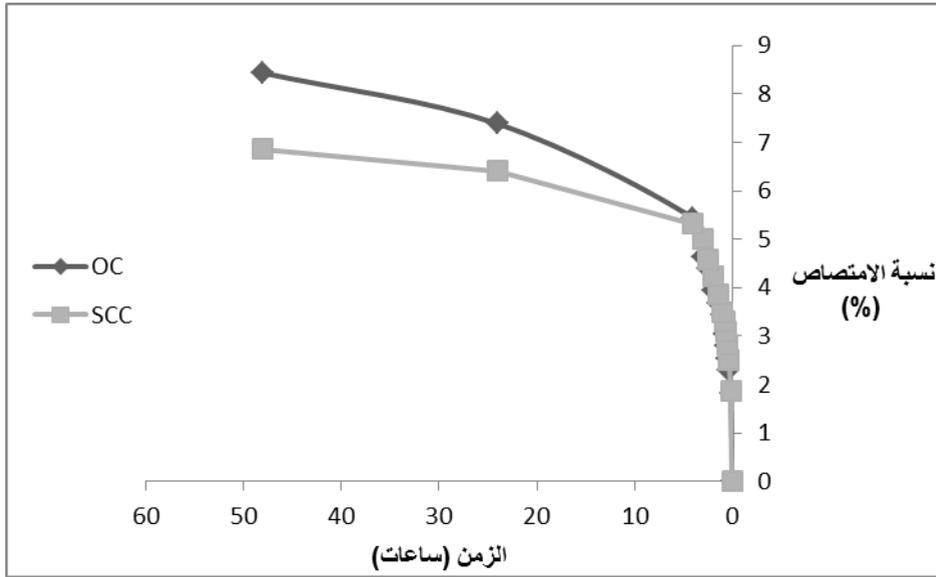
الشكل رقم (5) يوضح مقاومة الانحناء لكل من الخرسانة الاعتيادية و الخرسانة ذاتية الدمك لكل فترة زمنية .



شكل رقم (5) يوضح العلاقة بين مقاومة الانحناء و الزمن

يبين الشكل السابق الاختلاف في نتائج مقاومة الانحناء للخرسانة الاعتيادية و الخرسانة ذاتية الدمك ، حيث كانت مقاومة الانحناء للخرسانة الاعتيادية بعد مرور 3 أيام من صب العينات أعلى من مقاومة الانحناء للخرسانة ذاتية الدمك ، اما مقاومة الانحناء عند 14 و 28 يوم للخرسانة ذاتية الدمك كانت أعلى من مقاومة الانحناء للخرسانة الاعتيادية عند 14 و 28 يوم.

الشكل (5) يبين منحنى المقارنة أن الخرسانة ذاتية الدمك ذات نسبة امتصاص أقل من الخرسانة العادية ، و يرجع ذلك لصغر الركام الخشن المستخدم في الخرسانة ذاتية الدمك مقارنة بالخرسانة الاعتيادية ، وكذلك لإضافة الغبار الذي يعمل على سد الفجوات بين حبيبات الركام و بالتالي يقلل نسبة الفراغات ، و التي بدورها تقلل من نسبة امتصاص الخرسانة للماء.



شكل رقم (6) يوضح نسبة امتصاص الخرسانة للماء

5. الخلاصة و الاستنتاجات :

الخرسانة ذاتية الدمك هي خرسانة تمتاز بأن لها قدرة عالية على التغلغل و الانتشار السريع داخل القوالب و خاصة المزدحمة بجديد التسليح دون الحاجة إلى استخدام هزازات ميكانيكية ،حيث إن فكرتها الرئيسية تكمن في تحسين خواص الزوجة للخلطة عن طريق إضافة الملدنات الفائقة ، و التي لها عامل كبير في تقليل ماء الخلط وتقليل الاحتكاك الداخلي بين الحبيبات عن طريق تقليل نسبة الركام الكبير و استخدام الغبار .

النتائج المتحصل عليها تبين أنه بالإمكان إنتاج خرسانة ذاتية الدمك بمكونات الخرسانة المحلية ، المتعامل معها في هذا البحث عند إضافة الملدنات ، كما أن التشغيلية تزداد مع زيادة نسبة الملدن ، وتؤدي إضافة الملدن إلى اختصار في زمن الصب ، وخط الخرسانة ، من خلال زيادة قيمة التشغيلية .

باستعمال نسبة 3% من الملدن مع نسبة ماء إلى اسمنت 0.53 تم الحصول على مقاومة انضغاط قدرها 27 MPa وهي مقاومة أعلى مقارنة بالخلطة المرجعية ، التي كانت تحتوي على نفس نسبة الماء إلى الاسمنت و التي أعطت مقاومة انضغاط قدرها 22.85 MPa .

نتائج الاختبارات الشد لنوعى الخرسانة اقصى قيمها عند 28 يوم للخرسانة ذاتية الدمك والتي كانت 2.68 Mpa الخرسانة الذاتية الدمك أعطت مقاومة للانحناء قدرها 3.44 MPa وهي أعلى من مقاومة الخرسانة الاعتيادية للانحناء و التي كانت قيمتها 3.10 MPa .

الخرسانة ذاتية الدمك كانت ذات نسبة امتصاص للماء 6.85 % وهي أقل من نسبة امتصاص الخرسانة الاعتيادية للماء ، و التي كانت 8.43 % و السبب في ذلك صغر حجم الركام المستخدم في الخرسانة ذاتية الدمك ، و كذلك اضافة الغبار الذي يعمل على سد الفراغات بين حبيبات الركام و كذلك سد الفجوات المتواجدة في الركام .

المراجع

1. Neville,M,A.(1981)."Properties of concrete"3rd E,The English language book society & pitman publishing,London,.UK
2. Prasad,D,V & etc.(2016)."International Journal of Research studies in science",Engineering & Technology,vol 3,I 10,PP23–37.
3. Bulent,E & prasad .(2008)."SCC for prestressed Bridge Girders", Department of civil Engineering university of Minnesota, Published by:Minnesota, Department of Transportation Research service section,Ireland.
4. Imam,M.(2001)."Self-compaction concrete; How to produce it".Mansoura Engineering Journal.MEJ.VOL26.
5. Okamura,H & oucni,M.(2003)."Self-compacting concrete" 'journal of Advanced concrete Technology, vol 1,pp5–15.

6. American specification: – ASTM (C31 , C39 , C78 , C127, C128 , C131 , C136 , C143 , C496 , C535)
7. Okamura,H,M & ozawa,K.(1995)."mix design for self compacting concrete" concrete Library of Jsce ,pp107–120.
8. portland cement association.(1975)."principles of quality concrete".jonn wiley & sons .USA.
9. EFNARC .(2005). Specifications & Guide lines for self compacting concrete ,UK. www.efnarc.org.
10. Rixon,R,M & Mailvaganam,P,M.(1986)."Chemical admixture for concrete". 2nd by E & F.N.Spone, Ltd,USA.
11. المواصفات القياسية الليبية رقم 294 لسنة (1988 ف) الخاصة بالمياه المستعملة في الخرسانة، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية، طرابلس.

دراسة سلوك وخواص الخرسانة الحاوية على ألياف البولي بروبيلين

* أ.سعاد ابوالقاسم تليش¹ ، أ.زهرة محمد الحناشي²

^{2,1} قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة ، جامعة صبراتة، رقدالين ، ليبيا

*للمراسلة sosoly2015@yahoo.com

المخلص

شهدت المنشآت الخرسانية تقدماً ملحوظاً باستخدام خرسانة ذات مواصفات خاصة منتجة بإضافة مضافات معينة تضاف اثناء خلط الخرسانة لتحسين مقاومتها وزيادة ديمومتها حيث تم اللجوء الى استخدام أنواع مختلفة من الإضافات منها ألياف البولي بروبيلين وهي عبارة عن مادة بوليميرية تستعمل كمضافات للخلطات الخرسانية لتقليل ظاهرة الشروخ والانكماش اللدن بالإضافة الى تحسين خواص السطح بعد التصلب فهي تزيد من مقاومة الإنجماد والذوبان للخرسانة بالإضافة الى زيادة معيار المتانة ، ويمكن الحصول على المضافات على شكل سائل أو مسحوق أو مادة ذات حبيبات وتضاف للخرسانة بنسب معينة عادة ما تكون هذه النسب قليلة مقارنة بنسب الاسمنت، ومن أنواع المضافات 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، والاستخدام الثاني لها هو إنتاج خرسانة ذات مقاومة عالية جداً باستعمال قابلية تشغيل طبيعية (W/C) قليلة جداً.

يهدف هذا البحث الى دراسة سلوك وخواص الخرسانة الحاوية على ألياف البولي بروبيلين والملدن والسيليكا فيوم بنسب ثابتة وذلك تحت تأثير القوى المسلطة عليها من حيث (الهبوط - مقاومة الضغط - مقاومة الانحناء-الديمومة) وذلك لعمر (7-14-28) يوم ومن خلال نتائج الاختبارات بعد إضافة الألياف بنسبة (0.9%) والملدن بنسبة (1.4%) وغبار السيليكا بنسبة (5%) كنسبة من وزن الإسمنت تبين ان إضافة ألياف البولي بروبيلين له تأثير ملحوظ على اختبارات الخرسانة في الحالة الطرية حيث أنها أدت الى تقليل الهطول وزيادة مقاومة الانضغاط مقارنة بالخلطة المرجعية ولكنها لا تؤثر على مقاومة الانحناء بشكل كبير، ومن ذلك اتضح ان اكبر مقاومة ضغط سجلت عند الخلطة التي تحتوي على الالياف وغبار السيليكا بينما كانت النتيجة مقاربة لكل من الخلطة الرابعة والخامسة حيث انه سجلت كلاً منهما مقاومة انحناء (1.45-1.50 MPa) على التوالي.

الكلمات المفتاحية: ألياف البولي بروبيلين، الملدنات الفائقة ، غبار السيليكا ، قابلية التشغيل، مقاومة الضغط ، مقاومة الانحناء.

المقدمة

تعتبر المقاومة واحدة من أهم الخواص الخرسانية إذ تعبر عن عدة خصائص مثل الديمومة وعدم النفاذية ، ولأنها تعطي صورة شاملة لنوعية الخرسانة وذلك لارتباطها المباشر ببنية عجينة الإسمنت المتصلبة أحياناً ،

تكون الديمومة أهم من المقاومة عندما تتعرض الخرسانة لتأثيرات فيزيائية وكيميائية ، وعادة ما تكون الخرسانة ذات المقاومة العالية أقل نفاذية وأكثر صلابة . الخرسانة بصفة عامة أنواع كثيرة لكل نوع منها خاصية مميزة تجعله دون غيره ملائماً لعمل إنشائي معين ولكن هناك خاصية هامة مشتركة وهي مقاومة الخرسانة للضغط ، وعموماً يمكن إجمال الغرض الذي من أجله يُقام أي منشأ خرساني في وظيفة أساسية لمقاومته للقوى المؤثرة عليه أيًا كانت طبيعتها. تعتبر مقاومة الخرسانة دليلاً مباشراً لكثير من الخواص الأخرى الهامة وعموماً تتميز الخرسانة عالية المقاومة بأنها أكثر صلابة وغير منفذة للسوائل ومقاومتها للعوامل الجوية والمتلفة كبيرة، هذا بالرغم من أن الخرسانة التي تكون مقاومتها كبيرة قد تكون معرضة أكثر للتشقق بالجفاف كما قد تكون أقل قابلية للتمدد ومن ثم تكون أكثر عرضة لحدوث شروخ بها وبملاحظة هذه العلاقات المختلفة ومعرفة سهولة إجراء اختبارات مقاومة الخرسانة كل ذلك يجعل مقاومة الخرسانة أساساً في تحديد الجودة وتقدير تأثير العوامل المتغيرة الأخرى مثل المواد المكونة ونسب الخلط والمعدات والأجهزة والطرق المستخدمة في الإنشاء ، وفي جميع الأحوال تعرف قوة المادة بأنها المقدرة على مقاومتها للقوى المؤثرة عليها وفي حالة الأغراض الإنشائية الخرسانية تؤخذ على أنها القوة المؤثرة على وحدة مساحة الإجهاد المطلوبة لحدوث الكسر إذا لم يقرر غير ذلك .

تعتبر الخرسانة مادة قصفة ومقاومتها للشد ضعيفة ولتحسين هذه الخاصية يتم إضافة ألياف البولي بروبيلين بنسبة معينة إلى مكونات الخلطة الخرسانية حيث أجريت العديد من الأبحاث لدراسة تأثير إضافة ألياف البولي بروبيلين على خواص الخرسانة فمنها الباحث [1] وجد أن إضافة ألياف البولي بروبيلين (طول 12م) بنسبة 0.15% إلى الخرسانة العادية المقاومة تعطي زيادة ملحوظة في مقاومة الضغط والشد والانحناء، وأظهرت نتائج الباحث [2] بأن إضافة الألياف (طول 6م) إلى الخرسانة عالية المقاومة أدت إلى تقليل الهطول وزيادة مقاومة الضغط ومقاومة الشد الانشطاري ولكنها لا تؤثر على مقاومة الانثناء والباحث [3] وجد من خلال نتائج الاختبارات في بحثه أن إضافة ألياف البولي بروبيلين (طول 6م) إلى الخرسانة العادية المقاومة لا تؤثر على مقاومة الضغط ولكن تأثيرها كان ملحوظ على مقاومة الشد الانشطاري، وكان الهدف من البحث هو دراسة تأثير إضافة ألياف البولي بروبيلين بنسب حجميه مختلفة من مكونات الخلطة الخرسانية (0، 0.1، 0.2، 0.3، 0.4)% على خواص الخرسانة العادية والعالية المقاومة (الكثافة الرطبة - الهطول - مقاومة الضغط والشد الانشطاري - مقاومة الانثناء - مطرقة الارتداد - الذبذبات فوق السمعية).

الدراسة [4] تهدف إلى دراسة تأثير ألياف البولي بروبيلين بنسب حجميه مختلفة من مكونات الخلطة الخرسانية (0.1، 0.2، 0.3، 0.4)% على خواص الخرسانة الليلية العادية والعالية المقاومة (الكثافة-الهطول-مقاومة الضغط-الشد الانشطاري-الانحناء،بالإضافة إلى مطرقة الارتداد والموجات فوق السمعية) تبين من خلال نتائج الاختبارات أن إضافة ألياف البولي بروبيلين لا تؤثر على مقاومة الضغط ولكن تأثيرها يكون ملحوظ على مقاومة الشد الانشطاري والانثناء. إن اكتشاف الخرسانة المسلحة كمادة إنشائية أدى إلى

تقدم كبير في إنشاء المباني السكنية والصناعية وخزانات المياه والجسور وغيرها، فهي تتميز بمزايا عديدة منها مقاومة ضغط جيدة مقارنة مع المواد الأخرى ، مقاومة عالية ضد تأثير المياه والحريق ومقاومتها تزداد بمرور الزمن بسبب التفاعل المستمر (الإمالة)، ولكن من عيوبها مقاومتها للشد منخفضة وتساوي تقريبا عشر مقاومتها للضغط مما يستدعي استعمال حديد التسليح في مواضع الشد مع مراعاة التوافق و الاتزان بين الإجهادات المتولدة في كل من الحديد والخرسانة[5] ما يعيب الخرسانة المسلحة أيضاً في المشاكل التي تحدث لها بمرور الزمن وأهمها خاصيتي الزحف والانكماش وضعف مقاومتها لدرجات الحرارة العالية والصدمات وسرعة تأثرها بحركة الرطوبة للتغلب على هذه العيوب يتم استخدام المضافات للخرسانة مثل الألياف فهي يمكن أن توفر طريقة ملائمة وعملية اقتصادية للتغلب على هذه العيوب.

إن إضافة الألياف للخرسانة المسلحة أو العجينة الإسمنتية يمكن أن تحسن العديد من الخواص الهندسية مثلاً متانة الانكسار ومقاومة الشد والإنتشاء والكلل والصدم و الصدمات الحرارية أو البري إذ كان بالإمكان استغلال هذه الخواص بالإضافة إلى المزايا التي تضيفها الألياف في تقنيات التشييد أو التصنيع حيث تنقسم الألياف إلى قسمين رئيسيين من حيث النوع مثل ألياف الصلب وهي قطع من الصلب بطول (3-8) مم وقطر (85) مم وألياف صناعية مثل ألياف (البولي بروبيلين والبوليستر والزجاجية وألياف التسليح من الكربون والزجاج والبولي إثيلين)، وباعتبار أن ألياف البولي بروبيلين عبارة عن مادة بوليمرية تستعمل كمضافات للخلطات الخرسانية لتقليل ظاهرة التشققات والانكماش اللدن بالإضافة إلى تحسين خواص السطح بعد التصلد فهي تزيد من مقاومة التجمد والذوبان للخرسانة بالإضافة إلى زيادة معايير المتانة . ألياف البولي بروبيلين مقاومة لأكثر المواد الكيميائية ودرجة الانصهار لها عالية (165م°) مما يجعله قادراً على تحمل درجات الحرارة العالية (100م°) لمدة قصيرة بدون إلحاق الضرر بخواص الألياف [6].

قام الباحث [7] باستخدام الملدنات الفائقة (SP) والسيليكافيوم (SF) لتحسين خواص الخرسانة بإضافتهما بنسب مختلفة إلى نموذجين من الخرسانة العادية الأولى بنسبة 1:2:4 والثانية بنسبة 1:1.5:3 حيث انه تبين من خلال نتائج البحث إن إضافة السيليكافيوم أدت إلى زيادة مقاومة الانضغاط بمعدل 45.3% و 47.7% تقريبا بينما أدت إضافة الملدن الفائق إلى زيادة مقاومة الانضغاط بمعدل 43% و 41% تقريبا عن الخلطة المرجعية بعمر 7 أيام و 28 يوم على التوالي بالنسبة للخلطة الأولى، بينما في الخلطة الثانية أدت إضافة السيليكافيوم إلى زيادة مقاومة الانضغاط بمعدل 46.7% و 49% تقريبا بينما أدى إضافة الملدن الفائق إلى زيادة مقاومة الانضغاط بمعدل 44% و 43% تقريبا عن الخلطة المرجعية بعمر 7 أيام و 28 يوم على التوالي، و بعد إضافتهما معا تبين أن أعلى مقاومة انضغاط يمكن الحصول عليها عندما تكون نسبة الإضافة بمقدار 5% من السيلكا فيوم و 3% من الملدن الفائق حيث إنهما أديا إلى زيادة مقاومة الانضغاط بمعدل 49.3% و 48.4% تقريبا بالنسبة للخلطة الأولى بينما أديا في الخلطة الثانية إلى زيادة مقاومة الانضغاط بمعدل 52.4% و 51.2% تقريبا عن الخلطة المرجعية بعمر 7 أيام و 28 يوم على

التوالي. أما بالنسبة لمقاومة الشد فإن إضافة الملدن الفائق أدى إلى زيادتها عن الخلطة المرجعية بمقدار 29.2% و 31.6% تقريبا بالنسبة للخلطتين الأولى والثانية على التوالي بينما إضافة السيلكا فيوم أدت إلى زيادة مقاومة الشد بمقدار 38.1% و 40.3% تقريبا بالنسبة للخلطتين الأولى والثانية على التوالي، بينما تأثيرهما معا في زيادة مقاومة الشد اكبر من تأثير كل منهما على حده وإن أعلى مقاومة شد يمكن الحصول عليها عندما تكون نسبة الإضافة بمقدار 5% سيلكا فيوم و3% الملدن الفائق، حيث إنهما أديا إلى زيادة مقاومة الشد وزيادتها مقدارها 38.9% و 40.7% بالنسبة للخلطتين الأولى والثانية على التوالي

قامت الباحثة [8] بتحضير خلطة خرسانية باستخدام مواد محلية، وذلك من خلال معرفة تأثير تغير نسب الإضافات الملدنة على خصائص الخرسانة في حالتها الطرية والمتصلدة، وكذلك تحديد النسب المثلى لإستخدام الملدن فتم استخدام الملدن (sikament-163m) كمادة مضافة للخرسانة وذلك لمعرفة سلوك هذه المادة وتأثيرها على سلوك خواص الخرسانة فتم عمل برنامج لخلطات معملية وذلك بتصميم أربع خلطات خرسانية بنسبة الماء للإسمنت ثابتة ($W/C = 0.55$)، مع إضافة الملدن بنسب مختلفة تراوحت من (0.6-1.4-2)% كنسبة وزنية من وزن الإسمنت المستخدم في الخلطات الخرسانية الثلاثة باستثناء الخلطة المرجعية. تم إجراء إختبار الهطول وذلك لدراسة الخواص الطرية للخرسانة، وإختبار مقاومة الضغط لدراسة الخواص المتصلدة بعمر (7-14-28) يوم، وتشير تلك النتائج إلى أنه يزداد الهطول بزيادة نسبة الملدن وإعطاء تشغيلية أفضل للخرسانة الطرية وكذلك اوضحت النتائج ان افضل نسبة لاستخدام الملدن هي (1.4%) من وزن الاسمنت للخرسانة المتصلدة لجميع الخلطات بعمر (7-14-28) يوم وذلك بإعطاء مقاومة ضغط (MPa) (50.252-52.296-58.296) على التوالي وفي حالة استخدام ملدن بنسبة (2%) اصبحت مقاومة الضغط تقل بشكل ملحوظ وهي اقصى نسبة مسموح بها في النشرة الخاصة بالملدن. أجرى الباحث [9] دراسة عن سلوك الزحف والانكماش للخرسانة عالية المقاومة والحامية على غبار السيلكا حيث تم إعداد خمس كمرات خرسانية في المختبر وتحت ظروف جوية مسيطرة عليها وتم استخدام مقياس الانفعال الميكانيكي لقياس الانفعال بشكل دقيق، وضعت الخرسانة في قوالبها لمدة أربع وعشرين ساعة في غرفة ذات رطوبة 95% وبدرجة حرارة 21 درجة مئوية لمدة يومين، ومن خلال الدراسة استنتج الباحث انه مع زيادة كمية المونه التي تحتوي على أسمنت و غبار السيلكا تزداد نسبة الانكماش التلقائي نسبة إلى الانكماش الكلي.

الجانب العملي و المنهجية

الإسمنت: استخدم لجميع الخلطات الإسمنت البورتلاندي العادي المنتج محلياً (مصنع زليتن) ومعبأً بأكياس مقفلة من ورق سميك للمحافظة على خواصه وحمايته من الرطوبة يبين الجدول (1) خواص الاسمنت.

الركام الخشن: استخدم للدراسة ركام خشن متدرج مقاس (10mm) وهو ركام محلي تم جلبه من منطقة رأس اللفة [15] وتم استعماله جافاً وخالياً من المواد الناعمة يبين الجدول (2) نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام المستخدم يوضح الشكل (1) منحنى التدرج الحبيبي للركام الخشن وحدود المواصفة.

الركام الناعم: استخدم للدراسة ركام ناعم (الرمل الطبيعي) تم إحضاره من منطقة زيتن، وتم إجراء العديد من الاختبارات لهذه العينة من الرمل. يوضح الجدول (3) نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام المستخدم بينما يوضح الشكل (2) منحنى التدرج الحبيبي للركام الناعم وحدود المواصفة.

ماء الخلط: استخدم لتنفيذ الخلطات الخرسانية ماء مطابق للمواصفات القياسية الليبية المتوفر في المنطقة.

جدول رقم (1): الخواص الفيزيائية والميكانيكية للإسمنت.

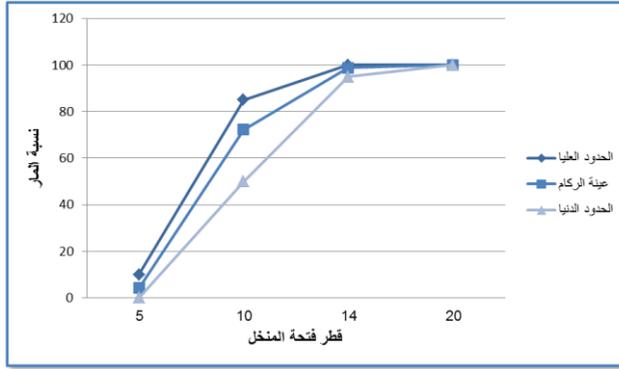
الاختبار	النتيجة	حدود المواصفة	المواصفة
نسبة الماء القياسية	31%	-	[10]
زمن الشك الابتدائي	401 دقيقة	لا تقل عن 45 دقيقة	[11]
زمن الشك النهائي	375 دقيقة	لا تزيد عن 10 ساعات	[12]
نعومة الإسمنت	8%	الحد الأقصى للمتبقّي على منخل 170 (10%)	[12]
مقاومة الضغط للمونة 3 أيام	22.13MPa	لا تقل عن 21MPa	[13]
مقاومة الضغط للمونة 28 يوم	39.22MPa	لا تقل عن 39MPa	[13]
ثبات الحجم للإسمنت	6	لا تزيد عن 10mm	[14]

جدول رقم (2): يبين الخواص الفيزيائية للركام الخشن

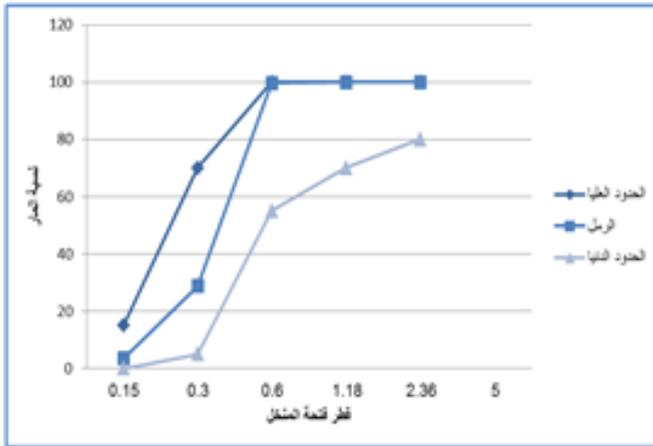
الاختبار	نتائج الاختبار	حدود المواصفة	مواصفة الاختبار	الاختبار
الوزن النوعي	2.6	(2.5 - 2.7)	المواصفة البريطانية	الوزن النوعي
نسبة الامتصاص	2.39%	لا تزيد عن 3%	[16]	نسبة الامتصاص
معامل الصدم	10.21%	لا تزيد عن 45%	المواصفة الليبية	معامل الصدم
معامل التهشيم	20.50%	لا تزيد عن 45%	المواصفة الليبية	معامل التهشيم
نسبة الطين والطيني	2.80%	لا تزيد عن 4%	المواصفة الأمريكية	نسبة الطين والطيني
وزن وحدة الحجم	1482.7 kg/m ³	1400-1800kg/m ³	المواصفة الليبية	وزن وحدة الحجم

جدول رقم (3): نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام الناعم.

الاختبار	النتيجة	حدود المواصفة	المواصفة
الوزن النوعي	2.64	2.7-2.6	المواصفة الليبية [21]
نسبة الامتصاص	0.97%	لا تزيد عن 3%	
نسبة المواد الناعمة	2%	لا تزيد عن 3%	المواصفة الأمريكية [22]
وزن وحدة الحجم	1746 كجم/م ³	1800-1400 كجم/م ³	المواصفة الليبية [23]



شكل رقم (1): التحليل المنخلي للركام الخشن



شكل رقم (2): التحليل المنخلي للركام الناعم

الإضافات الكيميائية: الإضافات هي المواد التي تضاف إلى الخرسانة أثناء عملية الخلط لتحسين خاصية معينة أو عدد من خواص الخرسانة في الحالة الطرية أو المتصلبة. أستخدم لهذه الدراسة ثلاثة أنواع من الإضافات وهي:

1. **الملدنات الفائقة (Superplasticizer):** من منتجات شركة سيكا (SIKA) واسمها التجاري (sikament-163m) وهي عبارة عن مادة سائلة ذو لون بني، الكثافة النوعية لها = (20م.م) $0.005 \pm 1,150$ كجم/لتر والأس الهيدروجيني = 1 ± 8.0 [24] كما موضح بالشكل (3) يمزج الملدن جيداً مع الماء ثم يضاف إلى الخلطة الخرسانية كما أوصت نشرة المصنع يجب أن تتراوح الجرعة المستخدمة للملدن من (0.6-2)% من وزن الإسمنت ومن مميزاته تحسين قابلية التشغيل دون الحاجة لزيادة الماء وتحسين مظهر السطح الخارجي للخرسانة وتقليل النفاذية بالإضافة إلى زيادة قوة الضغط وعمر الخرسانة وفي هذا البحث تم استخدام الملدن بنسبة ثابتة وهي 1.4%.
2. ألياف البولي بروبيلين Polypropylene Fibers: أحد أنواع الألياف الصناعية التي يتدخل الإنسان في تركيبها وهي ناتج للصناعات البتروكيميائية والصناعات النسيجية فهي من أكثر أنواع الألياف الصناعية استخداماً. إن الاختلاف بين أنواعها هي مقاومة الشد ومعامل المرونة والأخير غالباً ما يكون أقل من ذلك الخاص بالمادة الرابطة. يمكن أن تنتج على شكل حزمة من الألياف الشعرية أو بأقطار أكبر كما ويمكن وضعها بشكل منتشر أو على شكل حصيرة و تمتاز هذه الألياف بأن لها قوة شد عالية لذا تستخدم في تحسين الخواص الميكانيكية للخرسانة والتقليل من الهبوط و التشققات في الكمرات الخرسانية.

النوع المُستخدم لهذه الدراسة (Murat Erbas) بطول 18mm ، كما بالشكل (4) هذه الالاياف مقاومة للبيئة القلوية للخلطة الإسمنتية، غير ممغنطة، مقاومة للصدأ، خاملة كيميائياً، ولا تمتص الماء، تنتشر بانتظام في الخلطة، وتلتصق بشكل تام مع عجينة الاسمنت .إضافة ألياف البولي بروبيلين تقلل قابلية التشغيل في الخرسانة الطازجة وفي الوقت نفسه تعمل على تحسين خواص الخرسانة. حيث تزيد مقاومة الشد للخلطة الخرسانية اللدنة مما يؤدي إلى منع حدوث تشققات الانكماش كما تزيد مقاومة الانحناء عن طريق السيطرة على نشوء التشققات الدقيقة ، مما يؤدي إلى زيادة مقاومة الشد في الانحناء لمزيج الخلطة الخرسانية ككل.



شكل رقم (3): يوضح الملدن المستخدم



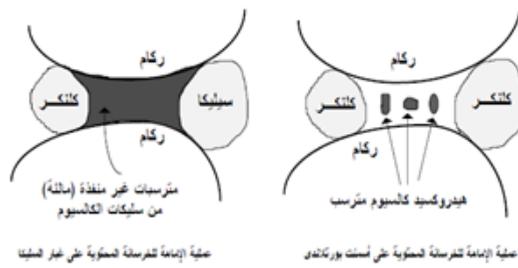
شكل رقم (4): يوضح (ألياف البولي بروبيلين)

3. غبار السيلكا Silica Fume: لوحظ في السنوات الأخيرة إنه هناك اهتمام واضح بإستخدام غبار السيلكا البوزولاني كمادة محسنة لخصائص الخرسانة أو مادة تعوض عن جزء من الأسمنت البورتلاندي أو الاتثين. حديثاً توفر المواد المُقللة للماء بدرجة عالية فتح إمكانيات جديدة لإستخدام غبار السيلكا كجزء من المواد الرابطة في الخرسانة لإنتاج خرسانة ذات مُقاومة عالية أو ديمومة عالية أو الاتثين معاً و وجد بأن خرسانة غبار السيلكا والأسمنت كمادة رابطة تكون قوية جداً ، غير نافذه ، لها ديمومة عالية ضد تعاقب التجمد والذوبان ولها مقاومة عالية للأحتكاك .
- أما المميزات التي جعلت من هذه المادة واسعة الاستخدام لتحسين خصائص الخرسانة هي :-
- مسحوق ناعم جداً وأقطار جسيماته أنعم بحوالي (100) مرة مقارنةً بالأسمنت البورتلاندي.
 - شكلها الكروي يزيد من تأثير الانزلاق على الأسمنت .
 - جزيئاته الزجاجية تُحسن من فعالية المادة مع الأسمنت .
 - المحتوى العالي للسيلكا غير المتبلورة فيها يجعل منها مادة بوزولانية فائقة.

غبار السيلكا المُستخدم في الدراسة هو (Elkem Micro Silica أو MEYCO® MS 610) وهو من نوع السيلكا الدقيقة (Micro Silica) حيث يوضح الشكل (5)، (6) شكل السيلكافيوم و دورها في تحسين منفذيه الخرسانة ، الجدول (4) يبين خصائص السيلكافيوم.



شكل رقم (5): شكل غبار السيلكا



شكل رقم (6): دور غبار السيلكا في تحسين منفذيه الخرسانة [25]

جدول رقم (4): يبين خصائص غبار السيلكا المستخدم في الدراسة الحالية.

النتيجة	الخصائص
3.89%	الفقدان بالحرق L.O.I
121.5%	الفاعلية البوزولانية
91.03%	SiO ₂
4.02%	Al ₂ O ₃
0.32%	Fe ₂ O ₃
0.73%	SO ₃

تصميم الخلطات

يعتبر تصميم الخلطة الخرسانية من اهم الخطوات المستخدمة لتحديد كمية المواد الاساسية الداخلة في تكوين الخرسانة حيث انه أستخدمت لهذه الدراسة الطريقة البريطانية لتصميم جميع الخلطات الخرسانية [26] فتم تنفيذ خمسة خلطات كما موضح بالجدول (5).

جدول رقم (5): يوضح أوزان المواد المستخدمة في الخلطة الخرسانية

الغبار	الملدن	الألياف	ماء الخلط L	الركام Kg		الاسمنت Kg	الخلطة
				ركام خشن	ركام ناعم		
-	-	- %0.9	2.5	13.76	7.1	4.56	الأولى
-	-	(gm41.04) %0.9	2.5	13.76	7.1	4.56	الثانية
-	%1.4 (gm63.84)	(gm41.04) %0.9	2.5	13.76	7.1	4.56	الثالثة
%5 (gm228)	-	(gm41.04) %0.9	2.5	13.76	7.1	4.56	الرابعة
%5 (gm228)	%1.4 (gm63.84)	(gm41.04) %0.9	2.5	13.76	7.1	4.56	الخامسة

الخلط والصب والمعالجة

تعتبر عملية تجهيز المواد وخلطها أمراً مهماً بالنسبة للخرسانة، حيث أن التفاوت في أعمال الخلط والصب وغيرها من الإجراءات يترتب عنه اختلاف في الخصائص اللدنة والمتصلدة لها لذلك تم مراعاة أن يتم تجهيز جميع العينات في ظروف مناخية ومعالجة متشابهة، وتم تجهيز جميع الخلطات في فترة زمنية محددة وذلك لتلافي الاختلاف في درجات الحرارة فبعد الإنتهاء من عملية الخلط أجري إختبار الخرسانة في حالتها اللدنة لدراسة خاصية قابلية التشغيل ثم صبها في قوالب فولاذية قياسية مكعبة الشكل ذات أبعاد $150 \times 150 \times 150$ مم لإختبار مقاومة الضغط حيث تم اختبار الخرسانة على ثلاثة مراحل بعمر (7-14-28) يوم ، وكذلك تم صبها في قوالب فولاذية قياسية ذات أبعاد $750 \times 150 \times 150$ مم لإختبارها في مقاومة الإنحناء ثم فكت تلك القوالب في اليوم التالي لتعالج العينات بغمرها في الماء إلى حين موعد إختبارها حيث تم اختبار بعمر (28) يوم .

اختبارات الخرسانة في الحالة الطرية والمتصلدة

■ اختبار الخرسانة في الحالة الطرية (اختبار الهطول: قياس درجة التشغيلية)

بعد اتمام عملية الخلط مباشرة تم إجراء اختبار الهطول وذلك لقياس درجة التشغيلية للخرسانة لأنها الخاصية التي تبين السيولة التي يمكن بها صب ومناولة الخلطة الخرسانية وتبين درجة تجانسها ومقاومتها للانفصال الحبيبي، حيث ان قابلية التشغيل المطلوبة تعتمد بدرجة كبيرة على طرق الدمك المتوفرة كما موضح بالشكل (7).



شكل رقم (7): يوضح الادوات المستخدمة وطريقة إجراء الاختبار

■ اختبار الخرسانة في الحالة المتصلدة

بعد الخلط وإتمام اختبار الخرسانة الطازجة لكل خلطة أختبرت الخلطات المنفذة أيضاً في الحالة المتصلدة ومنها :

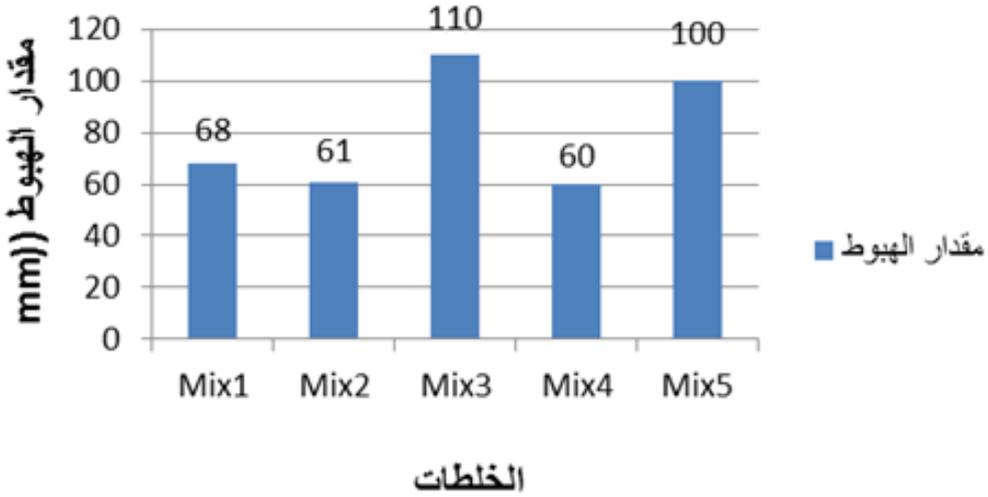
اختبار مقاومة الضغط: حيث أجري هذا الإختبار لمكعبات قياسية ذات أبعاد (150×150×150) مم، لتحديد أقصى إجهاد ضغط ممكن أن تتحمله الخرسانة المتصلدة وذلك طبقاً للمواصفة القياسية البريطانية (BS:1881-Part116:1983) [27].

اختبار مقاومة الانحناء: تم إجراء هذا الإختبار لكمرات ذات أبعاد (750×150×150) مم، وذلك لتعيين مقاومة الخرسانة المتصلدة للانحناء و دراسة سلوك الكمرات الخرسانية عند تعرضها لأحمال إنحناء وكذلك شكل الكسر الناتج عن انهيار هذه الكمرات . عندما تتعرض الكمرة الخرسانية للانحناء فإنه يمكن حساب مقاومة الانحناء التي تعتبر أيضاً مقياساً لمقاومة الشد غير المباشر و تسمى بمعايير الكسر في الانحناء (modulus of rupture) ، وتتراوح قيم اجهادات معايير الكسر في الانحناء بين (12% ، 20%) من مقاومة الضغط وبالتالي فإن مقاومة الانحناء تزيد عن مقاومة الشد للخرسانة بنسبة من 60 إلى 100% ، وعموماً تؤخذ مقاومة الشد للخرسانة مساوياً لـ 60% من قيمة مقاومة الانحناء .

عرض ومناقشة النتائج

تم عرض ومناقشة نتائج الاختبارات التي أجريت في هذه الدراسة على النحو التالي:
خواص الخرسانة اللدنة

اختبار الهبوط (قابلية التشغيل): تم عمل اختبار الهبوط للخلطات الخرسانية الخمسة التي أجريت بالمعمل وكانت النتائج كما موضح بالشكل (8)، ومن ذلك إتضح إن استخدام الألياف في الخرسانة يقلل من قابلية التشغيل للخرسانة حيث أن الخلطة التي تحتوي على (الألياف+السيلاكا فيوم) سجلت أقل مقدار للهبوط (60mm) مقارنة بالخلطة المرجعية التي كانت قابلية التشغيل فيها جيدة حيث سجلت مقدار هبوط (68mm) في حين أن الخلطة التي تحتوي على (الألياف+ الملدن)،(الألياف+ الملدن+السيلاكا فيوم) كانت قابلية التشغيل فيها عالية حيث سجلت مقدار هبوط (110mm، 100mm) على التوالي.



شكل رقم (8): يوضح نتائج اختبار الهبوط

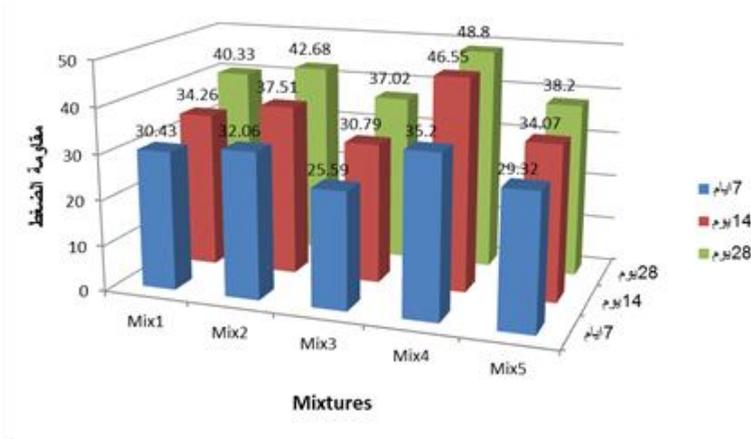
خواص الخرسانة المتصلدة

مقاومة الضغط : تعتبر مقاومة الضغط من أهم خواص الخرسانة المتصلدة فهي تعبر عن جودتها ، لذلك تم اجراء اختبار مقاومة الضغط كإختبار للتحكم في جودة إنتاج الخرسانة بموقع العمل حيث غمرت العينات بالماء بعد اكتمال التصلب النهائي حتى موعد الإختبار وذلك للخلطة المرجعية والخلطات التي تحتوي على المضافات. تم الحصول على نتائج اختبار مقاومة الضغط والكثافة لعمر (7-14-28) يوم والنتائج موضحة بالجدول (6) والشكل (9)،(10) و من خلال مناقشة هذه النتائج لوحظ أن هناك اختلاف بسيط في مقاومة الضغط حيث سجلت مقاومة الضغط للخلطة الخرسانية الأولى (المرجعية)

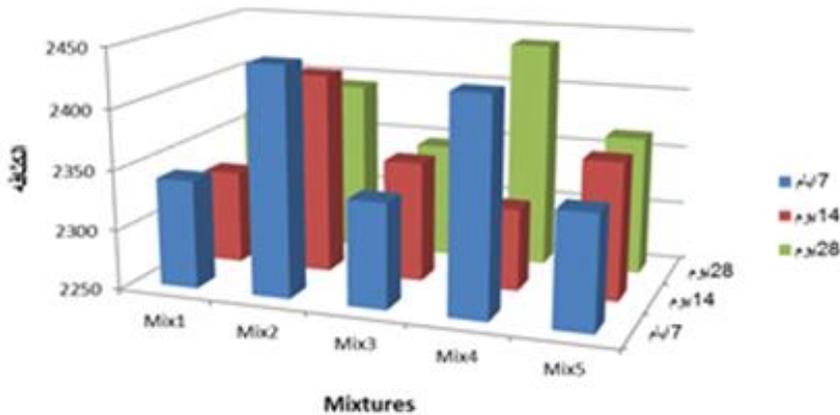
بينما أعطت الخلطة الخرسانية الثانية المحتوية على ألياف بنسبة (0.9%) زيادة في مقاومة الضغط حيث بلغت (42.68Mpa)، في حين أعطت الخلطة الخرسانية الثالثة المحتوية على الألياف (0.9%) والمملدن (سيكامنت163) (1.4%) تراجع بسيط في مقاومة الضغط حيث بلغت (37.02Mpa) هذا وقد أعطت الخلطة الخرسانية الرابعة المحتوية على ألياف (0.9%) و سيليكافيوم (5%) زيادة عالية في مقاومة الضغط حيث سجلت (48.8Mpa) ، وأخيرا فقد أعطت الخلطة الخرسانية الخامسة المحتوية على جميع الإضافات تراجع بسيط أيضا في مقاومة الضغط للخرسانة حيث سجلت (38.2Mpa). بشكل عام و من خلال النتائج المتحصل عليها من إختبار الضغط للمكعبات الخرسانية لكافة العينات المستخدمة فإن أفضل خلطة خرسانية كانت الخلطة الرابعة حيث سجلت أعلى قيمة في مقاومة الضغط.

جدول رقم(6): يوضح نتائج اختبار مقاومة الضغط

Samples	Operating age	Peak load (KN)	Compressive strength (MPa)	Weight Kg	Density Kg/m ³
Mix1	7	684.67	30.43	7.908	2340.74
	14	770.85	34.26	7.858	2328.3
	28	906.75	40.33	7.982	2365.03
Mix2	7	721.35	32.06	8.235	2440
	14	843.97	37.51	8.160	2417.7
	28	960.30	42.68	8.081	2394.07
Mix3	7	575.77	25.59	7.889	2337.48
	14	692.8	30.79	7.932	2350.22
	28	832.95	37.02	7.919	2346.37
Mix4	7	791.9	35.20	8.195	2428.14
	14	1047	46.55	7.825	2318.5
	28	1100	48.8	8.232	2439.11
Mix5	7	659.7	29.32	7.913	2344.6
	14	766.5	34.07	7.980	2364.44
	28	860	38.21	7.985	2365.92



شكل رقم(9): يوضح نتائج اختبار مقاومة الضغط (7-14-28) يوم



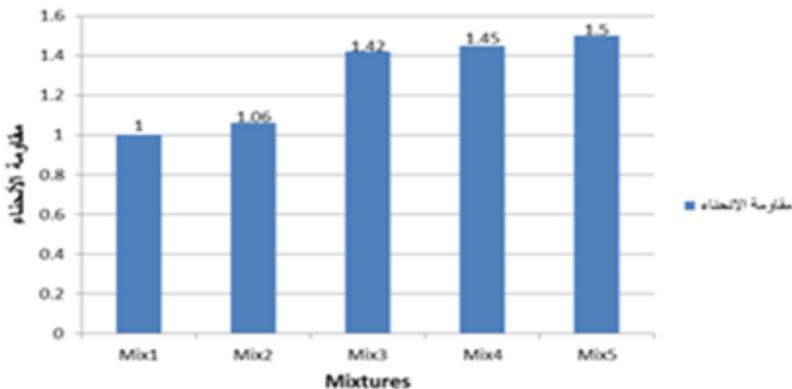
شكل رقم (10): يوضح نتائج الكثافة (7-14-28) يوم

مقاومة الإنحناء: عند تسليط الأحمال على الخرسانة تتطور فيها اجهادات الشد والضغط فيصبح التطور الحاصل في مقاومة الإنحناء نتيجة إضافة الملدن سيكامنت 163 وألياف البولي بروبيلين مقارب الى مقاومة الضغط حيث ازادت مقاومة الانحناء للخلطة الثالثة عن الخلطة المرجعية نتيجة إضافة الملدن ولكن إضافة الالياف ألياف البولي بروبيلين تعمل على زيادة الترابط بين مكونات الخلطة الخرسانية وكذلك توزيع الالياف داخل الخرسانة أدى الى تكوين وتقوية إضافية ضد التشققات الداخلية مما أدى الى زيادة مقاومة الانحناء. تم الحصول على نتائج اختبار مقاومة الانحناء لعمر (28) يوم و النتائج موضحة بالجدول (7) والشكل (11)، (12)، ومن خلال مناقشة هذه النتائج أتضح أن مقاومة الإنحناء للخلطة المرجعية بعمر 28 يوم (MPa1) ، بينما زادت هذه المقاومة في الخلطة الثانية التي تحتوي على الألياف قليلا حيث

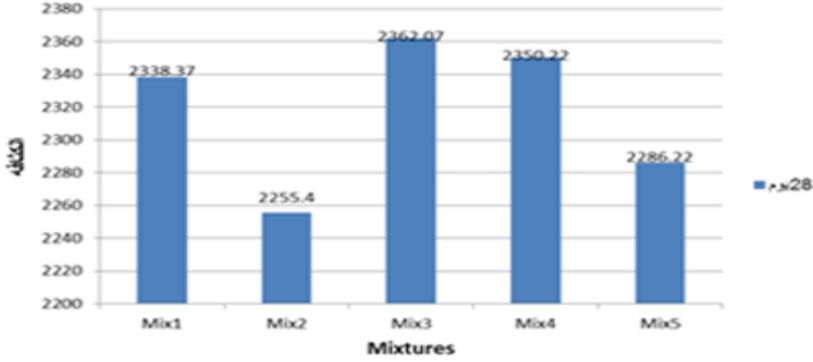
سجلت (MPa1.06) ، وفي حين أن الخلطة الثالثة والرابعة التي تحتوي على (الألياف + الملدن) ، (الألياف + السيلكافيوم) زادت فيهما هذه المقاومة بمقدار (MPa , 1.42MPa1.45) على التوالي ، بينما سجلت الخلطة الخامسة التي تحتوي على (الألياف + الملدن + السيلكافيوم) أعلى قيمة لمقاومة الإنحناء حيث سجلت (MPa1.50). من خلال مقارنة النتائج نلاحظ أن الخلطة الخامسة هي الأفضل لأنها أعطت أعلى قيمة من النسب الأخرى.

جدول رقم (7): يوضح نتائج اختبار مقاومة الإنحناء

Samples (Num)	Operating age	Peak load (KN)	Bending strength (Mpa)	Weight Kg	Density Kg/m ³
Mix1	28	113	1.00	39.460	2338.37
Mix2	28	120	1.06	38.060	2255.40
Mix3	28	160	1.42	39.860	2362.07
Mix4	28	164	1.45	39.660	2350.22
Mix5	28	169	1.50	38.580	2286.22



شكل رقم (11): يوضح نتائج اختبار مقاومة الانحناء لعمر 28 يوم



شكل رقم (12): يوضح نتائج الكثافة لاختبار مقاومة الانحناء لعمر 28 يوم

الخلاصة

- من خلال النتائج التي تم الحصول عليها في هذا البحث بعد إجراء كل الاختبارات وتوضيح نتائجها ومناقشتها تم التوصل إلى الاستنتاجات الآتية :
- إضافة ألياف البولي بروبيلين تقلل من قابلية التشغيل في الخرسانة الطازجة وفي الوقت نفسه تعمل على تحسين خواص الخرسانة.
 - تزيد مقاومة الشد للخلطة الخرسانية اللدنة بإضافة الألياف مما يؤدي إلى منع حدوث تشققات الانكماش.
 - إضافة الألياف تعمل على زيادة مقاومة الانحناء وذلك عن طريق السيطرة على نشؤ التشققات الدقيقة مما يؤدي إلى زيادة مقاومة الشد في الانحناء لمزيج الخلطة الخرسانية ككل.
 - إضافة الألياف يعمل على زيادة الترابط بين مكونات الخلطة الخرسانية وتقوية إضافية ضد التشققات الداخلية مما أدى إلى زيادة مقاومة الانحناء.
 - إضافة الملدن يضيفي تأثيرات ايجابية على الخرسانة الطرية مثل زيادة الهبوط دون الحاجة إلى كمية ماء إضافية وتقليل نسبة (W/C) لقيمة هبوط ثابتة، وتحسين قابلية التشغيل وتسهيل عملية الضخ للخرسانة.
 - من خلال إجراء اختبار الهبوط للخلطات الخرسانية لوحظ إن الخلطة الثانية و الخامسة سجلت أعلى قيمة للهبوط بالمقارنة مع باقي الخلطات وذلك لإحتوائها على الملدن (سيكامنت 163) الذي يزيد من تشغيلية الخلطة.

- ان تأثر مقاومة الانضغاط عند إضافة السليكا فيوم تكون اقل في الأعمار المبكرة من عمر الخرسانة ويزداد هذا التأثير بصورة تدريجية بتقدم عمر الخرسانة .
- ان اعلى مقاومة انضغاط تم الحصول عليها عندما تم إضافة الالياف وغبار السليكا معاً حيث سجلت مقاومة ضغط 48Mpa عند عمر 28 يوم.
- من خلال نتائج اختبار مقاومة الضغط لوحظ أن الخلطة الخرسانية الرابعة التي تحتوي على (الألياف + السيليكا فيوم) أعطت أعلى قيمة لمقاومة الضغط وذلك لأن السيليكا فيوم تعمل على تحسين قوة التماسك للخرسانة وزيادة مقاومتها للضغط.
- لوحظ في إختبار الإنحناء وعند تطبيق الحمل في نقطة واحدة وهي منتصف الكمرة أنه قد أعطت مقاومة إنحناء صغيرة لأن الإختبار في نقطة واحدة لا يعطي إنحناء خالص بل إنحناء مصحوب بتأثير القص.
- نوصي بإستخدام أنواع أخرى من المدنات مع الألياف الصناعية لمعرفة مدى تأثيرها على خواص الخرسانة.
- نوصي بإجراء إختبار الإنحناء للخرسانة بتحميل عينة الإختبار في نقطتين لأن ذلك يجعل جزء الكمرة الذي يحدث بداخله الكسر معرض إلى عزم خالص دون تواجد قص في ذلك الجزء.

المراجع

1. الكفري غسن والصغير محمد ، والعقبي سارة (تأثير ألياف البولي بروبيلين على خواص الخرسانة الطرية و المتصلبة) ، المؤتمر الوطني السادس لمواد البناء و الهندسة الإنشائية ، كلية الهندسة ، جامعة الجبل الغربي ، غريان ، ليبيا (2016) ، ص 331 - 341.
2. جميل احمد والزروق عمر(خواص الخرسانة عالية المقاومة الحاوية على ألياف البولي بروبيلين) المؤتمر الوطني السادس لمواد البناء والهندسة الإنشائية ، كلية الهندسة ، جامعة الجبل الغربي غريان، ليبيا (2016) ص 24 - 33.
3. الزروق عمر، وجميل احمد (خواص و سلوك العتبات الخرسانية المسلحة التي تحتوي على ألياف البولي بروبيلين)، المؤتمر العربي الثاني عشر للهندسة الإنشائية ، جامعة طرابلس ، ليبيا، (2013) ص 445 - 454.
4. Neville, A. M.M (Properties of Concrete), 4th Edition , Pitman Books Limited, London, UK (1995).
5. Ferguson, P. M (Reinforced Concrete Fundamentals) 4th Edition, John Wiley & Sons, New York, USA, (1981), pp 724.

6. سوامي ار. إن. (الخرسانة المسلحة الحديثة) ، ترجمة د. محمد علي عبد الزروق الأوسي وباسل طه ناجي العلي ، الجامعة المستنصرية ، بغداد ، العراق ، (1988) ، ص 299.
7. ACI- Committee 212, (Guide for the use of High-Range Water Reducing Admixtures (Super plasticizers) in "Concrete"), ACI Manual of Concrete Practice, 2004.
8. سعاد تليش ، المهدي ضياف (تأثير تغير نسبة الملدن على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة) ، مجلة العلوم الشاملة المعهد العالي للعلوم والتقنية رقدالين-ليبيا، السنة الرابعة المجلد(2)، العدد(8) مارس 2019 ف.
9. Gettu, G.A., Aguado, A. & Toralles, B.M. (Creep and Shrinkage of High Strength Concrete: An Experimental Analysis) Scientific and Technology, v.23, n.1, (2002), pp.63 – 72.
10. المواصفة القياسية الأوروبية BS EN 196-3:1995 لاختبار القوام القياسي و زمن الشك الابتدائي والنهائي للعجينة الإسمنتية.
11. المواصفة القياسية الليبية رقم 341-3 طرق الاختبارات الفيزيائية للاسمنت - زمني الشك 2005.
12. المواصفة القياسية الأوروبية BS EN 196-3:1992 لاختبار تعيين نعومة الاسمنت باستخدام منخل رقم 170.
13. المواصفة القياسية الليبية رقم 341-6 طرق الاختبارات الفيزيائية للاسمنت مقاومة الضغط 2005.
14. المواصفة القياسية الليبية رقم 341-4 طرق الاختبارات الفيزيائية للاسمنت - ثبات الحجم 2005.
15. المواصفة القياسية البريطانية BS 882:1992 لاختبار التحليل المنخلي للركام.
16. المواصفة القياسية الليبية رقم 256 ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية- طريقة تعيين الوزن النوعي والامتصاص 2006.
17. المواصفة القياسية الليبية رقم 255 ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية- طريقة تعيين معامل الصدم 2006.
18. المواصفة القياسية الليبية رقم 253 ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية- طريقة تعيين معامل التهشيم 2006.
19. المواصفة القياسية الأمريكية ASTM C117-04 لاختبار تعيين نسبة الطين والمواد الناعمة للركام.
20. المواصفة القياسية الليبية رقم 82250/ طريقة تعيين وزن وحدة الحجم 2006

دراسة تأثير أنواع مختلفة من البودرة على خواص مارشال للخلطات الإسفلتية الساخنة

اسماعيل قودان علي نايل

استاد هندسة الطرق بجامعة سبها

naiel1440@yahoo.com

المخلص

تعد شبكة الطرق الشريان الاساسي والحيوي للدوله وبالتالي يجب ان يتم تصميم الطرق بشكل جيد يضمن أداء ممتاز للطريق خلال العمر التصميمي لها. غير ان العديد من العيوب ظهرت علي الطرق المنفذه حديثا في ليبيا مما يؤثر سلبا علي اقتصاد الدوله وعلي سلامة مستخدمي الطرق. من اهم العيوب التي ظهرت علي هذه الطرقات الشقوق والتخدد. البودرة (الماده المائنه) يتوقع ان يكون لها تأثير كبير علي ظهور هذه العيوب. ان الهدف من اجراء هذه الدراسه هو تحديد تأثير نوع البودره علي ثبات واستقرار الخلطات الإسفلتية الساخنة.

تم استخدام خمس انواع من البودره (الجير، الجبس، مسحوق الاحجار (ناتج الكسارات)، الرمال الناعمه والاسمنت) وذلك لاستخدامها كماده مائنه في المخلوط الاسفلتي . تم اختبار المخلوط الاسفلتي بطريقة مارشال من اجل تحديد تأثير كل نوع من البودرة المستخدمه علي الخواص الحجميه وثبات واستقرار الخلطات الاسفلتيه. تم اعداد عينات مارشال لكل نوع من انواع البودره وبنسب اسفلت (70/60) مختلفه (4%، 4.5%، 5%، 5.5%، 6%، 6.5%). الدراسه اثبتت ان استخدام بودرة مسحوق الاحجار كماده مائنه اعطت افضل النتائج حيث كانت قيم الثبات (2396 كجم) والانسياب (3.8 مم) ونسبة الفراغات الهوائيه (3.976%) والكثافه (2.425 جم/سم³) عند نسبة الاسفلت المثلي (4.6%) بينما كانت نسبة الاسفلت المثلي هي 4.75%، 4.95% و 5.09% للخلطات الاسفلتية المحتوية علي الرمال الناعمة، الاسمنت البورتلاندي و الجير المطفأ علي التوالي.

الكلمات المفتاحية: البودرة، الخلطة الإسفلتية، مارشال.

1. مقدمة عامة

تعتبر الطرق من اهم عناصر البنيه التحتيه والتي تؤثر علي التطور الاقتصادي والاجتماعي للدول. لذلك تعطي الحكومات اهميه خاصه لشبكه الطرق وتصرف مبالغ كثيره من اجل انشاء طرق جديده وصيانه القائم منها. وهناك نوعان من رصف الطرقات، رصف مرن ورصف صلب. الرصف المرن هو الرصف الذي يستخدم به مواد اسفلتيه. ويطلق علي هذا النوع وصف مرن لان الاسفلت ينحني تحت تأثير حمولات المرور، اما الرصف الصلب فهو الرصف الذي يستخدم به مواد خرسانيه ولا يتمتع هذا النوع بخاصيه الانحناء تحت تأثير الحمولات ولذا يطلق عليه الرصف الصلب [6]. يتكون الرصف المرن من خليط من الركام الخشن، الركام الناعم، ماده المائنه و الرابط الاسفلتي ويستخدم هذا النوع من

الرصيف بشكل كبير في رصف الطرق في ليبيا غير ان العديد من الطرق التي تم انشائها حديثا تعاني من ظهور التشققات والتخدد نتيجة لمجموعه من العوامل التي تؤثر علي اداء الخلطات الاسفلتية خلال العمر التصميمي للطريق. احد هذه العوامل هو نوعيه ماده المائنه والتي يتوقع ان يكون لها تأثير كبير علي سلوك وخواص الخلطات الاسفلتية [3].

يطلق اسم ماده المائنه او البودره علي المواد الماره من منخل رقم 200. تضاف ماده المائنه الي الاسفلت لملاء الفراغات بين حبيبات الركام و تقليل نسبة الفراغات في المخلوط الاسفلتي. ويخطط جزء من ماده المائنه والتي تكون اصغر من سمك غشاء الاسفلت مع الرابط الاسفلتي ليشكل عجينه اسفلتية مما يحسن من تصلب المخلوط الاسفلتي، بينما يعمل الجزء الاخر والذي سمكه يتجاوز سمك غشاء الاسفلت علي ملء الفراغات بين حبيبات الركام مما يؤدي الي تحسين كثافته و مئانه المخلوط الاسفلتي المدموك [5]. كما يساهم استخدام النوع والكمية الكافية من ماده المائنه في تقليل نسبة البتومين في المخلوط الاسفلتي ويحسن من ثبات المخلوط و ترابط الرابط الاسفلتي مع حبيبات الركام.

اوضح Huschek and Ch.Angst [8] في دراستهم ان العجينه الاسفلتية (الرابط الاسفلتي - البودره) لها تأثير ملموس علي الخواص الميكانيكيه للمخلوط الاسفلتي. كما أوضحت بعض الدراسات ان خواص البودرة لها تأثير كبير علي اداء المخلوط الاسفلتي من حيث تأثير نوع ماده المائنه علي ظهور الهبوط الدائم (التخدد) و تشققات الكلال [4]. عموما، تعمل ماده المائنه علي ملء الفراغات و التقليل من نسبة البتومين المثلي في الخلطة الاسفلتية ويحسن من قيمة الثبات للمخلوط الاسفلتي كما يزيد من عمليه الترابط بين حبيبات الركام والرابط الاسفلتي [1]. يعتمد تحديد نسبة الاسفلت المثلي علي مجموعه من العوامل اهمها التدرج الحبيبي للركام وشكل وطبيعة سطح حبيباته ومدى امتصاصها للاسفلت وكذلك نوع البودرة.

بما ان ماده المائنه لها تأثيرات مختلفه علي خواص الخلطة الاسفلتية مما يعقد من عمليه فهم هذا التأثير لذلك جاءت هذه الدراسة لمواصله دراسته تاثير ماده المائنه علي خواص الخلطات الاسفلتية من حيث تأثيرها علي الخواص الميكانيكية للمخلوط الاسفلتي.

2. الخلطة الاسفلتية

تتكون الخلطة الاسفلتية من مجموعه من الركام مختلف التدرجات والبودرة والتي تلتصق مع بعضها برابط اسفلتي مكونه الخليط الاسفلتي. وتعتمد صلاحية كل ماده من هذه المواد علي نتائج الاختبارات التي تجري عليها لمعرفة مدى ملائمتها للمواصفات القياسيه كما هو مبين لاحقا.

2-1 الركام

يطلق هذا المصطلح علي المواد الحبيبه الصلبه كالزلط و كسر الاحجار والتي تستخدم في الخلطات الاسفلتيه وتشكل نسبه (92-96%) من المخلوط الاسفلتي كما يستخدم الركام في طبقات الاساس والاساس المساعد. يعمل الركام علي تحمل الاجهادات الناتجة من الاحمال المروريه المسلطه علي الطبقة السطحيه ويوزعها بقيم اقل الي الطبقات السفلي. يتم الحصول علي الركام غالبا من الصخور الطبيعه ذات الاقطار المناسبه او تكسير الصخور للحصول علي الاقطار المطلوبه. والركام المستخدم في هذه الدراسه هو من ناتج تكسير الصخور. اجريت عدد من التجارب المتاحه علي الركام المستخدم في الدراسه. نتائج إختبار التآكل والبري أظهرت ان قيمة معامل التآكل هي 17.49% وهي مقبولة حسب المواصفات القياسيه الليبيه كما أظهرت ان قيمه معامل التهشيم هي 9.64% وهي ايضا ضمن المواصفات القياسيه. وكانت قيمه الوزن النوعي للركام هي 2.8 جم/سم³ و نسبه الامتصاص هي 0.66% وهما ضمن حدود المواصفات القياسيه. كما أظهرت نتائج اختبار الممتوليه واختبار الاستطاله ان قيمة مؤشر الممتوليه هو 7.19% و نسبه الاستطاله هي 2.36% وهما ضمن المواصفات القياسيه. كما هو موضح في بالجدول رقم(1)

جدول رقم (1) اختبارات الركام

المواصفات القياسيه	القيمه	نوع الاختبار
< 30%	17.49%	AASHTO T 96 تجربة التآكل والبري
< 45%	9.64%	IS 2386 PART-4 تجريه مقاومه التهشيم
2.4-3.0	2.8 جم/سم ³	AASHTO T 85 تجريه الوزن النوعي
0.1 -5.0 %	0.66%	AASHTO T 85 تجريه نسبه الامتصاص
< 10%	7.19 %	ASTM D 4791 تجريه الاستطاله
< 10%	2.36 %	ASTM D 4791 تجريه النقلطح

2-2 الاسفلت

الاسفلت هو ماده متعددة المصادر منها ما هو طبيعي ومنها ما هو ناتج من عمليه تكرير النفط. يقوم الرابط الاسفلتي بربط حبيبات الركام مع بعضها البعض مكونه الخلطه الاسفلتيه القادره علي مقاومه قوي الشد والقص. استُخدم في هذه الدراسه نوع واحد من الاسفلت في تحضير عينات الاختبار وهو اسفلت درجه غرزه 70/60 عند درجه حراره 25 درجه مئوية ووزنه النوعي 1.017.

2-3 البودرة

البودرة هي المواد الماره من منخل رقم 200 وهي تؤثر علي خواص وسلوك الخلطة الاسفلتية. كما تمت الاشارة سابقا, تقوم البودرة بملء الفراغات بين حبيبات الركام وبالتالي تقليل نسبة الاسفلت المثلي وزيادة ثبات الخلطة الاسفلتية وتحسن التصاق الرابط الاسفلتي بالركام.

تم استخدام انواع مختلفة من البودرة وهي الجير المطفأ, مسحوق الاحجار, الرمال الناعمة و الاسمنت البورتلاندي كمادة مائه في اعداد عينات المخلوط الاسفلتي .

2-3-1 الجير المطفأ

الجير المطفأ هو هيدروكسيد الكالسيوم وله صيغته $Ca(OH)_2$ ويكون علي شكل مسحوق ابيض ناعم. هناك العديد من المعلومات في الدراسات السابقة عن مقدرة الجير المطفأ في التحكم في حساسية المياه وكذلك مقدرته علي مقاومة انسلاخ الرابط الاسفلتي عن حبيبات الركام نتيجة تأثير الرطوبة علي المخلوط الاسفلتي, كما اوضحت بعض الدراسات ان الجبس له تأثير اخر علي المخلوط الاسفلتي حيث انه يعمل كمادة مائه مقاومه [2].

وأوضح Dallas N. L., and Jon A. E [2] في هذه الدراسه ان استخدام الجيرالمطفأ كمادة مائه له عدة خصائص منها:

- يعمل الجير المطفأ كمادة مائة تقسي الرابط الاسفلتي وبالتالي تقسي المخلوط الاسفلتي.
 - تقوي مقاومة الاسفلت للتشققات
 - يقاوم عملية الاكسدة و يقلل من أثارها السلبية علي الخليط الاسفلتي.
- وتم استخدام الجير المطفأ كمادة مائه في هذه الدراسه من أجل معرفة تأثيره علي خواص الخلطات الاسفلتية. تم اختبار الوزن النوعي للجير المطفأ فوجد مساويا 1.78.

3-2 مسحوق الاحجار

يستخدم مسحوق الاحجار علي نطاق واسع كمادة مائة في الخلطات الاسفلتية بسبب رخص ثمنها وتوفرها بشكل كبير. تنتج هذه المادة نتيجة تكسير الصخور. غير ان صعوبة التفريق والفصل بين مسحوق الاحجار والاتربة الناعمة والمورده من المحاجر الي خلطات الاسفلت المركزية يحتم اختبار هذه المادة للتأكد من صلاحيتها كمادة مائة. تم استخدام مسحوق الاحجار الناتج من طحن الاحجار كمادة مائة في الخلطات الاسفلتية وكان وزنها النوعي 1.93.

2-3-3 الرمال الناعمة

الرمال الناعمة هي احد انواع المواد المألثة التي تم استخدامها في هذه الدراسة. تم تحديد الوزن النوعي للبودرة فكان 1.64 وهو اقل وزن نوعي مقارنة بالاوزان النوعية لباقي انواع البودرة المستخدمة.

2-3-4 الاسمنت البورتلاندي

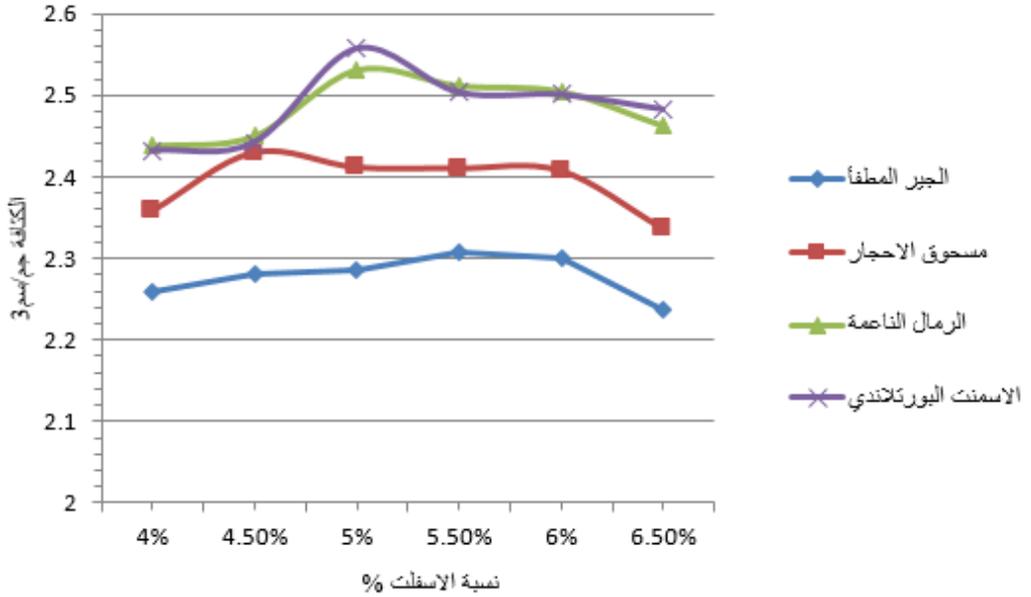
الاسمنت البورتلاندي هو عبارة عن اسمنت سيليكات الكالسيوم مصنوع من مجموعة من الكالسيوم والسيليكون والالمونيوم والحديد. يعطي الاسمنت البورتلاندي عند استخدامه كمادة مألثة في الخلطات الاسفلتية تشغيلية و قوي شد عالية [7]. تم اختبار الوزن النوعي للاسمنت البورتلاندي فكان مساويا 2.69 وهو اعلي وزن نوعي مقارنة بالاوزان النوعية لباقي انواع البودرة المستخدمة.

3. إعداد عينات مارشال

إختبار مارشال هو ابسط انواع الاختبارات واكثرها انتشارا لتحديد نسبة الاسفلت المثلي و قياس اداء الخلطة الاسفلتية. تم اعداد عينات من المخلوط الاسفلتي لاختبارها بواسطة جهاز مارشال وتشتمل هذه العينات علي نسبة مختلفة من الرابط الاسفلتي (4% , 4.5% , 5% , 5.5% , 6% , 6.5%) ونسبة ثابتة من الركام والبودرة. تم تحضير 18 عينة لكل نوع من انواع البودرة وبالتالي كان عدد العينات الكلي هو 72 عينة. تم تحديد كثافة المخلوط الاسفلتي, حجم الفراغات في المخلوط (VTM), الفراغات المملوءة بالاسفلت (VFB), قيمة الثبات لمارشال, قيمة الانسياب لمارشال و بالتالي نسبة الاسفلت المثلي وهي كما موضحة لاحقا.

3-1 كثافة المخلوط الاسفلتي

تم تحديد الكثافة للمخلوط الاسفلتي لكل نوع من انواع البودرة كما هو موضح بالشكل رقم (1) حيث نلاحظ ان جميع العينات اعطت قيم كثافة جيدة غير ان المخلوط الاسفلتي الذي يحتوي علي الاسمنت البورتلاندي اعطي اعلي كثافة مقارنة بالانواع الاخرى وكانت اعلي كثافة عند نسبة اسفلت 5 % وهي 2.56 جم/سم³. كما نلاحظ ايضا ان الاتربة الناعمة اعطت قيم مرتفعة للكثافة عند نسبة اسفلت 5 % وكانت 2.535 جم/سم³. اما المخلوط الاسفلتي الذي يحتوي علي مسحوق الاحجار فكانت اعلي كثافة هي 2.425 جم/سم³ عند نسبة اسفلت 4.5 % من الوزن الكلي للمخلوط الاسفلتي. بينما نلاحظ ان المخلوط الاسفلتي الذي يحتوي علي الجير المطفأ اعطي اقل كثافة مقارنة بالانواع الاخرى وكانت اعلي كثافة هي 2.31 جم/سم³ عند نسبة اسفلت تساوي 5.7% من الوزن الكلي للعينة.



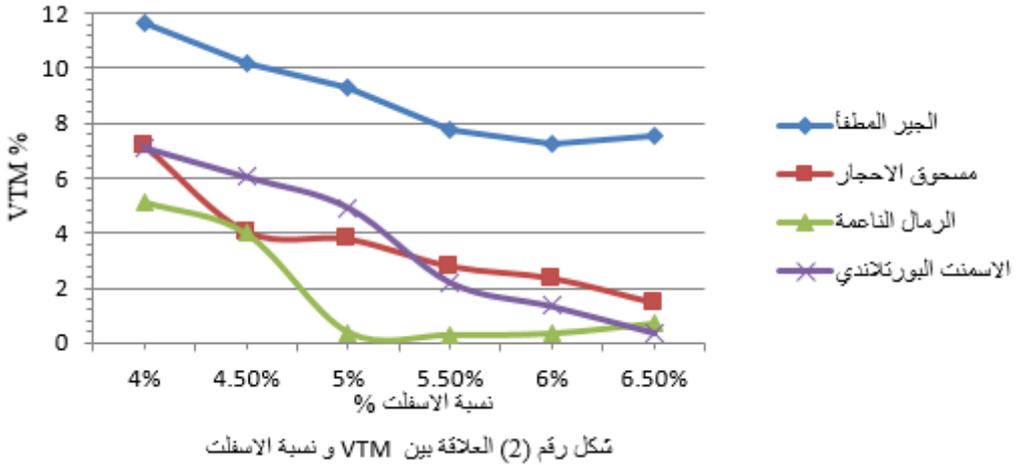
شكل رقم 1 العلاقة بين كثافة المخلوط الاسفلتي و نسبة الاسفلت

3-2 نسبة الفراغات الهوائية بالمخلوط الاسفلتي (VTM)

نسبة الفراغات الهوائية في المخلوط الاسفلتي هي نسب الفراغات في المخلوط المدموك وهي احد اهم الخصائص التي تؤثر علي اداء الاسفلت تحت تأثير احمال المرور. يعمل المخلوط بشكل جيد عندما تكون هناك نسبة كافية من الفراغات مما يسمح بالدمك الاضافي تحت تأثير احمال المرور بعد فتح الطريق للخدمة [6].

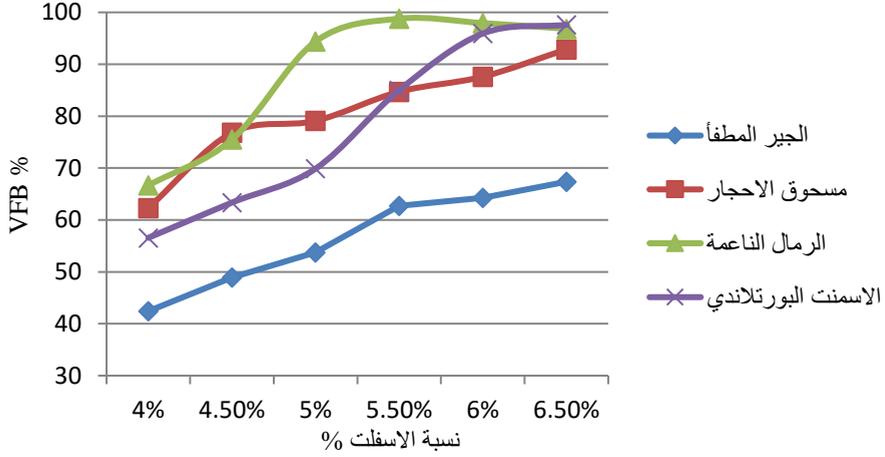
تم حساب نسبة الفراغات الهوائية للانواع الاربعة من المخلوط الاسفلتي والتي تحوي الجير المطفأ، مسحوق الاحجار، الرمال الناعمة و الاسمنت البورتلاندي كمادة مائه كما هو مبين بالشكل رقم (2). من الشكل نلاحظ ان المخلوط الاسفلتي الذي يحتوي علي الجير المطفأ به اعلي نسبة فراغات هوائية والتي تتعدي نسبة الفراغات الهوائية المسموح بها حسب المواصفات القياسية الليبية (3-5%) لان الجيرالمطفأ لديه شرايه لامتصاص الاسفلت مما يؤدي الي زيادة نسبة الفراغات الهوائية، وتبدأ هذه النسبة في التناقص مع زيادة نسبة الاسفلت التي تملأ هذه الفراغات. كما نلاحظ ان نسبة الفراغات الهوائية للمخلوط الاسفلتي المحتوي علي مسحوق الاحجار و المخلوط الاسفلتي المحتوي علي الاسمنت

البورتلاندي هي ضمن الحدود المسموح بها. نسبة الفراغات الهوائية للمخلوط الاسفلتي المحتوي علي الرمال الناعمة هي اقل من النسبة المسموح بها عند نسب اسفلت اعلي من 5%.



3-3 نسبة الفراغات المملوءة بالاسفلت بالمخلوط الاسفلتي (VFB)

وهي نسبة الفراغات بين حبيبات الركام المملوءة بالاسفلت وتزداد هذه القيمة مع زيادة نسبة الاسفلت في العينة. وتتص اغلب المواصفات علي ان تكون نسبة الفراغات المملوءة بالاسفلت ما بين (65% - 85%). يبين الشكل رقم (3) ان نسبة الفراغات المملوءة بالاسفلت تزداد مع زيادة نسبة الاسفلت وهو ما يتوافق مع المعرفة والخبرة الهندسية. كما نلاحظ ان المخلوط الاسفلتي المحتوي علي الجير المطفأ يحتوي علي اقل نسبة فراغات مملوءة بالاسفلت بسبب شراة الجير المطفأ لامتصاص الاسفلت وبالتالي فهو خارج حدود المواصفات. كما ان المخلوط الاسفلتي المحتوي علي الرمال الناعمة يحتوي علي اعلي نسبة فراغات مملوءة بالاسفلت وهو ايضا خارج حدود المواصفات. اما المخلوط الاسفلتي المحتوي علي اسمنت بورتلاندي و المخلوط الاسفلتي المحتوي علي مسحوق الاحجار فيحتوي علي نسبة فراغات مملوءة بالاسفلت ضمن حدود المواصفات القياسية لان هذه الانواع من البودرة لها القدرة علي التغلغل داخل مسامات الركام مما يقلل من امتصاصه للاسفلت وبالتالي يملأ الاسفلت الفراغات بين حبيبات الركام.



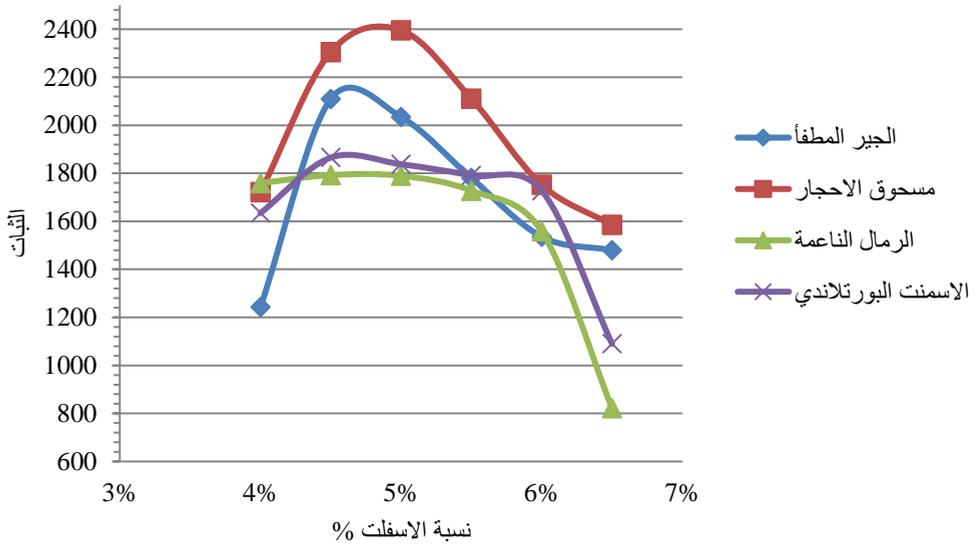
شكل رقم (3) العلاقة بين VFB و نسبة الاسفلت

3-4 ثبات مارشال

تعتبر تجربة مارشال من الطرق المستخدمة في ليبيا لتصميم الخلطات الاسفلتية الساخنة حيث يتم فيها قياس ثبات وانسياب مارشال. الثبات و الانسياب هما مقاييس لتوقع أداء المخلوط الاسفلتي. الثبات هو مقياس الحمل الاقصى المسلط علي العينة وبمعدل تحميل 50.8 مم/ دقيقة.

من خلال نتائج اختبار مارشال نلاحظ ان جميع انواع الخلطات الاسفلتية المستخدمة في هذه الدراسة والتي تحوي انواع مختلفة من البودرة اعطت ثبات عالي (حسب المواصفات القياسية الليبية والتي تنص علي ان لا يقل ثبات مارشال عن 600 كجم) كما هو ملاحظ في الشكل رقم (4).

كما يبين الشكل ان الخلطة الاسفلتية مع مسحوق الاحجار كمادة مألثة اعطت اعلي قيم ثبات وكانت اعلي قيمة هي 2396 كجم عند نسبة اسفلت 5%. يأتي المخلوط الاسفلتي المحتوي علي الجير المطفأ كثاني افضل مخلوط من حيث الثبات حيث بلغت قيمة الثبات القصوي 2160 كجم عند نسبة اسفلت 4.57 % يليه المخلوط الاسفلتي المحتوي علي الاسمنت البورتلاندي حيث بلغت قيمة الثبات القصوي 1880 كجم عند نسبة اسفلت 4.5%. كما نلاحظ ان المخلوط الاسفلتي المحتوي علي الرمال الناعمة اعطي اقل قيم ثبات مقارنة بباقي الانواع حيث كانت اقصي قيمة للثبات 1800 كجم عند نسبة اسفلت 5%.

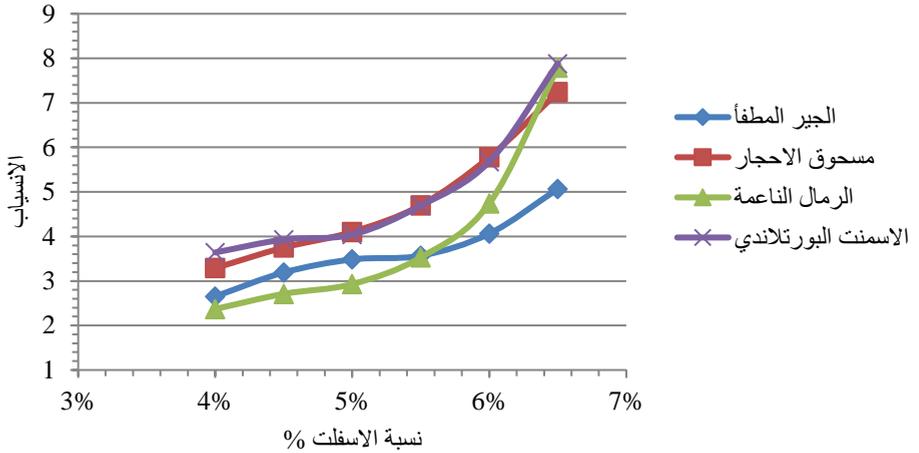


الشكل رقم (4) العلاقة بين نسبة الاسفلت والثبات لعينات مارشال

3-5 انسياب مارشال

كما نوهنا سابقا، الثبات هو اقصي حمل تتحمله عينة المخلوط الاسفلتي. والانسياب هو مقياس التشوه المرن الحاصل نتيجة هذا الحمل. تم قياس الانسياب لعينات المخلوط الاسفلتي وكانت النتائج كما هي موضحة بالشكل رقم (5).

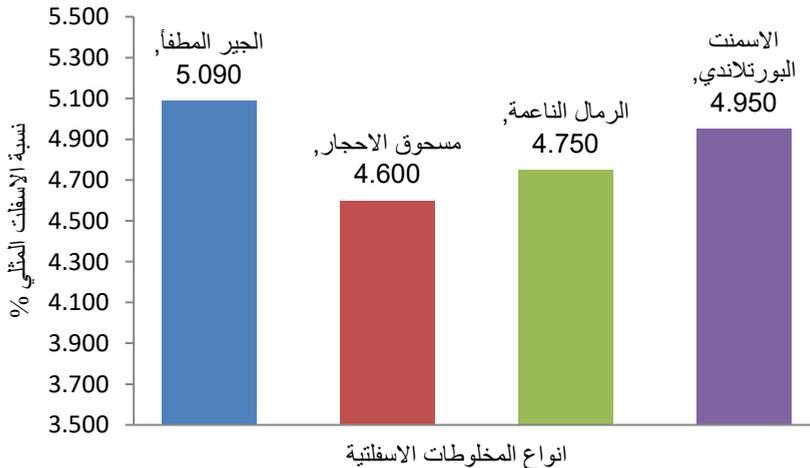
من خلال الشكل نلاحظ ان قيمة الانسياب تزداد طرديا مع زيادة الاسفلت وان قيم الانسياب للمخلوط الاسفلتي المحتوي علي مسحوق الاحجار و المخلوط المحتوي علي الاسمنت البورتلاندي تتجاوز القيمة العليا المسموح بها حسب المواصفات القياسية الليبية (2-4 مم) عند نسب اسفلت اعلي من 5%. كما يبين الشكل ان المخلوط المحتوي علي الجير المطفأ و المخلوط المحتوي علي الرمال الناعمة له قيم انسياب ضمن حدود المواصفات عند نسب اسفلت اقل من 6%، و 5.8% لمخلوط الجير المطفأ و مخلوط الرمال الناعمة علي التوالي.



شكل رقم (5) العلاقة بين نسبة الاسفلت والانسياب لعينات مارشال

3-6 نسبة الاسفلت المثلي

تعتبر عملية تحديد نسبة الاسفلت المثلي هي الالم في عملية تصميم الخلطات الاسفلتية نظرا للتأثير الكبير للاسفلت علي خواص الخلطة الاسفلتية وعلي التكلفة الاقتصادية للانشاء. تم تحديد نسبة الاسفلت لكل نوع من الخلطات الاسفلتية المستخدمة في هذه الدراسة وكانت النتائج كما هي موضحة بالشكل رقم (6) حيث نلاحظ نسبة الاسفلت المثلي للمخلوط المحتوي علي مسحوق الاحجار كمادة مائنة هي 4.6% وهي اقل النسب. بينما كانت نسبة الاسفلت المثلي هي 4.75, 4.95 و 5.09 للمخلوط المحتوي علي الرمال الناعمة و الاسمنت البورتلاندي و الجبر المطفأ كمواد مائنة علي التوالي.



شكل رقم (6) نسبة الاسفلت المثلي لكل نوع من الخلطات المستخدمة

4. الاستنتاجات

من خلال التجارب المعملية التي اجريت في هذه الدراسة نستنتج التالي:

- 1- استخدام الاسمنت البورتلاندي كمادة مألثة انتج مخلوط اسفلتي به اعلي كثافة مقارنة بالانواع الاخرى المستخدمة في هذه الدراسة وكانت نسبة الفراغات الهوائية والفراغات المملوءة بالاسفلت ضمن حدود المواصفات. كما استنتجنا ان استخدامه كمادة مألثة يعطي قيم ثبات عالية واستقرار ضمن حدود المواصفات عند نسبة الاسفلت المثلي (4.95%).
- 2- كانت نتائج الاختبارات للمخلوط الاسفلتي المحتوي علي مسحوق الاحجار ضمن حدود المواصفات حيث اعطت نتائج الاختبارات قيم كثافة عالية و كانت نسبة الفراغات الهوائية و الفراغات المملوءة بالاسفلت عند نسبة الاسفلت المثلي (4.6%) ضمن حدود المواصفات. كما اظهرت نتائج مارشال ان استخدام مسحوق الاحجار كمادة مألثة يعطي اعلي ثبات مقارنة بالانواع الاخرة من البودرة المستخدمة في هذه الدراسة, كما اظهرت ان الانسياب لهذا النوع هو ضمن المواصفات القياسية عند نسبة الاسفلت المثلي.
- 3- اظهرت النتائج ان المخلوط الاسفلتي المحتوي علي الجير المطفأ اعطي اقل كثافة مقارنة بباقي الخلطات المستخدمة في هذه الدراسة. كما ان نسبة الفراغات الهوائية و الفراغات المملوءة بالاسفلت هي خارج حدود المواصفات. كما اظهرت نتائج اختبار مارشال ان الثبات والاستقرار هما ضمن حدود المواصفات القياسية.
- 4- المخلوط الاسفلتي المحتوي علي الرمال الناعمة اعطي كثافة عالية, و نسبة فراغات هوائية وفراغات مملوءة بالاسفلت خارج حدود المواصفات عند نسبة الاسفلت المثلي (4.75%). وكانت نتائج ثبات وانسياب مارشال ضمن حدود المواصفات القياسية.

5- التوصيات

من خلال هذه الدراسة والاستنتاجات التي توصلنا اليها نوصي بالاتي:

- 1- استمرار الدراسة لتحديد افضل انواع البودرة لاستخدامها كمادة مألثة في الخلطات الاسفلتية لتعطي خلطة تضمن اداء جيد للطريق خلال العمر التصميمي له وذلك باستخدام انواع اخري من البودرة.
- 2- اجراء المزيد من الاختبارات علي هذه الانواع من البودرة لاختيار الافضل منها.
- 3- استخدام نسب مختلفة من البودرة عند نسبة البيتومين المثلي لدراسة تأثير هذه النسب علي خواص الخلطات الاسفلتية.

4- اجراء الدراسات علي هذه الانواع باستخدام طريقة السوبريفيف وذلك لتوقع الاداء المستقبلي للخلطات الاسفلتية.

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.

نمذجة تأثير درجة حرارة الدمك على معاملات تصميم مارشال للخلطات الإسفلتية الساخنة والمحسنة

مسعود فكرون¹، حامد القاسي²، محمد يوسف³

^{3,1} جامعة سبها، براك الشاطي، ليبيا

²ديوان المحاسبة الليبي، براك الشاطي، ليبيا

¹mas.fakroun@sebhau.edu.ly, ³algassi78@gmail.com, ²moha.yussef@sebhau.edu.ly

المخلص

يمكن أن تسبب الخرسانة الإسفلتية مشاكل كبيرة في حالة استخدام درجة حرارة دمك غير مناسبة. عادة ما يفقد الخليط الأسفلتدرجة حرارته أثناء النقل وعند وضعه ليتم دمكه. تتحكم درجة الحرارة في لزوجة خليط الأسفلت مما يؤثر على قدرتها على تغليف وتوفير تزييت مناسب لحبيبات الركام وإنزلاقها مع بعضها البعض وتكوين كتلة كثيفة أثناء الدمك. الغرض من هذه الدراسة هو تحديد تأثير درجة حرارة الدمك على خصائص مارشال للخرسانة الإسفلتية العادية والمحسنة. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو نمذجة تأثير تغير درجة حرارة الخلط و الدمك على الخلطات الإسفلتية الساخنة، والمعدلة المضاف لها مادة المطاط الناتج من مخلفات إطارات المركبات التالفه Crumb Rubber Modified Asphalts، وايضا المضاف اليها المادة المصنعة 400 / ITERLENE IN كمادة سائلة محسنة. تم إجراء فحص معاملات تصميم مارشال ل 90 عينة مايعنى 30 عينة لكل خلطة بتباين لدرجة حرارة الخلط لكل ثلاث عينات يبدأ من ° 115 و بتدرج مقداره ° 5 و ينتهى عند ° 160. في هذه الدراسة، تم استخدام ثلاثة أنواع مختلفة من رابط الأسفلت: البيتومين البكر 70/60، البيتومين 70/60 المضاف اليه نسبة 0.4 % من ITERLENE 400 / IN، و البيتومين 70/60 المضاف اليه نسبة 15 % من مادة المطاط الناتج من مخلفات إطارات المركبات التالفه Crumb Rubber وذلك من وزن محتوى البيتومين البكر فى الخلطة الاسفلتية و الذى أخذ نسبة ثابتة 5% لجميع العينات. تم استخدام نتائج اختبار مارشال لتطوير نماذج المنطق الضبابى Fuzzy Logic لتقدير المعاملات الحجمية والميكانيكية للخلطات الأسفلتية وفقاً لتباين درجة حرارة الدمك. أظهرت النماذج التي تم تطويرها تقديرات مقبولة لمعاملات تصميم مارشال مقارنة بالنتائج المعملية ويمكن تحسينها للتحكم فى درجة حرارة الدمك فى الموقع.

الكلمات المفتاحية: الخلطات الإسفلتية الساخنة، درجة حرارة الخلط، 400 / ITERLENE IN، المطاط الناتج من مخلفات الإطارات، المنطق الضبابى.

المقدمة

أحد أكثر أنواع الخلطات الإسفلتية التقليدية في ليبيا وحول العالم هو "Hot Mix Asphalt" (HMA). إن تحديد الخصائص الحجمية والفيزيائية لعينات HMA له أهمية حيوية لجودة أداء الطرق المشيدة. درجة حرارة الدمك هي واحدة من العوامل التي يمكن أن تغير الخصائص الحجمية والفيزيائية لعينات HMA،

حيث تعتبر عامل رئيسي في التحكم في لزوجة البيتومين ، مما يؤثر على قدرتها على تغليف وتوفير التشحيم المناسب لحبيبات الركام وإنزلاقها مع بعضها البعض[1]. كذلك استخدم الباحث (Saedi, H.) (2012) أسفلت بدرجة غرز 70/60 لتجهيز عدة عينات اسفلتية تحت درجات حرارة دمك مختلفة عند 85°، 100°، 115°، 130°، 145°، 160° لنوعين من الخلطات الإسفلتية حسب تدرج الركام المستخدم واحدة للطبقة الرابطة و الأخرى كطبقة حماية. تشير هذه الدراسة إلى أن قيمة الارتباط العالية (R2) فوق (0.9) ، أن هناك علاقة قوية بين المعلمات المختلفة لعينات مارشال ودرجة حرارة الدمك وأن درجة الحرارة المثلى التي تحقق متطلبات التصميم هي 145° و يذكر أيضاً أن خصائص مارشال تتغير بشكل كبير فوق 145 درجة مئوية وأقل من 115 درجة مئوية[2]. قام الباحث (Özgan, E., 2010) بدراسة ثبات الخرسانة الإسفلتية تحت تأثير التجميد والذوبان معملياً ، وتم نمذجة نتائج الاختبار المعملى باستخدام المنطق الضبابي والطرق الإحصائية. تم استخدام ما مجموعه 35 عينة من الأسفلت في هذه الدراسة. تم استخراج العينات من قسم من الطريق السريع الحكومي D100-11 في مدينة دوزجي ، تركيا. تم فحص الثبات معملياً باستخدام طريقة مارشال والموجات فوق الصوتية. تم تجميد عينات الأسفلت بقطر 10 سم بالتناوب (-20 درجة مئوية لمدة 16 ساعة) وتم إذابتها (16 درجة مئوية لمدة 8 ساعات) لمدة 5 و 10 و 15 و 20 و 25 و 30 دورة لمحاكاة ظروف الشتاء اليومية. سرعات الموجات فوق الصوتية الأولية قبل التجميد / الذوبان (x1) ، حجم الفراغات (x2) ، الكثافة المشبعة (x3) ، الكثافة الجافة (x4) ، نسبة البيتومين (x5) وعدد دورات الذوبان و التجميد (x6) كمدخلات ، وتم استخدام ثبات الخرسانة الإسفلتية وسرعة الموجات فوق الصوتية الثانية بعد دورات الذوبان والتجميد كمخرجات لنموذج المنطق الضبابي. أظهرت النتائج العملية والنموذج المنطقي الضبابي والنتائج الإحصائية ارتباطات جيدة. من أجل ثبات عينات الإسفلت ، كان معامل الارتباط $R2 = 0.88$ لنموذج المنطق الضبابي و $R2 = 1.0$ للطريقة الإحصائية [3].

المواد المستخدمة وتحضير العينات

يقدم هذا القسم معلومات مفصلة عن المواد المستخدمة وخصائصها. كما يسلط الضوء على الإجراءات المختبرية للفحوصات التي أجريت. الغرض الرئيسي من الدراسة هو توفير نظرة ثاقبة حول مساهمة تأثير التغير في درجة حرارة الدمك على المعاملات الحجمية والفيزيائية للخلطات الإسفلتية الساخنة التقليدية والمعدلة. بناءً على هذا الغرض، تم تحقيق الأهداف من خلال إجراء فحص مخبري. يشمل الفحص المخبري خصائص المواد وطريقة تصميم الخلطات والبرنامج التجريبي. تم إجراء جميع الاختبارات المقدمة في هذه الدراسة في مختبر الطرق بقسم الهندسة المدنية بجامعة سبها.

الركام

تم استخدام ركام الحجر الجيري الذي تم الحصول عليه من أحدهماجر المنطقة (جبل أبوشكاكا) لإعداد المزيج الاسفلتي الساخن. أجريت الفحوصات المخبرية لإيجاد وتقييم الخصائص الفيزيائية للركام لتحديد إمكانية استخدامه في المزيج الاسفلتي الساخنوكما هو موضح في الجدول رقم 1.

جدول 1: الخصائص الفيزيائية للركام

Properties	Standards	Test Value
Soundness (%)	AASHTO T-104	13.96
Crushing (%)	AASHTO T- 96	9.96
Absorption (%)	AASHTO T-84	1.30
Bulk Specific Gravity (g/cm ³)	AASHTO T-84	2. 65
Apparent Specific Gravity (g/cm ³)	AASHTO T-84	2.75
Flakiness index (%)	BS – 812	14.66
Elongation Index (%)	BS – 812	13.93

المادة المائنة أو البودرة

تم استخدام نوع واحد من البودرة وهو غبار الحجر الجيري الذي يمر من غربال 0.075 ملمتر. كمية البودرة المستخدمة 1.20٪ من محتوى الأسفلت.

المادة الرابطة الإسفلتية

تم اختبار الخصائص الفيزيائية للرابط الإسفلتي المورد من مصفاة الزاوية بدرجة غرز(60-70). وفقاً للمواصفات الليبية الإصدار رقم 1-أبريل 2016 [19] و ASTM و AASHTO وكما موضح في الجدول رقم (2). محتوى الرابط المستخدم في هذه الدراسة هو 5% من وزن الخليط الكلي.

جدول 2: الخصائص الفيزيائية للرابط الإسفلتي

Property	Conditions	Test	Asphalt Used
Specific Gravity	Pycnometer, 25°C	ASTM D-70	1.028
Penetration, 0.1 mm	25 °C , 100g, 5 Sec	AASHTO T-49	67
Flash Point, °C	Open Cup	AASHTO T-78	278
Ductility, cm	25 °C, 50 mm/min	AASHTO T-51	>100
Softening Point, °C	Ring and Ball	AASHTO T-53	56

مضاف مطاط الاطارات التالفة (CRM) crumb rubber modifier

هو البيتومين المعدل بفتات المطاط (CRM) الذي يتم إنتاجه عن طريق مزج البيتومين الخام مع فتات المطاط الناتج من الإطارات التالفة في درجات الحرارة المرتفعة، وآلية التفاعل بين هاتين المادتين عبارة عن نشر المذيبات العضوية (البيتومين) داخل شبكة البوليمير (المطاط)، وعند إضافة المطاط إلى البيتومين الساخن فإن محتوى الزيت العطر (aromatic oil) من البيتومين ينتشر داخل المطاط فيؤدي إلى حدوث زيادة في حجمه وبالتالي انخفاض المحتوى الزيتي، إن انخفاض المحتوى الزيتي يزيد من لزوجة البيتومين ويشكل طبقة سميكة حول الحصى في مزيج الخلائط البيتومينية الإسفلتية (HMA) وإن زيادة سماكة هذه الطبقة يعطي رصف أكثر ديمومة ومقاوم للشيخوخة والتخدد وتشققات التعب. استخدمت هذه الدراسة قطع الإطارات التالفة بعد تجميدها باستخدام النيتروجين السائل وسحقها بطريقة (Cryogenic) للحصول على مسحوق ناعم عابر من منخل رقم 30 ذو حجم 0.6 ملليمتر [4]. تم إضافة ما يعادل 15% من وزن المادة الرابطة الإسفلتية من مضاف مطاط الاطارات التالفة CRM إلى الخلطة الإسفلتية.

مادة / INTERLENE IN 400

تم اختيار anti-stripping agent كعامل مضاد لانفصام الركام عن الطبقات الإسفلتية agent بسبب عوامل التعرية المناخية التي تتعرض لها شبكات الطرق في المناطق القاحلة او الصحراوية. تم تطوير Iterlene IN400 من قبل شركة IterchimicaSrl الإيطالية لمقاومة عوامل الرطوبة ولضمان التصاق البيتومين التام بالركام. تعمل المواد المبتكرة على تعديل التركيب الكيميائي للبيتومين مما يطيل من عمر خدمة الرصيف ويسمح بالحصول على أفضل قابلية للمشغولية والدمك والمحافظة على رطوبة الرصف أو تقليل التقادم والمقاومة الميكانيكية العالية. تختلف جرعة INTERLENE IN / 400 من 0.2% إلى 0.4% من وزن البيتومين (سواء الطبيعي أو المعدل) ، وفقاً للطبيعة الصخرية للركام وظروف التشغيل (درجة الحرارة ، نوع الخليط الذي سيتم إنتاجه ، إلخ). تم إضافة ما يعادل 0.4% من وزن المادة الرابطة الإسفلتية من مضاف INTERLENE IN / 400 إلى الخلطة الإسفلتية.

إعداد العينات

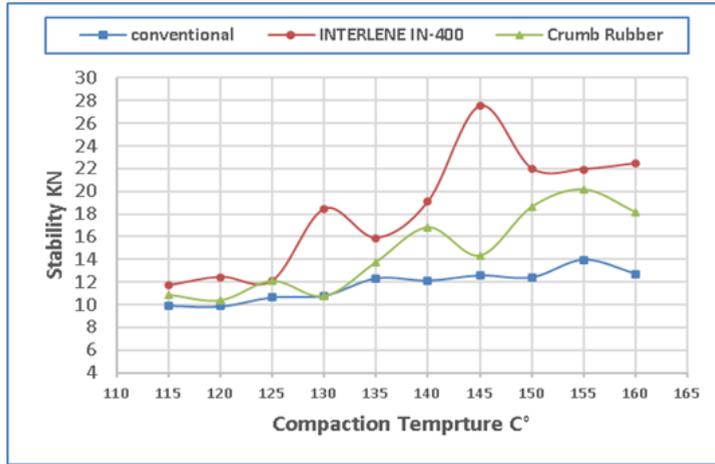
الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو نمذجة تأثير تغير درجة حرارة الخلط على ثلاث أنواع من الخلطات الإسفلتية الساخنة وهي (الخلطات الإسفلتية الساخنة الإعتيادية، والمعدلة المضاف لها مادة المطاط الناتج من مخلفات إطارات المركبات التالفة Crumb Rubber Modified، وايضا المضاف اليها المادة المصنعة INTERLENE IN / 400 كمادة سائلة محسنة). استخدمت نماذج مارشال الأسطوانية في هذا

الفحص التي أبعادها 101.6 ملم للقطر و 63.5 ملم للارتفاع . تم إجراء فحص معاملات تصميم مارشال لعدد 90 عينة مما يعنى 30 عينة لكل خلطة بتباين لدرجة حرارة الدمك كل ثلاث عينات يبدأ من 115 ° و بتدرج مقداره 5 ° و ينتهى عند 160. تم دمك العينات ب 75 ضربة لكل وجه من العينة باستخدام مطرقة مارشال الميكانيكية، فحصت الثباتية والانسياب وفقاً لطريقة الفحص الموضحة بالمواصفة ASTM- 1559 -D باستخدام جهاز مارشال لحساب الثباتية والانسياب.

نتائج تأثير درجة حرارة الدمك على معاملات مارشال للخلطات الإسفلتية

العلاقة بين درجة حرارة الدمك وثبات مارشال Marshall Stability

يُعرف ثبات مارشال بأنه الحمل الأقصى الذي تحمله عينة مضغوطة تم اختبارها عند 60 درجة مئوية بمعدل تحميل 51 مم / دقيقة، وهو مؤشر المقاومة ضد تشوه أو تشكل Deformation الخرسانة الإسفلتية. لتقييم مقاومة تشوه العينات المختبرة، يتم حساب قيم ثبات مارشال. تشير القيمة الأعلى لثبات مارشال إلى خليط أكثر صلابة، وبالتالي، تشير إلى أن الخليط من المحتمل أن يكون أكثر مقاومة لتشوهات التحدد Rutting والزحف أو الإزاحة. Shoving تمت دراسة قيمة ثبات مارشال كدالة لدرجة حرارة الدمكوتم رسم هذه العلاقة كما هو موضح في الشكل رقم 1.



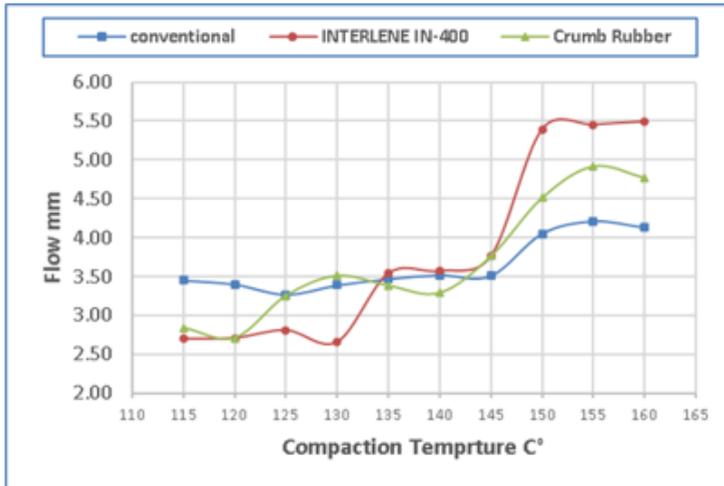
شكل (1) يوضح العلاقة بين درجة حرارة الدمك وثبات مارشال

نلاحظ مع انخفاض درجة حرارة الدمك من (145 درجة مئوية إلى 140 درجة مئوية) تتخفف قيم الثبات بشكل حاد، ومع ارتفاع درجة حرارة الدمك من (145 درجة مئوية إلى 150 درجة مئوية) تتخفف قيم الثبات تدريجياً وذلك للخلطة المضاف إليها المادة المصنعة INTERLENE IN / 400 حيث تظهر أن درجة حرارة الدمك عند 145 درجة مئوية هي درجة حرارة الدمك المثلى. بالنسبة إلى الخلطة المضاف إليها مادة CRM نلاحظ إنه من درجة حرارة الدمك (145 درجة مئوية إلى 155 درجة مئوية) ترتفع قيم الثبات أيضاً

بشكل حاد حيث تظهر أن درجة حرارة الدمك عند 155 درجة مئوية هي درجة حرارة الدمك المثلى. أما بالنسبة للخطة الإعتيادية فنلاحظ أن قيم الثبات ترتفع بشكل تدريجي و إن درجة حرارة الدمك المثلى هي 155 درجة مئوية. نلاحظ أن درجات الحرارة المثلى مرتفعة قليلاً وعليه تكون لزوجة البيتومين منخفضة مما يؤدي إلى تزييت جيد لحبيبات الركام وهذا يؤدي إلى تشابك أفضل أثناء الدمك وتقليل محتوى الفراغات الهوائية وفي النهاية الحصول على ثبات عالي. بشكل عام يمكن ملاحظة أن الخطة المضاف إليها مادة ITERLENE IN400 / أكثر صلابة stiffness مقارنة بباقي الخلطات وهذا يرجع إلى خاصية قوة الالتصاق بين البيتومين والركام. حسب معايير المواصفات الليبية، يجب أن تكون قيمة ثبات مارشال أكبر من 8 كيلو نيوتن ونلاحظ أن قيم ثبات مارشال لجميع الخلطات من درجة حرارة الدمك 115 درجة مئوية إلى 160 درجة مئوية تحقق هذه المتطلبات.

العلاقة بين درجة حرارة الدمك والإنسياب

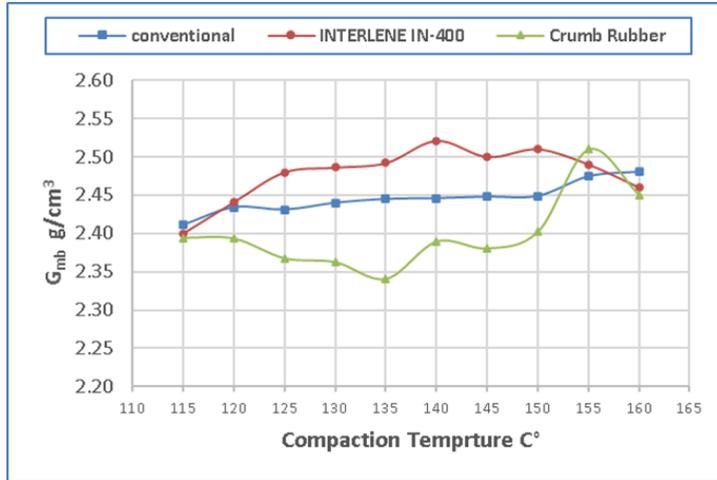
لمعرفة تأثير درجات حرارة الدمك المختلفة على قيم الإنسياب تم رسم الشكل 2 أدناه. يتضح أن قيمة الإنسياب هي متقاربة لدرجات حرارة الدمك التي تتراوح بين (115 إلى 140 درجة مئوية)، ثم مع ارتفاع درجة حرارة الدمك من (145 درجة مئوية إلى 160 درجة مئوية)، تزداد قيم الإنسياب مع تباين واضح بين الخلطات ويعزى ذلك إلى إنخفاض لزوجة البيتومين وتأثير المواد المضافة. وفقاً إلى معايير المواصفات الليبية ، يجب أن تكون قيمة الإنسياب ضمن النطاق (2.0 مم - 5.3 مم) وحيث نلاحظ أن قيم الإنسياب حسب هذه المتطلبات تتوافق عند درجة حرارة الدمك 115 درجة مئوية إلى 140 درجة مئوية.



شكل (2) يوضح العلاقة بين درجة حرارة الدمك والإنسياب

العلاقة بين درجة حرارة الدمك والكثافة الظاهرية (Gmb)

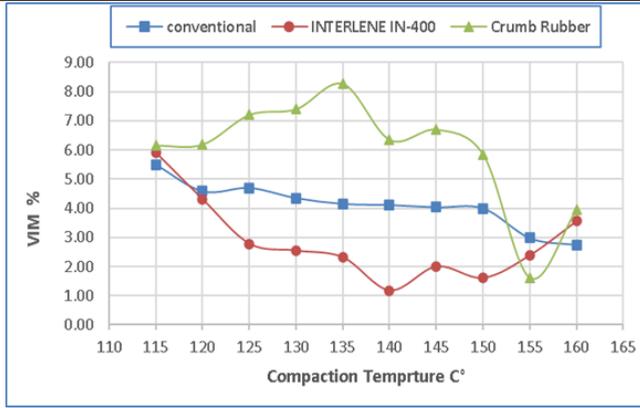
تم رسم العلاقة بين درجة حرارة الدمك والكثافة في الشكل 3 أدناه. لقد وجد أنه عند درجة حرارة الدمك من (120 درجة مئوية إلى 150 درجة مئوية) ثبات قيم الكثافة بشكل ملحوظ للخلطة الإعتيادية. هذا يعكس أن الخلطة الأسفلتية أكثر قابلية للتشغيل أو المشغولية بسبب اللزوجة المناسبة للأسفلت الذي يشحم جزيئات الركام جيداً عند هذا النطاق من درجة الحرارة. وبالمقابل انخفاض الكثافة بالنسبة للخلطة المضاف لها مادة CRM عند هذا النطاق من درجة الحرارة بسبب ارتفاع لزوجة الإسفلت وعدم التغلغل في الفراغات مع زيادة محتوى الإسفلت الفعال الذي لا يمتصه الركام. أما بالنسبة لإرتفاع كثافة الخلطة المضاف إليها مادة TERLENE IN / 400 فيرجع ذلك لإنخفاض اللزوجة و قابلية أكثر لإمتصاص الركام مع التغلغل في الفراغات.



شكل (3) يوضح العلاقة بين درجة حرارة الدمك والكثافة الجافة

العلاقة بين درجة حرارة الدمك و الفراغات الهوائية (VIM)

يوضح الشكل 4 نتائج الفراغات الهوائية للخلطات. تتوافق هذه النتائج مع نتائج الكثافة حيث تؤدي الزيادة في الكثافة إلى انخفاض الفراغات الهوائية. الفراغات الكلية في الخلطة هي المؤشر الذي يشير إلى مسامية الخليط. بشكل عام ، كانت العينات التي تم إجراؤها باستخدام الخلطة الاعتيادية تحتوي تقريباً على نفس محتوى الفراغات الهوائية على مدى واسع جداً من درجات حرارة الدمك (120-150 درجة مئوية).

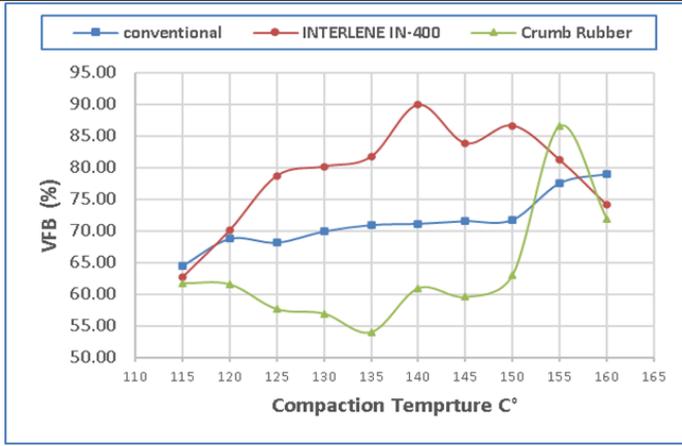


شكل (4) يوضح العلاقة بين درجة حرارة الدمك والفراغات الهوائية

لذلك ، وفقاً إلى معايير المواصفات الليبية ، يجب أن تكون قيمة الفراغات الهوائية ضمن النطاق (3.0% - 5.0%) وحيث نلاحظ أن قيم الفراغات الهوائية حسب هذه المتطلبات تتوافق عند درجة حرارة الدمك 120 درجة مئوية إلى 155 درجة مئوية. ومع ذلك ، في حالة خلطة ال 400 / INTERLENE IN ، انخفضت محتويات الفراغات الهوائية بشكل ملحوظ مع زيادة درجة حرارة الدمك عند 140 درجة مئوية ودرجات الحرارة التي تحقق متطلبات المواصفات هي 120 و 160 درجة مئوية. في المقابل نلاحظ زيادة حجم الفراغات بالنسبة للخلطة المضاف لها مادة CRM مع زيادة درجة حرارة الدمك و الوصول للذروة عند 135 درجة مئوية ودرجات الحرارة التي تحقق متطلبات المواصفات هي درجات الحرارة المرتفعة عند 160 درجة مئوية.

العلاقة بين درجة حرارة الدمك والفراغات المملوءة بالبيتومين (VFB)

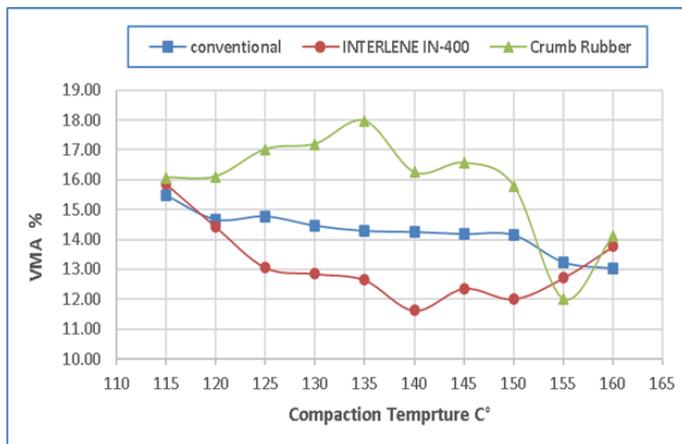
من الشكل 5 أدناه، أنه مع إرتفاع درجة حرارة الدمك، ترتفع قيم VFB بالنسبة للخلطة الإعتيادية بشكل تدريجي أما المضاف لها مادة TERLENE IN / 400 ترتفع قيم VFB بشكل حاد عند درجة حرارة الذروة 140 درجة مئوية. في المقابل تظهر الخلطة المضاف لها مادة CRM إنخفاض تدريجي في قيم VFB عند 135 درجة مئوية وتعاود بالإرتفاع بشكل حاد عند درجات الحرارة العالية. وفقاً إلى معايير المواصفات الليبية ، يجب أن تكون قيمة الفراغات المملوءة بالبيتومين ضمن النطاق (70% - 80%) وحيث نلاحظ أن قيم VFB حسب هذه المتطلبات تتوافق عند درجات حرارة الدمك المرتفعة 150 درجة مئوية إلى 160 درجة مئوية بالنسبة للخلطات الإعتيادية و المضاف لها مادة CRM. أما بالنسبة للخلطة المضاف لها مادة INTERLENE IN / 400 فإن هذه المتطلبات تتحقق عند درجات حرارة الدمك المنخفضة من 120 درجة مئوية إلى 135 درجة مئوية.



شكل (5) يوضح العلاقة بين درجة حرارة الدمك والفراغات المملوءة بالبيتومين

العلاقة بين درجة حرارة الدمك والفراغات في الركام المعدني (VMA)

يوضح الشكل 6 أدناه، أنه مع إرتفاع درجة حرارة الدمك، تتخفف قيم VMA بالنسبة للخلطات الإعتيادية و المضاف لها مادة الINTERLENE IN / 400 والعكس صحيح بالنسبة للخلطة المضاف لها مادة CRM حتى منطقة الذروة عند 135 درجة مئوية وتعاود بالإنخفاض . وفقاً إلى معايير المواصفات الليبية ، يجب أن تكون الفراغات في الركام المعدني ضمن النطاق (14% - 18%) وحيث نلاحظ أن قيم VMA حسب هذه المتطلبات تتوافق عند درجات حرارة الدمك من 115 درجة مئوية إلى 150 درجة مئوية بالنسبة للخلطات الإعتيادية و المضاف لها مادة CRM. أما بالنسبة للخلطة المضاف لها مادة الINTERLENE IN / 400 فإن هذه المتطلبات تتحقق عند درجات حرارة الدمك المنخفضة من 115 إلى 120 درجة مئوية والعالية عند 160 درجة مئوية.



شكل (6) يوضح العلاقة بين درجة حرارة الدمك والفراغات في الركام المعدني

نموذج المنطق الضبابي FUZZY LOGIC

تم تطوير نظرية الفئات الضبابية أو المجموعة الضبابية Fuzzy Sets بواسطة لطفى زاده في عام 1965 للتعامل مع عدم الدقة imprecision وعدم اليقين uncertainty اللذين غالبًا ما يكونان حاضرين في تطبيقات العالم الحقيقي [21]. في عام 1974 ممداني [22] Mamdani، من خلال تطبيق نظريات زاده للنهج اللغوي linguistic approach والاستدلال الغامض أو الضبابي fuzzy inference، نجح في استخدام قاعدة "IF-THEN" في التحكم التلقائي في التشغيل لمولد البخار. يحتاج فقط إلى تعيين طريقة تحكم بسيطة بناءً على الخبرة الهندسية. لذلك، فهي مفيدة بشكل خاص في الأنظمة الهندسية المعقدة.

الإستدلال الغامض هو تحويل لتمثيل مدخلات معينة إلى مخرجات باستخدام نظرية الفئات الضبابية. تتضمن العملية الرئيسية لنظام الاستدلال الغامض (FIS) أربعة أنشطة تسمى التغميض، وقوانين القاعدة الضبابية، ومحرك الاستدلال الغامض، وإزالة التغميض.

- التغميض Fuzzi fication : يقوم بتحويل كل بيانات الإدخال إلى درجات عضوية Degree of Membership عن طريق البحث في واحدة أو أكثر من دوال العضوية Function (MFs) المتعددة.
- قوانين القاعدة الضبابية Fuzzy rule base : تحتوي على قواعد تتضمن كل العلاقات الغامضة الممكنة بين المدخلات والمخرجات باستخدام القاعدة IF-THEN.
- محرك الاستدلال الضبابي : Fuzzy Interference Engine يجمع كل القوانين الضبابية في قاعدة القوانين الضبابية ويتعلم كيفية تحويل مجموعة من المدخلات إلى المخرجات ذات الصلة.
- إزالة التغميض Defuzzification: يحول النواتج الضبابية الناتجة من محرك الاستدلال الضبابي إلى أرقام.

هناك نوعان من نظام الإستدلال الضبابي FIS التي يمكن تنفيذها في صندوق أدوات نظام الإستدلال الضبابي في برنامج ماتلاب: Mamdani و Sugeno. طريقة Mamdani هي المنهجية الضبابية الأكثر شيوعاً وتتوقع أن تكون دوال العضوية MFs الناتجة مجموعات ضبابية. بعد عملية التجميع aggregation، هناك مجموعة ضبابية لكل متغير ناتج يحتاج إلى إزالة التغميض. في هذه الورقة تم إختيار نموذج المنطق الضبابي من نوع Mamdani لتتبدؤ بتأثير درجات حرارة الدمك على معاملات تصميم مارشال للخرسانة الإسفلتية الساخنة و المحسنة.

لقد تم تعريف كل من معاملات الإدخال (Compaction Temperature) ومعلمات الإخراج (Stability, Flow, VMA, VIM, Gmb, VFA) لنموذج المنطق الضبابي بثلاث دوال عضوية على أنها "منخفضة"، "متوسطة"، "عالية". تم تطوير 3 نماذج Fuzzy Logic FL منفصلة لكل نوع خلطة على حدى. وبالتالي، تم تقدير قيم كل معلمة بدقة أعلى. تم تنفيذ الخطوات التالية أثناء تطوير نماذج FL:

التغميض Fuzzification

في البداية، تم تغميض معاملات الإدخال والإخراج لكل نوع خلطة من الخلطات الإسفلتية. من أجل تطوير أبسط النماذج، تم تقسيم معاملات الإدخال والمخرجات إلى 3 مجموعات ضبابية مثل "low" و "medium" و "high" وتم استخدام دوال العضوية المثلثية Triangular Membership Function لتحديدها. أيضًا، يؤدي استخدام 3 مجموعات ضبابية إلى تحديد قوانين القاعدة بأقل عدد من القوانين. تم التحقق من دقة التجانس في وظائف العضوية بطريقة التجربة والخطأ والحصول على نتائج مبدئياً مقبولة. يتم تحديد دالة العضوية المثلثية بثلاث نقاط حرجة، وهي نقطة البداية (a) والذروة (b) والنهاية (c). تتوافق النقطتان a و c مع قيمة دالة العضوية البالغة 0، بينما تقابل b قيمة 1.

منحنى المثلث هو دالة لمتجه x، ويعتمد على ثلاث معاملات عددية a، b، c، كما هو موضح في المعادلة رقم (1):

$$f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (1)$$

تحدد المعلمات a و c موقع "أقدام" المثلث ويحدد المعامل b موقع القمة. يوضح الشكل 7 الكود العام للنماذج ودوال العضوية لمعاملات الإدخال والإخراج المستخدمة في نموذج المنطق الضبابي لكل نوع خلطة إسفلتية.

إنشاء قوانين القاعدة الضبابية Fuzzy rule base

تم تشكيل القوانين باستخدام النتائج العملية لهذه الدراسة والخبرات من الدراسات السابقة. من أجل إنشاء قوانين القاعدة الأولية ، تم رسم العلاقة بين درجة حرارة الدمك و معاملات مارشال التي تُظهر تغيير قيم المخرجات وفقاً للتغيير في قيم الإدخال حسب الأشكال من 1 الى 6. باستخدام هذه العلاقات، تم تكوين القواعد من مدخل واحد وستة معلمات إخراج. تم تعريف القواعد التي تحدد العلاقة بين معلمات الإدخال والإخراج على النحو التالي:

قوانين القاعدة الضبابية للخلطة الإسفلتية الإعتيادية

1. If (Compaction_Temperture is low) then (Stability is low)(Flow is low)(Gmb is low)(VIM is high)(VFB is low)(VMA is high)
2. 1. If (Compaction_Temperture is low) then (Stability is low)(Flow is low)(Gmb is low)(VIM is high)(VFB is low)(VMA is high)
3. If (Compaction_Temperture is high) then (Stability is high) (Flow is high) (Gmb is high)(VIM is low)(VFB is high)(VMA is low)

قوانين القاعدة الضبابية للخلطة الإسفلتية المضاف إليها مادة INTERLENE_IN400

1. If (Compaction_Temperture is low) then (Stability is low) (Flow is low) (Gmb is low) (VIM is high) (VFB is low) (VMA is high)
2. If (Compaction_Temperture is medium) then (Stability is medium) (Flow is medium) (Gmb is medium) (VIM is medium) (VFB is medium) (VMA is medium)
3. If (Compaction_Temperture is high) then (Stability is high) (Flow is high) (Gmb is high) (VIM is low) (VFB is high)(VMA is low)

قوانين القاعدة الضبابية للخلطة الإسفلتية المضاف إليها مادة (CRM)

1. If (Compaction_Temperture is low) then (Stability is low) (Flow is low)(Gmb is medium)(VIM is medium)(VFB is low)(VMA is medium)

2. If (Compaction_Temperture is medium) then (Stability is medium) (Flow is medium) (Gmb is low) (VIM is high) (VFB is low) (VMA is high)
3. If (Compaction_Temperture is high) then (Stability is high) (Flow is high) (Gmb is high) (VIM is low) (VFB is high)(VMA is low)

إزالة التغميض Defuzzification

كل قيمة من المدخلات والمخرجات تنشط واحدة أو أكثر من قوانين قاعدة القوانين. يتم الحصول على رسومات مختلفة لدوال العضوية من خلال تراكب دوال الإخراج النشطة. في عملية إزالة التغميض، يتم استخراج قيمة واحدة من الرسومات التي تم الحصول عليها. يمكن استخدام عدد من الطرق في إزالة التغميض. تم تفضيل طريقة مركز الثقل center of gravity في هذه الدراسة لبساطتها. في هذه الطريقة، يتم أخذ الحد الأقصى لمركز ثقل الشكل الذي تم الحصول عليه كقيمة للإخراج. حيث يتم تحديد هذه القيمة على النحو التالي:

$$\bar{x}_0(A) = \frac{\int_a^c x \mu_A(x) dx}{\int_a^c \mu_A(x) dx} \quad (2)$$

حيث (A, x_0^-) ، يمثل إسقاط الشكل A أو مركز الثقل على المحور الأفقي، ويمثل a و c الحد الأقصى لنقطتي البداية والنهاية للشكل على التوالي، ويمثل μ_A بدالة العضوية لـ A .

مقارنة النتائج التجريبية والمنطق الضبابي

في هذه الدراسة، من أجل قياس ومقارنة أداء النماذج المطورة وتقييم إمكانية التنبؤ بنموذج المنطق الضبابي FL تم استخدام بعض المعادلات الإحصائية. المعادلة (3) هو معامل الارتباط (R^2) ، والمعادلة (4) هو الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ $(RMSE)$ ، والمعادلة (5) هو معامل كفاءة نموذج ناش-ساتكليف (NSE) أو بمسمى آخر معامل كفاءة المحاكاة (COE) .

$$R^2 = \left(\frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \right)^2 \quad (3)$$

حيث:

r = معامل الارتباط

n = رقم في مجموعة البيانات المحددة

x = المتغير الأول في السياق

y = المتغير الثاني

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_{i(m)} - Y_{i(p)})^2} \quad (4)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [(x_m)_i - (x_p)_i]^2}{\sum_{i=1}^n [(x_m)_i - (\bar{X})]^2} \quad (5)$$

في المعادلة 4 و5، تشير m و p و N و X^- إلى البيانات المقاسة (المعملية) والمتوقعة (الضبابية) والسياق والمتوسط على التوالي.

يوضح الجدول رقم 3 معامل الارتباط (R^2) بين درجة حرارة الدمك و معاملات مارشال المعملية ولكل نموذج FL تم تطويره بنتائج الاختبار. كما يوضح الجدول رقم 4 مقارنة نتائج كل نموذج تم تطويره مع نتائج الاختبار باستخدام الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ ($RMSE$) ومعامل كفاءة نموذج ناش-ساتكليف (NSE).

وفقاً للجدول رقم 3، يُلاحظ أن هناك علاقة قوية بين درجة حرارة الدمك و معاملات مارشال لكلا النموذجين الرياضى و الضبابى للخلطة الإعتيادية. أيضاً نلاحظ وجود علاقة قوية بين درجة حرارة الدمك و معاملات مارشال بالنسبة للنموذج الضبابى مع علاقة ضعيفة بين درجة حرارة الدمك و الخصائص الحجمية للنموذج الرياضى وذلك للخلطة المضاف لها مادة INTERLENE_IN400. بالإضافة الى ذلك أيضاً وجود علاقة قوية بين درجة حرارة الدمك و الخصائص الميكانيكية (الثبات و الإنسياب) لكلا النموذجين الضبابى والرياضى مع علاقة ضعيفة بين درجة حرارة الدمك و الخصائص الحجمية لكلا النموذجين وذلك للخلطة المضاف لها مادة CRM.

جدول 3: مقارنة العلاقة بين درجة حرارة الدمك ومعاملات مارشال للعلاقة الرياضية ونموذج FL

المعاملات	معامل الارتباط	الخلطة الإعتيادية	الخلطة المضاف إليها مادة INTERLENE_IN400	الخلطة المضاف إليها مادة (CRM)
Stability	للنتائج العملية	0.851	0.712	0.834
	FL	0.898	0.909	0.913
Flow	للنتائج العملية	0.723	0.860	0.869
	FL	0.579	0.929	0.927
Gmb	للنتائج العملية	0.870	0.320	0.364
	FL	0.896	0.92	0.207
VIM	للنتائج العملية	0.870	0.320	0.364
	FL	0.906	0.929	0.211
VFB	للنتائج العملية	0.859	0.297	0.361
	FL	0.918	0.929	0.737
VMA	للنتائج العملية	0.870	0.320	0.364
	FL	0.888	0.935	0.208

جدول 4: مقارنة أداء النماذج الضبابية بالنتائج التجريبية

المعاملات	معايير الأداء	الخلطة الإعتيادية	الخلطة المضاف إليها مادة INTERLENE_IN400	الخلطة المضاف إليها مادة (CRM)
Stability	RMSE	0.795	3.641	1.959
	NSE	0.614	0.474	0.674
Flow	RMSE	0.457	0.660	0.287
	NSE	-0.919	0.663	0.851
Gmb	RMSE	0.008	0.660	0.035
	NSE	0.825	-0.028	0.426
VIM	RMSE	0.274	1.349	1.191
	NSE	0.868	-0.027	0.566
VFB	RMSE	1.336	7.581	5.527
	NSE	0.889	0.013	0.620
VMA	RMSE	0.214	1.240	1.093
	NSE	0.9	-0.084	0.544

وفقاً للجدول 4، فإن أداء النموذج الضبابي للخطة المضاف لها مادة CRM هو الأدنى في التنبؤ مقارنة بالنماذج الأخرى من حيث قيم RMSE و NSE. يشير الجدول رقم 4 أيضاً إلى فشل النموذج الضبابي بالتنبؤ بالنتائج المعملية لحجم الفراغات المملوءة بالبيتومين. بالإضافة إلى ذلك تشير القيم السالبة لكفاءة ناتش NSE أن تنبؤ متوسط نتائج الإختبار أفضل من التنبؤ بالنموذج الضبابي.

الخلاصة

تم القيام بتقييم تأثير درجة حرارة الدمك على الخلطات الإسفلتية الساخنة العادية و المحسنة والذي غطى محورين، المحور الأول هو إختبار و تحديد تأثير درجة حرارة الدمك على خصائص مارشال للخرسانة الإسفلتية، المحور الثاني كان تطوير نماذج بطريقة المنطق الضبابي إعتماًداً على النتائج المعملية وقد تم فحص قابليتها للتنبؤ بتأثير درجة حرارة الدمك على خصائص مارشال للخرسانة الإسفلتية. بعد ذلك تم استخدام معامل الارتباط (R2) لقياس قوة العلاقة بين درجة حرارة الدمك و معاملات مارشال ومعامل كفاءة نموذج ناش-ساتكليف (NSE) ومعيار الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ (RMSE) لمقارنة النتائج التجريبية مع النتائج المتوقعة بواسطة نموذج FL. مما تقدم يمكن استخلاص ما يلي:

- استناداً إلى هذه الدراسة فقد تبين لنا أن درجات حرارة الدمك المثلث عند نسبة حجم الفراغات الهوائية 4% للخلطات الإسفلتية الساخنة العادية (145 للنتائج الإختبارات، 133 للنموذج الضبابي) والمضاف إليها مادة INTERLENE_IN400 (121 للنتائج الإختبارات، 126 للنموذج الضبابي) و المضاف إليها مادة (CRM) كانت النتيجة متطابقة (152 لكلا الحالتين).
- تبين في هذه الدراسة هناك علاقة عكسية من ناحية الخصائص الحجمية بين سلوك الخلطات الإسفلتية المضاف إليها مادة INTERLENE_IN400 والخلطات الإسفلتية المضاف إليها مادة (CRM).
- أظهرت نتائج المقارنة أن مقدار الفرق RMSE بين النموذج الرياضي والنموذج الضبابي كان عالياً لقيم حجم الفراغات المملوءة بالبيتومين ويرجع ذلك إلى التباين الكبير بين هذه القيم.
- يمكن توقع القيم المتوسطة والمتطرفة للنتائج التجريبية بدقة مقبولة من خلال نهج النموذج الضبابي FL دون الحاجة إلى إجراء العديد من الاختبارات. لذلك يفضل نموذج FL الذي تم تقييمه، يمكننا التنبؤ والحصول على النتائج المطلوبة للحصول على معلومات حول تأثير درجة الدمك على خصائص المواد مع عينات أقل واختبارات أقل، دون قضاء الكثير من الوقت مع القليل من القوى العاملة.

التوصيات

بالنظر لما تم سرده من استنتاجات تتعلق بالدراسة تلاحظ أنه لا تزال هناك حاجة ماسة لإجراء المزيد من الدراسة والتحليل ، مع الأخذ في الاعتبار إضافة تأثير كثير من العوامل المهمة التي تشمل:

- قد يكون السبب الرئيسي لهذا الأداء المنخفض للنموذج الضبابي FL هو أن النموذج المطور يظل بسيطاً قدر الإمكان. على سبيل المثال، يمكن أن يؤدي التعبير عن كل قيمة من المدخلات والمخرجات بأكثر من 3 مجموعات ضبابية إلى زيادة أداء النموذج بشكل كبير.
- نوصي بإدخال متغيرات أخرى للنموذج كنسبة محتوى البيتومين والمواد المضافة والمواد المألثة.
- زيادة درجة حرارة الخلط الى 180 درجة مئوية بالنسبة للخلطة المضاف إليها مادة (CRM) والتي كانت خلال إجراء هذه الدراسة 160 درجة مئوية لجميع أنواع الخلطات.
- نوصى باستخدام أنواع وتدرجات مختلفة من الركام، لتصميم خلطات محسنة بالمواد المضافة المستخدمة في هذه الدراسة.
- في دراسات مستقبلية، يمكن تقييم النتائج ومقارنتها باستخدام طرق مثل الشبكات العصبية الاصطناعية، أنظمة الاستدلال العصبي الضبابي التكيفية، وسلاسل ماركوف، إلخ.

المراجع

1. ASTM. (2010). Standard practice for preparation of bituminous specimens using Marshall apparatus.
2. Saedi, H. (2012). Assessment of compaction temperatures on hot mix asphalt (HMA) vproperties. World Acad. Sci. Eng. Technol, 62, 197–201.
3. Özgan, E. (2010). Modelling the Stability of Asphalt Concrete with Fuzzy Logic and Statistical Methods for Various Freezing and Thawing Cycles. Mathematical and Computational Applications, 15(2), 176–186.
4. Asphalt Institute. (2014). MS-2 asphalt mix design methods. Asphalt Institute.

التغيرات في خواص الخرسانة عند تعرضها للتحميل المستمر والمتكرر مصاحباً للتغير في درجات التشبع بالرطوبة

د. ناجي امحمد صالح

قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة بني وليد، بني وليد، ليبيا

najisalah320@gmail.com

المخلص

كما هو معروف أن الخرسانة سواء كانت عادية او مسلحة فأنها تتعرض لظروف تحميل مختلفة اعتمادا على نوع المنشأ بالإضافة الى الظروف البيئية المختلفة من ارتفاع درجات الحرارة الى ارتفاع في معدلات الرطوبة النسبية الى درجة الغمر الكلي والجزئي بالمياه. واستنادا لما سلف قد تم اعداد برنامج عملي لإجراء دراسة لمعرفة تأثير ظروف التحميل المستمر والمتكرر (Continuous and frequent load) بالإضافة الى التغيير في معدلات درجة التشبع بالمياه في معدلات التشوه النسبية للخرسانة (Total relative deformations) ولأهمية هذه الدراسة استوجب القيام بتجارب معملية شملت تجهيز خلطة خرسانية واعداد مكعبات بأبعاد (150×150×150mm) لإيجاد مقاومة الخرسانة للخلطة الخرسانية واختبارها على فترات زمنية وفق الجدول بالبرنامج العملي وقد تم اعداد نماذج من الخرسانة مناشير وبعدهد (16) و بأبعاد (400× 100×100mm) وقد تم اخضاع هذه النماذج الى درجات تحميل من المستمر الى المتكرر علما بأن فترة التكرار للأحمال او لرفع درجة الرطوبة (14 يوم) ومقدار هذه الاحمال يمثل نسبة من قوة تحمل الخرسانة بالإضافة الى التغيير في ظروف التحميل من الطبيعية الى درجة التشبع بالماء علما بأن مدة الاختبار لكافة العينات استمرت (182 يوم) كما هو موضح بالجدول رقم (4,3). حيث اظهرت نتائج الاختبارات أن اكبر قيمة في معدل التغير النسبي الكلي (Total relative deformations) للنماذج تعتمد على قيمة التحميل وليس على معدل التغير في الظروف المحيطة وهذا الاستنتاج مرتبط بعدم ملاحظة الفارق في معدل التغير النسبي الكلي (Total relative deformations) في حالة اضافة المياه اليها أي رفع الرطوبة لدرجة للتشبع ومن تم سحب المياه منها بعد اسبوعين.

وعند تحليل المنحنى الكلي للتغير للخرسانة للنموذج ($M_F - PL_F - 0.4f_c/0$) والتي تم اضافة الماء اليها قبل عملية التحميل بـ (8 ايام) قبل اجراء التحميل الامر الذي أدى الى انتفاخ الخرسانة وبهذا نلاحظ بعد اجراء عملية التحميل أن معدل التغير (Deformations) بسيط بالإضافة الى حدوث التوازن الفيزيائي والكيميائي للخرسانة والنتائج من اضافة الماء اليها قبل التحميل وبهذا نلاحظ ان عملية تراكم الزحف بالخرسانة اقل من النماذج التي لم تتعرض للرطوبة قبل التحميل. كما نلاحظ أن تطور التغيرات الكلية للخرسانة للنماذج ($PL_F - M_F - 0.5f_c/0.2f_c$, $PL_F - M_F - 0.4f_c/0.2f_c$) توافق

في مستوى الاجتهادات في نصف دورة التحميل والذي يظهر ان المنحنى (2) اكثر تغيرات من المنحنى (3) وهذا ناتج عن الفرق في مستوى التحميل والذي نتج عنه اجتهادات اكبر كما يمكن مقارنة المنحنى رقم (4, 3) حيث ان مستوى التحميل متساوي مع ملاحظة الفرق في معدل التغيرات الكلية النسبية حيث يظهر ان المنحنى رقم (2) يعبر عن مستوى اعلى في معدل التغيرات لان هذا النموذج لم يتم اضافة المياه اليه قبل اجراء التحميل على عكس المنحنى رقم (4) والذي يعبر عن النموذج الذي تم اضافة المياه اليه قبل (8) ايام من اجراء عملية التحميل .وبهذا نصل لاستنتاج أن درجة الرطوبة ليس لها التأثير الكبير في عملية الزحف للخرسانة وخاصة في حالة ان تتم بعد ان تتعرض الانشاءات الخرسانية للتحميل مسبقا وبظروف طبيعية اما في حالة تعرض الانشاءات الخرسانية للرطوبة قبل التحميل فأنها تساعد في تقليل عملية الزحف بالخرسانة.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة، التحميل، التشبع بالرطوبة.

المقدمة

لحساب تأثير البيئة المحيطة على قدرة وعمل الانشاءات الخرسانية والخرسانية المسلحة في الوقت الحاضر اعطى اهتمام وذلك لما له من اهمية. وكما هو معروف ان الزيادة او النقصان في الرطوبة بالخرسانة تحصل عمليات معقدة ذات علاقة بالعمليات الكيميائية والفيزيائية وهذا التطور بهذه العمليات يمكن التحقق منها بنتائج اختبارات كيميائية وفيزيائية معملية دقيقة [1]. عند اجراء الدراسات لخواص الخرسانة في صورة نماذج تقارن بالأبعاد الحقيقية للإنشاءات والتطور في هذه العمليات ممكن الحكم عليها بدلائل غير مباشرة على سبيل المثال عن طريق تطور التغيرات (**Deformations**) بالخرسانة وتغير الخصائص الفيزيائية والكيميائية لها ولحل هذه المسائل وتوقع التشوهات بالخرسانة والخرسانة المسلحة للإنشاءات والتي تعمل في ظروف تأثير الرطوبة الطبيعية وتحت تأثير الاحمال الاكثر عمليا والاستفادة من تأثير الظروف المناخية المحيطة كمدخل لذلك [1,2] كما هو معروف بأن الخرسانة تتأثر بشكل مباشر بالظروف المناخية المحيطة وخاصة اثناء عمليات التحميل المختلفة حيث اوضحت العديد من الدراسات بأن الخرسانة يحدث بها بعض التغيرات (**Deformations**) وبصور مختلفة ومن ابرزها عملية الزحف (**Creep**) وتعتمد هذه التغيرات على مستويات التحميل وكذلك على نوع الظروف المحيطة من اختلاف درجات الحرارة والرطوبة النسبية الى عملية التشبع حسب الظروف المكانية للخرسانة وفي احدى هذه النتائج توضح أن التغيرات متواصلة بالخرسانة تحت تأثير الاحمال بالظروف الرطبة وفي أخرى نجدها بالظروف الجافة [4]. وفي الدراسة [5] نلاحظ ان التغيرات في الخرسانة للنماذج تحت تأثير الاحمال والرطوبة النسبية 100% او مغمورة في الماء بالمقارنة مع التغيرات التي كانت تحت ظروف الرطوبة النسبية 50% [4] ومن النتائج السابقة تبين أن الخرسانة تحت تأثير الاحمال وكذلك الرطوبة

النسبية العالية 100% او المغمورة في المياه يكون معدل التغير اقل ما يمكن في حين يزيد معدل التغير في حالة انخفاض نسبة الرطوبة او في الظروف الجافة. لذا استوجب ان تتم دراسة معدلات الغير في الخواص الخرسانية في حالة التحميل المستمر والمتكرر مصاحبا لظروف التغير في درجات الرطوبة النسبية من الطبيعية الى درجة التشبع بالماء .

البرنامج العملي

لتحقيق الهدف من هذه الدراسة تم اعداد برنامج عملي اشتمل على اعداد خلطة خرسانية وفق النسب المذكورة بالجدول (1) وقد تم تجهيز عدد من المكعبات لتحديد مقاومة الخرسانة اختبارها على فترات زمنية مختلفة وكانت النتائج كما هي بالجدول (2).

جدول (1) يوضح مكونات الخلطة الخرسانية

مكونات الخلطة الخرسانية	الاسمنت (كلجم)	الركام الخشن (كلجم)	الركام الناعم (كلجم)	الماء (لتر)	نسبة الماء للإسمنت W/C
	450	1020	510	225	0.5

جدول رقم (2) يوضح مقاومة الخرسة

عمر الخرسانة باليوم	7	21	28	60	100	120	180
عدد المكعبات	3	3	3	3	3	3	3
متوسط مقاومة الخرسانة Mpa	24	30.5	35.7	36.8	36.8	36.8	36

ولدراسة مدى تأثير الحمل المستمر والمتكرر (**Continuous and frequent load**) والتغير في ظروف الاختبار أي الاختبار بالظروف الطبيعية الى درجة التشبع (**From relative humidity to full saturation**) وقد كانت فترة تغيير الحمل وكذلك ظروف التحميل كل (14يوم) واستمر الاختبار لمدة (182 يوم) وتطلب اعداد عدد (18) منشور خرساني بأبعاد (400×100×100mm) وللحصول على درجة التشبع للخرسانة تم عمل مجال داخلي بمركز المنشور وبأبعاد (20×20mm) لاضافة المياه وكذلك فتحة جانبية لعملية تصريف المياه من الخرسانة في حالة العينات التي يتطلب تغير درجة الرطوبة بها وقد تم اعداد البرنامج العملي وفق الموضح بالجدول رقم (3,4) بحيث يتم تطبيق الحمل (**Compression load**) بطريقة آلية وكما هو موضح بالشكل رقم (1).

جدول رقم (3) يوضح البرنامج العملي لاختبار النماذج تحت تأثير ظروف التحميل المستمر مع التغير في درجات الرطوبة ودرجات الرطوبة

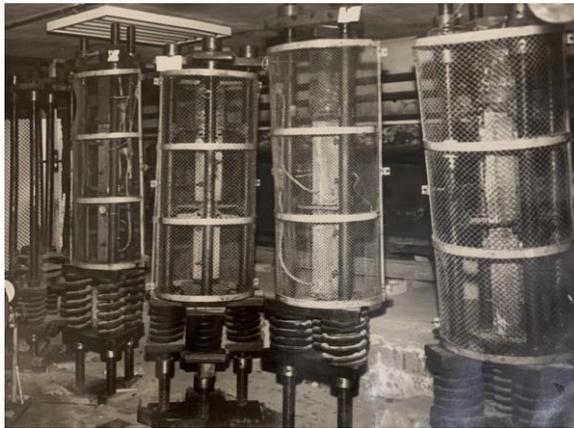
PL _C -M _C	PL _C -M _F	PL _C -M _C	PL _C -M _F	رمز نموذج الاختبار
0.3fc	0.3fc	0.5fc	0.6fc	الحمل
حمل ثابت	حمل ثابت	حمل ثابت	حمل ثابت	ظروف التحميل
التشبع	التشبع-الطبيعية	التشبع	التشبع-الطبيعية	درجة الرطوبة
مستمرة	14	مستمرة	14	فترة تكرار الرطوبة (يوم)
2	2	2	2	عدد العينات
182	182	182	182	مدة الاختبار (يوم)

P=Prism, L= Load, M – Moisture, L_C = Continuous load, L_F = frequent load,

M_C =Continuous moisture, M_F = frequent moisture.

جدول رقم (4) يوضح البرنامج العملي لاختبار النماذج تحت تأثير ظرف التحميل المتكرر مع التغير في ودرجات الرطوبة

PL _F -M _F	M _F -PL _F	PL _F -M _F	PL _F -M _F	رمز العينة
0.6f _c /0.2fc	0.4fc/0	0.4f _c /0.2fc	0.5f _c /0.2fc	الحمل
متكرر	متكرر	متكرر	متكرر	ظروف التحميل
الطبيعية- التشبع	التشبع-الطبيعية	التشبع-الطبيعية	التشبع-الطبيعية	درجة الرطوبة
14	14	14	14	فترة تكرار التحميل والرطوبة (يوم)
2	2	2	2	عدد العينات
182	182	182	182	مدة الاختبار (يوم)



شكل رقم (1) يوضح نماذج الاختبار واجهزة الاختبار

تحليل النتائج

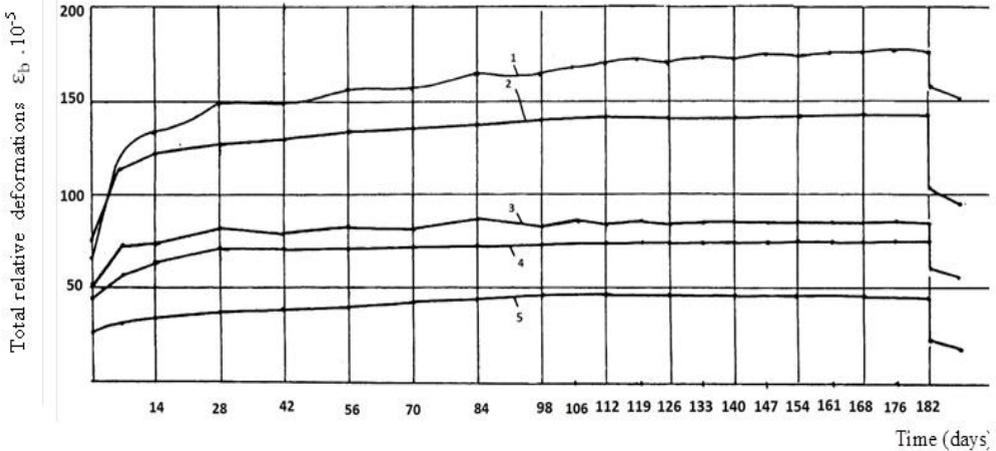
الشكل رقم (2) يوضح ان كافة النماذج قد خضعت لتحميل مستمر (**compression load** Continuous) دون أي تغير طيلة فترة الاختبار مصاحبا لذلك التغير في درجة الرطوبة من الاستمرار الى التكرار (**From normal relative humidity to full saturation**) وذلك حسب الجدول رقم (3) يمكن ملاحظة ان اكبر قيمة في معدل التغير النسبي الكلي (**Total relative deformations**) للنماذج تعتمد على قيمة التحميل وليس على معدل التغير في الظروف المحيطة وهذا الاستنتاج مرتبط بعدم ملاحظة الفارق في معدل التغير النسبي الكلي (**Total deformations relative**) في حالة اضافة المياه اليها أي رفع درجة الرطوبة للتشبع ومن تم سحب المياه منها بعد اسبوعين وبقيائها في الظروف الطبيعية لمدة اسبوعين حيث لم نلاحظ أي تغير يذكر نتيجة التشبع او حتى بعد سحب المياه منها وهذا يوشر على ان عملية التخلص من الرطوبة خلال اسبوعين غير ممكنة.

اشارة للاختبارات بالجدول رقم (4) لنماذج الاختبار ($PL_{FMF} - 0.6f_c/0.2f_c$, $PL_{FMF} - 0.5f_c/0.2f_c$, $M_FPL_F - 0.4f_c/0f_c$, $0.4f_c/0.2f_c$) والتي تم اختبارها بنظام تكرار التحميل وكذلك تغيير مستوى الرطوبة والهدف منها تحديد مدى تأثير التحميل المتكرر والمستمر وفي الظروف المشار اليها على معدل التغير النسبي الكلي للخرسانة (**Total relative deformations**) طيلة فترة الاختبار .

بالرجوع الى الشكل رقم (3) والذي يوضح ان اكبر معدل تغير (تشوهات) (**deformation**) كان في النموذج ($PL_{FMF} - 0.6f_c/0.2F_c$) واقل عملية تغير (**deformations**) كان في النموذج ($M_FPL_F - 0.4f_c/0f_c$) هذه النتائج تعتبر طبيعية وتتطابق مع ما تم التوصل اليه سابقا من ان التشبع بالرطوبة والاحمال يؤثر على الخرسانة في عملية الزحف (**Creep**) [3]. وكان هذا جليا في نصف فترة التحميل الاولى للنموذج ($PL_{FMF} - 0.6f_c/0.2F_c$) حيث لم يتعرض لعملية الترطيب قبل التحميل وبهذا اظهر معدل تغير نسبي كلى كبير ناتج عن التحميل في ظرف طبيعية للرطوبة بالنظر لهذه التغيرات الواضحة نستنتج ان التغيرات او التشوهات (**deformations**) بالخرسانة ليست خطية. كما لوحظ انه لم يحدث أي تغيير واضح في معدل التغير النسبي الكلي حتى بعد تغير درجة الرطوبة والتي تؤدي لانتفاخ الخرسانة وكأن النموذج لم تضاف اليه المياه. عند تحليل المنحنى الكلي للتغير للخرسانة للنموذج ($M_FPL_F - 0.4f_c/0$) والتي تم اضافة الماء اليها قبل عملية التحميل (8 ايام) قبل اجراء

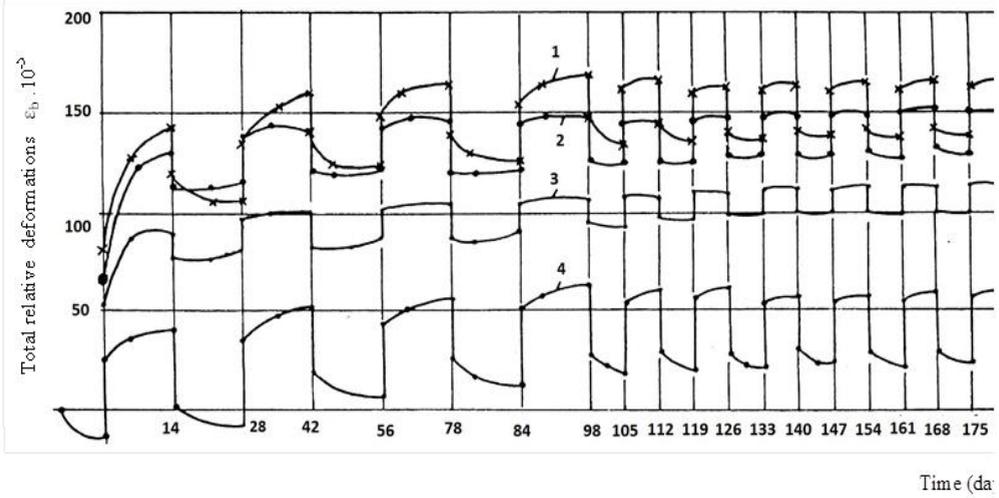
التحميل الامر الذي ادى الى انتفاخ الخرسانة وبهذا عند عملية التحميل نلاحظ ان معدل التغير بسيط بالإضافة الى التوازن الفيزيائي والكيميائي للخرسانة والنتاج من اضافة الماء قبل التحميل وبهذا نلاحظ ان عملية تراكم الزحف بالخرسانة اقل من النماذج التي لم تتعرض للرطوبة قبل التحميل .

إن تطور التغيرات الكلية للخرسانة للنماذج ($PL_{FMF} - 0.4f_c/0.2f_c$, $PL_{FMF} - 0.5f_c/0.2f_c$) يظهر توافق في مستوى الاجهادات في نصف دورة التحميل الاولى والذي يظهر ان المنحنى (2) اكثر تغيرات من المنحنى (3) وهذا ناتج عن الفرق في مستوى التحميل والذي نتج عنه اجهادات اكبر كما يمكن مقارنة المنحنى رقم (4, 3) حيث ان مستوى التحميل متساوي مع ملاحظة الفرق في معدل التغيرات الكلية النسبية حيث يظهر ان المنحنى رقم (2) يعبر عن مستوى اعلى في معدل التغيرات لان هذا النموذج لم يتم اضافة المياه اليه قبل اجراء التحميل على عكس المنحنى رقم (4) والذي يعبر عن النموذج الذي تم اضافة المياه اليه قبل (8) ايام من اجراء عملية التحميل .وبهذا نصل لاستنتاج أن درجة الرطوبة ليس لها التأثير الكبير في عملية الزحف للخرسانة وخاصة في حالة ان تتم بعد ان تتعرض الانشاءات الخرسانية للتحميل مسبقا وبظروف طبيعية اما في حالة تعرض الانشاءات الخرسانية للرطوبة قبل التحميل فإنها تساعد في تقليل عملية الزحف بالخرسانة.



شكل رقم (2) يوضح التشوهات الكلية النسبية للنماذج

$$1-PL-M_F-0.6f_c \text{ , } 2-PL_c-M_c-0.5f_c \text{ , } 3-PL_c-M_F-0.3f_c \text{ , } 4-PL_{FC}-M_c-0.3f_c$$



شكل رقم (3) يوضح التشوهات الكلية النسبية للنماذج

1-PL_F-M_F-0.6 f_c/0.2f_c , 2- PL_F-M_F-0.5 f_c/0.2f_c , 3- PL_F-M_F-0.4 f_c/0.2f_c , 4- M_F-PL_F-0.4 f_c/0

الخلاصة والتوصيات

- 1- ان تطور معدل التشوهات (**Total deformations**) بالخرسانة مثل الزحف (**Creep**) لوحظ انه يعتمد على درجة الرطوبة اثناء التحميل.
- 2- لوحظ انه تكرار تغيير الاعمال وكذلك تأثير درجات الرطوبة تؤثر على تطور معدل التشوهات الكلية للخرسانة وبالأخص الرطوبة اثناء عملية التحميل بالإضافة لمستوى التحميل.
- 3- اقترح أن يؤخذ في الاعتبار حساب علاقة تحديد التشوهات الكلية (**Total deformations**) للخرسانة في حال تغير مستويات التحميل وكذلك تغير في درجات الرطوبة.

المراجع

- 1- كlashنكوف يورى. "التغيرات بالخرسانة الخفيفة تحت تأثير مستويات مختلفة من التحميل المستمر وظروف الرطوبة المتغيرة" نيجب, 1986, ص126-136.
- 2- تشرنايا لوكيانفا "التأثير المشترك للأحمال والرطوبة على المقاومة والأزاحة للخرسانة المسلحة" ملخص بحث ,اوديسا 1991, ص 16.
- 3- سيربخ بابلوفتش "المقاومة والتغيرات بالخرسانة بأنواعها المختلفة في الانشاءات تحت تأثير الرطوبة" بحث ,موسكو 1986, ص 390 .

- 4- تسلاسانى زخارفتش "تأثير تغير الرطوبة المحيطة والاحمال على التشوهات المستديمة بالخرسانة" بحث، تبليسى، 1988، ص105.
- 5- بالوفيتس فلاديمير "تأثير درجة التشبع بالرطوبة على تكوين الخرسانة المحملة" , ابحاث معهد الدراسات والعمارة , كييف 1987 - رقم 11 , ص111-121 .

تأثير نوع الركام على مقاومة الضغط للخرسانة

د. صلاح الدين الساعدي محمد¹، جمعة فرج امحمد ابوفارس²

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

¹salahalsadey@gmail.com, ²jame.abufaris@gmail.com

الملخص

تم التحقيق من استخدام نوعين من الركام لعمل الخرسانة في هذه الورقة، يتم إنتاج الخرسانة العادية من أنواع مختلفة من الركام وهذا يضيفي خصائص مختلفة على الخرسانة الناتجة، أهم خصائص الخرسانة هي مقاومة الضغط. لغرض اكمال هذا العمل، تم استخدام نوعين من الركام الخشن ناتج عن تكسير الاحجار الجيرية وحصى الأودية. الركام الناعم عبارة عن رمل عادي يتم الحصول عليه من شاطي بحر مدينة زليتن.

ثم إجراء فحص مختبري أولي للتأكد من مدى ملاءمة استخدام الركام لأعمال البناء وتشمل الاختبارات التي أجريت التحليل المنخلي والامتصاص حيث تم اعتماد نسبة الخلط (2:1:1) لهذا العمل وتم حساب مكونات الخلطة لكل نوع من الركام الخشن 6 مكعبات (100 × 100 × 100 مم) تم صبها للسماح بمراقبة مقاومة الضغط في عمر 28 يوماً و9 عينات اسطوانية (100 × 200 مم). أظهرت نتيجة الاختبار أن الخرسانة المصنوعة من حصى الأودية تتمتع بأعلى قابلية تشغيل عنه في ركام الحجر الجيري المكسر ولوحظ أنه أعلى مقاومة للضغط مع الخرسانة المصنوعة من ركام حصى الأودية، لذلك يُنصح باستخدام ركام حصى الأودية في أعمال الخرسانة.

الكلمات المفتاحية: الركام، الخرسانة، قوة الضغط، الحصى.

المقدمة

تعتمد مقاومة الضغط للخرسانة على نسبة الماء إلى الإسمنت، والدمك، ونسبة الإسمنت إلى الركام، والارتباط بين العجينة الاسمنتية والركام، وشكل وقوة وحجم الركام (Rocco and Elices, 2009). تمت دراسة تأثير استخدام مسحوق الكوارتزيت والجرانيت المسحوق والحجر الجيري والرخام كركام خشن على الخواص الميكانيكية للخرسانة عالية الأداء (Yao, Chen, Wu and Zhang, 1997).

يؤثر شكل حبيبات وحيبيات الركام وقوام السطح الخاص بشكل كبير على الخرسانة الطازجة أكثر من تأثيرها على صفات الخرسانة المتصلبة حيث القوام الخشن وكثرة الزوايا والاستطالة في الحبيبات يحتاج الى ماء لإنتاج قابلية تشغيل في الخرسانة أكثر من الحبيبات الناعمة والمستديرة للركام، وبالتالي عندما تزيد نسبة الماء يجب ان تزيد نسبة الاسمنت للوصول الى نسبة الماء للإسمنت المرغوب بها، وبشكل

عام الحبيبات المسطحة والطويلة يجب تجنبها او يتم تحديدها بان لا تزيد عن 15% من الوزن الكلي للركام، بالإضافة الى الفراغات في الركام، لإن الفراغات الموجودة بين حبيبات الركام تحتاج الى كمية أكبر من الاسمنت لملئها والركام ذو الزوايا الكثيرة يزيد من حجم الفراغات الموجودة به، فاستخدام احجام أكبر من الركام المتدرج بالإضافة الى تحسين التدرج الحبيبي يقلل من حجم الفراغات الموجودة بالركام، ومن الخواص المهمة لركام الخرسانة هي: تدرج حبيباته للحصول على هيكل خرساني كثيف، بأن يكون التدرج مناسباً وذلك بتحديد نسبة الركام الناعم والركام الخشن في الخليط، بالإضافة الى ذلك يكون التدرج عاملاً مهماً في السيطرة على قابلية التشغيل للخرسانة الطرية^[1].

تشير هذه الورقة إلى نتيجة البحث الذي تم إجراؤه للتحقق من تأثير نوعين مختلفين من الركام الخشن على مقاومة الضغط للخرسانة العادية. تم اقتراح العديد من النماذج والتحقق من صحتها

المواد وطريقة العمل

المواد

الاسمنت: تم استخدام الاسمنت البورتلاندي العادي من نوع 1-1 صنف 42.5N المطابق للمواصفات الليبية القياسية^[2]. ويوضح الجدول (1) الخواص الكيميائية للإسمنت المستخدم.

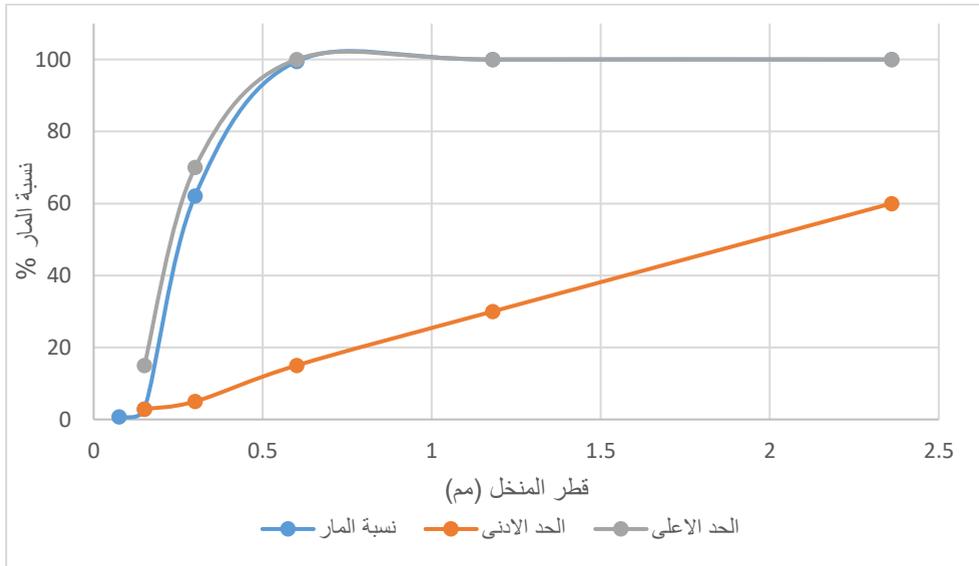
الجدول 1: الخواص الكيميائية للإسمنت البورتلاندي العادي

النسبة المئوية %	التركيب الكيميائي
0.3	الفاقد في الحرق
20.14	ثنائي أكسيد السيليكون
2.99	ثالث أكسيد الحديد
5.91	ثالث أكسيد الألومنيوم
62.9	أكسيد الكالسيوم
1.59	أكسيد الماغنسيوم
2.13	ثالث أكسيد الكبريت
0.19	أكسيد الصوديوم
0.97	أكسيد البوتاسيوم
2.40	أكسيد الكالسيوم الحر

الركام الناعم: تم استخدام رمل بحري يتم الحصول عليه من شواطئ مدينة زليتن في هذه الدراسة، ويقع التدرج الحبيبي ضمن المواصفات البريطانية كما موضح في الشكل (1) ويوضح الجدول (2) نتائج التحليل المنخلي للركام الناعم.

الجدول 2: التحليل المنخلي للركام الناعم وفق المواصفات البريطانية^[3]

حدود المواصفات البريطانية	النسبة المئوية للمار (%)	النسبة المئوية للمحجوز (%)	الوزن التراكمي للمحجوز (غم)	وزن المحجوز (غم)	قطر المنخل (مم)
100-60	100	0	0	0	2.36
100-30	100	0	0	0	1.18
100-15	99.4	0.56	2.8	2.8	0.600
70-5	62.14	37.86	189.3	196.5	0.300
15-2.92	2.92	97.08	485.4	286.1	0.150
-	0.74	99.26	496.3	10.9	0.075
-	0	100	500	3.7	الوعاء



الشكل 1: التدرج الحبيبي للركام الناعم وفق المواصفات البريطانية^[3]

الركام الخشن: تم استخدام نوعين من الركام الخشن في هذه الدراسة (ركام الحجر الجيري، حصى الوديان). ويوضح الجدول (3) خصائص الركام المستهدف في هذه الدراسة. ويوضح الشكل (2) نوعي الركام المستخدم في هذه الدراسة.

الجدول 3: خصائص الركام

الخاصية	معامل التهشيم %	معامل الصدم %	قدرة الامتصاص %
نوع الركام			
ركام الحجر الجيري	26.5%	30%	3.0%
ركام حصى الوديان	24.5%	29.5%	1.5%

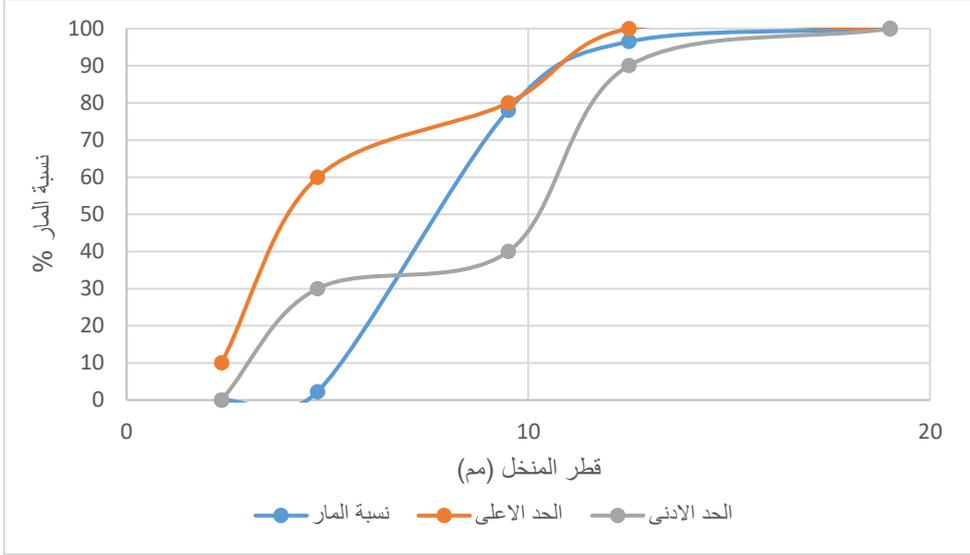


الشكل 2: نوعي الركام المستخدم في هذه الدراسة

ركام الحجر الجيري: يوضح الشكل (3) التدرج الحبيبي لركام الحجر الجيري والجدول (4) نتائج التحليل المنخلي وفقاً للمواصفات البريطانية^[6]

الجدول 4: التحليل المنخلي للركام الحجر الجيري وفق المواصفات البريطانية^[3]

حدود المواصفة البريطانية	النسبة المئوية للمار (%)	قطر المنخل (مم)
100	100	19
100-90	96.51	12.5
80-40	78.05	9.5
60-30	2.24	4.75
10-0	0.00	2.3
-	-	الوعاء



الشكل 3: التدرج الحبيبي لركام الحجر الجيري وفق المواصفات البريطانية^[3]

حصى الوديان: يوضح الشكل (4) التدرج الحبيبي لحصى الوديان والجدول (5) نتائج التحليل المنخلي وفقاً للمواصفات البريطانية^[3]

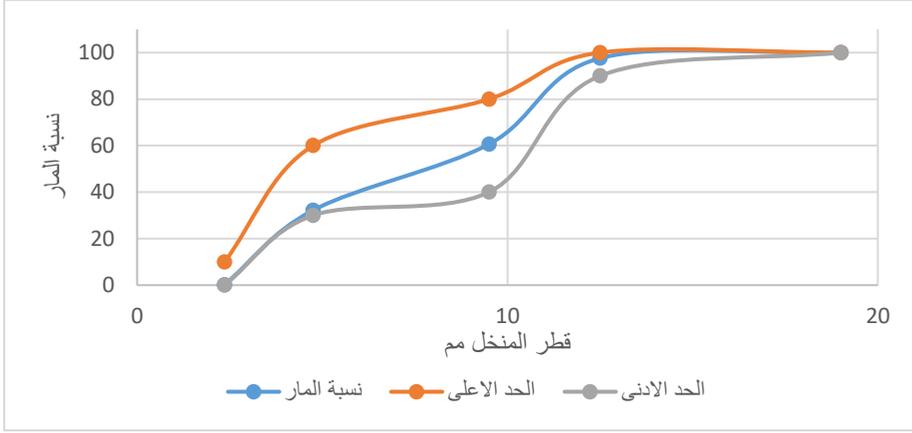
الجدول 5: التحليل المنخلي للركام حصى الوديان وفق المواصفات البريطانية^[3]

حدود المواصفة البريطانية	النسبة المئوية للمار (%)	قطر المنخل (مم)
100	100	19
100-90	97.6	12.5
80-40	60.6	9.5
60-30	32.2	4.75
10-0	0.2	2.3
-	-	الوعاء

ماء الخلط: تم استخدام ماء صالح للشرب خالي من المواد العضوية والملوثات مطابق للمواصفات الليبية القياسية^[4]، تم الحصول عليه من معمل كلية الهندسة المدنية بجامعة بني وليد.

الطريقة

تم تصميم الخلطات الخرسانية بنسب خلط 1:1:2 (أسمنت: رمل: ركام) ومحتوى الماء الى الاسمنت 45% وذلك لكل الخلطات الخرسانية المستخدمة لقياس مقاومة الخرسانة للضغط والانفلاق ويوضح الجدول (6) نسب الخلط للخرسانة.



الشكل 4: التدرج الحبيبي لركام الحجر الجيري وفق المواصفات البريطانية^[3]

الجدول 6: نسب خلط الخرسانة

نوع الركام	نسب الخلط	الاسمنت	الركام الناعم	الركام الخشن	المحتوى المائي %
ركام الحجر الجيري	1	1	1	2	45 %
ركام حصى الوديان	1	1	1	2	45 %

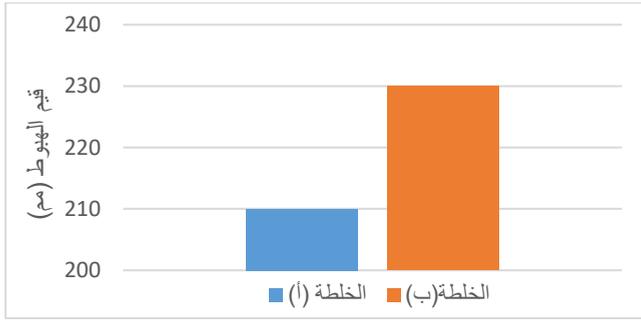
صب ومعالجة واختبار الخرسانة

تم تحضير 6 مكعبات مقاس (100*100*100 مم) لقياس مقاومة الخرسانة للضغط وفقاً للمواصفات البريطانية^[5] وتم أيضاً تحضير 9 أسطوانات مقاس (200*100 مم) لقياس مقاومة الخرسانة للضغط وفقاً للمواصفات الأمريكية^[6] ولقياس مقاومة الخرسانة للانفلاق وفقاً للمواصفات الأمريكية^[7]، تم اختبار مقاومة الخرسانة للضغط والانفلاق بعد 28 يوم من صب الخرسانة ومعالجتها بالغمر في الماء بعد 24 ساعة من الصب تحت ظروف المعمل في درجة حرارة 25 درجة مئوية.

النتائج والمناقشة

اختبار الهبوط للخرسانة الطازجة

الشكل (5) يبين قيم الهبوط للخلطات الخرسانية موضوع الدراسة ويتضح ان قوام ودرجة التشغيلية عالية جداً كما نلاحظ ايضاً ان قابلية التشغيل ازدادت في الخلط (ب) المستخدم بها ركام حصى الوديان عنه في الخلطة (أ) المستخدم بها ركام الحجر الجيري، ويوضح الشكل (6) اختبار الهبوط للخلطة (أ) والخلطة (ب) وفقاً للمواصفات الامريكية^[8]



الشكل 5: قيم اختبار الهبوط



الشكل 6: الهبوط للخلطة (أ) والخلطة (ب)

اختبار مقاومة الضغط للخرسانة

يوضح الجدول (7) نتائج اختبار مقاومة الضغط لمكعبات الخرسانة، ويوضح الجدول (8) نتائج اختبار الضغط للأسطوانات الخرسانية. ومن الشكل (7) والشكل (8) نلاحظ ان استخدام حصى الوديان كركام

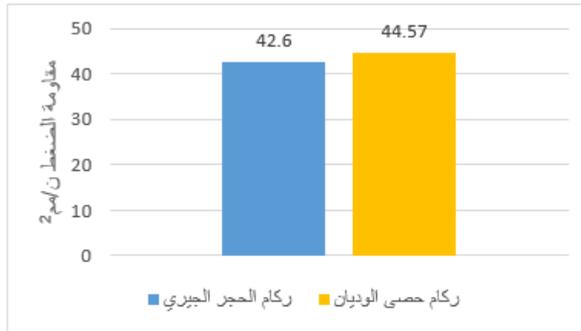
أدى الى زيادة طفيفة في مقاومة الخرسانة للضغط حيث ان الخرسانة التي تحتوي على حصى الوديان أظهرت نتائج اعلى من الخرسانة التي تحتوي على ركام الحجر الجيري.

جدول 7: نتائج اختبار الضغط لمكعبات الخرسانة

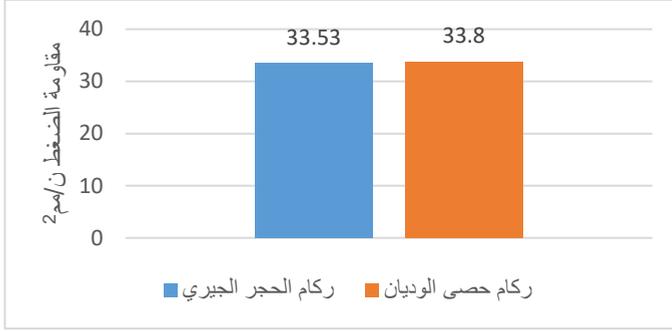
النوع الركام المستخدم	الحمل (KN)	مقاومة الضغط للمكعب (Mpa)	متوسط مقاومة الضغط للمكعبات (Mpa)
ركام الحجر الجيري	408.4	40.800	42.60
	452.5	45.300	
	417.5	41.700	
ركام حصى الوديان	431.2	43.100	44.57
	440.6	44.100	
	465	46.500	

جدول 8 : نتائج اختبار الضغط للعينات الاسطوانية

النوع الركام المستخدم	الحمل (KN)	مقاومة الضغط للأسطوانات (Mpa)	متوسط مقاومة الضغط للأسطوانات (Mpa)
ركام الحجر الجيري	265.8	33.8	33.53
	276.6	35.2	
	248.4	31.6	
ركام حصى الوديان	270.2	34.4	33.8
	262.4	33.4	
	264.2	33.6	



الشكل 7: مقاومة الضغط للمكعب.



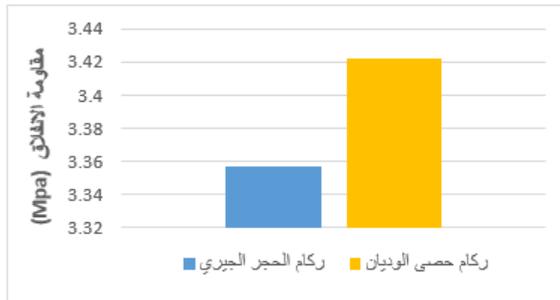
الشكل 8: مقاومة الضغط للمكعب

اختبار مقاومة الانفلاق للخرسانة

يبين الجدول (9) نتائج اختبار مقاومة الانفلاق للخرسانة نلاحظ من الشكل (9) ان مقاومة الانفلاق في العينات التي تحتوي على ركام حصى الوديان ازادت عنه في العينات التي تحتوي على ركام حجر الجيري.

الجدول 9: مقاومة الانفلاق للخرسانة

النوع الركام المستخدم	الحمل (KN)	مقاومة الانفلاق (Mpa)	متوسط مقاومة الانفلاق (Mpa)
ركام الحجر الجيري	97.3	3.097	3.357
	110.9	3.530	
	108.2	3.444	
ركام حصى الوديان	110.3	3.511	3.422
	118.2	3.762	
	94	2.992	



الشكل 9: مقاومة الانفلاق للخرسانة

الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات

من خلال المشاهدات والنتائج المتحصل عليها من هذه الدراسة أمكن التوصل للاستنتاجات التالية:

1. نتائج اختبارات الخصائص الهندسية للركام المدروس (ركام حصى الوديان) أظهرت تفوق ملحوظ لهذا الركام مقارنة بركام (ركام الحجر الجيري)
2. زيادة في قابلية التشغيل عند اختبار الهبوط للخرسانة الطازجة التي تحتوي على (ركام حصى الوديان). مقارنة الخرسانة الطازجة التي تحتوي على (ركام الحجر الجيري)
3. أظهرت النتائج اختبار الضغط تحسن في قيم مقاومة الضغط للخرسانة التي تحتوي على (ركام حصى الوديان) عنه في الخرسانة التي تحتوي على (ركام الحجر الجيري).
4. أظهرت نتائج اختبار الانفلاق للخرسانة تفوق ملحوظ في قيم مقاومة الانفلاق للخرسانة التي تحتوي على (ركام حصى الوديان)
5. إجمالاً يمكن القول ان الخلطات الخرسانية التي تحتوي على (ركام حصى الوديان) تعتبر جيدة وفقاً لشروط هذه الدراسة ويرجع ذلك لكون (ركام حصى الوديان) ذو خواص أفضل مقارنة (بركام الحجر الجيري) المستخدم في هذه الدراسة.

التوصيات

1. العمل على الاستفادة من ركام حصى الوديان لإنتاج الخرسانة.
2. إجراء دراسات أخرى لفترات ومنية أطول مما ذكر في هذه الدراسة.
3. دراسة تأثير نسبة الماء الى الاسمنت في الخلطات الخرسانية المضاف اليها ركام حصى الوديان.
4. دراسة سلوك وخواص الخرسانة المحتوية على ركام حصى عند تعرضها للأملاح
5. دراسة تأثير الاحماض على الخرسانة التي تحتوي على ركام حصى الوديان
6. دراسة تأثير درجات الحرارة العالية على مقاومة الخرسانة التي تحتوي على ركام حصى الوديان
7. دراسة تأثير استخدام حصى الوديان كركام على التمدد والانكماش في الخرسانة.
8. التحليل الدقيق للنسيج الخرساني باستخدام التقنيات الحديثة مثل تقنية (XRD, SEM, TGA).

المراجع

- [1] خواص المواد. الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج، الطبعة الثانية (1998).
- [2] المواصفات القياسية الليبية رقم) 340:97 (، الاسمنت البورتلاندي ، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية ، طرابلس، 1220.
- [3] BS 882-1996 Specification for aggregates from natural sources for concrete.
- [4] المواصفات القياسية (م.ق.ل 295)
- [5] Cube specimen (BS 1881, Part 108: 1993)
- [6] ASTM C39/C39M Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- [7] ASTM Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- [8] ASTM (2005a) Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete, ASTM C143/C143M, American Society for Testing and Materials.
- [9] Rocco, C.G., and Elices, M., (2009), Effect of Aggregate Shape on the Mechanical Properties of a Simple Concrete, Engineering Fracture Mechanics, 2009, 76(2), pp 286-298.
- [10] Wu, K-R., Chen, B., Yao, W., and Zhang, D., (1997), "Effect of Coarse Aggregate Type on Mechanical Properties of High-Performance Concrete", Cement and Concrete Research, 31(10), pp 1421 -1425.

الانبعاج الجانبي والفتلي لأعمدة لافتات بسبب الرياح

أ. محمد ابراهيم اسويسي

محاضر بكلية العلوم الهندسية والتقنية - جامعة سبها

m.mohammed@sebhau.edu.ly

المخلص

تم في هذا البحث عرض الاخطاء المسببة في سقوط لافتات استرشادية معمولة بالعناصر المعدنية في بعض مناطق الجنوب الليبي. من خلال دراسة الاسباب المؤدية للسقوط تم ملاحظة أن هناك الكثير من العوامل التي قد تؤدي الى سقوطها والتي منها عدم اجراء عملية تصميم دقيقة مبنية على اسس علمية. وقد أحدثت سرعة الرياح القوية فشل تلك اللافتات مما يظهر جلياً ان تصاميمها لم تكن متوافقة مع جميع الظروف.

فبعد التحقق من تصميم تلك العناصر تبين أن مقاطعها صغيرة مما يعكس أن هناك اخطاء في التصميم والتي قد تؤدي بالأضرار بالبشر والمواد.

إن المقطع المستخدم والذي تم فشله هو بطول 12 مم، عرض 6 مم، وسمك 3 مم للجناح والجسد، بينما التصاميم الدقيقة أظهرت مقطع أكبر من ذلك وهو طول 280 مم، عرض 280 مم، سمك الجناح 20 مم وسمك الجسد 12 مم.

الكلمات المفتاحية: الانبعاج، اللافتات الاسترشادية، الرياح.

1. المقدمة

يتم في هذا البحث عرض الظاهرة الملفتة للنظر والجديرة بالاهتمام والتي حدثت لبعض اللافتات الاسترشادية أو الإعلانة على الطريق الرئيسية الواصلة ما بين مدينة براك ومنطقة تامزاوة بالجنوب الليبي، حيث تم سقوط العديد منها. وأيضاً تم ملاحظة سقوط لافتات شبيهة بمدينة سبها بمركز المدينة. أن الملفت للنظر هو سقوط العديد من تلك اللافتات رغم قوة العناصر المعدنية المثبتة بها. الامر الذي قد يسبب خسائر بشرية ومادية في حالة سقوطها على السيارات المارة وأيضاً خسارة مادية ناتجة عن تلف العناصر المكون منها تلك اللافتات. لا شك أن قوة الرياح المسلطة على تلك اللافتات كبيرة ورغم أن الرياح هي قد تكون السبب الرئيسي في سقوطها، إلا أنه هناك أمور أخرى أدت إلى فشل تلك العناصر في الثبات. أن هذا البحث يدرس تلك الأمور التي منها الوضعية الفنية لتركيبة اللافتة نفسها ببعديها الطول والعرض. ومنها أيضاً قابلية المقاطع المعدنية المستخدمة للانبعاج الصافي أو الانبعاج المركب مع الفتل.

الاعمة المعدنية ذات المقاطع من نوع حرف (Braod Flange I Beams) يكون لجناحها وجسدها سمك صغير قابل بشكل كبير للانبعاج. أن التصاميم الهندسية لا تعطي مجال فشل تلك العناصر

بسهولة، ولكن ما حصل لتلك اللافتات تشترك فيه عوامل كثيرة يدرسها هذا البحث، ويخرج بخلاصة يجب أخذها في الاعتبار عند تصميم تلك اللافتات لتجنب تأثير دفع الرياح.

2. وصف المنشأ قيد الدراسة

تمت ملاحظة لافتات واقعة على الأرض من شدة الرياح في منطقة وادي الشاطئ بطريقة غير متوقعة، حيث أن الهدف من وجودها هو لتأدية دورها لتستمر فترة طويلة من الزمن. هناك لافتات مدعمة جانبياً وأخرى غير مدعمة، وأخرى انتزع جزء منها فلم تتهار مما قد يلفت النظر إلى أمور يجب أخذها في الاعتبار والتركيز عليها. أن المقطع المستخدم لأعمدة اللافتات بمقاس ذي ارتفاع 12 مم، عرض 6 مم، وسمك 3 مم للجناح والجسد. كما يبدو من خلال الأشكال المعروضة أنه تم استخدام دعائم جانبية، ولكن تلك الدعائم رغم قوتها إلا أنها لم تقدر في بقاء المنشأ ثابت وذلك بسبب السمك الصغير للعناصر الإنشائية. أن ظهور مفصل بلاستيكي كما هو مبين في الشكل رقم 6 مما يدل على أن العنصر قد أبدى مقاومة قبل الانهيار كمؤشر على أن العنصر المختار لتلك اللافتات كان أقل بقليل عن العنصر المناسب وخصوصاً في بعض المواصفات. تم قياس أبعاد اللوحة المستخدمة في وضع الاعلان عليها فكانت بطول 4 م وعرض 3 م، مثبت عليها ألواح الصاج المتموجة وبارتفاع عن الأرض 2.6 م وتباعداً بين العمودين 0.8 م والصور التالية توضح بعضها:



شكل (1) أعمدة لافتة غير منهارة.



شكل (2) انهيار أعمدة اللافتة.



شكل (3) القاعدة الخرسانية لأعمدة اللافتة.



شكل (4) سقوط جزء من اللافتة.



شكل (5) حدوث انهيار أسفل العمود وفشل موضعي في الجناح.



شكل (6) ظهور مفصل لدن في وسط الجسد.



شكل (7) حدوث انهيار أسفل العمود مع وجود الدعامات الجانبية.



شكل (8) ظهور مفصل بلاستيكي في وسط الجسد.

3. اسلوب تصميم المقاطع الفولاذية من نوع (Braod Flange I Beams)

عند تصميم المنشآت الفولاذية يجب الأخذ في الاعتبار أنواع الأحمال ووضعية تسليطها وقيمتها. أن تأثير الأحمال على العناصر الإنشائية أمر بالغ الأهمية، فلو تم أخذه بأسلوب مغاير عن الواقع الفعلي فإن ذلك يؤدي إلى خلل في المنشأ.

أن من الأحمال التي يجب افتراضها على المنشأ قيد الدراسة هي أحمال الرياح وتؤخذ حسب سرعتها وتحول من حمولة متحركة إلى حمولة ساكنة. أما الأحمال الأخرى فهي الوزن الذاتي للمنشأ نفسه. فعند افتراض سرعة الرياح بقيمة 100 كم/ ساعة ويتم تحويلها إلى حمولة ساكنة فتؤخذ بقيمة 23 كجم/م² وهي تساوي (0.23 KN/m²) يتم توزيعها على مساحة اللافتة ويتم تحويلها إلى حمولة موزعة بانتظام على الأعمدة، وحيث أن اللافتة بطول 4 م وعرض 3 م، فإن حمولة الرياح على العمود الواحد، حيث يعامل على أنه عنصر كابولي بطول 5.6 م فتكون:

جدول 1.

الحمولات المسلطة على العنصر			طول العمود m	ابعاد مقطع اللافتة	
احمال الرياح kN/m	الوزن الذاتي للعמוד KG/m	الوزن الذاتي للافتة KG		العرض m	الطول m
0.46	113	188.4	5.6	3	4

جدول 2.

نسبة كفاءة المقطع	المقطع المناسب حول المحور xx	المقطع المناسب حول المحور yy	معامل القطاع Cm ³	العزم kN.m
0.64	280	280	424.3	5.94

أما بالنسبة للفتل فيكون ضمناً محقق في حالة كفاءة المقطع.

4. الخلاصة والتوصيات

أن مقاطع الأعمدة لم تكن متوافقة مع الحسابات الصحيحة لتصميم المقاطع الفولاذية مما تسبب في سقوطها بسبب هبوب رياح قوية. أيضاً أن هناك أمور فنية كعمل فتحات صغيرة في اللافتة قد تساعد على التخفيف من تأثير الرياح مع التركيز على عمل الدعامات الجانبية. وكما هو مبين إن المقطع المستخدم والذي تم فشله هو بطول 12 م، عرض 6 م، وسمك 3 مم للجناح والجسد، بينما التصاميم

الدقيقة أظهرت مقطع أكبر من ذلك وهو طول 280 مم، عرض 280 مم، سمك الجناح 20 مم وسمك الجسد 12 مم.

وكما هو ملاحظ أن الفرق الكبير ما بين العنصر المستخدم والعنصر المصمم في هذا البحث يكون له التأثير الأسوأ في انهيار المنشأ، وهو سبباً قوياً في عدم تحمل المنشأ المقام. أن استخدام رباطات الأعمدة أو الدعامات الجانبية لا يفيد عند عدم كفاءة الأجزاء الأخرى من العنصر الإنشائي.

من المهم جداً أنه عند تصميم أي منشأ أو عنصر إنشائي لابد من اجراء تصاميم دقيقة والأخذ في الاعتبار جميع النواحي الهندسية والفنية وعدم الاستهانة بها، وأيضاً عدم اللجوء إلى الورش لعمل منشآت بشكل عشوائي. ويجب أخذ الاستشارات من ذوي الاختصاص.

5. المراجع

1. المنشآت المعدنية - تصميم المنشآت الفولاذية - الدكتور رامت رسلان - جامعة دمشق
2. الانشاءات المعدنية - الدكتور محمد غياث صائم الدهر
3. تصميم العناصر والوصلات الفولاذية - الدكتور محمد أيمن عبدالسلام و الدكتور محمد نزيه ايلوش
4. المنشآت المعدنية - المعادن الإنشائية - التحليل اللدن - الدكتور محمد نزيه ايلوش و الدكتور محمد أيمن عبدالسلام
5. Al Nageim, H.& MacGinley T. J., 2005. Steel structures, practical design studies.
The 3rd Edition of this popular book now contains references to both Eurocodes and British Standards. [on line].
6. Ambrose J. E., 1997. Simplified design of steel structures. Seven Edition. Newyork. John wiley and Sons, INC. New York. based on the work of the late Harry Parker.
7. Ballio G. & Mazolani F.M.,1983. Theory and design of steel structures. London. Champan and Hall, London and Newyork.
8. Beale, R. G., Godely, M. H. R., & Enjily, V., 2001. A theoretial and experimental investigation into cold-formed channel sections in bending with the unstiffend flanges in compression, computres and structures. 79. 2403-2411.

9. British standard Institution, 2009. (BS EN 1993-1-3:2006) and Eurocode (EN 1993-1-3:2006 (E)), London, BSI
10. Cherry, s., 1996. The stability of beams with buckled compression flanges. Thin-walled structures. 25 277-285.
11. Chu, X.,Ye. Z., Li, L., Kettle R., 2004. Buckling behaviour of cold-formed channel sections under uniformly distributed loads, Thin-Walled Structures. 43 531-542.
12. Chu, X., Rickard, J. & Li, L., 2005. Influence of lateral restraint on lateral-torsional buckling of cold-formed steel purlins. Thin-Walled Structures. 43 800-810.
13. Chu, X., Kettle R. & Li, L., 2004. Lateral-torsion buckling analysis of partial-laterally restrained thin-walled channel-section beams. Journal of Constructional Steel Research. 60 1159-1175.
14. Feng, M., Wang, Y. C., 2005. An experimental study of loaded full-scale cold-formed thin-walled steel structural panels under fire conditions. Fire Safety Journal. 40 43-63.
15. Gere, J. M., & Timoshenko, S. P., 1987. Mechanics of Materials. Second SI Edition. London. Van Nostrand Reinhold (international) Co.Ltd.
16. Grey, C.N., Moen, C.D., 2011. Elastic Buckling Simplified Methods for Cold-Formed Columns and Beams with Edge-Stiffened Holes. (on line)
Available at: www.google.com
[Accessed 27 June 2011]
17. Gotluru, B.P., Schafer, B.W. Pekoź, T., 2000. Torsion in thin-walled cold-formed steel beams. Thin-Walled Structures. 37 127-145.
18. Kankanamge, N.D., and Mahendran, M., 2009. Lateral-torsional buckling of cold-formed steel beams at ambient temperature. The third system postgraduate student conference.
Available at: www.google.com
[Accessed 27 June 2011]

19. Katnam, K.B., De Strycker, M., Impe, R. V. and Lagae, G., 2006. The Influence of Rotational Restraint on the Behaviour of Cold-Formed Steel Continuous Purlins Attached to Roof Sheeting. Proceedings of the Eighth International Conference on Computational Structures Technology in UK.
20. Katnam, K.B., Impe, R. V., Lagae, G., & De Strycker, M., 2007. Modeling of cold-formed steel sandwich purlin-sheeting system to estimate the rotational restraint. Thin-walled structures.
21. Kolcu, F., Ekmekyapar, T. and Özakça, M., 2010. Linear buckling optimization and post-buckling behavior of optimized cold formed steel members. Scientific Research and Essays. 5 (14). 1916-1924.
22. Tran, T., Li, L. 2006. Global optimization of cold-formed steel channel sections. Thin-Walled Structures. 44. 399-406
23. Vieira, Jr., Malite, M., and Schafer, B.W., 2010. Simplified models for cross-section stress demands on C-section purlins in uplift Load. Thin-Walled Structures, 48. 33-41

الطويل للتكامل المتناهي في التحليل الإنشائي

أ. د. مصطفى محمد الطويل

أستاذ شرف الهندسة المدنية

كلية الهندسة، جامعة طرابلس، ليبيا

mmtawil01@gmail.com

المخلص

الطويل للتكامل المتناهي هي تطوير لطريقة التكامل المتناهي المستنتجة من قبل أستاذين من أستراليا في أواخر الستينيات من القرن العشرين وهي من ضمن طرق التحليل العددي، وتستعمل الطريقة المطورة في هذه الورقة لحل مسائل لعارضة حرة الطرفين ثابتة الصلادة الانحنائية موضوعة فوق أساس مرن ثابت معامل الأساس وتحت تأثير ثلاثة أحمال متماثلة: قوة مركزة رأسيا بالمنتصف وقوتين رأسيين مركزيين عند الطرفين وعزم إنحناء عند كل طرف. تقارن إزاحات الطرف الحر وعزم الانحناء والترخيم عند منتصف العارضة بتقسيم نصف الطول إلى قسمين مرة فأربعة أقسام مرة ثانية فستة أقسام مرة ثالثة ومتساوية الطول في كل حالة وذلك بالنتائج الدقيقة من جانب وبنائج التحليل بطريقة العناصر المتناهية من جانب آخر. تبين النتائج أن التحليل بطريقة الطويل للتكامل المتناهي تعطي نتائج أفضل من التحليل بطريقة العناصر المتناهية لنفس كل تقسيم ولكل حالات التحميل.

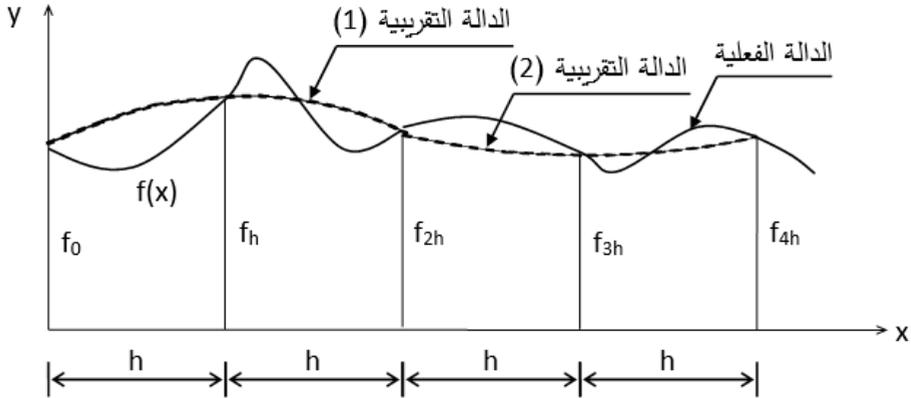
الكلمات المفتاحية: التكامل المتناهي، العناصر المتناهية، أساس مرن.

مقدمة

تتعدد طرق التحليل العددي وتطبق في حل عديد من المسائل الهندسية ومن ضمنها على سبيل المثال لا الحصر طريقة الإختلاف المتناهي وطريقة العناصر المتناهية. وفي أواخر الستينيات من القرن الماضي ظهرت طريقة التكامل المتناهي [1]. قام المؤلف بتطوير هذه الطريقة الأخيرة [2]، [3]، وتطبيقها في حل العديد من مواضيع الميكانيكا الهندسية [4]، [5]، [6]، [7]، [8]، [9]، [10]، حيث ثبتت دقة النتائج المتحصل عليها مقارنة بنتائج تطبيق بعض الطرق الأخرى وبالنتائج الدقيقة. في هذه الورقة يتم حل ثلاث مسائل إنشائية بطريقة الطويل للتكامل المتناهي تتمثل في عارضة حرة الطرفين وبصلادة عزيمة ثابتة موضوعة على أساس مرن ثابت المعامل تحت تأثير ثلاثة أحمال متماثلة، وتتم مقارنة نتائج قيم الترخيم وبعض القوى الداخلية في نقاط مختارة بتلك المتحصل عليها من التحليل بطريقة العناصر المتناهية وبالنتائج الدقيقة.

طريقة التكامل المتناهي

تقوم فكرة طريقة التكامل المتناهي على تقسيم نطاق دالة معينة ومستمرة $f(x)$ إلى عدد زوجي من التقسيمات متساوية الطول (h) يمر كل قسمين منها بدالة تقريبية من الدرجة الثانية (الشكل 1). وتمثل قيم الدالة عند $x = 0, x = h, x = 2h, \dots, x = 4h$ ، f_0, f_h, f_{2h}, \dots



الشكل 1 تقسيم نطاق الدالة الفعلية إلى عدد زوجي من التقسيمات متساوية الطول.

الدالة التقريبية يمكن وضعها في الشكل الآتي:

$$(1) \quad f(x) \cong ax^2 + bx + c$$

حيث:

$$a = (f_0 - 2f_h + f_{2h}) / (2h^2)$$

$$b = (-3f_0 + 4f_h - f_{2h}) / (2h)$$

$$c = f_0$$

التكامل العددي الأول لهذه الدالة التقريبية (1) يمكن وضعه في الصورة التالية:

$$(2) \quad \left\{ \int f(x) dx \right\} = \begin{Bmatrix} \int_0^h f(x) dx \\ \int_h^{2h} f(x) dx \\ \int_{2h}^h f(x) dx \end{Bmatrix} = \frac{h}{12} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 5 & 8 & -1 \\ 4 & 16 & 4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} f_0 \\ f_h \\ f_{2h} \end{Bmatrix} + A_1 \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} = [N]\{f\} + A_1\{1\}$$

وإذا ما تم تسمية الدالة $\int_0^x f(x)dx$ بالدالة $g(x)$ وتقريبها بمنحنى من الدرجة الثانية فيما بين القسمين أيضا تصبح علاقة التكامل العددي الثاني كما يلي:

$$(3) \quad \left\{ \int \int f(x) dx dx \right\} = \left\{ \int_0^x g(x) dx \right\} = [N]\{g\} + A_1\{x\} + A_2\{1\}$$

$$= [N][N]\{f\} + A_1\{x\} + A_2\{1\} = [N]^2\{f\} + A_1\{x\} + A_2\{1\}$$

ويكون التكامل العددي الثالث:

$$(4) \quad \left\{ \int \int \int f(x) dx dx dx \right\} = [N]^3\{f\} + A_1\{x^2/2\} + A_2\{x\} + A_3\{1\}$$

وهكذا يعبر عن التكاملات العددية اللاحقة، حيث (A_1, A_2, A_3, \dots) تمثل ثوابت التكامل.

الطويل للتكامل المتناهي

تقوم فكرة طريقة التكامل المتناهي على تقسيم نطاق دالة معينة ومستمرة $f(x)$ إلى عدد زوجي من التقسيمات متساوية الطول (h) يمر كل قسمين منها بدالة تقريبية من الدرجة الثانية كما تقدم في طريقة التكامل المتناهي الأصلية، إلا أن المؤلف استخرج التكاملات اللاحقة باستعمال التكامل الفعلي المتتالي لهذه الدالة التقريبية الأولى.

$$f(x) \cong ax^2 + bx + c$$

$$(5) \quad \int_0^x f(x) dx = ax^3/3 + bx^2/2 + cx$$

$$(6) \quad \int_0^x \int_0^x f(x) dx dx = ax^4/12 + bx^3/6 + cx^2/2$$

$$(7) \quad \int_0^x \int_0^x \int_0^x f(x) dx dx dx = ax^5/60 + bx^4/24 + cx^3/6$$

وهكذا، وتصيح التكاملات العددية كما يلي:

$$(8) \quad \{ \int f(x) dx \} = \frac{h}{12} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 5 & 8 & -1 \\ 4 & 16 & 4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} f_0 \\ f_h \\ f_{2h} \end{Bmatrix} + A_1 \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} = \frac{h}{12} [N1]\{f\} + A_1 \{1\}$$

$$(9) \quad \{ \int \int f(x) dx dx \} = \frac{h^2}{24} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 7 & 6 & -1 \\ 16 & 32 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} f_0 \\ f_h \\ f_{2h} \end{Bmatrix} + A_1 \begin{Bmatrix} 0 \\ h \\ 2h \end{Bmatrix} + A_2 \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$(10) \quad = \frac{h^2}{24} [N2]\{f\} + A_1 \{x\} + A_2 \{1\}$$

$$(11) \quad \{ \int \int \int f(x) dx dx dx \} = \frac{h^3}{240} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 27 & 16 & -3 \\ 144 & 192 & -16 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} f_0 \\ f_h \\ f_{2h} \end{Bmatrix} + \frac{A_1}{2} \begin{Bmatrix} 0 \\ h^2 \\ 4h^2 \end{Bmatrix} + A_2 \begin{Bmatrix} 0 \\ h \\ 2h \end{Bmatrix} + A_3 \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$= \frac{h^3}{240} [N3]\{f\} + A_1 \{x^2/2\} + A_2 \{x\} + A_3 \{1\}$$

وهكذا، والصعوبة في هذه الطريقة تمثلت في استنتاج عناصر المصفوفات [N3]، [N2]، [N4]،...، للتقسيمات لأكثر من إثنين [11]. يعطي المرجع [11] قيم المصفوفات من [N1] إلى [N6] لعدد 12 تقسيمة متساوية.

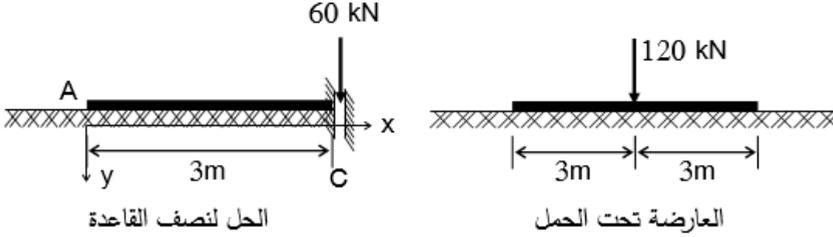
تطبيق الطويل للتكامل المتناهي لحل بعض المسائل الإنشائية

تم تطبيق الطويل للتكامل المتناهي لحل عارضة حرة الطرفين ثابتة الصلادة الإنشائية (EI) موضوعة على أساس مرن بمعامل ثابت (k)، وبالخواص الآتية:

- معامل يانغ (E) 200 GPa
- عزم القصور الذاتي $3.7(10)^{-5} m^4$
- معامل الأساس (k) 14000 kN/m

العارضة تحت حمل مركز ومتعامد عند المنتصف

يمثل الشكل 2 تحميل العارضة بقوة مركزة عند المنتصف، ونتيجة لتماثل التحميل والشكل يقتصر على حل نصف العارضة وبطول 3 متر.



الشكل 2 حمل مركز عند المنتصف.

المعادلة التفاضلية المتكاملة للعارضة (AC) هي [12]:

$$(12) \quad \frac{d^4 y}{dx^4} + \frac{k}{EI} y = 0$$

بفرض أن $(d^4 y/dx^4)$ مقربة بالدالة $f(x)$ من الدرجة الثانية:

$$(13) \quad \left\{ \frac{d^4 y}{dx^4} \right\} = \{f\}$$

تكون التكاملات كما يلي:

$$(14) \quad \left\{ \frac{d^3 y}{dx^3} \right\} = \{ \int f dx \} = \frac{h}{12} [N1] \{f\} + A_1 \{1\}$$

$$(15) \quad \left\{ \frac{d^2 y}{dx^2} \right\} = \{ \int \int f dx dx \} = \frac{h^2}{24} [N2] \{f\} + A_1 \{x\} + A_2 \{1\}$$

$$(16) \quad \left\{ \frac{dy}{dx} \right\} = \{ \int \int \int f dx dx dx \} = \frac{h^3}{240} [N3] \{f\} + A_1 \{x^2 / 2\} + A_2 \{x\} + A_3 \{1\}$$

$$(17) \quad \{y\} = \{ \int \int \int \int f dx dx dx dx \} = \frac{h^4}{360} [N4]\{f\} + A_1 \{x^3 / 6\} + A_2 \{x^2 / 2\} + A_3 \{x\} + A_4 \{1\}$$

من الحدود الطرفية:

عند $(x = 0)$ القص يساوي (0) ومن المعادلات (14) تصبح $(A_1 = 0)$

عند $(x = 0)$ عزم الإنحناء يساوي (0) ومن المعادلات (15) تصبح $(A_2 = 0)$

عند $(x = 3)$ الميل يساوي (0) ومن المعادلات (16) تصبح $(A_3 = -(h^3/240)[N3C]\{f\})$ ، حيث

$[N3C]$ هي مصفوفة متساوية الصفوف لصف المصفوفة $[N3]$ عندما $(x = 3)$.

عند $(x = 3)$ الترخيم يساوي (y_c) ومن المعادلات (17) تصبح:

$(A_4 = y_c - (h^4/360)([N4C] - (1.5/h)[N3C])\{f\})$ ، حيث $[N4C]$ هي مصفوفة متساوية

الصفوف لصف المصفوفة $[N4]$ عندما $(x = 3)$.

وتصبح معادلات الترخيم:

$$(18) \quad \begin{aligned} \{y\} &= \frac{h^4}{360} ([N4] - [N4C] + (1.5/h)[(1-x/3)][N3C])\{f\} + \{y_c\} \\ \{y\} &= [M1]\{f\} + \{y_c\} \end{aligned}$$

حيث $[(1-x/3)]$ هي مصفوفة قطرية وعناصرها فوق وأسفل القطر تساوي صفرا.

من المعادلة (12):

$$\left\{ \frac{d^4 y}{dx^4} \right\} + \frac{k}{EI} \{y\} = 0$$

أو

$$(19) \quad \{f\} = -\frac{70}{37} \{y\} \quad , \quad \{f\} + \frac{14000}{7400} \{y\} = \{0\}$$

$$\{y\} = [M1]\{f\} + \{y_c\}$$

$$(20) \quad \{f\} + \frac{70}{37} ([M1]\{f\} + \{y_c\}) = \{0\}$$

$$\left([I] + \frac{70}{37} [M1] \right) \{f\} = [M2]\{f\} = -\frac{70}{37} y_c \{1\} = y_c \{V1\}$$

حيث [1] هي مصفوفة الوحدة القطرية.

ومن المعادلة (20):

$$(21) \quad \{f\} = y_c [M2]^{-1} \{V1\} = y_c \{V2\}$$

$$(22) \quad \left(\frac{d^3 y}{dx^3} \right)_C = \frac{h}{12} \{N13\} \{f\} = -60/EI = -60/7400 = -3/370$$

$$(23) \quad \frac{h y_c}{12} \{N13\} \{V2\} = -3/370$$

وبمعرفة قيمة التقسيمة (h) يتم تحديد المصفوفات والمتجهات وبالتالي الترخيم (y_c)، ومن ثم تحديد المتجه {f} من المعادلة (21). ويحسب متجه عزم الإنحناء {M} من العلاقة:

$$(24) \quad \{M\} = -EI \{d^2 y / dx^2\} = -7400 \{d^2 y / dx^2\}$$

الجدول 1 يعطي قيم الترخيم والدوران عند الطرف (A) وعزم الإنحناء والترخيم عند النقطة (C) المتحصل عليها بطريقة الطويل للتكامل المتناهي ومقارنتها مع نتائج التحليل بطريقة العناصر المتناهية (طريقة الجسوة) [11] والنتائج الدقيقة المتحصل عليها من المرجع [12]، وذلك لتقسيمتين فأربع فست تقسيمات متساوية للعارضة (AC).

العارضة تحت حمل مركز ومتماثل عند الطرفين

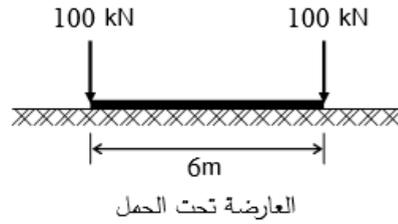
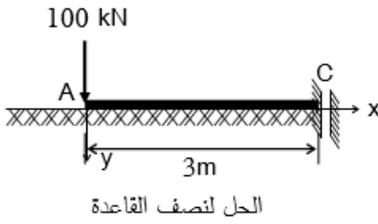
يمثل الشكل 3 تحميل العارضة بقوة مركزة ومتماثلة عند الطرفين، ونتيجة لتماثل التحميل والشكل يقتصر على حل نصف العارضة وبطول 3 متر.

المعادلات (13) و(14) و(15) و(16) و(17) هي نفسها لهذه الحالة. من الحدود الطرفية:

الجدول 1 قيم الترخيم والدوران عند النقطة (A) وعزم الإنحناء والترخيم عند النقطة (C)

y _c (m)	M _c (kN.m)	θ _A (radiance)	y _A (m)	الطريقة	التقسيمات
0.003715	36.536	0.001391	-0.000957	الدقيقة [12]	∞
0.003932	37.464	0.001514	-0.001072	الطويل للتكامل المتناهي	2 h = 1.5 m
5.8	2.5	8.9	12.0	نسبة الخطأ (%)	
0.003551	25.889	0.000964	-0.000520	العناصر المتناهية (الجسوة)	
-4.4	-29.1	-30.7	-45.7	نسبة الخطأ (%)	

0.003737	36.804	0.001390	-0.000960	الطويل للتكامل المتناهي	4 h = 0.75 m
0.6	0.7	0.1	0.3	نسبة الخطأ (%)	
0.003695	33.932	0.001226	-0.000806	العناصر المتناهي (الجبوءة)	
-0.8	-7.1	-11.8	-15.8	نسبة الخطأ (%)	
0.003719	36.601	0.001391	-0.000958	الطويل للتكامل المتناهي	6 h = 0.5 m
0.1	0.2	0.0	0.1	نسبة الخطأ (%)	
0.003702	35.395	0.001310	-0.000885	العناصر المتناهي (الجبوءة)	
-0.3	-3.1	-5.8	-5.7	نسبة الخطأ (%)	



الشكل 3 حمل مركز متماثل عند الطرفين.

من الحدود الطرفية:

عند $(x = 0)$ القص يساوي (-100 kN) ومن المعادلات (14) تصبح $(A_1 = 100/EI)$

عند $(x = 0)$ عزم الإنحناء يساوي (0) ومن المعادلات (15) تصبح $(A_2 = 0)$

عند $(x = 3)$ الميل يساوي (0) ومن المعادلات (16) تصبح $(A_3 = -(h^3/240)[N3C])\{f\}$ ، حيث

$[N3C]$ هي مصفوفة متساوية الصفوف لصف المصفوفة $[N3]$ عندما $(x = 3)$.

عند $(x = 3)$ الترخيم يساوي (y_C) ومن المعادلات (17):

تصبح $(A_4 = y_C - (h^4/360)([N4C] - (1.5/h)[N3C])\{f\})$ ، حيث $[N4C]$ هي مصفوفة متساوية

الصفوف لصف المصفوفة $[N4]$ عندما $(x = 3)$.

وتصبح معادلات الترخيم:

$$\{y\} = \frac{h^4}{360} ([N4] - [N4C] + (1.5/h)[(1 - x/3)][N3C])\{f\}$$

$$(25) \quad + \frac{9}{148} \{(x/3)^3 - x + 2\} + \{y_C\}$$

$$\{y\} = [M3]\{f\} + \{V3\} + y_C\{1\}$$

وتصبح المعادلة (19):

$$(26) \quad \{f\} + \frac{70}{37} ([M3]\{f\} + \{V3\} + y_c\{1\}) = \{0\}$$

$$\left([I] + \frac{70}{37} [M3] \right) \{f\} = [M4]\{f\} = -\frac{70}{37} \{V3\} - \frac{70}{37} y_c\{1\} = \{V4\} + y_c\{V1\}$$

ومن هذه المعادلة:

$$(27) \quad \{f\} = [M4]^{-1} (\{V4\} + y_c\{V1\}) = \{V5\} + y_c\{V6\}$$

وبالتعبير عن علاقة قوة القص عند النقطة (C) والتي تساوي صفراً:

$$(28) \quad \{N13\}\{f\} = 0$$

$$(29) \quad \{N13\}(\{V5\} + y_c\{V6\}) = 0$$

وبمعرفة قيمة التقسيمة (h) يتم تحديد المصفوفات والمتجهات وبالتالي الترخيم (y_c)، ومن ثم تحديد المتجه {f} من المعادلة (27). ويحسب متجه عزم الإنحناء {M} من العلاقة:

$$\{M\} = -EI\{d^2y/dx^2\} = -7400\{d^2y/dx^2\}$$

الجدول 2 يعطي قيم الترخيم والدوران عند الطرف (A) وعزم الإنحناء والترخيم عند النقطة (C) المتحصل عليها بطريقة الطويل للتكامل المتناهي ومقارنتها مع نتائج التحليل بطريقة العناصر المتناهية (طريقة الجسوءة) والنتائج الدقيقة المتحصل عليها من المرجع [12]، وذلك لتقسيمتين فأربع فست تقسيمات متساوية للعارضنة (AC).

الجدول 2 قيم الترخيم والدوران عند النقطة (A) وعزم الإنحناء والترخيم عند النقطة (C)

y _c (m)	M _C (kN.m)	θ _A (radiance)	y _A (m)	الطريقة	التقسيمات
-	-12.266	-0.010090	0.012051	الدقيقة [12]	∞
-	-11.155	-0.009938	0.011880	الطويل للتكامل المتناهي	2 h = 1.5 m
-15.8	-9.1	-1.5	-1.4	نسبة الخطأ (%)	
-	-5.166	-0.006063	0.000804	العناصر المتناهية (الجسوءة)	
-40.6	-57.9	-39.9	-93.3	نسبة الخطأ (%)	
-	-12.191	-0.010125	0.012093	الطويل للتكامل المتناهي	

0.1	-0.6	0.3	0.3	نسبة الخطأ (%)	h = 0.75 m
-	-10.895	-0.008401	0.010670	العناصر المتناهية (الجسوءة)	
-45.9	-11.3	-16.7	-11.5	نسبة الخطأ (%)	
-	-12.254	-0.010102	0.012063	الطويل للتكامل المتناهي	6 h = 0.5 m
0.1	-0.1	0.1	0.1	نسبة الخطأ (%)	
-	-11.598	-0.009275	0.011388	العناصر المتناهية (الجسوءة)	
-7.5	-5.4	-8.1	-5.5	نسبة الخطأ (%)	

العارضة تحت عزم إنحناء مركز ومتماثل عند الطرفين

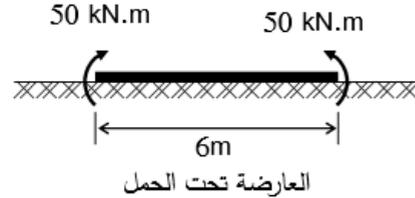
يمثل الشكل 4 تحميل العارضة بعزم إنحناء مركز ومتماثل عند الطرفين، ونتيجة لتماثل التحميل والشكل يقتصر على حل نصف العارضة وبطول 3 متر.

المعادلات (13) و(14) و(15) و(16) و(17) هي نفسها لهذه الحالة أيضا.
من الحدود الطرفية:

عند $(x = 0)$ القص يساوي (0) ومن المعادلات (14) تصبح $(A_1 = 0)$

عند $(x = 0)$ عزم الإنحناء يساوي (50 kN.m) ومن المعادلات (15) تصبح $(A_2 = -60/EI = -)$
(1/148

عند $(x = 3)$ الميل يساوي (0)



الشكل 4 عزم إنحناء متماثل عند الطرفين.

ومن المعادلات (16) تصبح $(A_3 = -(h^3/240)[N3C]\{f\})$ ، حيث $[N3C]$ هي مصفوفة متساوية الصفوف لصف المصفوفة $[N3]$ عندما $(x = 3)$.

عند $(x = 3)$ الترخيم يساوي (y_C)

ومن المعادلات (17) تصبح $(A_4 = y_C - (h^4/360)([N4C] - (1.5/h)[N3C])\{f\} + 3/148)$ ، حيث $[N4C]$ هي مصفوفة متساوية الصفوف لصف المصفوفة $[N4]$ عندما $(x = 3)$.

وتصبح معادلات الترخيم:

$$(30) \quad \begin{aligned} \{y\} &= \frac{h^4}{360} ([N4] - [N4C] + (1.5/h)[(1-x/3)][N3C])\{f\} \\ &\quad - \frac{9}{296} \{(1-x/3)^2\} + \{y_c\} \\ \{y\} &= [M3]\{f\} + \{V7\} + y_c\{1\} \end{aligned}$$

وتصبح المعادلة (19):

$$(31) \quad \begin{aligned} \{f\} + \frac{70}{37} ([M3]\{f\} + \{V7\} + y_c\{1\}) &= \{0\} \\ \left([I] + \frac{70}{37} [M3] \right) \{f\} = [M4]\{f\} &= -\frac{70}{37} \{V7\} - \frac{70}{37} y_c\{1\} = \{V8\} + y_c\{V1\} \end{aligned}$$

ومن هذه المعادلة:

$$(32) \quad \{f\} = [M4]^{-1} (\{V8\} + y_c\{V1\}) = \{V9\} + y_c\{V10\}$$

وبالتعبير عن علاقة قوة القص عند النقطة (C) والتي تساوي صفراً:

$$\{N13\}\{f\} = 0$$

$$(33) \quad \{N13\}(\{V9\} + y_c\{V10\}) = 0$$

وبمعرفة قيمة التقسيمة (h) يتم تحديد المصفوفات والمتجهات وبالتالي الترخيم (y_c)، ومن ثم تحديد المتجه {f} من المعادلة (32). ويحسب متجه عزم الإنحناء {M} من العلاقة:

$$\{M\} = -EI\{d^2y/dx^2\} = -7400\{d^2y/dx^2\}$$

الجدول 3 يعطي قيم الترخيم والدوران عند الطرف (A) وعزم الإنحناء والترخيم عند النقطة (C) المتحصل عليها بطريقة الطويل للتكامل المتناهي ومقارنتها مع نتائج التحليل بطريقة العناصر المتناهية (طريقة الجسوة) والنتائج الدقيقة المتحصل عليها من المرجع [12]، وذلك لتقسيمتين فأربع فست تقسيمات متساوية للعارضة (AC).

الجدول 3 قيم الترخيم والدوران عند النقطة (A) وعزم الإنحناء والترخيم عند النقطة (C)

التقسيمات	الطريقة	y_A (m)	θ_A (radiance)	M_C (kN.m)	y_C (m)
∞	الدقيقة [12]	-	0.008229	-1.482	0.001159
2 h = 1.5 m	الطويل للتكامل المتناهي	-	0.007799	-3.943	0.000763
	نسبة الخطأ (%)	-13.3	-5.2	166.0	-34.1
	العناصر المتناهية	-	0.006063	-5.166	0.000804
	نسبة الخطأ (%)	-46.5	-26.3	248.5	-30.7
4 h = 0.75 m	الطويل للتكامل المتناهي	-	0.008194	-1.574	0.001143
	نسبة الخطأ (%)	-0.8	-0.4	6.2	-1.4
	العناصر المتناهية	-	0.007331	-2.654	0.000910
	نسبة الخطأ (%)	-16.7	-10.9	79.0	-11.8
6 h = 0.5 m	الطويل للتكامل المتناهي	-	0.008223	-1.498	0.001156
	نسبة الخطأ (%)	-0.1	-0.1	1.0	-0.3
	العناصر المتناهية	-	0.007785	-2.038	0.001092
	نسبة الخطأ (%)	-8.1	-5.4	37.5	-5.8

الخلاصة والتوصيات

أعطت هذه الورقة موجزا عن طريقة التكامل المتناهي الأصلية مع عرض لطريقة التكامل المتناهي المعدلة (الطويل للتكامل المتناهي). وتم تحليل عارضة محددة الطول والخواص حرة الطرفين موضوعة على أساس مرن تحت تأثير ثلاث قوى متماثلة مختلفة بطريقة الطويل للتكامل المتناهي.

قورنت نتائج الترخيم والدوران عند الطرفين وعزم إنحناء وترخيم منتصف العارضة مع النتائج المناظرة لها والدقيقة من جهة والنتائج المتحصل عليها باستعمال طريقة العناصر المتناهية (الجسوءة) من جهة أخرى، وكان واضحا تفوق نتائج طريقة الطويل للتكامل المتناهي على طريقة الجسوءة في حالات التحميل الثلاث.

يوصى بتطبيق طريقة الطويل للتكامل المتناهي مستقبلا في تحليل مسائل هندسية مختلفة كمسائل انتقال الحرارة والاهتزازات وقوى الأمواج على الأوتاد البحرية والطبقة الحافية وغيرها مما تتحكم في سلوكها معادلات تفاضلية عادية.

المراجع

- [1] براون، كي. إم.، وتراهير إن. إس. "حل التكامل المتناهي للمعادلات التفاضلية"، وقائع الهندسة المدنية، مؤسسة المهندسين، أكتوبر 1968، أستراليا. ص. 193-196

- [2] الطويل، مصطفى محمد، "طريقة التكامل المتناهي (مدخل معدل)"، جامعة الفاتح، دورية كلية الهندسة، مجلد 3 (العدد الثالث)، 1979، طرابلس - ليبيا، ص. 87-93
- [3] الطويل، مصطفى محمد، "صياغة طريقة التكامل المتناهي المعدلة"، مجلة البحوث الهندسية، المجلد 1، مارس 1989، طرابلس - ليبيا، ص. 3-28
- [4] الطويل، مصطفى محمد، "طريقة التكامل المتناهي المعدلة وتطبيقاتها في تحليل العوارض متغيرة القصور الذاتي"، المؤتمر العربي الثالث للهندسة الإنشائية، جامعة الإمارات العربية المتحدة، 5-8 مارس 1989، العين - الإمارات العربية المتحدة . ص. 206-219
- [5] الطويل، مصطفى محمد، "أحمال الإنبعاج للأعمدة مشطوفة الجوانب حرة الطرف ومثبتة الطرف الآخر"، المؤتمر الوطني الخامس لمواد البناء والهندسة الإنشائية، مجلد الأبحاث العلمية، 06-07/12/2010، أكاديمية الدراسات العليا، طرابلس - ليبيا. ص. 250-257
- [6] الطويل، مصطفى محمد، "أحمال الإنبعاج للأعمدة مشطوفة الجوانب مفصلية الطرف ومثبتة الطرف الآخر"، المؤتمر العربي الثاني عشر للهندسة الإنشائية، كلية الهندسة - جامعة طرابلس، 16-18 ديسمبر 2013، طرابلس - ليبيا. ص 13-19
- [7] الطويل، مصطفى محمد، "أحمال الإنبعاج للأعمدة مشطوفة الجوانب مثبتة الطرفين"، المؤتمر الوطني السادس لمواد البناء والهندسة الإنشائية، مجلد الأبحاث العلمية، 29-30 مارس 2016، جامعة الجبل الغربي، غريان - ليبيا. ص 233-241
- [8] الطويل، مصطفى محمد، "إزاحات عارضة متغيرة العمق خطيا فوق أساس مرن تحت قوة مركزة طرفيا"، المؤتمر العربي الرابع عشر للهندسة الإنشائية، جامعة العلوم والتكنولوجيا الأردنية، الورقة 18، محور الإنشاءات، 12-15 أبريل 2018، إربد - الأردن.
- [9] الطويل، مصطفى محمد، "إزاحات عارضة متغيرة العمق خطيا فوق أساس مرن تحت عزم انحناء مركز طرفيا"، المؤتمر الوطني السابع لمواد البناء والهندسة الإنشائية، جامعة عمر المختار، 05-07/11/2018، البيضاء - ليبيا. ص. 81-89
- [10] الطويل، مصطفى محمد، "إزاحات عارضة حرة الطرفين متغيرة العمق خطيا فوق أساس مرن تحت قوة موزعة بانتظام"، المؤتمر الدولي للعلوم التقنية، الهيئة الوطنية للتعليم التقني والفني، 04-06/03/2019، طرابلس - ليبيا
- [11] الطويل، مصطفى محمد، "التحليل الإنشائي (3) - طرق المصفوفات"، جامعة طرابلس، الطبعة الأولى، 2019.
- [12] هيتاني، إم.، "عوارض فوق أساس مرن"، نشر جامعة ميتشغين، الطبعة التاسعة، 1971.

تصميم وتحليل جيوتقني لأساسات مبنى

نادية عمر الجابر¹، مسعود فرج أبوكلش²

¹ بكالوريوس هندسة مدنية، جامعة سبها

² أستاذ مشارك، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة سبها

nadya93931@gmail.com

المخلص

إن التغيرات المتنوعة في طبقات التربة لمواقع إنشاء المشاريع الهندسية يتطلب المعلومات الكافية والعديد من الاختبارات المختلفة لطبقات التربة لتحديد المعاملات الهندسية المهمة واللازمة في التصميم الإنشائي لأساسات المباني. والتصميم والتحليل الجيوتقني يعتبر من الأولويات المهمة في التصميم الإنشائي، فالتصميم الناجح والأمن لأساسات المباني هو التصميم الذي يشمل التصميم الإنشائي والتصميم والتحليل الجيوتقني. وهذه الورقة البحثية لإبراز أهمية التصميم والتحليل الجيوتقني لأساسات المباني حيث تم اختيار مبنى مكون من أساسات سطحية ومقطع يبين طبقات تربة وخصائصها وعمل تصميم وتحليل جيوتقني يشمل حساب قدرة تحمل التربة في الطبقات والاجهادات المختلفة والهبوطات وكذلك حساب لضغط التربة الملامس وتم بيان وتحليل ومناقشة لكل النتائج المتحصل عليها وعمل الاستنتاجات والتوصيات اللازمة لأخذها في الاعتبار عند تصميم أساسات المباني.

الكلمات المفتاحية: أساسات المباني، الاختبارات والدراسات الجيوتقنية، تصميم الأساسات.

1. مقدمة

تصميم أساسات المباني والمنشآت الهندسية المختلفة يتطلب الحصول على معاملات وخصائص هندسية للتربة في الطبقات وبالخصوص في تربة التأسيس. و الدراسات و الابحاث على التربة و الاساسات تعتبر من الركائز و الأسس الرئيسية في تنفيذ و نجاح المنشآت الهندسية المختلفة و قد أولاهها عديد من العلماء و الباحثين أهمية [1]، [2]، [3]، [4]. فالتصميم و التحليل الجيوتقني لأساسات المباني هو إيجاد و تحديد المعاملات الهامة للتربة و التي نحتاجها في تصميم الاساسات مثل معاملات قوة مقاومة التربة للقص و اللازمة لحساب قدرة تحمل التربة، الاجهادات الناتجة عن تأثير وزن التربة، الاجهادات الناتجة عن تأثير وزن المنشأة، هبوطات التربة المختلفة، معاملات الانضغاطية و التصلب و غيرها من الخصائص و المعاملات للتربة و إيجاد طريقة أو طرق لتحليلها و توزيعها في طبقات التربة تحت الأساس و مناقشة نتائجها و عمل الاستنتاجات و التوصيات اللازمة. ومن المعلوم أن الأساسات توزع أحمال المنشآت إلى تربة التأسيس بحيث أن توزيع هذه الأحمال يجب أن لا يؤثر على قدرة تحمل التربة و لا يسبب هبوط ضار للأساسات، فأساسات المباني يجب أن تكون آمنة و كذلك اقتصادية في تصميمها. و كثير من الباحثين [5] [6]، [7] درسوا العديد من العوامل و أوجدوا العلاقات التي يمكن عن طريقها حساب و تحليل قدرة تحمل التربة، الاجهادات، الهبوطات و غيرها من المعاملات الهامة و

الضرورية و التي تعتبر من الاساسيات الأولية التي يجب أخذها في الاعتبار عند تصميم أساسات المباني.

2. الهدف من البحث

الهدف من البحث هو إبراز الأهمية من معرفة التصميم و التحليل الجيوتقني لأساسات المباني، و إن أساسات المباني لا يمكن أن تكون آمنة و اقتصادية إلا بالمعرفة بالدراسة الجيوتقنية لطبقات التربة تحت الأساس و معرفة الخصائص و المعاملات الهامة للتربة في الطبقات و التي منها قدرة تحمل التربة و الاجهادات و الهبوطات و بيان كيفية توزيعها و تحليلها و معرفة قيم و شكل توزيع ضغط التربة الملامس، و التنبه و التأكيد على أن التصميم الناجح و الآمن لأساسات المباني و المنشآت الهندسية المختلفة يجب أن يتضمن التصميم الإنشائي و التصميم و التحليل الجيوتقني.

3. فرضية البحث

من أجل توضيح أهمية التصميم والتحليل الجيوتقني في أساسات المباني فإن البحث يقوم على الفرضيات التالية:

1.3 مقطع وخصائص طبقات التربة

مقطع التربة و المبين بالشكل (1) مكون من ستة طبقات تربة، تربة رملية ناعمة (A)، تربة رملية خشنة (B)، تربة طينية سلتية (C)، تربة طينية (D)، تربة طينية (E) و تربة طينية (F) و طبقات التربة الطينية هي (N.C) و بعض الخصائص الهندسية لطبقات هذه التربة وهي زاوية الاحتكاك الداخلي (ϕ)، الكثافة (γ)، حد السيولة (LL)، التماسك (c)، نسبة الفراغات (e_0) و دليل التضاضط (c_c) مبينة بالجدول (1). وهذه المعطيات تم استخدامها في حسابات التصميم والتحليل الجيوتقني لأساسات المبني.

جدول (1) بعض الخصائص الهندسية لطبقات التربة في الطبقات.

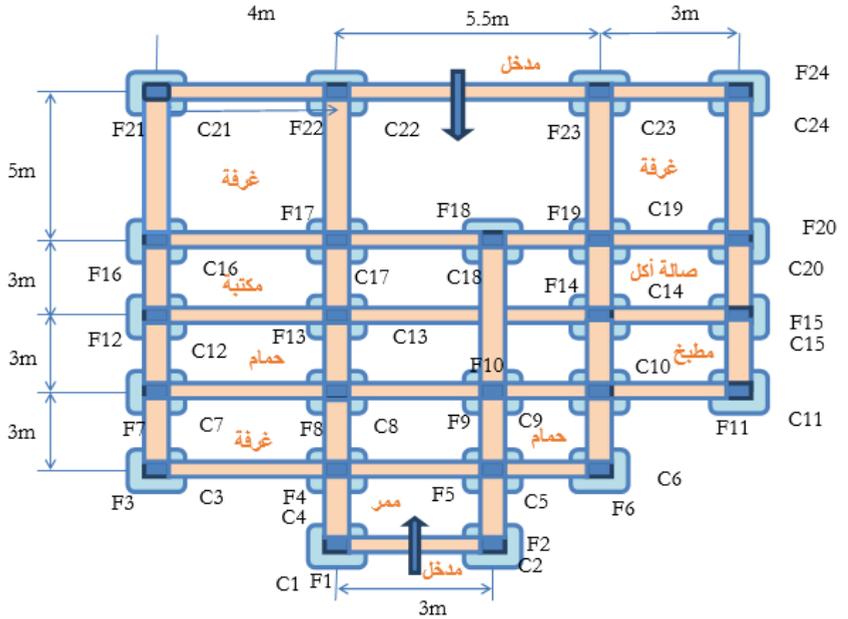
طبقات التربة	نوع التربة	ϕ°	γ (kN/m ³)	c (kN/m ²)	LL (%)	e_0	c_c
A	رملية ناعمة	30	16	-	-	-	-
B	رملية خشنة	40	18	-	-	-	-
C	طينية سلتية	30	19	20	30	-	0.18
D	طينية	12	18	30	40	0.6	0.27
E	طينية	15	18.5	40	50	0.8	0.36
F	طينية	10	19	50	60	0.85	0.45

0.00	G.S	
0.50m	A	ترية رملية ناعمة
1.50m	B	ترية رملية خشنة
2.00m	W.T	▽
4.00m	D	ترية طينية
7.00m	E	ترية طينية
10.00m	F	ترية طينية

شكل (1) مقطع طبقات التربة لأساسات المبنى.

2.3 المسقط الأفقي لأساسات المبنى

تم اختيار مبنى مكون من أساسات سطحية منفردة شكل (2)، وبعدد (24) قاعدة من F_1 إلى F_{24} وأبعاد القواعد (1.2×1.2 م) والأحمال (DL, LL) كالمبين بالجدول (2). وعمق التأسيس لجميع القواعد (2م) من مستوى الأرض الطبيعية.



شكل (2) المسقط الأفقي لقواعد المبنى.

جدول (2) أحمال أساسات المبنى

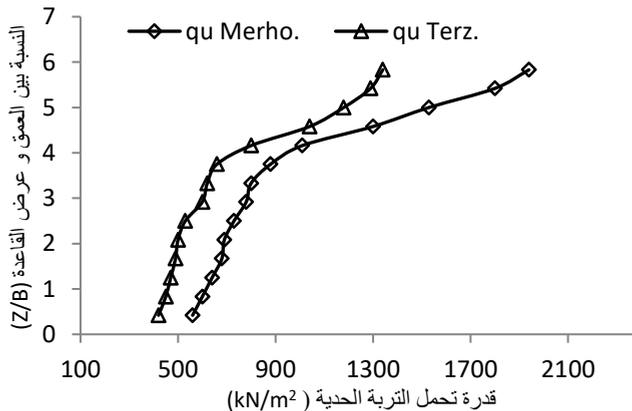
القواعد	F10, F19, F8, F17	F18, F9	F24, F21, F3, F6	F16, F7, F11, F20	F12, F15	F1, F2, F4, F5	F22, F23	F13, F14
DL (kN)	180	170	150	160	140	130	170	180
LL (kN)	120	120	130	110	120	90	110	180

3.3 مشتملات التصميم والتحليل الجيوتقني

التصميم و التحليل الجيوتقني لأساسات المبنى يشمل حساب و تحليل قدرة تحمل التربة الحديدية (q_{ult}) و المسموح بها (q_{all}) في الطبقات تحت الأساس بطريقة (Terzaghi) و كذلك طريقة (Meyerhof)، حساب و تحليل الإجهادات العمودية، الإجهاد الكلي (σ_v)، الإجهاد العمودي الفعال (σ'_v) و إجهاد ضغط الماء في المسامات (u_w)، حساب و تحليل الإجهادات الناتجة عن تأثير الأحمال (ΔP) بطريقة (2:1 approximate)، حساب و تحليل الإجهادات العمودية و الإجهادات الناتجة عن تأثير الأحمال بطريقة (Significantly stressed zone). و تم حساب و تحليل هبوط التصلب (S_c) لطبقات التربة تحت الأساس، و حساب الهبوط التفاضلي (β) بين أساسات المبنى و كذلك حساب أقل ضغط تربة ملاس (q_{min}) و أقصى ضغط تربة ملاس (q_{max}).

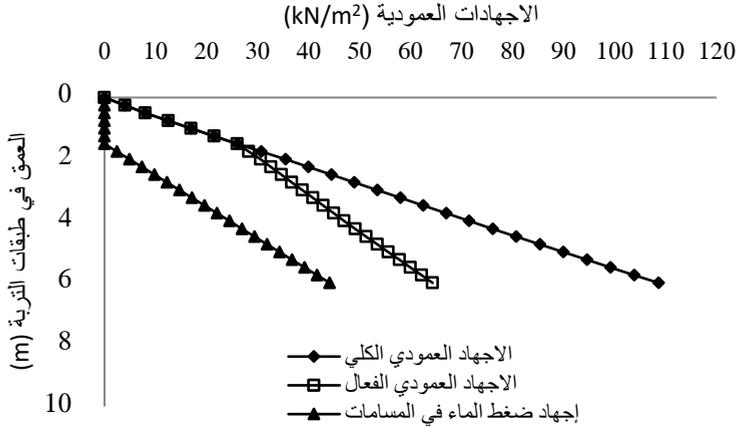
4. تحليل ومناقشة النتائج

نتائج حساب وتحليل قدرة تحمل التربة تحت أساسات المبنى والمبينة بالشكل (3) توضح الزيادة في قدرة تحمل التربة مع الاعماق وتأثير خصائص التربة في الطبقات وتأثير النسبة بين العمق و عرض الاساس، قدرة تحمل التربة (q_{all}) عند عمق التأسيس (2متر) كانت حوالي (245 kN/m^2) باستخدام طريقة (Terzaghi) و حوالي (330 kN/m^2) باستخدام طريقة (Meyerhof).



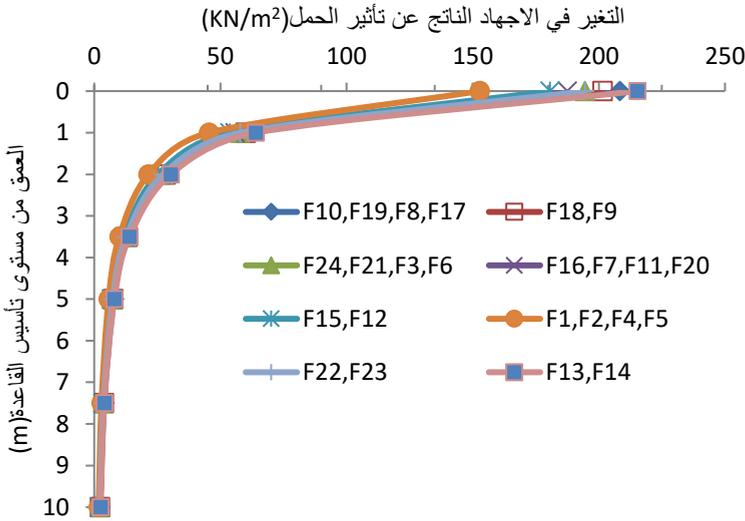
شكل (3) العلاقة بين قدرة تحمل التربة الحديدية (Terz.) (q_{ult})، (Meyer.) (q_{ult}) والنسبة بين العمق و عرض القاعدة (Z/B).

حساب و تحليل الاجهادات العمودية، الاجهاد العمودي الكلي (σ_v)، الاجهاد العمودي الفعال (σ_v') واجهاد ضغط الماء في المسامات (u_w) تزيد بزيادة العمق و تتأثر بخصائص و سلوك طبقات التربة و تجانسها، كالمبين بالشكل (4).



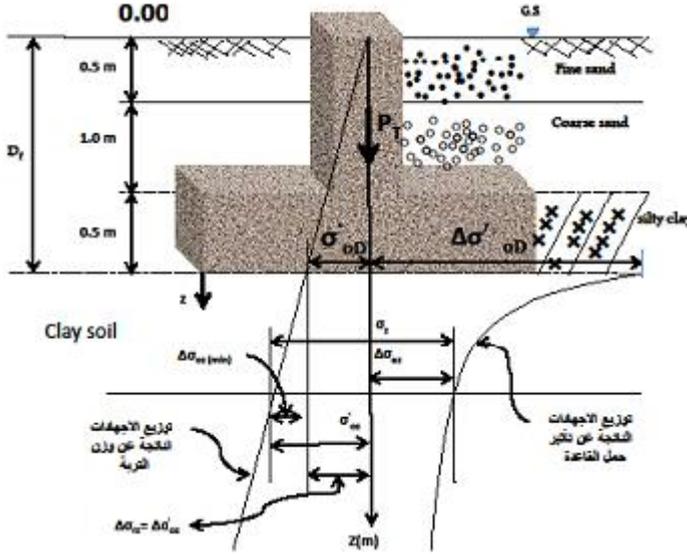
شكل (4) توزيع الاجهادات العمودية في طبقات التربة

حساب وتحليل الاجهادات الناتجة عن تأثير أحمال قواعد المبنى، حيث تم حساب التغير في الاجهاد (ΔP) بطريقة (2:1 Approximate) شكل (5) ونلاحظ أن الاجهاد يتناقص مع الزيادة في العمق و يعتمد على حمل القاعدة و أبعاد القاعدة.



شكل (5) توزيع التغير في الاجهاد الناتج عن تأثير أحمال القواعد في طبقات التربة تحت الأساس.

حساب و تحليل الاجهادات الناتجة عن تأثير أحمال القواعد و عن تأثير وزن التربة في الطبقات، بطريقة (Significantly stressed zone) شكل (6)، ولجميع قواعد المبنى من (F₁) إلى (F₂₄) تم حساب و توزيع الاجهادات الناتجة عن تأثير حمل القاعدة و الاجهادات الناتجة عن وزن التربة في الاعماق و حساب العمق المؤثر (Z_{sig}) والمهم في حساب الاجهاد والهبوط أسفل كل قاعدة حيث تراوح بين 2.4م و 2.66م جدول (3).

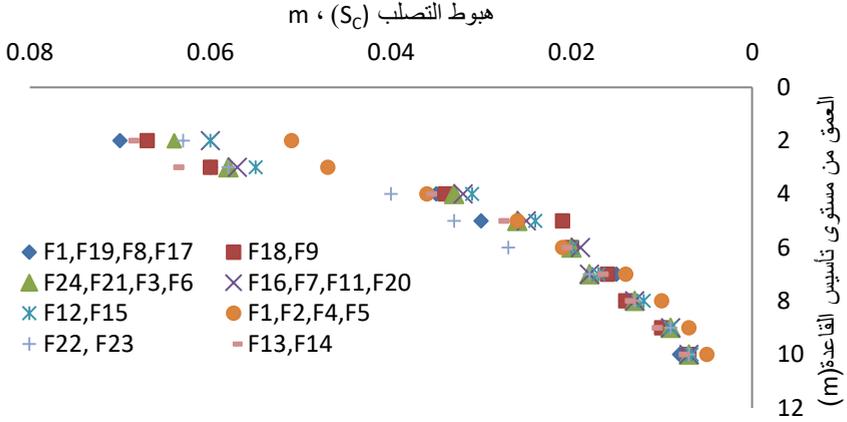


شكل (6) توزيع الاجهادات في طبقات التربة بطريقة (Significantly stressed zone)

جدول (3) العمق المؤثر أسفل أساسات المبنى.

القواعد	العمق المؤثر (Z _{sig}) (m)
F10, F19, F8, F17	2.66
F18, F9	2.65
F24, F21, F3, F6	2.48
F16, F7, F11, F20	2.48
F12, F15	2.4
F1, F2, F4, F5	2.4
F22, F23	2.48
F13, F14	2.48

حساب هبوط التصلب في الطبقات تحت أساسات المبنى شكل (7). ونلاحظ أن قيم الاجهادات والهبوطات وتوزيعها يعتمد على حمل القاعدة وأبعاد القاعدة والخصائص الهندسية للتربة وأعماق الطبقات.



شكل (7) توزيع هبوط التصلب مع العمق في طبقات التربة تحت القواعد

الخلاصة والتوصيات

استعرضت هذه الورقة البحثية أهمية التصميم والتحليل الجيوتقني لأساسات مبنى ومن خلال النتائج المتحصل عليها يمكن وضع وتقديم بعض الاستنتاجات والتوصيات في النقاط التالية:

1. قدرة تحمل التربة في الطبقات تعتمد على نوع التربة وخصائص التربة في الطبقات والتي يجب أخذها في الاعتبار عند التأسيس على طبقات تربة مختلفة الخصائص.
2. حساب قدرة تحمل التربة بطريقة (Meyerhof) تعطي قيم أكبر من قدرة تحمل التربة بطريقة (Terzaghi) وذلك للعوامل والاعتبارات التي أخذها في معادلته العامة لحساب قدرة تحمل التربة. وقدرة تحمل التربة تعتمد كذلك على الطريقة المتبعة في حسابها.
3. الزيادة في قدرة تحمل التربة له علاقة بالزيادة في النسبة بين العمق إلى عرض القاعدة.
4. الزيادة في الاجهاد نتيجة لتأثير أحمال القواعد تحت الاساس يتناقص مع الاعماق في الطبقات.
5. هبوط التصلب في الطبقات تحت الاساس يتناقص مع الاعماق و يعتمد على حمل القاعدة وخصائص التربة في الطبقات.
6. العمق المؤثر في حساب الاجهادات والهبوطات لجميع قواعد المبنى كان يتراوح بين 2.4م إلى 2.66م ويعتمد على بعض خصائص التربة وأحمال القواعد، ومن المهم معرفة المنطقة أو

- العمق الذي يعتبر هام للمختصين في تحديد الاجهادات والهبوطات وكيفية توزيعها في طبقات التربة.
7. الإجهادات العمودية (σ_v, σ'_v, u_w)، في الطبقات تتزايد مع الاعماق في طبقات التربة المتجانسة و تتأثر بخصائص التربة
8. حساب الاجهادات بطريقة (Significantly stressed zone) تعطي أكثر بيان وتوضيح لتوزيع الاجهادات الناتجة عن تأثير أحمال القواعد في طبقات التربة تحت أساسات المباني.
9. لجميع القواعد كان أقصى ضغط تربة ملامس أقل من قدرة تحمل التربة المسموح بها و الهبوط التفاضلي لجميع قواعد المبنى كان في حدود المسموح به ($\beta < 0.002$). و هذا يجعل أساسات المبنى آمنة.
10. توزيع ورسم الاجهادات وقدرة تحمل التربة وكذلك الهبوطات في طبقات التربة مع الاعماق مهم ومفيد للمختصين.
11. في هذه الورقة البحثية لم نتطرق إلى معاملات التصلب للتربة و هي معاملات هامة في التصميم و التحليل الجيوتقني لأساسات المباني و نأمل تناولها في دراسات مستقبلية.
12. نوصي بضرورة الاهتمام بالتصميم والتحليل الجيوتقني عند تصميم أساسات المباني المختلفة.

المراجع

- [1] نادية عمر الجاير محمد (التصميم الجيوتقني لأساسات مبنى) ، بحث بكالوريوس (لم ينشر) بكلية الهندسة، جامعة سبها، للعام الجامعي (2018/2019).
- [2] Braja M. Das. (Fundamentals of Geotechnical Engineering). Third Edition.
- [3] Braja M. Das. (Principles of Geotechnical Engineering). Seventh Edition.
- [4] Eurocode7 : (Geotechnical Design), BS EN 1997-1:2004.
- [5] Kameswara Rao. (Foundation Design: Theory and Practice).
Jon Wiley& sons(Asia)Pte Ltd, 2011.
- [6] Witun, K.Starzewski. (Soil Mechanics in Foundation Engineering). Volume1.
- [7] Joseph E. Bowles. (Foundation Analysis and Design). Fifth Edition, 1997.
- [8] Venkatramaiah. (Geotechnical Engineering). Third Edition, 2006.[9] Curtin.
- [9] G.Shaw, G.I.Parkinson. (Structural Foundation Designer's Manual), 1994

دراسة تأثيرات الاحتكاك الحاصل بين حبيبات التربة وأسطح الأساسات

د. فؤاد فرج فروج¹، د. محمد عبد القادر يوسف²، أ. محمود أحمد المننقى³

^{1,2,3} قسم الهندسة المدنية، كلية العلوم الهندسية والتقنية براك، جامعة سبها

¹Foua.Faraj@Sebhau.edu.ly, ²Moha.Yussef@Sebhau.edu.ly, ³Mah.Almuntaqi@Sebhau.edu.ly

المخلص

إن ما نشاهده من التطورات الحاصلة بمجالات الهندسة الإنشائية المختلفة جعلت من دراسات وأبحاث ميكانيكا التربة مطلب أساسي لأي مشروع هندسي لما لها من أهمية كبيرة في ذلك ، ولغرض الوصول وفهم السلوك الميكانيكي للتربة يتطلب الأمر العديد من الأبحاث ومعرفة لخواص التربة وسلوكها، ودراسة تأثيرات الاحتكاك الحاصل للتربة المحيطة بالأساسات يمثل أهمية بالغة في تقييم ومعرفة قوة مقاومة الاحتكاك السطحي بين التربة وسطح الأساسات بصورة عامة وبين التربة وسطح الركائز الطويلة بصورة خاصة (مثل الركائز المستخدمة لأساسات المنشآت الثقيلة البرية والبحرية) والتي تعتمد على قوة مقاومة الاحتكاك بشكل رئيسي، وكذلك في تحديد مقدار قدرة تحمل التربة للأحمال واتزانها وهبوطها كالترع والميول الترابية، إلى جانب إطالة عمر المنشآت المقامة عليها كأساسات المباني والأبراج والسدود والجسور والطرق والمطارات وبقية المنشآت المدنية الأخرى. يتضمن هذا البحث إجراء العديد من اختبارات القص المباشر بين التربة والتربة باستخدام جهاز صندوق القص المباشر، وكذلك اختبارات أخرى تحاكي واقع الاحتكاك السطحي الحاصل بين حبيبات التربة وأسطح الأساسات بالموقع واستخدمنا فيها قطع من المواد الإنشائية وهي (خرسانة، حديد خشن، حديد أملس)، بحيث تشغل القطعة الإنشائية النصف السفلي من صندوق القص المباشر، ودراسة التأثيرات المختلفة على ذلك فقد تم في هذا البحث دراسة تأثيرات الزيادة في الإجهادات العمودية المسلطة على عينات التربة من خلال مضاعفة الأوزان المستخدمة على صندوق القص المباشر خلال تجارب القص (15Kg , 30Kg , 45Kg) لتولد إجهادات عمودية مسلطة على عينة التربة كالتالي (40.875 , 81.750kPa , 122.625 kPa) وكذلك دراسة تأثيرات التغير في الكثافة الابتدائية للتربة من خلال دراسة لحالات التربة الكثيفة ومتوسطة الكثافة والمفككة .

الكلمات المفتاحية: اختبارات القص، الاحتكاك السطحي، قدرة تحمل التربة، إجهاد القص الأقصى، زاوية الاحتكاك الداخلي.

المقدمة

أن قدرة تحمل التربة يعتمد عليها بشكل أساسي عند تصميم المنشآت والمحافظة عليها ، وكذلك معرفة مقدار الاحتكاك السطحي للأساسات وعليه فدراسة سلوك القص المباشر بين التربة والتربة وسلوك القص

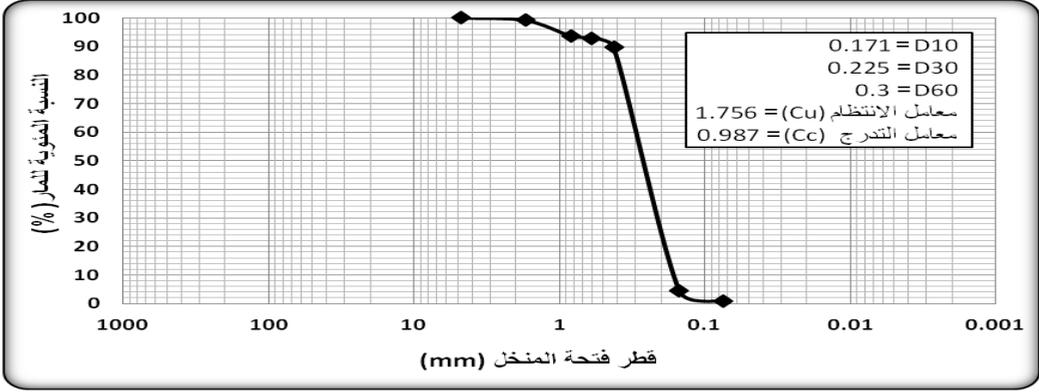
السطحي بين التربة وأسطح الأساسات تزداد أهميته بشكل كبير في حال الإنشاءات على التربة الرملية وتكون معرضة إلى أحمال كبيرة كما في حالة الأساسات العميقة كالدعامات والركائز حيث يعتمد تصميمها على قوة مقاومة الارتكاز وعلى الاحتكاك السطحي، وكذلك في حالة السدود الترابية حيث تعتمد في تصميمها على قوة مقاومة الاحتكاك بين التربة والتربة، وأيضاً في حالة الحوائط الساندة للتربة التي تعتمد في مقاومتها على قوة مقاومة التربة للأحمال والأوزان التي فوقها وعلى الاحتكاك بين التربة وأساسات هذه الحوائط ضد قوة الدفع الجانبي الناتجة من ضغط التربة الجانبي إن أهم العوامل المؤثرة على قوة مقاومة القص هي نوعية التربة و كثافتها الابتدائية و الإجهادات الرأسية المؤثرة عليها و انضغاطيتها وشكل وحجم جزئياتها ورطوبتها و نفاذيتها وخشونة سطح الأساسات.

الهدف الأساسي لإجراء هذا البحث هو دراسة تأثير كل من الكثافة الابتدائية للتربة والزيادة في الإجهادات العمودية على قوة مقاومة القص للتربة، وكذلك دراسة الاحتكاك السطحي الحاصل للأساسات وذلك بأجراء اختبارات القص السطحي بين التربة وأسطح القطع المواد الإنشائية المختلفة.

خواص التربة قيد الدراسة

عينة التربة المختبرة مأخوذة من التربة الرملية بمنطقة غات الواقعة بالجنوب الغربي لليبيا وقد تم تجميع التربة في وعاء بسعة 20 لتر بعد أخذها من عمق لا يتجاوز 50 سم وبالطرق الاعتيادية وبأساليب يدوية عادية بغض النظر عن تغير شكلها الطبيعي، و قد تم حفظ العينات بتجهيز كامل الأدوات والمعدات اللازمة لذلك وهي عبارة عن أكياس بلاستيكية، وذلك لغرض توفير الحماية اللازمة للعينات من فقدان خواصها ومنع دخول أي مواد أخرى عليها، ثم وضعت في أوعية وتم إغلاقها بشكل جيد بواسطة شريط لاصق وربطها جيداً داخل وسيلة النقل لشحنها إلى المعمل.

والتربة المختبرة ذات معامل التدرج يساوي 0.987 لتكون التربة رديئة التدرج، ومعامل انتظام يساوي 1.756، والذي يوضح بأن التربة رملية ناعمة إلى قليلة الخشونة، و قد تم تصنيف التربة A-3 حسب نظام (AASHTO)، والشكل (1) يمثل منحنى التحليل المنخلي لعينة التربة لمنطقة غات، ويبين الجدول (1) الخواص الفيزيائية للتربة الرملية المختبرة. وأوضحت الاختبارات الكيميائية أيضاً بأن التربة المختبرة لمنطقة غات تحتوي على نسبة قليلة جداً من الكبريتات وتقدر 0.066، ونسبه قليلة أيضاً من كربونات الكالسيوم وتقدر بأقل من 1، وما نسبته 0.427 من المواد العضوية.



AASHTO Classification System

Boulders	Gravel			Sand			Silt	Clay
	Coarse	Medium	Fine	Coarse	Medium	Fine		

شكل (1) يوضح منحنى التحليل المنخلي للعيينة المختبرة بمنطقة غات.

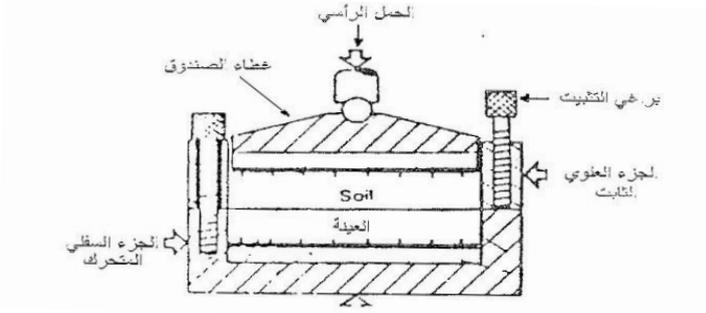
الجدول (1) يبين الخصائص الفيزيائية للتربة الرملية المختبرة.

Condition Of Soil	Specific density	Dry density gm / cm ³	Uniformity coefficient Cu	Void ratio E
Loose dry sand	2.64	1.45	1.75	0.90
Medium dense dry Sand	2.64	1.54	1.75	0.66
Dense dry Sand	2.64	1.65	1.75	0.41

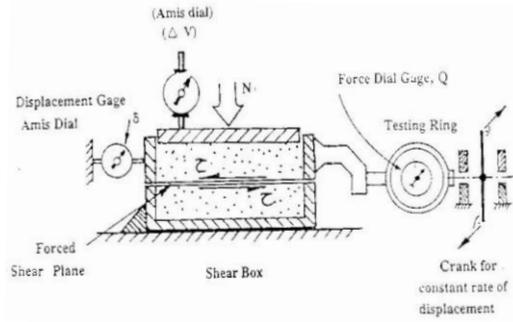
البرنامج العملي

تعتبر اختبارات القص المباشر من أقدم وأسهل أنواع اختبارات القص، لتحديد إجهاد القص الأقصى المناظر للإجهاد الرأسي على مستوى القص، وتكون قيمة إجهادات القص واضحة في حالة التربة الرملية الكثيفة، أما في حالة التربة الرملية المفككة فيمكن تحديد قيمة الإجهاد الحدي للقص، وأيضاً يمكن بسهولة تحديد العلاقة بين الإجهاد والقص والانفعال، تضمنت هذه الدراسة إجراء التجارب للرمل الجاف في ثلاث حالات المفككة و متوسطة الكثافة والكثيفة باستخدام جهاز صندوق القص المباشر الموضح بالشكل (2-أ)، وذلك لإيجاد قيم زوايا الاحتكاك الداخلي للتربة وقيم زوايا الاحتكاك السطحي بين التربة والأساسات، و لتحضير عينة الاختبار يتم وضع التربة في صندوق القص لمحاكاة الواقع، ففي حالة التربة الرملية المفككة، يتم وضع التربة من ارتفاع قليل لتعطي الحالة المفككة، بينما للحصول على تربة

متوسطة الكثافة، يتم طرق صندوق القص بعدد من الطرقات لا تزيد عن 10، أما في حالة التربة الرملية الكثيفة يتم وضع التربة في الصندوق على طبقات متساوية وفي كل مرة يتم تسوية السطح بالمدك للوصول إلى الكثافة المطلوبة، الشكل (2-ب) والشكل (3-ج) يوضح تركيب جهاز صندوق القص المباشر الذي تم استخدامه في إجراء هذه الاختبارات.



شكل (2-أ) يوضح صندوق القص المباشر



شكل (2 - ب) يوضح تركيب جهاز صندوق القص المباشر



شكل (3 - ج) يوضح جهاز صندوق القص المباشر المستخدم

لإجراء تجارب القص السطحي بين التربة وقطع المواد الإنشائية فقد تم تجهيز وصنع قطع من الحديد وأخرى خرسانية وبأبعاد مساوية لأبعاد صندوق القص (60 مم، 60 مم، 15 مم) بحيث تشغل الجزء السفلي منه، وقطع الحديد المصنوعة إحداها ذات سطح أملس والأخرى ذات سطح خشن كما هو موضح بالشكل رقم (3).



شكل (3) يوضح صناديق القص وبها قطع المواد الإنشائية المستخدمة (حديد خشن، حديد أملس، خرسانة)

النتائج والمناقشة

يبين الجدول (2) نتائج اختبارات القص المباشر للتربة الرملية، والجدول (3) يبين نتائج اختبارات القص السطحي بين التربة الرملية وسطح خرساني و كذلك الجدولين (4)، (5) يبينان نتائج اختبارات القص السطحي بين التربة الرملية و سطح حديد خشن و آخر أملس ومن القيم الموجودة في الجداول تبين لنا بأن إجهادات القص الداخلي القصوى و الحديدية، وكذلك زوايا القص الداخلي القصوى (ϕ_p) و الحديدية (ϕ_u) تزداد بازدياد كثافة التربة، وزيادة الاجهادات العمودية.

الجدول (2) نتائج اختبارات القص المباشر للتربة الرملية

Sand-Sand Interface						
σ KPa	Dry density gm/cm ³	Test No.	τ_p	τ_u	ϕ_p	ϕ_u
40.875	1.45	N ₁	31.878	31.878	40	37
81.750		N ₂	66.273	66.273		
122.625		N ₃	104.863	104.863		
40.875	1.54	N ₄	40.267	37.751	44	42
81.750		N ₅	77.179	73.823		
122.625		N ₆	109.896	82.212		
40.875	1.65	N ₇	46.623	40.267	48	44
81.750		N ₈	87.246	62.918		
122.625		N ₉	125.835	82.212		

الجدول (3) نتائج اختبارات القص السطحي بين التربة الرملية و سطح خرساني

Sand-Concrete Interface						
σ KPa	Dry density gm/cm ³	Test No.	τ_P	τ_U	δ_P	δ_U
40.875	1.45	C ₁	26.006	26.006	32	31
81.750		C ₂	52.012	52.012		
122.625		C ₃	76.340	76.340		
40.875	1.54	C ₄	29.362	25.167	37	31.6
81.750		C ₅	62.079	50.334		
122.625		C ₆	88.085	69.629		
40.875	1.65	C ₇	33.56	25.17	39	31.62
81.750		C ₈	66.273	50.34		
122.625		C ₉	102.346	72.98		

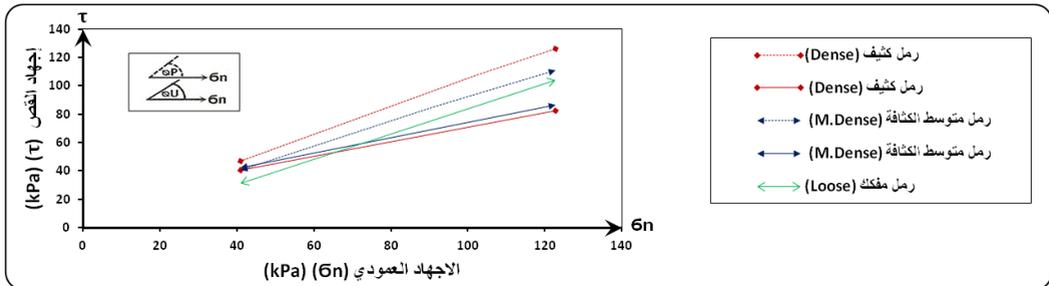
الجدول (4) يبين نتائج اختبارات القص السطحي بين التربة الرملية و سطح حديد خشن.

Sand-Steel Interface (Rough Surface)						
σ KPa	Dry density gm/cm ³	Test No	τ_P	τ_U	δ_P	δ_U
40.875	1.45	R ₁	23.489	23.489	35	29
81.750		R ₂	58.723	58.723		
122.625		R ₃	82.212	82.212		
40.875	1.54	R ₄	35.234	32.717	42	32
81.750		R ₅	73.823	52.012		
122.625		R ₆	94.796	75.501		
40.875	1.65	R ₇	41.11	27.684	45	35
81.750		R ₈	70.47	40.761		
122.625		R ₉	107.38	41.208		

الجدول (5) يبين نتائج اختبارات القص السطحي بين التربة الرملية و سطح حديد أملس.

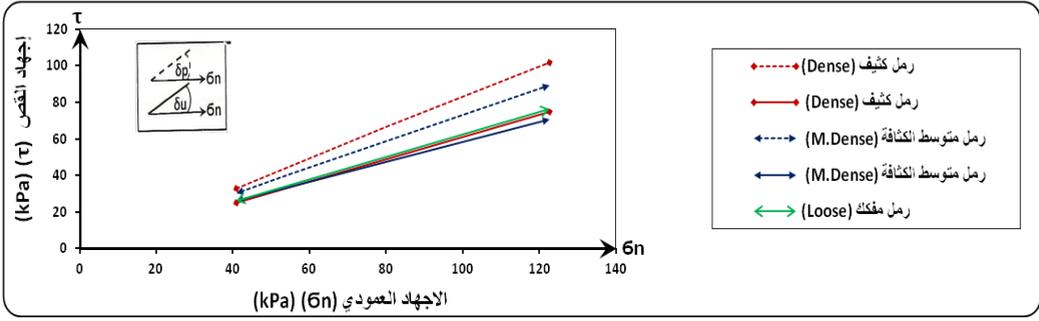
Sand-Steel Interface (Smooth Surface)						
σ KPa	Dry density gm/cm ³	Test No	τ_p	τ_u	δ_p	δ_u
40.875	1.45	S ₁	12.584	12.584	17	16
81.750		S ₂	24.328	24.328		
122.625		S ₃	37.751	37.751		
40.875	1.54	S ₄	15.939	13.422	21	18
81.750		S ₅	26.006	26.006		
122.625		S ₆	54.690	53.690		
40.875	1.65	S ₇	18.456	15.100	26	20
81.750		S ₈	40.267	40.267		
122.625		S ₉	57.884	56.206		

الأشكال (4)، (5)، (6) ، (7) تمثل العلاقات بين الإجهادات العمودية المسلطة على عينات التربة و إجهادات القص بالحالات المختلفة للتربة ، وكذلك الأنواع المختلفة للقطع الإنشائية ، حيث توضح العلاقات زيادة إجهادات القص مع زيادة الإجهادات العمودية والعلاقة طردية بكل الحالات ، وتوضح زوايا الاحتكاك الداخلي للتربة الرملية (ϕ_u ، ϕ_p)، أكبر بقليل من نظيراتها زوايا الاحتكاك السطحي بين التربة و السطح الخرساني (δ_u ، δ_p) و كذلك بين التربة و سطح الحديد الخشن، و هذا يُعزي إلى أن خشونة حبيبات الرمل مساوية تقريباً لخشونة السطح الخرساني والسطح الخشن لقطعة الحديد، في حين أن زوايا الاحتكاك السطحي بين التربة الرملية و السطح الأملس لقطعة الحديد (δ_p ، δ_u)، تكون أقل بكثير من (ϕ_u ، ϕ_p)، بسبب نعومة سطح قطعة الحديد.

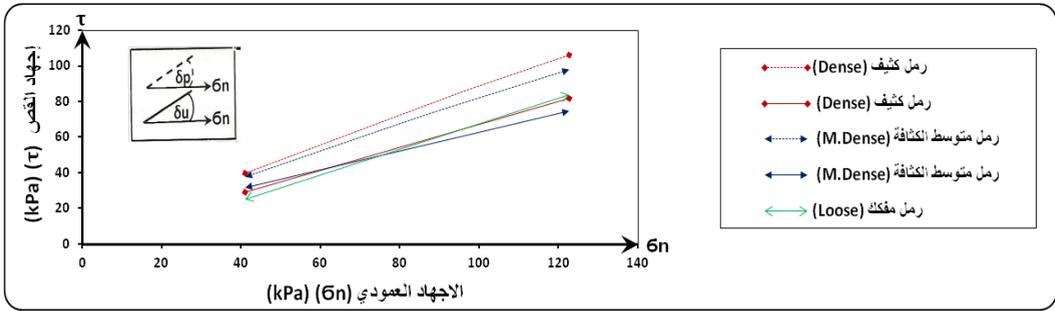


شكل (4) يوضح العلاقة بين الإجهاد العمودي واجهاد القص لعينة التربة بمنطقة غات

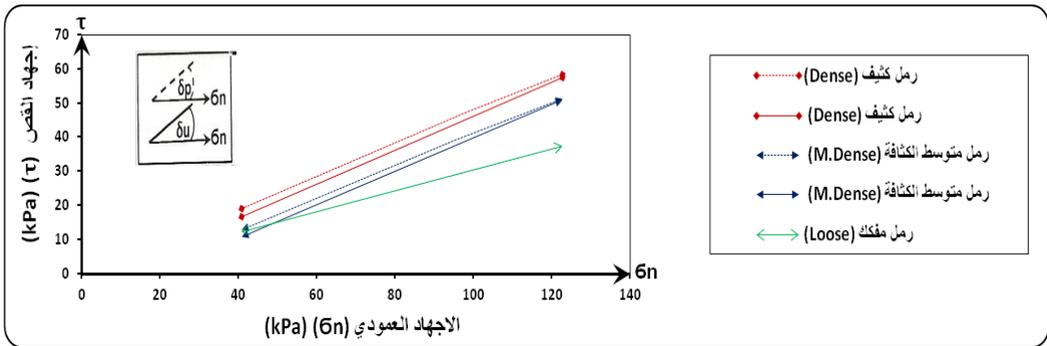
في اختبارات القص المباشر بين التربة والتربة.



شكل (5) يوضح العلاقة بين الإجهاد العمودي وإجهاد القص لعينة التربة بمنطقة غات في اختبارات القص السطحي بين التربة و سطح خرساني.

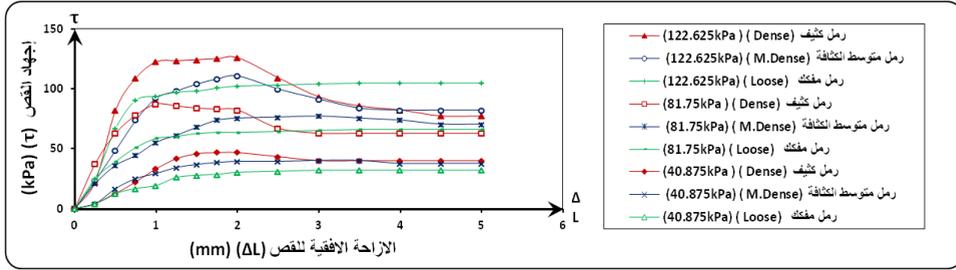


شكل (6) يوضح العلاقة بين الإجهاد العمودي وإجهاد القص لعينة التربة بمنطقة غات في اختبارات القص السطحي بين التربة و سطح حديد خشن.



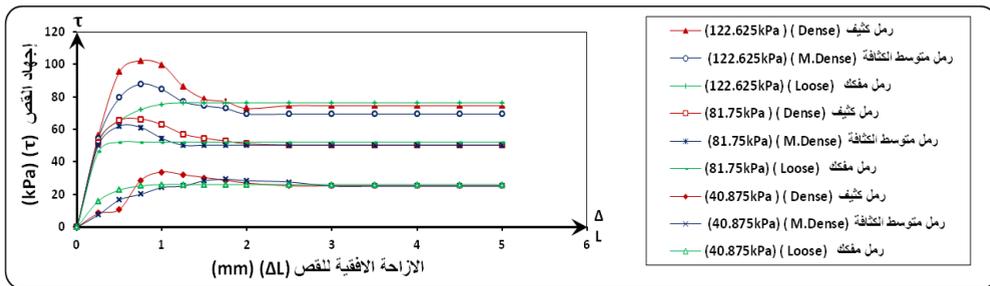
شكل (7) يوضح العلاقة بين الإجهاد العمودي وإجهاد القص لعينة التربة بمنطقة غات في اختبارات القص السطحي بين التربة و سطح حديد أملس

ويمثل الشكل (8) العلاقة بين أجهاد القص والإزاحة الأفقية للقص لعينة التربة الرملية بمنطقة غات في اختبارات القص المباشر بين التربة والتربة، بحيث يوضح مدى التغير الحاصل في إجهادات القص بالتربة خلال الإزاحة الأفقية للقص في حالات التربة الرملية الكثيفة و متوسطة الكثافة والمفككة ، ونلاحظ من العلاقة بداية صعود المنحنيات جميعها من الصفر ومع زيادة الإزاحة الأفقية ترتفع قيم أجهاد القص الداخلي لحبيبات التربة وبزيادة أكبر في العينات التربة الكثيفة وبعد إزاحة مقدارها 2 مم تبدأ القيم في التناقص مع زيادة الإزاحة الأفقية للقص الى أن تصل لمستوى القيم الحدية بعد 3مم من الإزاحة الأفقية بحيث يصبح أجهاد القص شبه ثابت مع زيادة في الإزاحة الأفقية للقص.



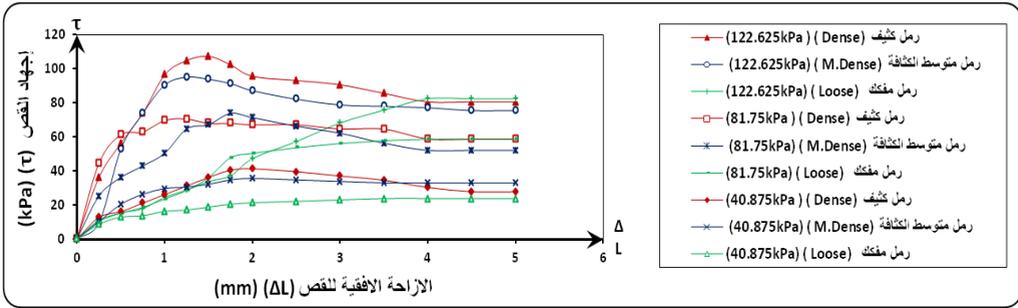
شكل (8) يوضح العلاقة بين أجهاد القص والإزاحة الأفقية للقص لعينة التربة بمنطقة غات في اختبارات القص المباشر بين التربة والتربة

والشكل (9) يمثل العلاقة بين أجهاد القص و الإزاحة الأفقية للقص لعينة التربة بمنطقة غات في اختبارات القص السطحي بين التربة و سطح خرساني، ونلاحظ التغير الحاصل في إجهادات القص لعينة التربة خلال الإزاحة الأفقية للقص ، ففي حالة التربة الرملية الكثيفة، ومتوسطة الكثافة يبدأ المنحنى بارتفاع قبل 1مم من الإزاحة الأفقية ويصل مستوى القيم القصوى (τ_p) عند الإزاحة الأفقية مقدارها 0.75 مم ليبدأ في الانخفاض إلى القيم الحدية للإجهاد (τ_{II}) عند الإزاحة الأفقية مقدارها 1.25 مم ، وتختلف قيم هذا الانخفاض بناءً على اختلاف كثافة التربة، وأيضاً مقدار الأجهاد الرأسي المسلط على العينة ، أما في حالة التربة المفككة فيزداد أجهاد القص ليصل إلى مستوى القيم الحدية للإجهاد بعد 1.5مم.



شكل (9) العلاقة بين أجهاد القص والإزاحة الأفقية للقص لعينة التربة بمنطقة غات في اختبارات القص السطحي بين التربة و سطح خرساني

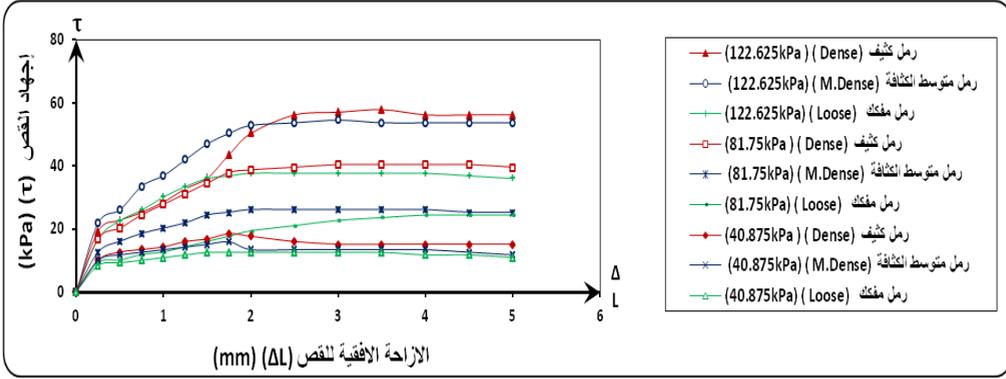
والشكل (10) يمثل العلاقة بين أجهاد القص والإزاحة الأفقية للقص لعينة التربة لمنطقة غات في اختبارات القص السطحي بين التربة و سطح حديد خشن، يوضح التغير الحاصل في إجهادات القص خلال الإزاحة الأفقية للقص. ففي حالة إجهاد القص السطحي لسطح حديد خشن نلاحظ صعود المنحنى وارتفاع قيم أجهادات القص من بداية الإزاحة الأفقية ونلاحظ في التربة ألكثيفة تزداد لتصل إلى مستوى القيم القصوى (τ_p) عند الإزاحة الأفقية مقدارها 1.50 مم ، بعدها يبدأ في الانخفاض إلى القيم الحدية (τ_u) عند الإزاحة الأفقية مقدارها 4.0 مم ، ونلاحظ في التربة متوسطة الكثافة يزداد ليصل إلى مستوى القيم القصوى (τ_p) عند الإزاحة الأفقية مقدارها 1.25 مم ليبدأ في الانخفاض إلى القيم الحدية (τ_u) عند الإزاحة الأفقية 4 مم، أما في حالة التربة المفككة فيزداد ليصل إلى مستوى القيم الحدية له بعد الإزاحة الأفقية 3 مم.



شكل (10) يوضح العلاقة بين أجهاد القص والإزاحة الأفقية للقص لعينة التربة بمنطقة غات في

اختبارات القص السطحي بين التربة و سطح حديد خشن

والشكل(11) يمثل العلاقة بين أجهاد القص و الإزاحة الأفقية للقص لعينة التربة لمنطقة غات في اختبارات القص السطحي بين التربة و سطح حديد أملس ، بحيث يوضح التغير الحاصل في إجهادات القص خلال الإزاحة الأفقية للقص في الحالات الثلاث الكثيفة ومتوسطة الكثافة و المفككة، ونلاحظ صعود قيم الأجهاد من بداية الإزاحة الأفقية للقص و يزداد ليصل إلى مستوى القيم القصوى (τ_p) عند الإزاحة الأفقية مقدارها 3 مم وتصبح مساوياً تقريباً للقيم الحدية (τ_u).



شكل (11) العلاقة بين أجهاد القص والإزاحة الأفقية للقص لعينة التربة بمنطقة غات في اختبارات القص السطحي بين التربة وسطح حديد أملس.

الخلاصة والاستنتاجات

أجريت في هذه الدراسة مجموعة من تجارب صندوق القص المباشر على عينات التربة الرملية بمنطقة غات، والدراسة اشتملت على دراسة سلوك الاحتكاك الحاصل بين حبيبات التربة وأسطح الاساسات في كل من اختبارات القص المباشر بين التربة والتربة وكذلك اختبارات القص السطحي بين التربة وأسطح قطع المواد الإنشائية المختلفة المستخدمة، وتضمنت الدراسة أيضا دراسة تأثيرات التغير في الاجهادات العمودية وكذلك التغير بالكثافة الاولية للتربة، وخلصت الدراسة الى مجموعة من الاستنتاجات يمكن تلخيصها في النقاط التالية:-

1- قوة مقاومة القص للتربة الرملية التي تم دراستها بكل حالاتها وفي كل الاختبارات المختلفة تعتمد على الاجهادات العمودية المؤثرة عليها بصورة عامة، حيث تزداد قوة مقاومة القص بزيادة الاجهادات العمودية المؤثرة عليها.

2- قوة مقاومة القص القصوى والحدية للقص تعتمد على الكثافة الاولية للتربة الرملية، وتزداد بزيادتها وهذا مطابق لما هو معروف من الدراسات السابقة في هذا المجال.

3- عينات الرمل الكثيف حققت أقل مسافة قص لقيم القصوى لإجهادات القص بكل اختبارات مقارنة بعينات الرمل الاخرى.

4- إن القيم القصوى والحدية لإجهادات القص تزداد بزيادة خشونة أسطح المواد الإنشائية.

5- الازاحة الأفقية للقص التي يصل عندها مستوى قيم إجهادات القص القصوى (τ_p) للتربة الرملية في حالة السطح الخرساني والسطح قطعة الحديد الخشن ، تكون أقصر منها في حالة السطح قطعة الحديد الأملس.

6- زوايا الاحتكاك السطحي بين التربة و السطح الخرساني (δ_u ، δ_p) و كذلك بين التربة و سطح الحديد الخشن أكبر من زوايا الاحتكاك السطحي بين التربة الرملية و السطح الأملس لقطعة الحديد (δ_p ، δ_u).

7- قيم اجهدادات القص الناتجة من اختبارات القص المباشر بين التربة والتربة أكبر بقليل من قيم اجهدادات القص السطحي بين التربة و سطح قطعة المواد الانشائية.

التوصيات

لقد خلصت هذه الدراسة الى مجموعة من التوصيات تم ايجازها في النقاط التالية:-

1- نوصي بعمل دراسة لعدة أنواع أخرى من التربة كالتربة الطينية مثلا والتنوع بمناطق الدراسة لتشمل كامل مناطق ليبيا.

2- نوصي بعمل دراسة باستخدام أجهزة اختبارات القص اخرى وقطع مواد انشائية مختلفة.

3- نوصي بعمل دراسة حقلية للموقع المدروس وإجراء اختبارات حقلية على سلوكيات التربة وخواصها.

المراجع

[1] شاهين. م. ا. (السلوك الاستاتيكي للتربة الرملية) ، المؤتمر الوطني الرابع لمواد البناء والهندسة الإنشائية،

كلية الهندسة بصبراتة- جامعة الزاوية 2008 ، مجلد الأبحاث العلمية، الصفحات (265 - 275).

[2] الدوري، ر.ح (سلوك القص بين التربة و سطح الأساسات)، المؤتمر الوطني الثاني لمواد البناء والهندسة الإنشائية،

كلية الهندسة- جامعة المرقب، 2004 ،مجلد الأبحاث العلمية 1، الصفحات (306-318).

[3] شاهين. م. ا. (Shaft resistance of model pile in dry sand)، المؤتمر الوطني للمهندسين 98 ، مصراتة 1998 ف، مجلد بحوث المؤتمر 1 الصفحات (43 - 52).

[4] شاهين. م. ا. (مقاومة الاحتكاك السطحي لنموذج وتدي مغمور في تربة رملية مبللة) ،المؤتمر الوطني الثاني لمواد البناء والهندسة الإنشائية، كلية الهندسة - جامعة المرقب 2004 ، مجلد الأبحاث العلمية 2 الصفحات(144 - 153).

[5]- Randolph, M.F.,(The Axial Capacity of Deep Foundation in sand), proceedings international conference of calcareous sediments, Perth, Australia, vol. 2, Balkema,1988, pages (837 – 857).

[6] الدوري، ر.ح. (السلوك الاستاتيكي للتربة الرملية الكربونية والسيلايكية)، المؤتمر الوطني الأول لمواد البناء والهندسة الإنشائية، كلية العلوم الهندسية والتقنية- جامعة سبها، 2002، مجلد الأبحاث العلمية، الصفحات (140 -130).

الرموز المستخدمة:

τ_p - إجهادات القص القصوى.

τ_u - إجهادات القص الحدية.

δ_p - الزاوية القصوى للاحتكاك السطحي.

δ_u - الزاوية الحدية للاحتكاك السطحي.

تأثير التمدد المرن للخرسانة على فواقد الإجهاد في الخرسانة سابقة الإجهاد

أمين مصطفى بوزيد

ماجستير في الهندسة المدنية، درنة، ليبيا

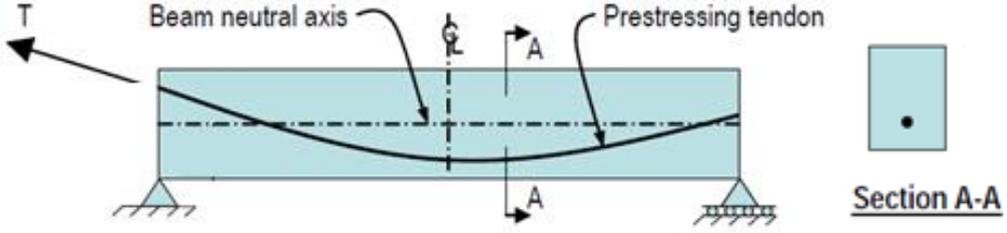
للمراسلة aminbouzid6890@gmail.com

المخلص

تفقد الخرسانة سابقة الإجهاد جزء من كفاءتها في الأداء مثل الإجهادات و الهطول والشقوق بسبب فواقد الإجهاد، تدرس هذه الورقة تأثير الانكماش المرن للخرسانة على فواقد الإجهاد في الخرسانة سابقة الإجهاد من خلال دراسة تأثير خصائص الخرسانة التي تصف تشوهها، يخضع الإجهاد الفعال في الخرسانة لتخفيض تدريجي مع مرور الوقت لأسباب مختلفة ويعرف ذلك بفواقد الإجهاد، ومن الأنواع المختلفة لفواقد الإجهاد كالتالي تعتمد على الزمن أو كالتالي تعتمد على اللحظية كالانكماش المرن أو التشوه المرن، حيث لا توجد فواقد للإجهاد بسبب التشوه المرن إذا تم شد جميع الكوابل في وقت واحد، ولكن إذا تم شدها على التوالي فيكون هناك فقد للإجهاد بسبب الانكماش المرن للخرسانة. في هذا البحث سوف يتم توضيح تأثير خصائص الخرسانة التي تصف تشوها على زيادة أو تقليل فواقد الإجهاد في الخرسانة سابقة الإجهاد، وكذلك من أجل وصف تأثيرها على سلوك الخرسانة سابقة الإجهاد في التشوه عند تعرضها لسبق الإجهاد من أجل تحسين أدائها الخدمي كالهطول والشقوق، وكذلك تحسين السعة الإنشائية للإجهادات، وباستخدام خطوات طريقه معهد الخرسانة الجاهزة وسابقه الإجهاد (PCI) لتحديد فواقد الإجهادات، تشير نتائج البحث إلى حدوث فواقد بسبب التأثير بالتشوه المرن للخرسانة وذلك في الإجهادات والتشوه (الهطول)، يوصى بتحديد دقيق لقيم الخواص الخرسانية التي تصف تشوهها للتقليل من فواقد الإجهاد وتحسين الأداء الخدمي لها، كذلك لا يوصى بتغيير قيم مقاومه ضغط الخرسانة للتقليل من الانكماش المرن لخفض فواقد الإجهاد في الخرسانة سابقة الإجهاد. **الكلمات المفتاحية:** الانكماش المرن، التشوه، فواقد الإجهاد، الخرسانة سابقة الإجهاد، الكفاءة.

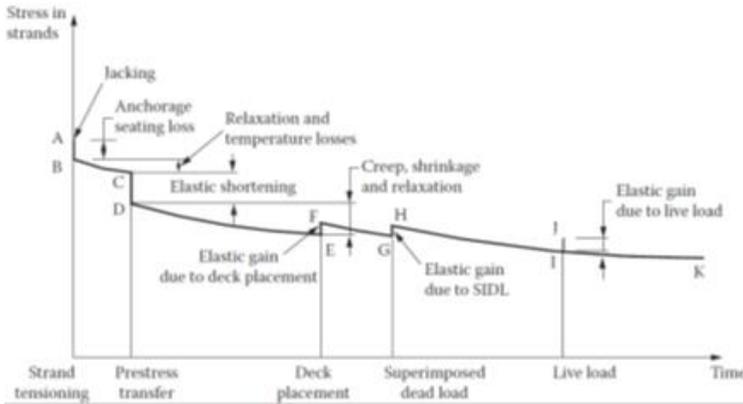
المقدمة

يتطلب تصميم خرسانة سابقة الإجهاد التنبؤ الدقيق بفواقد سبق الإجهاد والتي تعرف على أنها فقدان إجهاد الشد في فولاذ الإجهاد (الكوابل) الذي يعمل على قطاع الخرسانة سابقة الإجهاد، في الخرسانة مسبقة الشد توجد أربعة أنواع لفواقد الإجهاد وهي: الانكماش المرن (ES) ، الزحف (CR) ، الانكماش (SH)، والاسترخاء (RE) ، تتأثر فواقد سبق الإجهاد أيضاً باختلاف الخصائص الميكانيكية للخرسانة، وقد أجريت العديد من البحوث وتم اقتراح مجموعة متنوعة من طرق التنبؤ بفواقد سبق الإجهاد.



شكل رقم (1): يوضح تفصيل كمره سابقة الإجهاد بكابل الشد

لطالما شكّل التحديد الدقيق لفوائد سبق الإجهاد تحديًا لصناعة الخرسانة سابقة الإجهاد، تؤدي التنبؤات غير الدقيقة للفوائد إلى الهطول أو انحراف العناصر الإنشائية الخرسانية سابقة الإجهاد، يمكن أن يؤثر زيادة انحراف العنصر الإنشائي الكبير بدوره سلبًا على الخدمية مثل: التشقق والهطول والأداء العام له، يمكن أن يؤدي التشقق الكثير إلى تقليل من متانة العنصر الإنشائي لأن التشقق يمكن أن يكون مساريًا للملوّثات المنقولة بالماء التي تؤدي إلى تدهور الخرسانة وحديد تسليحها (كوابل)، فوائد الإجهاد هو الفرق بين الضغط الأولي في الكوابل والإجهاد الفعال في العنصر الإنشائي، تشمل فوائد الإجهاد على حد سواء الفوائد الفورية والفوائد المعتمدة على الزمن، بالنسبة للعضو المجهد يجب مراعاة فوائد ما قبل الإجهاد بسبب التمدد المرن والانكماش وزحف الخرسانة واسترخاء الكوابل، بعض المتغيرات الهامة التي تؤثر على فوائد الإجهاد هي معامل المرونة للخرسانة و الزحف والانكماش، يمكن التنبؤ بفوائد سبق الإجهاد، يوضح الشكل (2) التغير في ضغط الإجهاد بمرور الزمن لعارضة سابقة الشد.



شكل (2): يوضح مخطط فقد الإجهاد خلال الزمن في الكمرات المسبقة الإجهاد

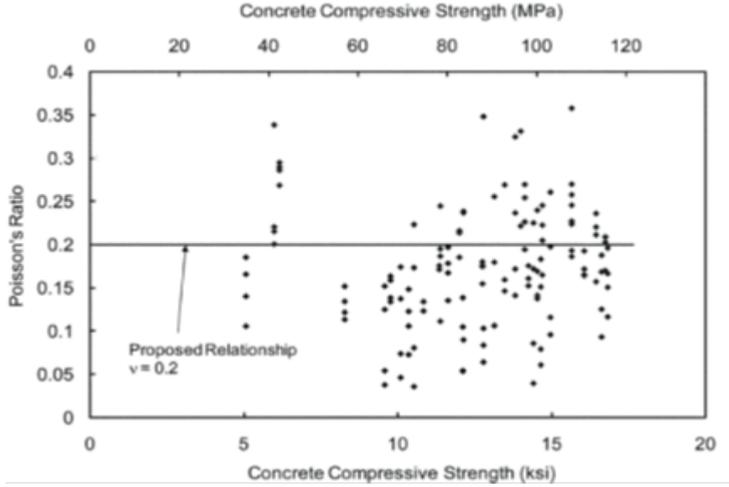
إن الضغط الفعال عند السطح هو الضغط مطروحاً منه جميع الفوائد، نظراً لأنه في معظم الحالات يمكن تعويض الفقد الاحتكاكي عن طريق زيادة الإجهاد، الفوائد الكلية ترجع إلى التمدد المرن والانكماش والزحف للخرسانة وارتخاء الكوابل، يمكن التعبير عن الفوائد كنسبة مئوية من حيث الإجهاد أو من حيث التشوه الكلي (الهطول)، المقارنة بإجمالي الفوائد لسابقة الشد ولاحقة الشد كما يلي:

جدول رقم (1) يبين قيم مقارنه بفوائد الإجهاد لطريقي الإجهاد المسبق واللاحق للكمرات الخرسانية

لاحقة الإجهاد (Post-Tensioning)	سابقة الإجهاد (Pre-Tensioning)	مصادر فوائد الإجهاد
1	3	الانكماش المرن (Elastic Shortening)
5	6	زحف الخرسانة (Creep of Concrete)
6	7	انكماش الخرسانة (Shrinkage of Concrete)
3	2	استرخاء الكوابل (Creep of Steel)
15%	18%	مجموع

2. موضوع الدراسة

تحدث فوائد التمدد المرن بسبب الانكماش الذي ينجم عن الضغط الفوري للخرسانة عند نقل قوة الإجهاد إلى سطح الخرسانة، والذي يسمح للفلواز بالانكماش معها، حيث فقدان إجهاد الشد في سبق الإجهاد هو بسبب حدوث تغير في حجم العنصر الإنشائي دون ان يؤثر الإجهاد علي اكساب العنصر ضغط، يعتمد الانكماش المرن على النسبة المعيارية ومتوسط الإجهاد في الخرسانة وعلى مستوى الفلواز المسبق، أن طرق قياس نسبة بواسون (ν) هي وفق المواصفة ((ASTM C469، نتائج الاختبارات لا تُظهر وجود علاقة واضحة بينها وبين مقاومة ضغط خرسانه (f_c)، متوسط نسبة بواسون لجميع الاسطوانات المختبرة هو (0.17) مع انحراف معياري قدره (0.07)، تتراوح نسبة بواسون بين (0.1) إلي (0.3) وفق اغلب المصادر، وتأخذ مساويه الي (0.2) للتحليل الإنشائي :



شكل (3): يوضح علاقة بين نسبة بواسون (ν) ومقاومة ضغط الخرسانة (f_c')، [1]

تحسب الفواقد الناتجة من الإنكماش المرن للإجهاد بناءً على معامل مرونة الخرسانة وقت تطبيق قوة الإجهاد، ويتم حساب الانكماش وفواقد الإجهاد بناءً على الإجهاد في مركز قوة الضغط، هذا الإجهاد هو الضغط بسبب قوة الإجهاد التي تعمل مباشرة بعد تطبيق قوة الإجهاد ناقص الضغط الناتج عن جميع الأحمال الميتة التي تعمل في ذلك الوقت، [4]، قد أثارت بحوث الصناعة تساؤلات حول أن تأثير الانكماش المرن هو أكبر من الذي تصفه الاكواد (ACI318 - PCI)، حيث تتصح PCI منتجي الخرسانة مسبقاً الصب بفحص فواقد الإجهاد في منتجات الخرسانة سابقة الإجهاد، لتقييم التأثير المحتمل على أداء، ويجب أن تكون هناك تدابير لمراقبة الجودة عند التنفيذ.

3. مراجعة المواصفات و الدراسات السابقة

تقول المواصفة الأمريكية [2]، [ACI-318-14] (في الفقرة 20.3.2.6.1 يجب مراعاة فواقد الإجهاد عند حساب إجهاد الشد الفعال في كوابل سبق الإجهاد (f_{se}) والتي تشمل: (أ) مثبتات كوابل سبق الإجهاد، (ب) الانكماش المرن للخرسانة، (ج) زحف الخرسانة، (د) انكماش الخرسانة عبر الزمن، (هـ) استرخاء كوابل سبق الإجهاد، (و) الاحتكاك الناتج عن الانحناء مقصود أو غير مقصود في كوابل ما بعد الشد، وتقول أيضاً الفقرة 20.3.2.6.2 انه يجب أن يستند فقد الاحتكاك المحسوب في كوابل ما بعد الشد إلى معاملات الاحتكاك للتمايل والانحناء المحدد تجريبياً، وكذلك تقول الفقرة 20.3.2.6.3 انه في حالة توقع فقد للإجهاد في العضو بسبب اتصال العضو بالعضو المجاور يجب تضمين فواقد الإجهاد في حسابات التصميم، أيضاً ووفق المواصفة الأمريكية [3]، [ACI-423.10R-16]، التي تقول في الفقرة 1.1 إن تقدير فواقد الإجهاد المسبق في أي وقت خلال عمر الخرسانة سابقة الإجهاد هو مسألة معقدة

في حالة مسبق الشد ولاحق الشد، يؤدي تطبيق قوة الإجهاد المسبق إلى انكماش الخرسانة الذي بدوره يؤدي إلى فقدان إجهاد الكوابل، وبمرور الوقت يؤدي الزحف الخرسانة وانكماش الخرسانة واسترخاء الكوابل إلى تخفيضات إضافية في ضغط الكوابل، في عناصر لاحقت الشد تحدث الفوائد أثناء عملية الضغط بسبب الاحتكاك بين الكابل والغلاف أو القناة، والذي يحدث بسبب انحناء الكابل، هناك أيضًا خسائر بسبب وضع مثبتات أو صواميل للكوابل حيث يتم نقل قوة الرفع إلى جهاز التثبيت، يتم فحص هذه المصادر ومصادر أخرى لفقدان الإجهاد من قبل المصمم للحصول على تقدير للفوائد الكلية للإجهاد وما ينتج عنها من قوة إجهاد مسبق، يمكن التعبير عن فوائد الخرسانة سابقة الإجهاد كنسبة مئوية من حيث الإجهاد أو التشوه الكلي، وتقول المواصفة أيضًا في الفقرة 1.1 أن قيمته الفوائد تتغير بسبب التغيرات في خصائص المواد وظروف المعالجة، من الصعب بشكل خاص تقدير خصائص فوائد إجهاد الخرسانة المعتمدة على الوقت بدقة، لذلك من المتوقع أن تكون الفوائد الناجمة عن الزحف والانكماش متغيرة، و الاحتكاك بين الكابل و القناة وحركة الكوابل داخل جهاز التثبيت، ومعامل المرونة الخرسانة الذي هو أيضًا متغير، أظهر التباين داخل كل مكون والاعتماد المتبادل بين المكونات وحسب الدراسات التي قارنت خسائر ما قبل الإجهاد المقاسة بالتنبؤات أنه من الصعب التحقق والحساب الدقيق لفوائد ما قبل الإجهاد، وتقول المواصفة كذلك في الفقرة 1.1 أن حساب فوائد سبق الإجهاد هو مجرد تقدير وبالتالي يجب على المصمم أن يأخذ في الاعتبار أن الفوائد الفعلية أعلى أو أقل من القيمة المقدرة، يُعد تقدير فقد الإجهاد عاملاً مهماً لتقييم صلاحية جميع أنواع عناصر سبق الاجهاد وحساب قوة الانتشاء للأعضاء ذات الكوابل غير المرتبطة، الطريقة العامة لحساب لفوائد الإجهاد وفق مواصفة و توصيات تقدير فوائد سبق الإجهاد المذكوره في المصدر[4] ، PCI-1975، وذلك لحالة فوائد الإجهاد بسبب الانكماش المرن (ES)، حيث تقول المواصفة أنه يجب حساب فوائد الإجهاد بسبب الانكماش المرن للخرسانة بناءً على معامل مرونة الخرسانة في وقت تطبيق قوة الإجهاد وذلك كمايلي:

$$ES = F_{cr} \left(\frac{E_s}{E_{ci}} \right) \dots \dots \dots (1)$$

وكما سبق لا توجد علاقة بين معامل المرونة ونسبه بواسون للخرسانة، وبالتالي فان هذه المعادلة لا يمكنها أن تصف بدقة الانكماش المرن للخرسانة، أيضا ووفق المواصفة الأمريكية [5]، ACI-423.3R-96، التي تقول في الفقرة (3.5) أنه يجب أن يتم حساب فوائد سبق الإجهاد مع مراعاة العوامل المذكورة في الفقرة (18.6) التي تستند قيم الفوائد في الجدول رقم (3.1) على استخدام الخرسانة ذات الوزن الطبيعي وعلى متوسط قيم قوة الخرسانة ومستوى الإجهاد وظروف التعرض، ولكن لم تتكلم المواصفة عن تأثيرات نسبه بواسون على فوائد الإجهاد في خرسانة سابقه الإجهاد، وتقول أيضا إن فوائد ما قبل الإجهاد تختلف بشكل ملحوظ أعلى أو أقل من القيم في الجدول (3.1) في الحالات التي يتم فيها

ضغط الخرسانة عند نقاط قوة منخفضة أو حيث تكون الخرسانة مسبقة الإجهاد بشكل كبير أو في ظروف تعرض إلي الجفاف الشديدة أو رطوبة، تقول المواصفة [6]، ACI 435R-95 أن فواقد الانكماش المرن للخرسانة في العنصر الإنشائي تحدث عند تطبيق قوة الإجهاد عليه بسبب الضغط المحوري المفروض وعندما تقصر الكوابل المرتبطة بالخرسانة في وقت واحد فإنها تفقد جزءاً من قوة الإجهاد التي تحملها، في العناصر المجهدة تؤدي هذه القوة إلى تقصير طولي موحد، إن تقسيم الانخفاض في طول الكابل بواسطة طوله الأول يعطي ضغطاً عندما يضاعف في معامل الأوتار للمرونة ويعطي قيمة فقدان الضغط بسبب التقصير المرن، في الكابل اللاحق للشد يختلف التقصير المرن من الصفر إذا تم رفع جميع الكوابل في وقت واحد إلى نصف القيمة في حالة الشد المسبق إذا تم تطبيق عدة خطوات رفع متسلسلة، يقول المصدر [7] عن الانكماش المرن للخرسانة، إن فقدان الإجهاد المسبق يتناسب بزيادة مع الانكماش المرن، وذلك بسبب تناسب الانكماش المرن للخرسانة بشكل مباشر مع الإجهاد الخرساني في مركز ثقل قوة الإجهاد بعد النقل مباشرة، كمايلي:

$$F_{cir} = K_{cir} F_{cpi} - F_g \dots \dots \dots (2)$$

$$F_{cir} = K_{cir} \left(\frac{P_{pi}}{A_c} + \frac{P_{pi} e^2}{I_c} \right) - \frac{M_G e}{I_c} \dots \dots \dots (3)$$

حيث إن K_{cir} هي قيم تأخذ مساوية إلي 1 لسبق الإجهاد، وتأخذ مساوية إلي 0.9 للاحقه الإجهاد.

4. أهداف البحث

يعتمد الأداء الجيد للخرسانة سابقة الإجهاد على التنفيذ الجيد الذي يقلل من فواقد الإجهاد في الخرسانة والكابلات سابقة الإجهاد، أن هدف هذا العمل هو دراسة تأثير الانكماش المرن للخرسانة على فواقد الإجهاد، ومدى تأثير الخواص الميكانيكية للخرسانة كقوة الضغط للخرسانة علي فواقد الإجهاد، سنستخدم في التحليل برنامج Sap2000، إن نسبة بواسون المقدمة في ACI-363 والمقاسه بواسطة ASTM C469 قيمه متوسطة لنتائج العديد من الاختبارات، ولكن سننظر في تأثير القيم المختلفة لنسبة بواسون على فواقد الإجهاد من خلال تأثيرها على الانكماش المرن للخرسانة سابقة الإجهاد، وبالتالي فإن أهداف هذا البحث هو تقييم فواقد ما قبل الإجهاد في العناصر سابقة الإجهاد، وكذلك للتقليل من فواقد الإجهاد من خلال دراسة تأثير هذه الخصائص على زيادة أو تقليل لفواقد الإجهاد، وأيضا سيضع هذا البحث إرشادات التصميم من أجل التقدير الدقيق لفواقد الإجهاد و تقديم بعض التوصيات للتصميم.

5. طريقة العمل

كما سبق فقدان الإجهاد هو بسبب الفواقد اللحظية والفواقد التي تعتمد على الزمن، إن الفواقد الناتجة عن الاحتكاك والانكماش المرن هي فوريه، و إما الفواقد الناتجة عن الزحف والانكماش تعتمد على الزمن، و لتقدير فواقد الإجهاد رياضياً تم إيجادها وفق التشوه المرن في التحليل الإنشائي وفق الكود PCI، [4]، فواقد الإجهاد التي تعتمد علي الانكماش المرن وزحف الخرسانة واسترخاء الفولاذ تحسب:

$$\Delta_{FpT} = \Delta_{FpES} + \Delta_{FpSR} + \Delta_{FpCR} + \Delta_{FpR2} \dots \dots \dots (4)$$

حيث:

(Δ_{FpES}) فواقد بسبب الانكماش المرن (ksi)

(Δ_{FpSR}) فواقد بسبب الانكماش (ksi)

(Δ_{FpCR}) فواقد بسبب زحف الخرسانة (ksi)

(Δ_{FpR2}) فواقد بسبب استرخاء الفولاذ بعد شد (ksi)

1.5. فواقد الإجهاد

هو تقليل إجهاد الشد في كوابل ما قبل الإجهاد بسبب انكماش الخرسانة حولها، وتخفيف الإجهاد داخل الأوتار، تحدد المواصفة (ACI) (318 مصادر فقد الإجهاد المذكورة في الفقرة (5.7.1)، حيث تقول انه ليس للفواقد أي تأثير على القوة النهائية للانحناء ما لم تكن الأوتار غير مرتبطة أو إذا كان الضغط النهائي بعد الفواقد أقل من $f_{pu} = 0.50$ ، ولكن يمكن أن يؤثر تجاهل أو عدم المبالغة في تقدير الفواقد على ظروف الخدمة مثل الالتواء والانحراف (الهطول) والتشقق.

2.5. مصادر فواقد الضغط

توجد عدة مصادر لفواقد الإجهاد مثل: (1) فواقد الإجهاد من الاحتكاك وهو بسبب الانحناء المقصود أو غير المقصود في الأوتار بعد الشد وهما مصدران ميكانيكيان للفواقد، وهو يمثل الفرق بين الشد المطبق على الوتر بواسطة وحدة الرفع والشد الأولي المتاح لتطبيقه على الخرسانة بواسطة الوتر، (2) الانكماش البلاستيك المرن وهو انكماش الخرسانة حول الأوتار مع تطبيق قوة الإجهاد عليها، (3) انكماش الخرسانة وهو فقدان الإجهاد في الوتر بسبب انكماش الخرسانة المحيطة به ويتناسب مع ذلك جزء من الانكماش الذي يحدث بعد نقل قوة الإجهاد إلى الخرسانة، (4) زحف الخرسانة واسترخاء الأوتار، وهو يعقد حسابات فقدان الإجهاد، حيث يتغير معدل الفواقد بسبب كل من هذه العوامل عندما يتغير مستوى الضغط، نظراً لأن مستوى الإجهاد يتغير باستمرار طوال عمر الهيكل.

3.5. تقدير فواقد الإجهاد

استناداً إلى تقرير (423 ACI-ASCE) للخرسانة سابقة الإجهاد، حيث يشير إلي أن المعادلات المخصصة لتطبيقات التصميم العملية توفر قيم واقعية إلى حد ما لظروف التصميم العادية، و لحالات التصميم غير العادية والهيكل الخاصة، إجمالي الفواقد (TL) بسبب الانكماش المرن (ES) و الزحف (CR) و انكماش الخرسانة (SH) واسترخاء الأوتار (RE) يحسب كما يلي:

$$TL = ES + CR + SH + RE \dots\dots\dots(5)$$

1.3.5. فواقد بسبب الانكماش المرن (ES)

تحسب الفواقد بسبب الانكماش المرن كمايلي:

$$ES = (K_{es} * E_{ps} * F_{cir}) / E_{ci} \dots\dots\dots(6)$$

حيث :

$$K_{es} = 1.0 \text{ لمسبقة الشد}$$

$$E_{ps} : \text{معامل مرونة الأوتار}$$

$$E_{ci} : \text{معامل مرونة الخرسانة (Psi)}$$

F_{cir} : الإجهاد الألتضاغطي الصافي في الخرسانة في مركز ثقل قوة الإجهاد فوراً بعد تطبيق الإجهاد على الخرسانة، (Psi)

$$F_{cir} = K_{cir} \left(\frac{P_i}{A_g} + \frac{P_i e^2}{I_g} \right) - \frac{M_g * e}{3} \dots\dots\dots(7)$$

حيث :

$$K_{cir} = 0.9 \text{ للمسبقة الشد}$$

$$P_i : \text{قوة ما قبل الإجهاد، قوة الاصطدام بعد فقدان المرسة (Lb)}$$

$$e : \text{انحراف مركز ثقل الأوتار من مركز ثقل الخرسانة في المقطع العرضي (In)}$$

$$A_g : \text{المساحة الإجمالية للقسم الخرساني في المقطع العرضي (In}^2)$$

$$I_g : \text{القصور الذاتي للخرسانة في المقطع العرضي (In}^4)$$

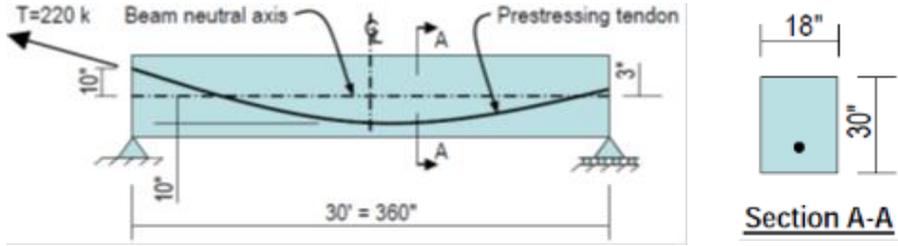
$$M_g : \text{الانحناء بسبب الوزن بدون المكونات سابقة الإجهاد وأي حمولات دائمة أخرى موجودة في وقت}$$

$$\text{الإجهاد (Lb.In)}$$

6. حالة الدراسة

1.6. العنصر الإنشائي

تم تطبيق حالة الدراسة على كمره خرسانيه سابقة الإجهاد بسيطة الإسناد، كما هي موضحة بالشكل، تم اعتبار الأحمال الذاتية لها، حيث إن قطاع الكمره بعرض (b=18 in) وعمق (d=30 in) وبطول فضاء (L=360 in)، كما بالشكل التالي :



شكل رقم (4): يوضح التفصيل الإنشائي لكمره سابقة الإجهاد

2.6. عنصر الشد

تم استخدام كابل لتنفيذ الشد السابق في الكمره سابقة الشد، حيث كان بقطر (1.5 in²) ومعامل مرونة (E=29000 k/in²) ، ونسبة بواسون مساوية إلي (ν=0.3).

7. النتائج والمناقشة

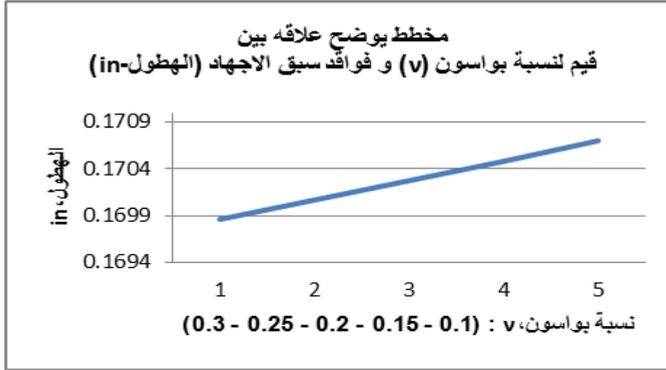
1.7. نتائج التحليل

جدول رقم (1) يوضح قيم فواید سبق الإجهاد من التمدد المرن للخرسانة والذي يتمثل في الهطول للكمرة الخرسانيه سابقة الإجهاد:

فواقد سبق الإجهاد (الهطول - in)						
معدل زيادة	0.3	0.25	0.2	0.15	0.1	نسبة بواسون، ν
0.5%	0.170693	0.170484	0.170275	0.170066	0.169857	3000 psi
0.5%	0.170693	0.170484	0.170275	0.170066	0.169857	4000 psi
0.5%	0.170693	0.170484	0.170275	0.170066	0.169857	5000 psi
0.5%	0.170693	0.170484	0.170275	0.170066	0.169857	6000 psi

2.7. المناقشة

استعرض هذا العمل مدي تأثير التمدد المرن للخرسانة على زيادة مقدار الفواق للخرسانة سابقة الإجهاد، حيث اخذ القيم الثابتة نظريا لنسبة بواسون اعتمادا على اختبارات سابقه لتمثل كل الخلطات الخرسانية يولد فواق للخرسانة سابقه الإجهاد لا يمكن معرفة مصدرها، حيث بينت نتائج إن لنسبه الانفعال للخرسانة تأثير على التمدد المرن عند شد كوابل سبق الإجهاد للعناصر الإنشائية، كما بالشكل التالي:



شكل رقم (5) : مخطط يوضح العلاقة بين عدة قيم لنسبة بواسون (v) و فواق سيق الإجهاد (الهطول)

وبالتالي فان مجموع فواق سيق الاجهاد من التمدد المرن سوف تزداد بتأثيرات نسبة بواسون بمقدار 0.5%، أي ازدياد معدل فواق من التمدد المرن للخرسانة، هذا المصدر لزيادة فواق سيق الإجهاد قد لا يمكن تحديد مصدره أثناء الاختبارات بدون التدقيق لقيم نسبة بواسون الفعلية للخلطة الخرسانية، كذلك أظهرت نتائج التحليل إن زيادة مقاومة ضغط الخرسانة لا تؤثر على تقليل من التمدد المرن للخرسانة بسبب تأثيرات نسبة بواسون.

8. الخاتمة والتوصيات

توضح هذه الورقة أهميه تأثير الخصائص الميكانيكية للخرسانة علي فواق الإجهاد للخرسانة سابقه الإجهاد والتي تمثلت في زيادة قيمه الهطول في الكمرات، حيث تم ذلك بدراسة تأثير التمدد المرن للخرسانة علي التشوه وزيادة معدلات الهطول للكمرات، بينت النتائج أنه باستخدام قيم تقريبية للخصائص الميكانيكية للخرسانة يؤدي إلي التنبؤ الغير دقيق بقيم الفواق نظريا وذلك من خلال حساب فواق الإجهاد بقيم غير دقيقه ينتج بسبب استخدام قيم تقريبية لنسبه بواسون المعتمده علي اختبارات لخلطات خرسانية سابقه، حيث يجب أن تقاس نسبه بواسون الدقيقة للخلطة الخرسانية المستخدمة في تنفيذ الخرسانه المراد استخدامها في سبق الإجهاد، تأثيرات نسبة بواسون تهمل دائما في كثير من حالات التحليل الإنشائي

بسبب عدم تأثيرها الواضح، ولكن في حالات تقدير التمدد المرن للخرسانه باستخدام كوابل سبق الإجهاد كان لها الأثر في زيادة حدوث فوآد للإجهاد والتي تمثلت في زيادة الهطول للأعتاب الخرسانية سابقة الإجهاد، يوصي بالتحديد الدقيق لنسبه بواسون للخرسانة المستخدمة في سبق الإجهاد لتأثيرها على معدل الهطول، كذلك تغيير قيم مقاومة ضغط الخرسانه في حالة عدم تحديد نسبة بواسون لن يكون له تأثير على تقليل من حساب الفوآد نظريا وذلك للتقليل أو السيطرة علي التمدد المرن للخرسانة سابقة الاجهاد.

المراجع

- [1] Andrew Logan, Wonchang Choi, Amir Mirmiran, Sami Rizkalla, and Paul Zia," Short-Term Mechanical Properties of High-Strength Concrete", ACI MATERIALS JOURNAL, 2009.
- [2] ACI 318," Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete-318 2014", American Concrete Institute, 2014.
- [3] ACI 423.10R-16," Guide to Estimating Prestress Losses-423.10R-16", American Concrete Institute, 2014.
- [4] Precast Prestressed Concrete Bridge Design-PCI, "Precast Prestressed Concrete Short Span Bridges", Prestressed Concrete Institute, Chicago, il, 1975.
- [5] ACI 423.3R-96,"Recommendations for Concrete Members Prestressed with Unbonded Tendons-423.3R-96", American Concrete Institute, 1996.
- [6] ACI 435R-95,"Control of Deflection in Concrete Structures-435R-95", American Concrete Institute, 1995.
- [7] Zia Paul, Preston H. Kent, Scott Norman L, Workman Edwin B,"Estimating Prestress Losses", Concrete International: Design & Construction, V. 1, No. 6, June 1979, pp. 32-38.
- [8] R.D. Cook, W.C. Young" Advanced Mechanics of Materials" Prentice Hall, 1985.

- [9] Wai-Fah Chen, Lian Duan, "Bridge Engineering Handbook, Superstructure Design", Taylor & Francis Group, 2014.
- [10] Nawy, E. G, "Prestressed Concrete: A Fundamental Approach (5th ed)", Upper Saddle River, NJ, Prentice-Hall, 2006, p.38.
- [11] Winter, G, and Nilson, A. H, "Design of Concrete Structures, (11th ed)", New York: McGraw-Hill, 1991, pp. 759–760.
- [12] McCormac, J. C. and Brown, R. H., "Design of Reinforced Concrete, (9th ed)", John Wiley & Sons, 2014, Chapter 198.
- [13] Krishna, N. R, "Prestressed Concrete, (4th ed)", McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 2006.
- [14] Naaman, A. E, "Prestressed Concrete Analysis and Design Fundamentals", Printed in USA, 2004.

خواص خرسانة الركام المعاد الحاوية على غبار السيلكا

عمر رمضان الزروق¹، أشرف حامد عبدالقادر²

¹ قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة عمر المختار، البيضاء، ليبيا

² قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة بنغازي، بنغازي، ليبيا

¹omerelzarog@yahoo.com, ²ashraf.abdalkader@uob.edu.ly

المخلص

إن التزايد المستمر في كميات مخلفات الخرسانة الصلبة الناتجة من إزالة المباني السكنية القديمة والمتضررة نتيجة الحروب ينتج عنه زيادة الطلب في مدافن المخلفات، بالإضافة إلى ما يترتب عنه من أضرار بيئية. وللتقليل من هذه المشاكل، اتجهت الكثير من الأبحاث إلى دراسة إمكانية إعادة تدوير مخلفات الخرسانة الصلبة لاستخدامها كبديل عن الركام لإنتاج خرسانة صديقة للبيئة.

بينت العديد من الدراسات المعملية ان إضافة مواد مثل غبار السيلكا بنسب معينة الي مكونات الخلطة الخرسانية المحتوية على الركام المعاد تدويره ممكن ان يحسن الخواص الميكانيكية للخرسانة. ان الهدف الرئيسي من هذا البحث هو دراسة تأثير إضافة غبار السيلكا (0 - 2.5 - 5.0 - 7.5 %) كبديل جزئي من وزن الاسمنت على الخواص الميكانيكية لخرسانة تتكون من مواد محلية ومحتوية على ركام خشن معاد تدويره بنسبة 100% من الركام الخشن الطبيعي. حيث تم دراسة مقاومة الانضغاط للخرسانة باستخدام مكعبات مقاس 100 مم، مقاومة الشد الانشطاري لأسطوانات مقاس 100 * 200 مم ومقاومة الانحناء لعتبات مقاس 100*100*500 مم للخرسانة الصلدة، كما اجري ايضا اختبار الهبوط والكثافة الرطبة على الخرسانة الطازجة.

اظهرت نتائج الدراسة المعملية تحسن الخواص الميكانيكية لخرسانة الركام المعاد تدويره عند إضافة غبار السيلكا. حيث تزداد مقاومة الانضغاط ومقاومة الشد الانشطاري ومقاومة الانحناء للخرسانة بمقدار 15% و13% و18.6% على التوالي مقارنة بالخلطة المرجعية (بدون إضافة غبار السيلكا) بإضافة 7.5% غبار السيلكا عند عمر 28 يوم من المعالجة.

الكلمات المفتاحية: خرسانة ركام معاد تدويره، غبار السيلكا، مقاومة الانضغاط، مقاومة الشد الانشطاري، مقاومة الانحناء.

1. المقدمة

ان تزايد كميات المخلفات الناتجة عن هدم او صيانة المباني الخرسانية يتطلب الى توفير اراضي كبيرة لمدافن هذه المخلفات، بالإضافة إلى تكاليف النقل والدفن. بينت دراسة قام بها Singh [1] بان انتاج الخرسانة عالميا تقدر ب 1 م³ لكل شخص ، واحتمالية استهلاك الركام الطبيعي تصل الي اكثر من 48

بليون طن بعد عام 2015. وأشار الباحث أيضا بان كميات المباني المزالة بجميع دول العالم تقدر بحوالي بليون طن سنويا. استنتج Akiyoshi وآخرون [2] بان معظم المباني الخرسانية في اليابان هي في حاجة الي الازالة او الصيانة وان كميات المخلفات الصلبة للخرسانة الناتجة عن الهدم تصل الي 30 مليون طن سنويا. بينما اشار Marinkovic و Radonjanin [3] الي ان كميات مخلفات الخرسانة في بلدان الاتحاد الاوربي تقدر بحوالي 850 مليون طن سنويا. وللتقليل من الاضرار البيئية الناتجة عن مخلفات الخرسانة الصلبة ، اتجهت الكثير من الأبحاث إلى دراسة إمكانية إعادة تدوير هذه المخلفات لاستخدامها كبديل جزئي او كلي عن الركام الطبيعي لإنتاج خرسانة صديقة للبيئة. غير انه أوضحت بعض الدراسات [4-6] بان استخدام الركام المعاد في الخرسانة يؤدي الي الزيادة في الانكماش الجاف والزحف وامتصاص الماء ويقلل ايضا من مقاومة الانضغاط ومعامل المرونة للخرسانة مقارنة بالخرسانة المحتوية علي الركام الطبيعي. كما بينت ايضا نتائج دراسة معملية قام بها Singh وآخرون [7] بان استخدام الركام المعاد في الخرسانة يؤدي الي التقليل من مقاومة الانضغاط بنسبة تصل الي 40%.

بينت بعض الابحاث العلمية ان إضافة مواد مثل غبار السيلكا بنسب معينة الي مكونات الخلطة الخرسانية ممكن ان يساعد في تحسين خواص الخرسانة المعاد تدويرها. بينت دراسة معملية قام بها مرزا [8] تحسن في خواص خرسانة الركام المعاد بإضافة غبار السيلكا. حيث استخدم الباحث في دراسته 5 و 10 و 15% غبار السيلكا من وزن الاسمنت ونسب تتراوح بين 5 و 100% من الركام المعاد تدويره كبديل عن الركام الطبيعي.

درس Dilbas وآخرون [9] تأثير إضافة غبار السيلكا علي الخواص الميكانيكية والفيزيائية للخرسانة المحتوية علي الركام المعاد. اظهرت نتائج الدراسة تحسن في مقاومة الانضغاط للخرسانة بإضافة 5% من مادة غبار السيلكا. قام Çakır و Sofyanlıl [10] بدراسة معملية لتحديد خواص الخرسانة المحتوية علي الركام المعاد وبإضافة مادة غبار السيلكا بنسب مختلفة (0 و 5 و 10%). حيث تم استخدام مقاسين مختلفين من الركام الخشن المعاد ونسبة ثابتة من الماء الي الاسمنت (0.5). بينت النتائج تحسن في خواص الخرسانة (مقاومة الانضغاط و الشد الانشطاري و امتصاص الماء و الموجات فوق السمعية) عند إضافة نسبة 10% من غبار السيلكا ، مع تحسن افضل للخواص عند استخدام مقاس ركام معاد اصغر في الخلطة الخرسانية. درس Huoth و آخرون [11] معمليا تأثير إضافة غبار السيلكا علي مقاومة الانضغاط ومقاومة الانحناء لخرسانة ركام معاد بنسبة 100% كبديل كلي عن الركام الطبيعي. اشارت الدراسة الي تحسن في خواص الخرسانة بإضافة 10% غبار السيلكا. قام الباحث

Awasthi وآخرون [12] بدراسة خواص الخرسانة المحتوية علي نسب مختلفة من الركام المعاد (0 و 10 و 20 و 30 و 40 و 50 %) كاستبدال بالوزن من الركام الطبيعي. حيث تم إضافة 10% غبار سيلكا لجميع الخلطات مع الحفاظ علي نسبة ثابتة من الماء الي الاسمنت (0.4). اعطت نسبة استبدال 30% افضل نتائج لخواص خرسانة الركام المعاد.

ان الهدف من هذه الدراسة هو معرفة تأثير إضافة نسب مختلفة من غبار السيلكا (0 - 2.5 - 5.0 - 7.5 %) كبديل جزئي من وزن الاسمنت على مقاومة الانضغاط ، مقاومة الشد الانشطاري و مقاومة الانحناء لخرسانة تتكون من مواد محلية ومحتوية على ركام خشن معاد تدويره بنسبة 100% من الركام الخشن الطبيعي. كما اجري ايضا اختبار الهبوط و الكثافة الرطبة على الخرسانة الطازجة.

2. المواد المستخدمة والبرنامج العملي

1.2.1 الأسمنت

استخدم أسمنت بورتلاندي اعتيادي منتج من مصنع أسمنت الفنائح الواقع في مدينة درنة (ليبيا) ، خواصه الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية موضحة في الجداول (1) ، علما أنه مطابق للمواصفة البريطانية [13].

جدول 1 الخواص الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية للأسمنت البورتلاندي

الخواص	نتيجة الاختبار	الأكسيد	(%)
النعومة السطحية (سم ² /جم)	3094	CaO	63.2
الثبات (مم)	2.3	SiO ₂	20.95
زمن التجمد (دقيقه):		Al ₂ O ₃	5.39
• الابتدائي	130	Fe ₂ O ₃	3.03
• النهائي	166	SO ₃	2.40
الوزن النوعي	3.08	MgO	1.35
مقاومة الانضغاط (نيوتن / مم ²)		L.O.I.	2.60
• 3 أيام	24.3	Alkalies	0.88
• 28 يوم	44.9		

2.2 الركام الناعم والركام الخشن المعاد

تم استخدام رمل طبيعي مورد من منطقة شط البدين (بنغازي) كركام ناعم. ركام خشن معاد تدويره متدرج نو مقاس (5 - 20 مم) ونسبة 100% كبديل عن الركام الخشن الطبيعي والمتحصل عليه من تكسير بقايا المكعبات الخرسانية الموجودة بمعمل مواد البناء - كلية الهندسة - جامعة عمر المختار - البيضاء. مع العلم بأنه تم غسل سطح الركام المعاد وتركته لمدة 24 ساعة ليحفظ تحت درجة حرارة المعمل.

جدول (2) يبين نتائج التحليل المنخلي للركام الناعم والخشن المعاد، وتبين أن الركام مطابق للمواصفة البريطانية [14]. جدول (3) يبين نتائج اختبارات الخواص الفيزيائية والميكانيكية للركام [15 - 18].

جدول 2 التحليل المنخلي للركام الناعم والخشن المعاد

فتحة الغربال (مم)	0.15	0.3	0.6	1.18	2.36	5	10	14	20
ركام ناعم (%)	31.6	61.5	75.1	99.6	100	100	-	-	-
ركام خشن معاد (%)	-	-	-	-	-	8.6	44.1	66	100

جدول 3 نتائج الإختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام الناعم والخشن المعاد

الإختبار	الخواص الفيزيائية			الخواص الميكانيكية	
	الوزن النوعي	الإمتصاص (%)	نسبة المواد الناعمة (%)	معامل التصادم (%)	معامل التهشم (%)
ركام ناعم	2.65	0.8	1.1	-	-
ركام خشن معاد	2.40	6.6	0.8	23.5	29.7

4.2 غبار السيلكا

تم استخدام مادة غبار السيلكا (شكل 1) المصنعة من قبل شركة سيكا مصر (Sika Egypt (2006)). وهي مادة ناعمة خفيفة الوزن وذات لون رمادي وكثافة تقريبا 650 كجم/م³.



شكل 1 مادة غبار السليكا المستخدمة في البحث.

4.2 ماء الخلط

تم استخدام ماء صالح للشرب لخلط مكونات الخرسانة.

3. عملية الخلط والصب والمعالجة

تم تصميم الخلطات الخرسانية بموجب الطريقة البريطانية وكانت أوزان المواد كما هو مبين بالجدول (4). عملية خلط مكونات الخرسانة تمت داخل مختبر مواد البناء بقسم الهندسة المدنية (جامعة عمر المختار - البيضاء) باستعمال خلاطه حوضية متحركة سعة 56 لتر. في عملية خلط الخرسانة وضع الركام الخشن أولاً ثم الأسمنت مع غبار السليكا وبعدها الركام الناعم وتخلط لمدة 30 ثانية ، ثم يضاف الماء إلي الخليط في خلال 30 ثانية ويستمر الخلط بعدها لإتمام دقيقتين أي أن الوقت الكلي لعملية الخلط هو ثلاثة دقائق. بعد إجراء عملية الخلط وإتمام اختبارات الكثافة والرطوبة والهطول يتم نقل الخليط وصبه في القوالب خلال فترة زمنية قليلة مع مراعاة أن تدهن القوالب من الداخل بطبقة زيتية قبل استخدامها لمنع التصاق النماذج بالقوالب وتم استخدام منضدة الاهتزاز الميكانيكي لدلك الخرسانة.

لكل خلطة خرسانية تم صب عدد 3 مكعبات مقاس 100 مم و 3 أسطوانات قياس 200x100 مم و 2 عتبة صغيرة بإبعاد 500x100x100 مم لتحديد مقاومة الانضغاط و مقاومة الشد الانشطاري و مقاومة الانحناء على التوالي. بعد الصب وتسوية السطح تم حفظ النماذج في القوالب وتغطيتها بغطاء

بلاستيكي لمدة 24 ساعة، بعد ذلك تم فك النماذج الخرسانية من القوالب وترقيمها ووضعها في أحواض ماء عند درجة حرارة 20 درجة مئوية إلى حين وقت الاختبار.

جدول 4 كميات المواد للخلطات الخرسانية

مكونات الخلطة الخرسانية (كجم/م ³)						الخلطة
ركام خشن	ركام ناعم	ماء	غبار السيلكا	الاسمنت	غبار السيلكا (%)	
			0	300	0	1
1225	650	180	7.5	292.5	2.5	2
			15	285	5	3
			22.5	277.5	7.5	4

4. الإختبارات المعملية

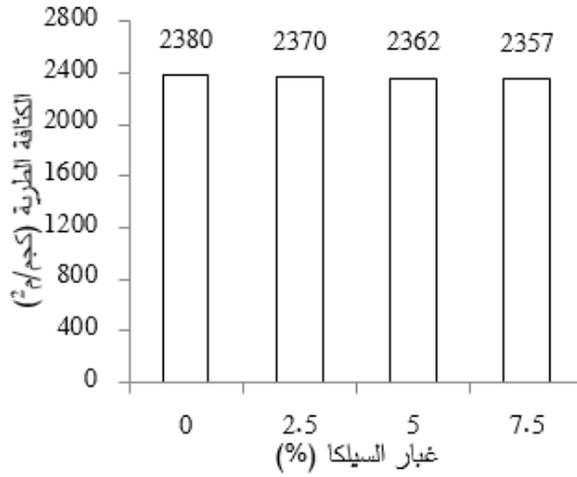
اجري اختبار الكثافة الرطبة و اختبار الهطول على الخرسانة الطازجة وفقاً للمواصفات البريطانية [19 & 20] , وتم اعتماد المواصفة البريطانية [21-23] لإجراء اختبارات مقاومة الانضغاط و مقاومة الشد الانشطاري و مقاومة الانحناء علي الخرسانة الصلدة.

5. النتائج والمناقشة

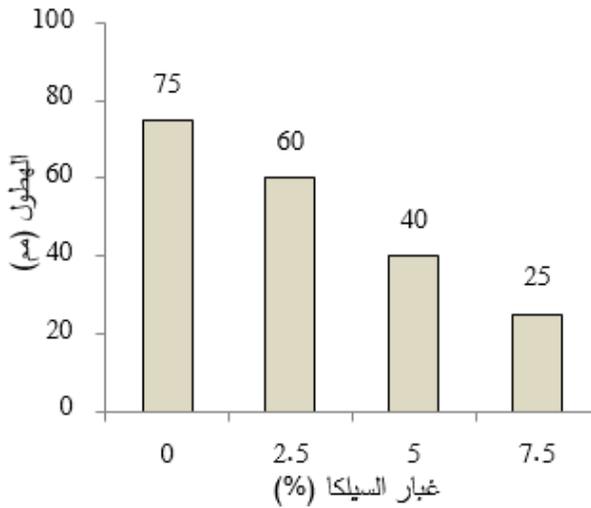
1.5 الكثافة الرطبة والهطول للخرسانة الطازجة

كثافة الخرسانة الطرية لكافة الخلطات الخرسانية مبينة بالشكل 2. من الشكل يتبين أنّ الكثافة الرطبة للخرسانة تتراوح بين 2357 - 2380 كيلوجرام/م³ ، حيث تقل تدريجياً بزيادة نسبة غبار السيلكا في الخلطة الخرسانية. ويرجع ذلك الى خفة وزن مادة غبار السيلكا مقارنة بالاسمنت.

الشكل 3 يوضح قيم الهطول لجميع الخلطات الخرسانية. نلاحظ أنه بزيادة نسبة غبار السيلكا في الخلطات فإن قابلية التشغيل تقل تدريجياً مقارنة بالعينة المرجعية وأنّ نسبة النقصان تصل الي 67% عند إضافة 7.5% من غبار السيلكا. ويرجع السبب إلى النعومة العالية لمادة غبار السيلكا مما ينتج عنه قابلية امتصاص للماء عالية.



شكل 2 الكثافة الرطبة لخرسانة الركام المعاد



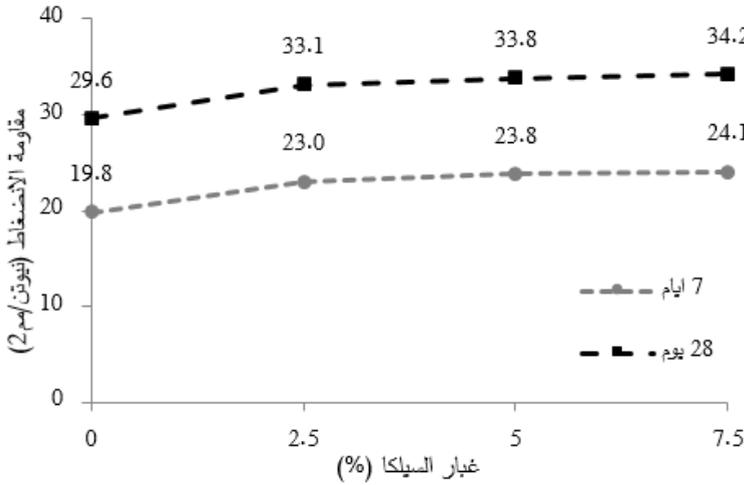
شكل 3 الهطول لخرسانة الركام المعاد

2.5 مقاومة الانضغاط

قيم متوسط مقاومة الانضغاط للخلطات الخرسانية عند عمر 7 و 28 يوم موضحة بالشكل 4. من الشكل نلاحظ أنه هناك تأثير ملحوظ لإضافة غبار السيليكا على مقاومة الانضغاط ، حيث ان إضافة غبار السيليكا يزيد من مقاومة الانضغاط. ويرجع السبب الي تفاعل مادة غبار السيليكا مع هيدروكسيد الكالسيوم

الحر الناتج من تفاعل الاسمنت مع الماء مكونة مركبات غير قابلة للذوبان مثل سيليكات الكالسيوم والتي بدورها تساعد على تقليل الفجوات الداخلية والمسام الشعرية، وهذا ينتج عنه الزيادة في المقاومة.

نلاحظ من الشكل أن مقاومة الانضغاط للخرسانة المحتوية علي غبار السيلكا عند عمر 28 يوم تتراوح بين 33.1 الي 34.2 نيوتن/مم² وتصل نسبة الزيادة الي 15% بإضافة 7.5% من غبار السيلكا مقارنة بالخلطة المرجعية (بدون إضافة). بينما مقاومة الانضغاط للخرسانة المحتوية علي غبار السيلكا عند عمر 7 أيام تتراوح بين 23 الي 24.1 نيوتن/مم² وتصل نسبة الزيادة الي 22% بإضافة 7.5% من غبار السيلكا مقارنة بالخلطة المرجعية (بدون إضافة).



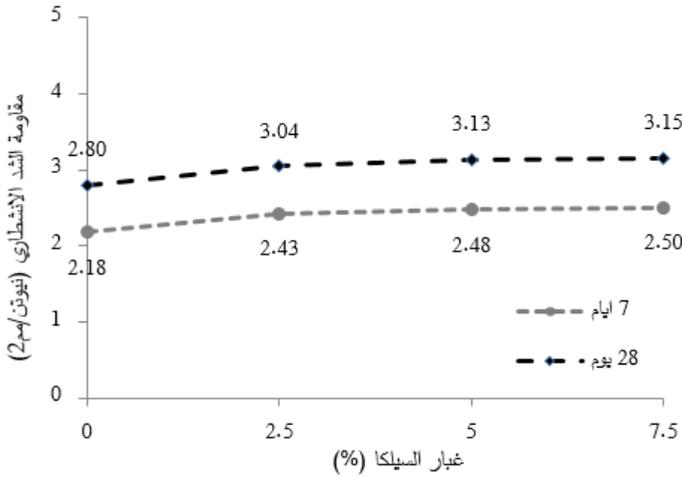
شكل 4 تأثير إضافة غبار السيلكا على مقاومة الانضغاط لخرسانة الركام المعاد

3.5 مقاومة الشد الانشطاري

الشكل 5 بين قيم متوسط مقاومة الشد الانشطاري لجميع الخلطات الخرسانية المحتوية علي غبار السيلكا بالإضافة الي الخلطة المرجعية عند عمر 7 و 28 يوم. نلاحظ من الشكل ان مقاومة الشد الانشطاري تزداد بإضافة مادة غبار السيلكا وكذلك بزيادة عمر المعالجة. ونلاحظ من الشكل أن الشد الانشطاري للخرسانة المحتوية علي غبار السيلكا عند عمر 28 يوم تتراوح بين 3.04 الي 3.15 نيوتن/مم² وتصل نسبة الزيادة الي 13% بإضافة 7.5% من غبار السيلكا مقارنة بالخلطة المرجعية (بدون إضافة). بينما الشد الانشطاري للخرسانة المحتوية علي غبار السيلكا عند عمر 7 أيام تتراوح بين 2.43 الي 2.5

نيوتن/مم² وتصل نسبة الزيادة الي 15% بإضافة 7.5% من غبار السيلكا مقارنة بالخلطة المرجعية (بدون إضافة). مقاومة الشد الانشطاري عند عمر 28 يوم لها نفس سلوك المنحني تقريبا للمقاومة عند عمر 7 أيام ولكن بقيم اكبر.

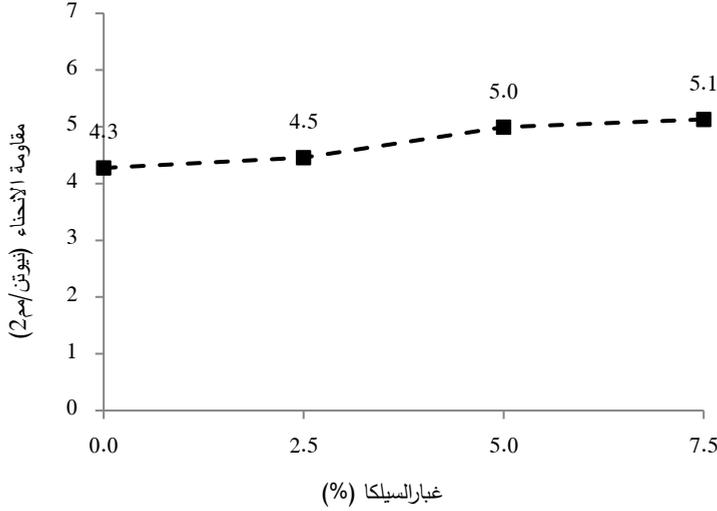
ان خاصية النعومة العالية لمادة غبار السيلكا وكذلك احتوائها علي مادة ثاني اكسيد السيليكون تعمل علي تحسين قوة التماسك للعجينة الاسمنتية وبالتالي تحسن في مقاومة الشد الانشطاري.



شكل 5 تأثير إضافة غبار السيلكا على مقاومة الشد الانشطاري لخرسانة الركام المعاد

4.5 مقاومة الانحناء

الشكل 6 يبين تأثير إضافة نسب مادة غبار السيلكا على مقاومة الانحناء للخرسانة عند عمر 28 يوم. من الشكل يلاحظ أنه بزيادة نسبة غبار السيلكا من 2.5 إلى 7.5% تزداد مقاومة الانحناء للخرسانة مقارنة بالخلطة المرجعية (بدون إضافة) ، وتتراوح هذه النسبة من (4.6 - 18.6%) على التوالي ، وذلك ناتج عن الخواص البوزولانية لمادة غبار السيلكا.



شكل 6 تأثير إضافة غبار السيلكا على مقاومة الانحناء لخرسانة الركام المعاد

6. الاستنتاجات

بالاستناد على النتائج المتحصل عليها من الدراسة يمكن استخلاص الآتي:

- قابلية التشغيل المقاسة باختبار الهطول وكذلك الكثافة الرطبة تقل تدريجياً بإضافة مادة غبار السيلكا الي الخلطات الخرسانية.
- إضافة مادة غبار السيلكا يؤدي إلى زيادة ملحوظة في مقاومة الانضغاط للخرسانة. تصل نسبة الزيادة إلى 22 و 15% عند عمر 7 و 28 يوم علي التوالي بإضافة 7.5% غبار السيلكا مقارنة بالخلطة المرجعية (بدون إضافة). ويرجع السبب الي النعومة العالية لمادة غبار السيلكا واحتوائها علي مادة ثاني اكسيد السيليكون والتي تعمل علي تحسين قوة التماسك للعجينة الاسمنتية.
- مقاومة الشد الانشطاري تزداد بإضافة مادة غبار السيلكا وكذلك بزيادة عمر المعالجة. وتصل نسبة الزيادة الي 15 و 13% عند عمر 7 و 28 يوم علي التوالي بإضافة 7.5% غبار السيلكا مقارنة بالخلطة المرجعية. وذلك ناتج عن الخواص البوزلوانية لمادة غبار السيلكا.

- تزداد مقاومة الانحناء للخرسانة بإضافة مادة غبار السيلكا ، حيث تتراوح نسبة الزيادة من 4.6 الي 18.6% بزيادة نسبة غبار السيلكا من 2.5 إلى 7.5% علي التوالي مقارنة بالخلطة المرجعية.

المراجع

- [1] Singh, S., Mahalakshmi. N., & Thammishetti, N., (2014)," Mechanical Properties of Recycled Coarse Aggregate (RCA) Concrete" International Journal of Applied Engineering Research. ISSN 0973-4562, V. 9, pp. 363-372. .
- [2] Akiyoshi, Y. Sato, T., Otani, K., Ueda, N. & Okada, H., (2011)," Study on compressive strength of concrete using low quality recycled coarse aggregate " 36th Conference on our world in Concrete & Structures Singapore, pp. 14-16.
- [3] Marinkovic, S., Radonjanin V., (2010),"Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete". Waste Manage ; 30:2255-64.
- [4] Olorunsogo, F. & Padayachee, (2002), "Performance of recycled aggregate concrete monitored by durability indexes" Cement and Concrete Research,32 , 179-185.
- [5] Hasaba, S., Kawamura, M., Kazuyuki, T. & Kunio, T., (1981), "Drying shrinkage and durability of concrete made from recycled concrete aggregates" .Transactions of Japan Concrete Institute, Tokyo, V. 3, pp.55-60.
- [6] Dhir, K. Limbachiya, (1999) ,"Suitability of recycled concrete aggregate for use BS. 5328 designated mixes", Proc. Inst. Civ. Engrs & Bldgs , V.134, pp. 257-274.
- [7] Singh, B., Mahalakshmi. N & Thammishetti, N., (2014), "Mechanical Properties of Recycled Coarse Aggregate (RCA) Concrete" International Journal of Applied Engineering Research. ISSN 0973-4562, V. 9, pp. 363-372.

[8] فائز عبد الله مرزا، (2009)، " تأثير استخدام غبار السيلكا على الخواص الميكانيكية للخرسانة المنتجة من الركام المعاد تدويره"، دراسات العلوم الهندسية ، المجلد 36 ، العدد 2 ، صفحة 83 - 95.

[9] Dilbas, H., Şimşek, M., & Çakır, Ö. (2014), "An investigation on mechanical and physical properties of recycled aggregate concrete (RAC) with and without silica fume", Construction and Building Materials, V. 61, pp 50–59.

[10] Çakır, Ö. & Sofyanlı1, Ö., (2015), "Influence of silica fume on mechanical and physical properties of recycled aggregate concrete", HBRC Journal, V. 11 (2), pp. 157–166.

[11] Huoth, P., Suntharavadivel, T. & Duan, K., (2014), "Effect of Silica Fume on Recycled Aggregate Concrete", 23rd Australasian Conference on the Mechanics of structures and materials (ACMSM23) , Byron Bay, Australia.

[12] Awasthi, A., Soni, G.,& Bharosh, R., (2018), "Study of Recycled Aggregate Containing Silica Fume as Partial Replacement for Cement", International Journal of Advance Research, Ideas and innovations in Technology, V.4(2), pp.239–245.

[13] BS 12: 1996: Specification for Portland Cement.

[14] BS 812: Part 103: 1992: Method for Determination of Particle Size Distribution.

[15] BS 812: Part 2: 1995: Methods for Determinations of Density and Absorption.

[16] BS 812: Part 110: 1990: Method for Determination of Aggregate Impact.

[17].BS 812: Part 112: 1990: Method for Determination of Aggregate Crushing Value.

[18] BS 882: 1992: Aggregate from Natural Sources for Concrete.

[19] BS 1881: Part 107: 1983: Method for determination of density of compacted fresh concrete.

[20] BS 1881: Part 102: 1983: Method for Determination of Slump.

- [21] BS 1881: Part 116: 1983: Method for Determination of Compressive Strength Concrete Cubes.
- [22] BS 1881: Part 117: 1983: Method for Determination of Tensile Splitting Strength.
- [23] BS 1881: Part 118: 1983: Method for Determination of Flexural Strength.

دراسة تأثير إستخدام مسحوق مخلفات بلاط الحوائط والأرضيات (السيراميك) على بعض خواص الخرسانة الطرية والمتصلدة

أ. محمد بشير أبوهدمة¹، أ. ابراهيم حسين بلاش²، أ. فدوى أبوراس أحمد³

^{1,2,3} قسم الهندسة المدنية، كلية التقنية الهندسية، هون

¹mohammedabohedmh@yahoo.ly, ²blash1985@gmail.com, ³alassoood78@yahoo.com

المخلص

تهدف هذه الورقة إلى دراسة إمكانية الإستفادة من مخلفات السيراميك بعد طحنها وتحويلها إلى مسحوق وإستخدامها كبديل جزئي للإسمنت في الخلطة الخرسانية لإنتاج خرسانة صديقة للبيئة وبأقل التكاليف نظراً للإرتفاع الكبير في أسعار الإسمنت خصوصاً في ظل الصعوبات الإقتصادية التي تعيشها بلادنا في الآونة الأخيرة.

تم بهذا البحث دراسة إنتاج خرسانة خضراء صديقة للبيئة بمواد محلية ومسحوق من مخلفات السيراميك التي أضيفت إلى الخلطة الخرسانية العادية بنسب 0%، 5%، 10%، 15%، 20%، 25% من وزن الإسمنت المستخدم وبنسبة ماء للإسمنت 0.358 للوصول إلى مقاومة الضغط المستهدفة وهي 42.8 ميجاباسكال عند 28 يوم . وقد تم تنفيذ عدد 54 مكعب خرساني بأبعاد 15×15×15 سم وإجراء إختبار مقاومة الضغط للخرسانة بعمر 7 ، 14 ، 28 يوم.

حيث أظهرت نتائج الإختبارات التي أجريت على الخرسانة أن مقاومة الضغط للخرسانة عند 28 يوم للعينات بنسب إستبدال 0%، 5%، 10%، 15%، 20%، 25% هي 35.2 ، 35.6 ، 34.3 ، 42.3 ، 31.4 ، 26.7 ميجاباسكال ونتائج إختبار الهبوط هي 120 ، 160 ، 103 ، 75 ، 106 ، 195 ملم على التوالي . حيث كانت أفضل قيم لمقاومة الضغط عند نسب إستبدال 5% ، 10% ، 15% مقارنةً بالمقاومة المرجعية عند نسبة إستبدال 0% ، في حين يزداد الهبوط عند نسبة إستبدال 5% مقارنةً بالهبوط عند نسبة إستبدال 0% ثم يبدأ في الإنخفاض حتى نسبة إستبدال 15% ليعاود بعدها الصعود عند نسبة إستبدال 20% ويستمر في الصعود حتى يعطي أعلى قيمة عند نسبة إستبدال 25% مقارنةً بجميع القيم . كذلك كانت نتائج سرعة الموجات فوق الصوتية عند نسب إستبدال 5% ، 10% ، 15% هي 0.043 ، 0.044 ، 0.043 كم/ثانية على التوالي وهي مقاربة لسرعة الموجات فوق الصوتية لسنتبة 0% وهي 0.043 كم/ثانية ، ثم تبدأ بعد ذلك سرعة الموجات في الإنخفاض عند نسب إستبدال 20% ، 25% وهي 0.04 ، 0.038 كم/ثانية وهو مايعني إزدياد نسبة الفراغات بزيادة نسبة إضافة مسحوق السيراميك وهو مايفسر إنخفاض مقاومة الضغط عند نسب الإستبدال 20% ، 25% بالنسبة لباقي القيم .

أظهر البحث إمكانية إعادة تدوير مخلفات السيراميك على هيئة مسحوق واستخدامها كبديل جزئي للإسمنت في الخلطة الخرسانية من أجل تقليل التكلفة وتوفير طريقة آمنة للتخلص من هذه المواد للحفاظ على البيئة في نفس الوقت.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة، مقاومة الضغط، الإسمنت، مسحوق السيراميك، البيئة.

المقدمة

نعيش على هذه الأرض ونستمتع بما حباها الله به من نعم ومزايا أوجدها في هذا الكوكب ليكون للحياة والعيش الكريم، وكل ما يتعلق بالأرض ينبغي منا أن نحافظ عليه من أي أذى أو الإضرار به لأن أي خلل في التوازن والنظام الذي أوجده الله في هذا الكوكب سيعود بالضرر على أهله، وقد يكون النشاط البشري غير المسؤول هو السبب الرئيس في إحداث الإضطرابات البيئية والتلوث الذي يصل مداه إلى جميع عناصر البيئة المحيطة بنا [1].

في ظل الاستنزاف المخيف للموارد الطبيعية على كوكب الأرض برزت الحاجة إلى العديد من التقنيات التي من خلالها ما يقلل استخدام هذه الموارد او يعاد استخدامها او إعادة تدويرها إلى مواد اخرى صالحة للاستخدام سواء في نفس المجال الذي اخذت منه او في مجال آخر. و إذا ما علمنا أن مخلفات البناء و الهدم عند انتهاء العمر الافتراضي للمباني والمنشآت تمثل 10 - 30 % من كمية المخلفات التي ترمى إلى اماكن الطمر الصحي فبذلك سيتضح حجم الاثر البيئي التي تمثله هذه المخلفات وقد وجد أن 65% من هذه المخلفات هي عبارة عن مخلفات خرسانية وركام خشن (حصى). وهذا يعني توجيه الاهتمام إلى ايجاد طريقة أو أكثر للحد من استنزاف المواد الأولية لصناعة الخرسانة، ومن الملاحظ أن الموضوع يأخذ أهمية استثنائية للدول التي تعاني من الحروب و الأزمات التي تنتج أطناناً من مخلفات البناء و الهدم نتيجة القصف بمختلف الأسلحة وحيث أن منطقتنا العربية أخذت من الحروب حصة الأسد كان لزاماً علينا أن نفكر بالحلول السليمة لمثل هذه المشاكل. ووجد من خلال الدراسات أنه يمكن إعادة تدوير 80-90 % من مخلفات الهدم ومنها مخلفات الخرسانة [2].

كثيراً من دول العالم أصبحت تشجع الجامعات ومراكز الأبحاث للبحث والتطوير في مجال مايعرف ب (الخرسانة الخضراء) وكذلك تشجيع شركات المقاولات في كل من القطاع العام والخاص من خلال التشريعات والقوانين. وهي الخرسانة التي يتم إنتاجها من خلال إعادة تدوير المخلفات ومن هذا المنطلق جاءت فكرة بدراسة إمكانية استخدام مخلفات مصانع السيراميك بدل من إلقائها وحرقتها والإهتمام بالحفاظ على البيئة وتقليل مسببات التلوث إذ يعتبر مسحوق السيراميك الناتج من مصانع السيراميك من أكثر المواد خطورةً على صحة الإنسان وسلامة البيئة حيث يتعرض لها العمال في المصانع عن طريق الإستنشاق أو ملامسة الجلد مما يسبب لهم الأمراض.

الدراسات السابقة

وفي دراسة أخرى قام الباحثان Basim T. AL-Khafaji and Dr.Shamil A.Behaya في عام 2015 [3] بدراسة تركز على الاستبدال الجزئي للإسمنت بمسحوق السيراميك وتأثيرها على تشققات إنكماش الجفاف ومقاومة الإنضغاط لمونة الإسمنت، في هذه الدراسة تم استخدام قوالب حديدية بمقطع على شكل شبه منحرف بطول 2.5 متر ومن نهايته قالب بشكل مربع لغرض تقييد النموذج لضمان حدوث تشققات انكماش الجفاف لمونة الإسمنت وإيضاً تم صب نماذج لغرض تعيين مقاومة الإنضغاط والكثافة. أستخدمت ثلاث نسب مئوية من مسحوق السيراميك وهي 2% ، 4% ، 8% من الوزن الجاف للإسمنت وتم إنضاج النماذج جميعها بفترة إنضاج 14 اليوم تم أخذ معدل ستة نتائج لكل فحص من مقاومة الإنضغاط والكثافة. أوضحت النتائج العملية ان إضافة هذا المضاف يؤخر حدوث التشققات الناتجة من إنكماش الجفاف وتزيد من مقاومة الإنضغاط عند النسبة 4% وتقلل الكثافة عند كل النسب للمضاف (CP) وان مقدار الزيادة في مقاومة الانضغاط عند النسبة 4% هي 6.11% ولكنها تقلل من مقاومة الانضغاط عند النسبة 8% بمقدار 3.9% ولها تأثير قليل في تأخير حدوث تشققات الإنكماش وتقلل من عددها.

كذلك قام الباحثون Abdullah Anwar, Sabih Ahmed, S.Mohd.Ashraf Husain and Syed Aqeel Ahmed عام 2015 [4] بعمل دراسة لتأثير الإستبدال الجزئي للإسمنت بمسحوق مخلفات السيراميك وغبار الرخام ، حيث تم عمل عينات بإستبدال الإسمنت بمسحوق السيراميك بنسب 0% ، 5% ، 10% ، 15% ، 20% ، 25% ، 30% ، 35% ، 40% ، 45% ، 50% من وزن الإسمنت لخرسانة M-20 ، وعمل عينات أخرى بإستبدال الركام الناعم (الرمل) بغبار الرخام بنسب 0% ، 5% ، 10% ، 15% ، 20% ، 25% ، 30% ، 35% ، 40% ، 45% ، 50% من وزن الإسمنت لخرسانة M-20 ومقارنة نتائج الإختبارات لمقاومة الضغط للعينات بعمر 28 يوم مع الخلطة المرجعية 0% لكل من مسحوق السيراميك وغبار الرخام . حيث أفادت نتائج إختبار مقاومة الضغط للعينات التي تم فيها إحلال الإسمنت بمسحوق السيراميك بأن المسحوق ليس له تأثير على المقاومة حتى نسبة 30% ثم تبدأ بعد هذا الحد في النقصان نتيجة زيادة كمية المسحوق في الخلطة. أما بالنسبة للعينات التي إستخدم فيها غبار الرخام كبديل جزئي للرمال فإن المقاومة زادت بمقدار تدريجي حتى نسبة 20% ثم بدأت بالتناقص وكان مقدار الزيادة هذه 10.71% . وقد خلصت الدراسة إلى إمكانية إعادة تدوير هذه المواد من خلال إستخدامها في الخلطات الخرسانية وهو ما يوفر حل آمن للتخلص منها والمساهمة في الحد من التلوث البيئي.

قام الباحثون Ibrahim ASIWAJU-BELLO, Oladimeji OLALUSI and Festus OLUTOGE في عام 2017 [5] بدراسة تأثير إضافة مسحوق السيراميك للخرسانة وفعاليتها في زيادة معامل الإنضغاط عند وضعها في الماء العذب والمالح ، هذا البحث يهدف إلى دراسة جدوى إستخدام

هذه المخلفات وتأثيرات بيئات المياه العذبة والمالحة على قوة الانضغاط للخرسانة حيث يستفاد منه بوجه عام في تقليل النفايات وتحسين أداء الخرسانة حيث تم إستبدال الإسمنت بمسحوق السيراميك وفقاً لذلك في نطاق 0% ، 5% ، 10% ، 15% ، 20% ، 30% من زون الإسمنت وتم عمل مكعبات بحجم 150 × 150 × 150 ملمتر، التي تم إختبارها بعد فترة من المعالجة لمدة 56 يوم في وسطين سائلين (مياه عذبة ومالحة). حيث تبين أن إضافة مسحوق السيراميك في الخلطة تعزز خصائص الخرسانة المعالجة في كل من وسائط المياه العذبة والمالحة. كذلك بينت النتائج أن مقاومة الضغط للخرسانة المعالجة في الماء المالح أعلى من تلك المعالجة في الماء العذب، بالإضافة إلى أن إعادة إستخدام هذه المخلفات يساهم في الحفاظ على البيئة.

الهدف من الدراسة

دراسة إمكانية إنتاج خرسانة صديقة للبيئة وذلك بإضافة مسحوق مخلفات السيراميك للخلطة بنسب من وزن الإسمنت 5% ، 10% ، 15% ، 20% ، 25% والتحقق من جودة الخرسانة المنتجة بمقارنة نتائج إختبارات خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة مع نتائج الخرسانة المرجعية بنسبة إستبدال 0% وبذلك يتحقق الأهداف الرئيسية للدراسة وهي:

- ◆ التخلص من مخلفات البلاط من أجل حماية ونظافة البيئة.
- ◆ توفير المواد الطبيعية بإستغلال المخلفات لإستخدامها في صناعة مواد جديدة.

البرنامج العملي للدراسة

لتحقيق الهدف المطلوب من الدراسة تضمن البرنامج العملي القيام بعدة خطوات وهي:

- ◆ إستجلاب عينات من السيراميك التالف وطحنها لتحويلها إلى بودرة.
- ◆ إجراء الإختبارات المعملية على المواد المكونة للخلطة الخرسانية ومقارنة نتائجها بحدود المواصفات ذات العلاقة.
- ◆ تنفيذ مجموعة من الإختبارات المعملية على الخرسانة في حالتها الطازجة والمتصلدة وتحليل النتائج المتحصل عليها من الإختبارات المنفذة ومقارنتها بالمواصفات ذات العلاقة.
- ◆ الوصول إلى توصيات من شأنها التشجيع على إستخدام المواد المستهدفة وإستمرار الدراسات في هذا الشأن.

المواد المستخدمة

● الإسمنت

أستخدم الإسمنت البورتلاندي العادي (Portland Cement) ومن إنتاج شركة الاتحاد العربي زليتن العامة للإسمنت طبقاً للمواصفة الليبية (1997/340) [6] ، وكانت نتائج الإختبارات كما موضحة في الجدول 1 .

جدول 1: نتائج اختبارات الإسمنت

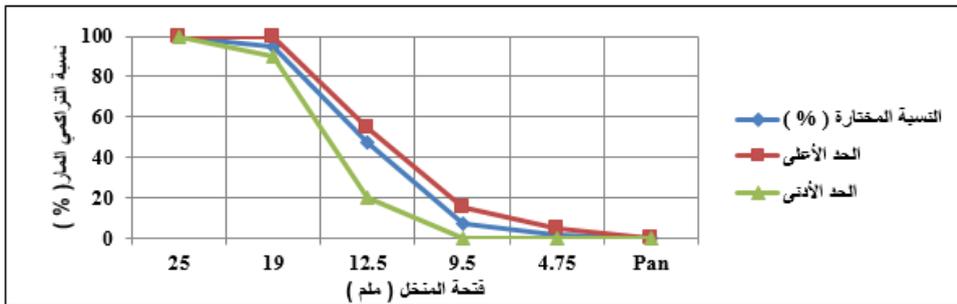
الإختبار	المواصفات	الحدود	النتيجة
صلاحية الإسمنت في الموقع	ASTM C150 ^[7]	--	صالح للاستعمال
القوام القياسي للعجينة الإسمنتية	ASTM C187 ^[8]	33 - 35 ملم	34.5 ملم
نعومة الإسمنت بإستخدام المناخل	ASTM C786 ^[9]	لايزيد عن 22%	4.6 %
زمن الشك الابتدائي	ASTM C191 ^[10]	لا يقل عن 45 دقيقة	100 دقيقة

● الركام الكبير (الخشن)

تم استعمال الركام الخشن بمقاسات مختلفة من أحد محاجر مدينة سوكنة، ويبين الجدول 2 والشكل 1 نتائج الإختبارات للركام الخشن.

جدول 2: نتائج إختبارات الركام الكبير

الإختبار	المواصفات	الحدود	النتيجة
الوزن النوعي	ASTM C127 ^[11]	2.6 - 2.9	2.63
الوزن الحجمي	ASTM C29 ^[12]	--	1375 كجم/م ³
نسبة إمتصاص الركام الكبير	ASTM C127	--	1.34 %
كمية الطين والمواد الناعمة	ASTM C117 ^[13]	أقل من 6% من وزن العينة	0.58 %
نسبة الفراغات	ASTM C29	--	56.2 %



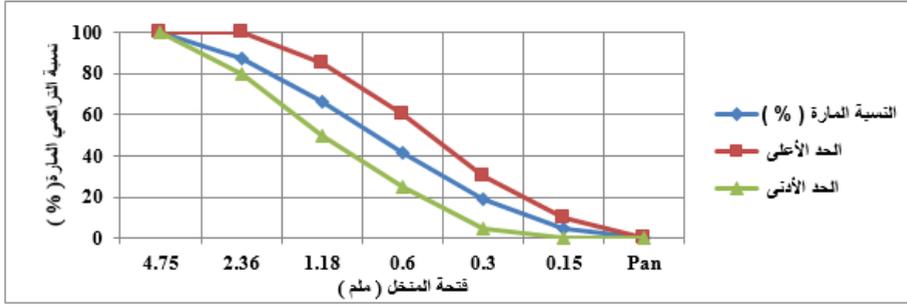
شكل 1: التدرج الحبيبي للركام الكبير [14]

● الركام الناعم (الرمل)

مصدره مدينة ودان وتم جلبه من أحد المحاجر في المدينة وكانت نتائج الإختبارات للركام الناعم كما هي موضحة بالجدول 3 والشكل 2.

جدول 3 : نتائج إختبارات الركام الصغير

النتيجة	الحدود	المواصفات	الإختبار
2.61	2.9 - 2.6	ASTM C128 ^[15]	الوزن النوعي
1036 كجم/م ³	--	ASTM C29	الوزن الحجمي
1.33 %	أقل من 6% من وزن العينة	ASTM C117	كمية الطين والمواد الناعمة
29.33 %	--	ASTM C29	نسبة الفراغات
2.82	--	ASTM C128	معياري النعومة



شكل 2: التدرج الحبيبي للركام الصغير^[14]

● الماء

تم إستخدام مياه صالحة للشرب مصدرها شبكة المياه العامة لمدينة هون.

● الإضافات

تم إستجلاب مخلفات السيراميك من معارض بيع السيراميك والمواد الصحية في منطقة الجفرة وإستخدامها على هيئة مسحوق بعد طحنها كما هو موضح في الشكل 3.



شكل 3: بودرة السيراميك

تصميم الخلطة الخرسانية

تم تصميم الخلطة الخرسانية في هذه الدراسة وفقاً لطريقة معهد الخرسانة الأمريكي ACI 211.91 [16] وفقاً للمعطيات الموضحة في جدول 4:

تصميم الخلطة الخرسانية

تم تصميم الخلطة الخرسانية في هذه الدراسة وفقاً لطريقة معهد الخرسانة الأمريكي ACI 211.91 [16] وفقاً للمعطيات الموضحة في جدول 4:
جدول 4: اعتبارات تصميم الخلطة الخرسانية

◆ المقاس الأقصى للركام الخشن = 19 ملم	◆ مقدار الهبوط = 75 – 100 ملم
◆ مقاومة الضغط المستهدفة بعمر 28 يوم = 42.8 ميغا باسكال	◆ الخرسانة لا تحتوي على هواء
◆ نسبة الماء للإسمنت = 0.358	

وكانت النتائج لأوزان المواد في الخلطة الخرسانية كما هي موضحة بالجدول 5.

جدول 5: أوزان مكونات الخلطة الخرسانية

الخلطة الخرسانية	وزن الرمل (كجم/م ³)	وزن الركام الخشن (كجم/م ³)	وزن الماء (كجم/م ³)	وزن الإسمنت (كجم/م ³)	وزن غبار السيراميك (كجم/م ³)
نسبة الإستبدال	% 0				
	30.22	33.7	8.1	22.6	0
نسبة الإستبدال	% 5				
	30.22	33.7	8.1	21.47	1.13
نسبة الإستبدال	% 10				
	30.22	33.7	8.1	20.34	2.26
نسبة الإستبدال	% 15				
	30.22	33.7	8.1	19.21	3.39
نسبة الإستبدال	% 20				
	30.22	33.7	8.1	18.08	4.52
نسبة الإستبدال	% 25				
	30.22	33.7	8.1	16.95	5.65
المجموع	151.1	168.5	40.5	118.65	16.95

اختبارات الخرسانة الطرية

● اختبار الهبوط

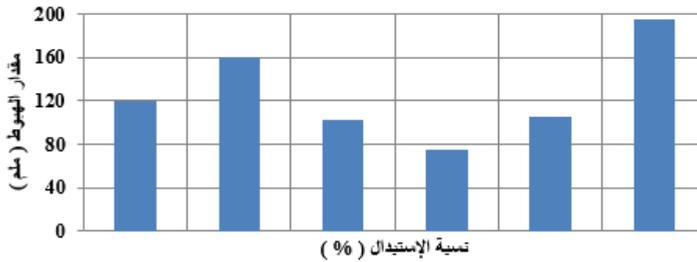
تم إجراء هذا الإختبار وفقاً للمواصفة الأمريكية ASTM C143^[17] كما هو موضح بالشكل 4 ، حيث يتبين من النتائج في الشكل 4 والجدول 5 أن إضافة هذه المواد يقلل من مقدار الهبوط للخلطة عند نسب الإستبدال 10% ، 15% ، 20% في حين يزداد مقدار الهبوط للخلطة عند نسب إستبدال 5% ، 25% مقارنةً بباقي القيم بما فيها الخلطة القياسية (نسبة الإستبدال 0%) . وكانت نتائج إختبار الهبوط للعينات كما هي موضحة في الجدول 6 والشكل 5.



شكل 4 : إختبار الهبوط

جدول 6: نتائج مقدار الهبوط والقوام للعينات

أنواع الخلطات	مقدار الهبوط (ملم)	قوام الخرسانة
0%	120	مبتل
5%	160	مبتل
10%	103	مبتل
15%	75	لدن
20%	106	لدن
25%	195	رخو



شكل 5: نتائج اختبار الهبوط

اختبارات الخرسانة المتصلدة

● مقاومة الضغط

تم إجراء هذا الإختبار وفقاً للمواصفة البريطانية BS 1881 Part 116: 1983^[8] كما هو موضح في الأشكال 6 ، 7 ، 8 حيث يلاحظ من خلال النتائج في الجدول 7 والشكل 9 أن إضافة هذه المواد تسبب في إنخفاض مقاومة الضغط للخرسانة وذلك من خلال تأثيرها السلبي على التماسك بين مكونات الخلطة الخرسانية والجدول 6 والشكل 6 يوضح نتائج الاختبارات.



الشكل 6 : يبين تجهيز القوالب



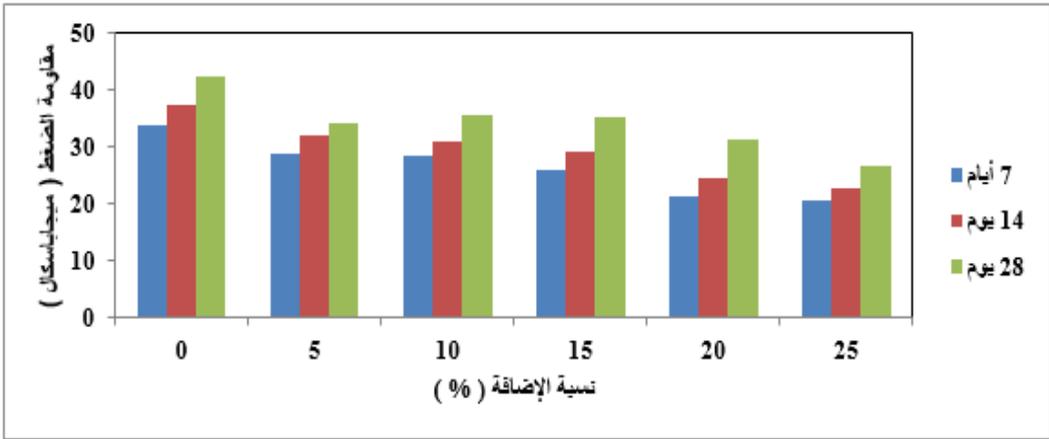
الشكل 7 : العينات المكعبات القياسية



الشكل 8: وضع العينة بين فكي جهاز الضغط

جدول 7: نتائج إختبار مقاومة الضغط للخرسانة بعمر 7 ، 14 ، 28 يوم

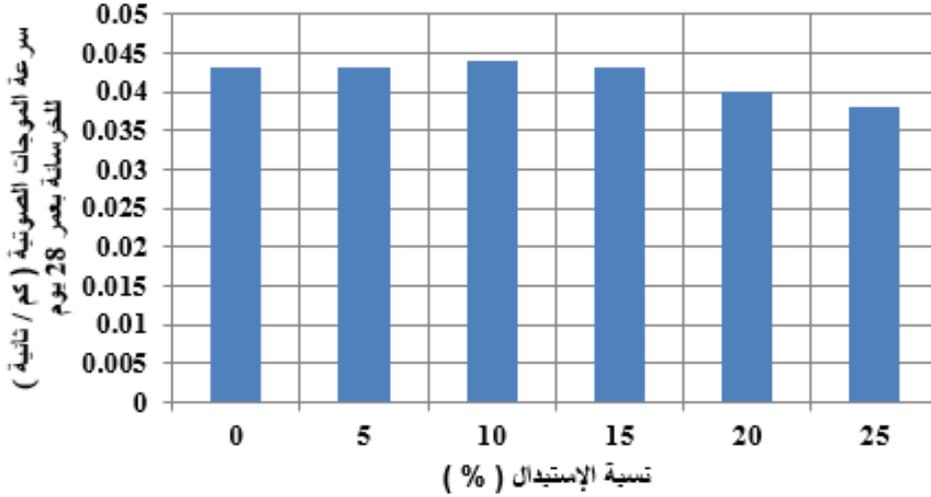
مقاومة الضغط للخرسانة (ميغاباسكال) عند عمر			الخلطة الخرسانية
28 يوم	14 يوم	7 أيام	
42.3	37.2	33.8	%0
34.3	31.9	28.8	%5
35.6	31.1	28.5	%10
35.2	29.3	25.9	%15
31.4	24.4	21.3	%20
26.7	22.9	20.6	%25



شكل 9 : نتائج إختبار مقاومة الضغط للخرسانة بعمر 7 ، 14 ، 28 يوم

الموجات فوق الصوتية

تم إجراء هذا الإختبار وفقاً للمواصفة الأمريكية ASTM C597^[19] ، حيث يتبين من الشكل 10 تقارب النتائج لسرعة الموجات الصوتية خاصةً عند نسب إستبدال 5% ، 10% ، 15% مع الخلطة القياسية الأمر الذي يفسر تقارب النتائج لمقاومة الضغط لهذه العينات .



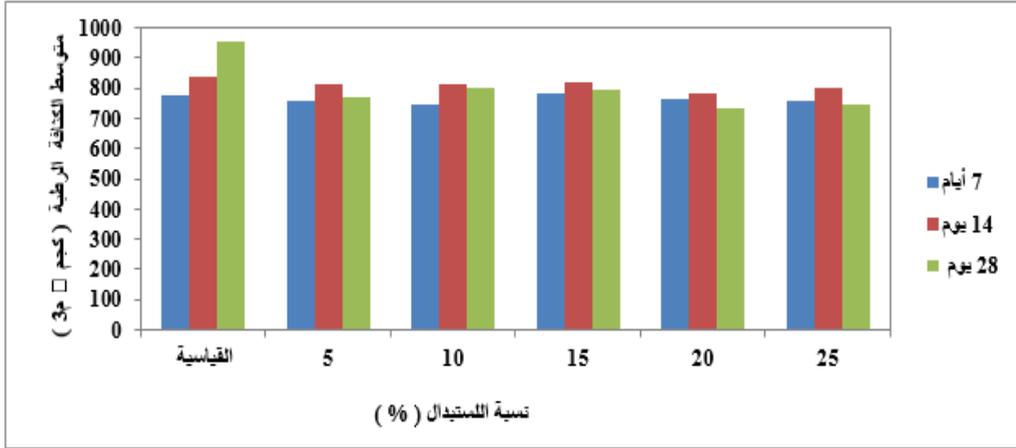
شكل 10: نتائج إختبار الموجات فوق الصوتية.

◆ تعيين الكثافة الرطبة

تم إجراء هذا الإختبار وفقاً للمواصفة الأمريكية ASTM C642 - 13 [20] ، حيث نلاحظ من خلال النتائج في الجدول 8 والشكل 11 إنخفاض في الكثافة الرطبة لجميع الخلطات الخرسانية مقارنةً بالخلطة القياسية ، وهذا الإنخفاض في الكثافة يزداد بزيادة هذه المخلفات .

جدول 8: نتائج إختبار تعيين الكثافة الرطبة للخرسانة بعمر 7 ، 14 ، 28 يوم

متوسط الكثافة (كجم/م ³) يوم 28	متوسط الكثافة (كجم/م ³) يوم 14	متوسط الكثافة (كجم/م ³) 7 أيام	نسبة الإستبدال (%)
953.2	836.7	776.8	القياسية
773.4	811.9	760.6	5
801.1	811.3	744.5	10
793.6	818.1	781.5	15
732.9	784.9	765.7	20
746.8	801.5	757.1	25



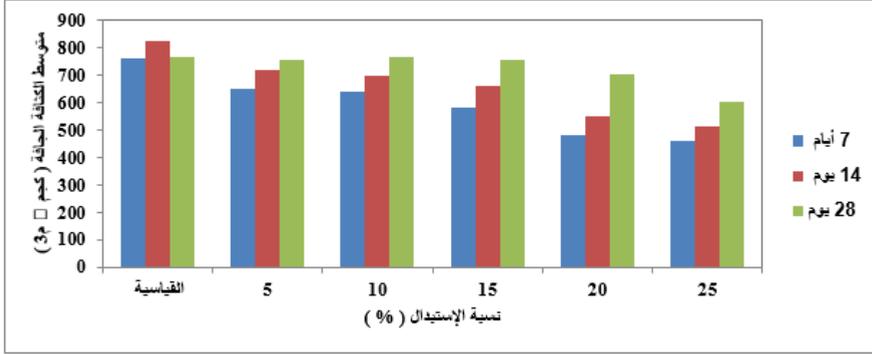
شكل 11: نتائج إختبار تعيين الكثافة الرطبة للخرسانة بعمر 7 , 14 , 28 يوم

● تعيين الكثافة الجافة

تم إجراء هذا الإختبار وفقاً للمواصفة الأمريكية ASTM C642 - 13^[21], حيث نلاحظ من خلال النتائج في الجدول 9 والشكل 12 إنخفاض في الكثافة الجافة لجميع الخلطات الخرسانية مقارنةً بالخلطة القياسية , وهذا الإنخفاض في الكثافة يزداد بزيادة هذه المخلفات .

جدول 9: نتائج إختبار تعيين الكثافة الجافة للخرسانة بعمر 7 , 14 , 28 يوم

متوسط الكثافة (كجم/م³) يوم 28	متوسط الكثافة (كجم/م³) يوم 14	متوسط الكثافة (كجم/م³) 7 أيام	نسبة الإستبدال (%)
766.4	824.9	760.7	القياسية
757.3	718.5	647.6	5
767.2	700	640.5	10
756.4	659.4	584.1	15
705.3	550.3	478.6	20
600.5	515.1	462.2	25



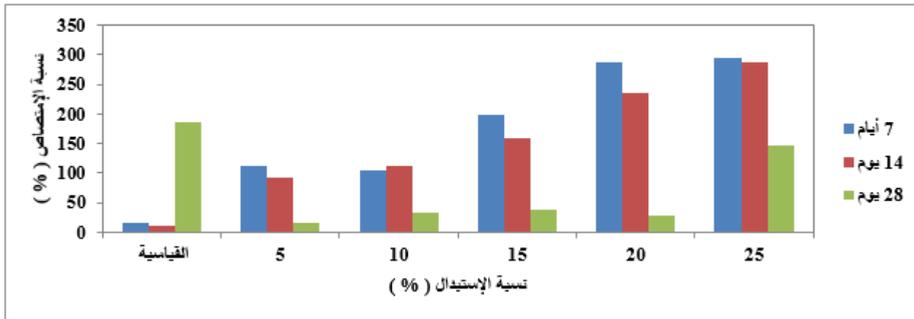
شكل 12: نتائج إختبار تعيين الكثافة الجافة للخرسانة بعمر 7 , 14 , 28 يوم

● نسبة الإمتصاص

تم إجراء هذا الإختبار وفقاً للمواصفة الأمريكية ASTM C1585 [21] ، حيث نلاحظ من خلال النتائج في الجدول 10 والشكل 13 إزدیاد في نسبة الامتصاص لجميع الخلطات بالمقارنة مع الخلطة القياسية .

جدول 10 : نتائج إختبار تعيين نسبة الإمتصاص للخرسانة بعمر 7 , 14 , 28 يوم

نسبة الإمتصاص			نسبة الإستهبدال (%)
28 يوم	14 يوم	7 أيام	
186.8	11.8	16.1	القياسية
16.1	93.4	113	5
33.9	111.3	104	10
37.2	158.7	197.4	15
27.6	234.6	287.1	20
146.3	286.4	294.9	25



شكل 13: نتائج إختبار تعيين نسبة الإمتصاص للخرسانة بعمر 7 , 14 , 28 يوم

الخلاصة

- ◆ إمكانية استخدام مسحوق مخلفات السيراميك في إنتاج الخرسانة للمساهمة في الحفاظ على البيئة .
- ◆ إضافة مسحوق مخلفات السيراميك للخرسانة يقلل من مقاومتها للضغط حيث أنه كلما زادت كمية المسحوق المضافة للخرسانة كلما قلت مقاومة الخرسانة للضغط أي بمعنى وجود تناسب عكسي بين نسبة الإستبدال ومقاومة الضغط للعينات.
- ◆ مخلفات السيراميك المضافة للخرسانة تؤثر بشكل مباشر على كثافة الخرسانة فكلما زادت كمية غبار السيراميك المضاف للخرسانة كلما قلت كثافتها وبالتالي نتحصل على خرسانة خفيفة الوزن.
- ◆ تساهم عملية استخدام المواد الناعمة المصاحبة لقص وتشكيل السيراميك في تقليل عبئ التخلص منها كما تساهم في تقليل تكلفة الخرسانة بشكل عام.

المراجع

- [1] محمود إمام , " الخرسانة , الخواص , الجودة والإختبارات " , الإصدار الأول , 5 - 50 - 5069 - ISBN 977 , جامعة المنصورة , مصر , 2002 .
- [2] د. موزة بنت محمد الريان , " الخرسانة ... إعادة التدوير والإستعمال " , منظمة المجتمع العلمي العربي , 2016 .
- [3] Basim T. AL-Khafaji and Dr.Shamil A.Behaya , “ EFFECT OF CERAMIC PWODER (CP) ON COPMRESSIVE STRENGHT AND DRYING SHRINKAGE CRACKS OF CEMENT MORTAR “, Kufa Journal of Engineering ,Vol.6 ,No.2 ,P.P 63-75 ,Iraq ,2015.
- [4] Abdullah Anwar, Sabih Ahmed, S.Mohd.Ashraf Husain and Syed Aqeel Ahmed, “ SALVAGE OF CERAMIC WASTES AND MARBLE DUST FOR THE REINFORCEMENT OF SUSTAINABLE CONCRETE “, International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), Vol 6, Issue 9, pp.79-92, 2015.

[5] Ibrahim ASIWAJU-BELLO, Oladimeji OLALUSI and Festus OLUTOGE, “ Effect of Salt Water on the Compressive Strength of Ceramic Powder Concrete “, American Journal of Engineering Research (AJER), Volume-6, Issue-4, pp-158-163, 2017.

[6] المركز الوطني الليبي للمواصفات والمعايير القياسية , " المواصفة الليبية رقم 340 للإسمنت البورتلاندي " , ليبيا , 1997 .

[7] American Society for Testing and Materials, “ ASTM C150 : Standard Specification for Portland Cement “, 2007 .

[8] American Society for Testing and Materials, “ ASTM C187 : Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement “, 1990 .

[9] American Society for Testing and Materials, “ ASTM C786 : Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement and Raw Materials “, 1996 .

[10] American Society for Testing and Materials, “ ASTM C191 : Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle “, 1999 .

[11] American Society for Testing and Materials, “ ASTM C127 : Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregates “, 1985 .

[12] American Society for Testing and Materials, “ ASTM C29 : Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Concrete “, 1985 .

[13] American Society for Testing and Materials, “ ASTM C117 : Standard Test Method for Materials Finer than 75 μ m (No 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing “, 2017 .

[14] British Standard Institution, “ B.S882: 198Specification for Aggregate from Natural Sources for Concrete “ , 1992 .

- [15] American Society for Testing and Materials, “ ASTM C128 : Standard Test Method for Testing Specific Gravity and Absorption Capacity of Fine Aggregates “ , 1985 .
- [16] American Concrete Institute , “ Method of Concrete Mix Design Procedure and Calculations “ , 1991.
- [17] American Society for Testing and Materials, “ ASTM C143 : Standard Test Method for Slump of Hydraulic – Cement Concrete “ , 2003 .
- [18] British Standard Institute, “ BS 1881 Part 166 : The Compressive Strenght of Cubic Concrete Specimens “ , 1983 .
- [19] American Society for Testing and Materials, “ ASTM C597 : Standard Test Method for Pules Velocity Through Concrete “ , 2016 .
- [20] American Society for Testing and Materials, “ ASTM C642 : Standard Test Method for Density , Absorption , and Voids in Hardened Concrete “ , 2013 .
- [21] American Society for Testing and Materials, “ ASTM C1585 : Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Concrete “ , 2004.

دراسة مرجعية لاستخدام الركام المعاد تدويره المعالج والغير معالج لإنتاج خرسانة صديقة للبيئة

عبد المنعم طرنبة¹، د. نوري الباشا²

¹ طالب دراسات عليا، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة صبراتة، ليبيا

² أستاذ قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة صبراتة، ليبيا

* للمراسلة: AbdulmunemItrunbah@gmail.com ² nelbasha@zu.edu.ly

المخلص

تعتبر الخرسانة من أكثر مواد البناء استخداماً للمميزات الكثيرة التي تتمتع بها، الأمر الذي يؤدي بالنتيجة إلى كميات كبيرة من النفايات الخرسانية الناتجة عن الهدم ومخلفات الحروب والذي أصبح تحدياً جديداً للبيئة والمجتمع. وبإعادة تدوير هذه المخلفات واستخدامها مجدداً كبديل للركام الناعم أو الخشن، تعتبر حلاً مناسباً لحماية البيئة وخلق مخرجات ذات قيمة عالية لهذه المخلفات بتقليل استنزاف الموارد الأولية والخامات وتحقيق الاستدامة.

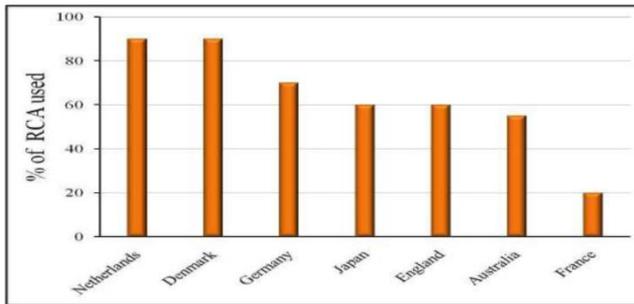
يهدف هذا البحث إلى مراجعة أهم الأبحاث والدراسات التي أجريت على إعادة استخدام مخلفات الخرسانة المعاد تدويرها في صناعة خرسانة صديقة للبيئة. حيث تم تقييم مدى صلاحية استخدام ركام الخرسانة المعاد تدويره بالمعالجة ومن غير معالجة من خلال الاختبارات الميكانيكية والفيزيائية للركام المدروس مقارنة بالركام الطبيعي إضافة إلى اختبارات الخرسانة المعروفة مثل تحديد الخواص التشغيلية. النتائج التي تم الحصول عليها تشير إلى أن مقاومة الضغط والشد للخرسانة تتناقص كلما زادت نسبة الركام المعاد تدويره في الخلطة على عكس ذلك زيادة في نسبة الامتصاص وهذا بسبب المونة الإسمنتية القديمة التي تبقى ملتصقة على سطح الركام المعاد تدويره. ومع ذلك تشير النتائج إلى إمكانية قبول 30% من الركام المعاد تدويره من غير معالجة في صناعة خرسانة صديقة للبيئة من أجل التماشي مع مواصفات جيدة للخرسانة. وإمكانية قبول نسبة تصل حتى 50% من الركام المعاد تدويره وذلك بإجراء تقنية المعالجة للركام المعاد تدويره قبل استخدامه في صناعة خرسانة.

إن استخدام الركام المعاد تدويره في صناعة الخرسانة يأخذ أهمية استثنائية للدول التي تعاني من الحروب مثل ليبيا والتي تنتج أطناناً من مخلفات البناء والهدم نتيجة القصف بمختلف الأسلحة وبالتالي إعادة التدوير من أفضل الحلول السليمة في إعادة إعمار ليبيا. و بناءً على هذه الدراسة نشجع على تدوير هذه المخلفات واستخدامها مجدداً في صناعة خرسانة صديقة للبيئة بدلاً من نقلها إلى أماكن الطمر.

الكلمات المفتاحية: مخلفات الخرسانة، الركام المعاد تدويره، الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للركام، خرسانة صديقة للبيئة.

المقدمة

تعتبر الخرسانة من أكثر مواد البناء استخداماً للمميزات الكثيرة التي تتمتع بها، الأمر الذي يؤدي بالنتيجة إلى كميات كبيرة من النفايات الخرسانية الناتجة عن الهدم ومخلفات الحروب والذي أصبح تحدياً جديداً للبيئة والمجتمع. حيث في ظل الاستنزاف المخيف للموارد الطبيعية على كوكب الأرض برزت الحاجة إلى العديد من التقنيات التي من خلالها إما يقلل استخدام هذه الموارد أو يعاد استخدامها أو إعادة تدويرها إلى مواد أخرى صالحة للاستخدام سواء في نفس المجال الذي أخذت منه أو في مجال آخر. وإذا ما علمنا أن مخلفات البناء والهدم عند انتهاء العمر النافع للمباني والمنشآت تمثل 10 - 30 % من كمية المخلفات التي ترمى إلى أماكن الطمر الصحي فبذلك سيتضح حجم الأثر البيئي التي تمثله هذه المخلفات وقد وجد أن 65% من هذه المخلفات هي عبارة عن مخلفات خرسانية وركام خشن (حصى) [1]. إذاً يجب توجيه اهتمام الباحث لإيجاد طريقة أو طرق للحد من استنزاف المواد الأولية لصناعة الخرسانة، ومن بين هذه الطرق إعادة تدوير الخرسانة للحصول على ركام يمكن استعماله. إذ أن إعادة التدوير توفر خياراً عملياً وجذاباً بديلاً في الوقت الحاضر بسبب زيادة الوعي البيئي، والمزيد من اللوائح والقوانين البيئية، والرغبة في الحفاظ على انخفاض تكاليف البناء، وخلق مخرجات ذات قيمة عالية لهذه المخلفات بتقليل استنزاف الموارد الأولية والخامات وتحقيق الاستدامة للأجيال القادمة. يمكن أن تكون إعادة التدوير واحدة من أفضل الطرق بالنسبة لنا للحصول على تأثير إيجابي في العالم الذي نعيش فيه، حيث أصبحت عملية إعادة التدوير سياسة تعتمدها وتصر عليها كثير من الدول المتقدمة وتعتبر هولندا والدنمارك رائدة فيها كما يظهر في الشكل (1) [2]. أما في معظم الدول النامية ومنها الدول العربية من بينها ليبيا، فلم تعط هذه القضية الاهتمام الكافي، وغالباً ما يكون مصير هذه المخلفات في أعمال الدفن للأراضي المنخفضة أو في التكديس بشكل غير قانوني في الأراضي الخالية ومكبات النفايات، وتمثل مخلفات الخرسانة حوالي 60-75% من مجموع النفايات الصلبة بشكل عام [1].



الشكل (1) :كمية النفايات الخرسانية التي يتم تدويرها في بعض دول العالم[2] .

حيث برزت الحاجة الأنوية الملحة لاستخدام الأنقاض الخرسانية المعاد تدويرها كركام لإنتاج خرسانة صديقة للبيئة بعد الحرب العالمية الثانية كفكرة لاقت النجاح للاستفادة منها في مشاريع إعادة الإعمار للمنشآت والمدن السكنية المدمرة [3]. من الأسباب التي تشجع على استخدام الركام المعاد تدويره في صناعة خرسانة صديقة للبيئة:

- 1- له جودة تلبية وتتجاوز أحياناً متطلبات المواصفات إذا تم إنتاجه بالشكل الصحيح والسليم.
- 2- عادةً ما يكون خفيف الوزن لكل وحدة حجم بالمقارنة بالركام الطبيعي ونتيجة لذلك يمكن تحقيق انخفاض في الوزن الهيكلي الذاتي مما يؤدي إلى انخفاض تكاليفه .
- 3- مصدر لركام الخرسانة الجديدة، و مقبول لدى المواصفات (ASTM)، (AASHTO)، (JCI) ، (Euro code, EN206). [4].

استخدام الركام المعاد تدويره غير المعالج:

استخدام الركام المعاد تدويره (RA) كبديل للركام الطبيعي (NA) حلاً لعدد من المشاكل التي تواجهها الحضارة مثل الحفاظ على الموارد الطبيعية ، وتقليل تكاليف معالجة النفايات قبل التخلص منها ، والحد من التلوث. وبهذا الخصوص أجريت العديد من الدراسات والبحوث التي تتناول هذا الموضوع :

استخدام (Etxeberria et.al., 2007) نسب 0%، 25%، 50%، 100% من الركام المعاد تدويره في صناعة خرسانة جديدة كبديل عن الركام الطبيعي وذلك لتحديد تأثير كمية الركام الخشن على خواص الخرسانة المعاد تدويرها. أجريت الدراسة على مرحلتين، نتائج المرحلة الأولى أظهرت أنه كلما زادت نسبة الركام المعاد تدويره انخفضت مقاومة الضغط. وعند استبدال نسبة 100% بالركام المعاد تدويره انخفضت مقاومة الضغط بحوالي 20-25% مقارنة مع الخرسانة التقليدية، وأن مقاومة الشد لم تتأثر كثيراً، وانخفض معامل المرونة إلى حوالي 16%. كما لوحظ أن استخدام نسبة 25% من الركام المعاد تدويره لا يؤدي إلى تغير يذكر على خصائص الخرسانة. وكمرحلة ثانية وكوسيلة لتحسين أداء الخرسانة المصنوعة من ركام معاد تدويره أوضحت الدراسة أنه عند اعتماد نسبة استبدال تتراوح بين 50-100% يجب أن تزداد كمية الإسمنت في الخلطة الخرسانية بنسبة 4-10% وتخفيض نسبة الماء إلى الإسمنت بمقدار 5-10% [5]. وهو ما أشار إليه (Park, 1999) الذي درس استخدام ثلاثة أنواع مختلفة من الركام الخشن (ركام طبيعي (NA) ، ركام معاد تدويره من تكسير الخرسانة (RC)، ركام معاد تدويره مستورد من شركة هدم أوكلاندا (ROC)) في صناعة خرسانة جديدة مع استخدام ثلاثة كميات مختلفة من الإسمنت في الخلطة الخرسانية (230، 250، 320) كجم/م³ ، كما هو موضح بالجدول (1). واستنتج أن زيادة كمية الإسمنت في الخلطة الخرسانية له تأثير جيد على تحسين مقاومة الضغط للخرسانة في حال استخدام ركام معاد تدويره. [6]

جدول (1): خصائص الخرسانة الصلبة [5].

Mix	28 Day Strength (MPa)	Hardened Density (kg/m ³)	Flexural Tensile Strength (MPa)	56 Day Drying Shrinkage (microstrain)	Modulus of Elasticity (GPa)
NA230	28.5	2350	4.2	570	37.1
RC230	21.5	2260	3.0	780	26.0
ROC230	24.0	2270	3.4	900	28.2
RC250	27.0	2270	3.6	730	Not Tested
ROC250	28.0	2270	3.8	920	29.5
NA320	43.0	2430	Not Tested	600	Not Tested
RC320	39.0	2330	4.4	720	33.8
ROC320	43.5	2350	4.4	940	28.8

(Konin and Kouaido, 2011) أكدوا على أن استخدام كمية للأسمنت أعلى من 300 كجم/م³ تحسن مقاومة الضغط للخرسانة المصنوعة من ركام معاد تدويره لتصبح شبيهة بالخرسانة المصنوعة من ركام طبيعي. [7]

درس (Adnan et.al., 2011) تأثير النسب المئوية المختلفة 0% ، 25% ، 50% ، 75% ، 100% على مقاومة الخرسانة (RAC) المصنوعة من الركام المعاد تدويره (RA) كركام خشن بديل عن الركام الطبيعي (NA). كما تم استخدام مخاليط (RAC) بنسب مختلفة من الماء إلى الأسمنت (0.4 ، 0.5 ، 0.6). أظهرت النتائج بشكل عام بعد 7 ، 14 ، 28 يوم أن (RAC) لديها مقاومة ضغط أقل مقارنة بالخرسانة الطبيعية (NAC). وأن مقاومة الضغط في عمر 28 يوماً تقل كلما زادت نسبة الركام المعاد تدويره في الخلطة. وقد وجد أن (RAC) مع نسبة الماء إلى الأسمنت 0.4 كانت أعلى مقاومة ضغط مقارنة مع 0.5 و 0.6. وبناء على النتائج يمكن القول أن تقليل نسبة الماء إلى الاسمنت يؤدي إلى تحسين مقاومة الضغط [8]. وهذا ما تمت الإشارة إليه من قبل [5].

قام ((Paul, 2011)) بدراسة الخصائص للخرسانة المحتوية على ركام معاد تدويره كمقاومة الضغط، معامل المرونة، التقلص والزحف، كما درس ديمومتها وذلك باستخدام نسب 0% ، 30% ، 100% من الركام الخشن المعاد تدويره كبديل عن الركام الطبيعي. من الجدول (2) نستنتج أن زيادة نسبة استخدام الركام المعاد تدويره يؤثر على خصائص الخرسانة مقارنة مع الخرسانة الطبيعية، وأن إمكانية الحصول على خرسانة مصنوعة من ركام معاد تدويره بمواصفات الخرسانة التقليدية تقريباً عندما يتم استخدام نسبة 30% من الركام المعاد تدويره. [4] وهو ما أكد عليه [1].

الجدول (2): خواص الخرسانة الصلبة. [4]

Type of test	NAC100%	RAC30%	RAC100%	Comparison with NAC100%
Cylinder strength (MPa)	30.50	30.87	28.47	No change for RAC30%. RAC100% is 7% lower.
Compressive Strength (MPa)	46.57	47.21	42.43	RAC30% is 1% higher. RAC100% is 9% lower.
E-modulus (GPa)	31.75	33.2	26.8	RAC30% is 5% higher. RAC100% is 16% lower
Splitting strength (MPa)	5.55	5.48	4.69	RAC30% is 1% lower. RAC100% is 15% lower.
Flexural strength (MPa)	3.46	3.15	3.09	RAC30% is 9% lower. RAC100% is 11% lower.
Shrinkage strain ($\mu\text{m}/\text{m}$)	822	839	-	RAC30% is 2% higher.
Creep strain ($\mu\text{m}/\text{m}$)	571	954	-	RAC30% is 67% higher.
OPI (log scale)	9.61	9.78	-	Same range
Chloride conductivity (mS/cm)	1.65	1.36	-	RAC30% shows slight improvement
Water sorptivity ($\text{mm}/\text{hr}^{1/2}$)	7.1	8.1	-	Same range
Water porosity (%)	11	10.8	-	-

Note that, these are 28 days strength and E-modulus values, 90 days creep and shrinkage values and 23 days durability index values.

درس (Huda, 2014) سلوك الخرسانة المصنوعة من ركام معاد تدويره وذلك لتحديد مدى إمكانية استخدام الركام الخشن المعاد تدويره كمادة بناء. حيث قام بتصميم ستة خلطات خرسانية تحتوي على نسب مختلفة من الركام الخشن المعاد تدويره كبديل عن الركام الطبيعي على التوالي 0%، 30%، 40%، 50%، 75%، 100%، تم فحص الخواص الميكانيكية للخرسانة المعاد تدويرها وذلك بعد 7، 28، 56، 148 يوماً من المعالجة. كما تم فحص أداء متانتها تحت ظروف تعرض مختلفة وهي: الكبريتات، والتعرض للكوريد. أظهرت النتائج أن قدرة الامتصاص للركام الخشن المعاد تدويره أعلى بمعدل 3.75 مرة من تلك التي في الركام الطبيعي الخشن. وأن مقاومة الضغط عند استبدال 30% من الركام حققت قوة أعلى بنسبة 5.8% من تلك المصنوعة من الركام الطبيعي، ولوحظ أنه كلما زادت نسبة استخدام الركام المعاد تدويره يزيد من انخفاض مقاومة الضغط مقارنة بالخرسانة التقليدية حيث عند استخدام 40%، 50%، 75%، 100% انخفضت مقاومة الضغط بنسبة 17.4%، 17.8%، 12.9%، 14.5% على التوالي بعد 148 يوم مقارنة مع الخرسانة التقليدية. وأظهر اختبار المتانة أثناء تعرض الخرسانات للكبريتات على فقدان مقاومة الضغط وكذلك التغيرات في حجم وارتفاع العينة التي تم قياسها بمرور الوقت. حيث في ظل التعرض للكبريتات حتى 56 يوماً، كانت مقاومة الضغط لجميع الخلطات تتزايد وبعد ذلك لوحظت ظاهرة تناقص في جميع الخلطات. وأظهرت نتائج اختبار مقاومة الضغط بمستويات

الاستبدال المختلفة بعد تعرضها للترطيب الدوري والتجفيف بمحلول كلوريد الصوديوم لمدة 56, 90, 118, 148 يوم أن مقاومة الضغط لا تزال غير متأثرة بالتعرض للكلوريد وأن دخول أيون الكلوريد يزداد مع زيادة نسبة الاستبدال. أي أن أداء متانة الخرسانة المعاد تدويرها يتأثر بارتفاع المسامية لركام الخرسانة المعاد تدويره. ومن أبرز ما لوحظ هو أن استخدام نسبة 30% من الركام المعاد تدويره يعطي أداء للخرسانة مماثل للخرسانة التقليدية [10]. وهو ما يتوافق مع [4,9].

قام (salehlamein et.al., 2015) بإجراء دراسة على تأثير استخدام الركام الخشن المعاد تدويره على خواص الخرسانة وذلك باستخدام نسب 0% و 35% و 50% و 65% كبديل عن الركام الطبيعي. تمت في هذه الدراسة تصميم أربعة خلطات خرسانية في المعمل ثم أجريت الاختبارات لتحديد خواص الخرسانة. أظهرت نتائج الاختبارات أن قدرة الامتصاص زادت عند استخدام الركام المعاد تدويره وأن قابلية التشغيل تقل عند إضافة المزيد من الركام الخشن المعاد تدويره. كما لوحظ أن مقاومة الضغط بعد 28 يوم مع استبدال 35% من (RCA) انخفضت إلى 7.87% و 50% انخفضت إلى 16% وأيضاً مع 65% كان الانخفاض 23.3%، كذلك الحال بالنسبة لمعامل المرونة والذي أظهرت النتائج أنه ينخفض بزيادة نسبة الركام المعاد تدويره. بشكل عام وبناء على نتائج الدراسة أن النسبة المئوية من الركام الخشن المعاد تدويره والتي يمكن استخدامها في الخرسانة هي الحد الأقصى لاستبدال 35% من الركام الخشن المعاد تدويره لأنها أعطت نتائج قريبة من الخرسانة التقليدية واستخدام نسبة أقل قد تعطي نتائج مماثلة للخرسانة التقليدية [11]. وهو ما توافق مع [4,9,10]. وهذا ما أكد عليه أيضاً (Shrimali, 2017) الذي قام بإجراء دراسة مرجعية على تأثير استخدام الركام المعاد تدويره على سلوك الخرسانة شملت عدة دراسات على نفس الموضوع. تلخصت الدراسة على أن استخدام نسبة 30% بالوزن من الركام المعاد تدويره في صناعة خرسانة صديقة للبيئة له أداء مماثل لتلك الخرسانة المصنوعة من الركام الطبيعي وأن زيادة نسبة الركام المعاد تدويره في الخلطة الخرسانية يؤثر تأثيراً سلبياً على الخواص الميكانيكية وخصائص المتانة [12].

درس (Guerzou et.al., 2018) استخدام نسب 0%, 50%, 100% من الركام المعاد تدويره كبديل عن الركام الطبيعي لتحديد أداء الخرسانة. حيث تم في هذه الدراسة استخدام طريقة التشبع المسبق للركام المعاد تدويره قبل 24 ساعة من الخلط، وذلك لتحديد قابلية التشغيل عن طريق اختبار الهبوط والخصائص الميكانيكية عند 2 و 28 يوم لمكعبات خرسانية بحجم 10سم³. أظهرت الدراسة نتائج مقبولة للغاية على قابلية التشغيل والخصائص الميكانيكية. حيث من خلال استبدال 50% من الركام المعاد تدويره المشبع في البداية، وضع أفضل صياغة للخرسانة المصنوعة من ركام معاد تدويره، وكانت النتائج التي تم الحصول عليها بشأن قابلية التشغيل وقوة الخرسانة مماثلة لتلك الخاصة بالخرسانة المصنوعة من الركام الطبيعي [13]. وهذا ما أكد عليه (Rahal, 2007) أن استبدال نسبة 100% من الركام المعاد تدويره

وهو في الحالة المشبعة حققت مقاومة الضغط ما يقارب 90% من مقاومة الضغط للخرسانة المصنوعة من الركام الطبيعي ، وأن نتائج ديمومة الخرسانة كانت متقاربة بين كلا الخرسانتين [14]. قام (Arredondo et.al., 2019) بإجراء دراسة تجريبية على الخرسانة المصنوعة من ركام معاد تدويره كخرسانة مسلحة وذلك لتحديد معدل تآكل حديد التسليح والمقاومة الكهربائية للخرسانة. تم في هذه الدراسة تصميم عشرة خلطات خرسانية بنسب استبدال مختلفة لـ (RA) الخشن والناعم تراوحت من 0% إلى 100%. عرضت المكعبات الخرسانية لدورات التجفيف الرطب (3.5% من محلول كلوريد الصوديوم NaCl)، بعد ذلك تم إجراء الاختبارات و تحديد معدل التآكل باستخدام التقنية الكهروكيميائية لمقاومة الاستقطاب الخطي، في حين تم قياس المقاومة الكهربائية بواسطة التحليل الطيفي للمقاومة الكهروكيميائية. أظهرت النتائج أن استخدام الركام المعاد تدويره يسرع في عملية تآكل حديد التسليح بسبب زيادة المسامية، وانخفاض في المقاومة الكهربائية. وأن تآكل حديد التسليح في الخرسانة المصنوعة من ركام معاد تدويره أسرع من الخرسانة التقليدية وأنه كلما زادت نسبة الركام المعاد تدويره زادت سرعة تآكل حديد التسليح وانخفاض المقاومة الكهربائية ومع ذلك أكدت النتائج أن تآكل حديد التسليح والمقاومة الكهربائية لا يتأثر بشكل كبير عن طريق استبدال حد أقصى 30 % من الركام الخشن و 20 % من الركام الناعم مع ركام معاد تدويره [15]. بالتوافق مع [4,9,10,11,12].

استخدام الركام المعاد تدويره المعالج :

جودة الركام المعاد تدويره ومصدره عامل مهم جداً ويؤثر بشكل كبير على جودة الخرسانة المنتجة منه. قامت العديد من الأبحاث والدراسات بدراسة معالجة الركام المعاد تدويره قبل استخدامه في صناعة خرسانة صديقة للبيئة وذلك للحصول على جودة أداء عالية له ومراقبة مدى تأثيره على جودة الخرسانة المنتجة منه. حيث حاول (Montgomery, 1998) علاج الركام المعاد تدويره وذلك بطحنه في مطحنة دوّارة لإزالة العجينة الإسمنتية القديمة من على سطحه، ووجد أن الركام الأكثر نظافة يعطي خرسانة بجودة أعلى [16,17].

قام كلا من (Vivian and Tamb, 2007) بإجراء دراسة عن إزالة بقايا المونة الإسمنتية الملتصقة على سطح الركام المعاد تدويره من خلال نقهه في محاليل كيميائية كمحاولة لعلاج الركام المعاد تدويره (RA). استخدمت في هذه الدراسة ثلاثة طرق معالجة بالنقع؛ وهي: ((ReMortarHCl و (ReMortarH2SO4) و (ReMortarH3PO4) لتقليل الملاط المرتبط بـ (RA). وبعد إجراء عملية المعالجة صممت عينات خرسانية مكعبة من (RA) المعالج وذلك لتحديد الخواص الفيزيائية والميكانيكية. بعد إجراء الاختبارات أظهرت النتائج التجريبية أن قيم امتصاص الماء لـ (RA) المعالجة قد انخفضت بشكل كبير وتحسن ملحوظ في الخواص الميكانيكية للخرسانة المعاد تدويرها الموضحة في الجدول (3)

[18]. وهو ما توافق مع دراسة قام بها (Murali et.al., 2012) بنقع الركام المعاد تدويره بمحاليل كيميائية كحمض الكبريت لمدة 24 ساعة والتي بينت النتائج أن مقاومة الضغط عند استخدام الركام المعالج زادت عن مقاومة الضغط للركام المعاد تدويره غير المعالج بنسبة تتراوح بين 4.93% حتى 11.88% [19].

الجدول (3): الخواص الميكانيكية للخرسانة المصنوعة من الركام الطبيعي والركام المعاد تدويره المعالج [18]

Properties of recycled aggregate concrete	Normal mixing approach (days of curing)			Pre-soaking treatments method (days of curing)									
	7	14	28	ReMortar _{HCl}			ReMortar _{H2SO4}			ReMortar _{H3PO4}			
				7	14	28	7	14	28	7	14	28	
Compressive strength (MPa)	5%	45.05	53.04	57.26	46.90	53.83	59.12	52.76	56.50	61.10	47.70	54.95	59.10
	10%	50.29	54.53	58.98	50.33	54.89	59.37	51.51	58.89	60.98	54.54	57.18	60.84
	15%	45.14	51.72	56.26	47.31	53.73	57.59	47.82	53.62	57.93	46.97	52.32	60.67
	20%	42.21	51.92	53.68	51.43	54.62	59.09	43.05	56.80	59.53	43.24	52.13	53.72
	25%	51.09	52.62	52.31	51.18	53.64	55.80	51.85	53.69	59.00	51.33	54.11	59.64
	30%	45.49	54.58	58.07	53.00	56.28	61.07	51.49	55.87	58.84	49.40	56.16	58.80
Flexural strength (MPa)	5%	5.10	5.81	5.98	5.73	6.27	6.24	5.70	6.17	6.14	6.06	6.55	6.19
	10%	4.74	5.02	5.49	5.50	5.44	5.60	5.30	5.41	5.77	5.24	5.88	6.51
	15%	4.57	5.41	6.10	5.00	5.42	6.17	5.15	5.59	6.19	5.14	5.87	6.20
	20%	4.98	5.26	5.64	5.25	5.83	5.71	5.08	5.52	5.74	5.15	5.67	5.90
	25%	4.73	4.76	6.08	4.97	5.85	6.35	5.13	5.41	6.13	4.83	5.59	6.18
	30%	4.88	4.93	6.14	5.03	5.31	6.30	5.20	5.68	6.20	5.05	5.46	6.16
Static modulus of elasticity (N/mm ²) [*]	5%	31065		32830			32573			33456			
	10%	29729		30636			34298			31931			
	15%	30279		31548			31013			30668			
	20%	29118		31253			31437			31765			
	25%	29303		29890			29320			31016			
	30%	28194		33969			30951			31245			

* The results obtained from recycled aggregate concrete at 28-day curing.

درس (Purushothaman et.al., 2015) تأثير طرق علاج الركام المعاد تدويره على خواص الخرسانة. تمت في هذه الدراسة استخدام طريقتين معالجة. الأولى استخدمت المعالجات الكيميائية حيث تم نقع الركام المعاد تدويره ((RA في مذيبين حمضيين، وهما حمض الهيدروكلوريك (HCl) وحمض الكبريتيك (H2SO4) بتركيز 0.1 مول. اختزال ((RA الذي تم الحصول عليه بعد معالجة ((HCl و (H2SO4) ك ((RAH2SO4))، ((RAHCl. الثانية استخدمت المعالجة الميكانيكية حيث تم إخضاع الركام المعاد تدويره إلى معالجة فرك باستخدام آلة الكشط في لوس أنجلوس لإزالة الملاط (بقايا الاسمنت على سطح RA)) لمدة 5 دقائق كطريقة أولى، وكطريقة ثانية تسمى "بفرك التدفئة" تم إخضاع حبيبات (RA) في فرن الهواء الساخن لمدة 24 ساعة عند درجة حرارة حوالي 300 درجة مئوية إلى أن أصبحت عجينة الأسمنت هشّة وضعيفة. ثم نقيت في آلة جلع لوس أنجلوس لمدة 5 دقائق اختزال (RA) بعد تقنية الفرك والفرك بالتدفئة (RAHS) ، (RAS) على التوالي. تم تصميم عينة تحتوي على ركام طبيعي

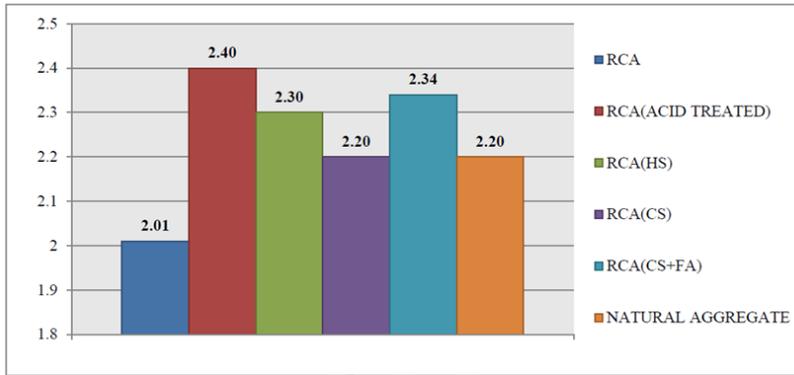
(NA) كعينة مرجعية ((NAC , و عينة تحتوي على ركام معاد تدويره (RAC), تم تحضير عينات خرسانية أيضاً مع ((RAHCl و (RAH2SO4) و (RAS) و ((RAHS) وتم تصنيفها ك ((RACHCl, ((RACHS (RACS), ((RACH2SO4 على التوالي. تم إعداد ست مجموعات من الخلطات الخرسانية وصب 18 مكعب مقاس 150 مم 3 وثلاث أسطوانات قطرها 150 مم و ارتفاع 300 مم في كل من سلسلة الخط. تم علاج عينات الاختبار هذه في الماء تحت ظروف مختبرية حتى سن الاختبار. ثم أجريت الاختبارات لتحديد مقاومة الضغط لعينة المكعب بعمر 7 و 28 و 56 و 90 يوماً، معامل المرونة ، كما تم إجراء اختبارات الامتصاص والتجفيف في عمر 28 يوماً.

أظهرت نتائج الدراسة أن ((RA له كثافة أقل وقدرة امتصاص أعلى مقارنة مع (NA) , وأن استخدام تقنيات المعالجة المذكورة أظهر تحسن في هذه الخصائص وكان في استخدام التقنيات ((RAH2SO4 و (RAHS) التحسن أكثر ملاحظة التي حققت المواصفات المطلوبة لـ (RA) (من حيث الوزن النوعي وامتصاص الماء وكثافة الحجم). [20] وهو ما يتفق مع [21]. كما لوحظ أن مقاومة الضغط لـ ((RAC هي فقط 81% من (NAC). بينما تراوحت من 90-95% من ((NAC للعينات المصنوع بـ ((RA المعالج كيميائياً وأن (H2SO4)) يزيل الملاط الملصق بشكل أكثر كفاءة من حمض الهيدروكلوريك لنفس التركيز. ومن بين العلاجات الميكانيكية ، يُلاحظ أن مقاومة ضغط لـ (RACHS)) تصل إلى 96% من (NAC). كل هذه الأرقام تشير إلى أن مقاومة الضغط تحسنت بشكل ملحوظ من خلال استخدام تقنيات المعالجة للركام المعاد تدويره. كذلك الحال بالنسبة لباقي الخصائص الميكانيكية [20]. وهذا ما أشار إليه [18], [19].

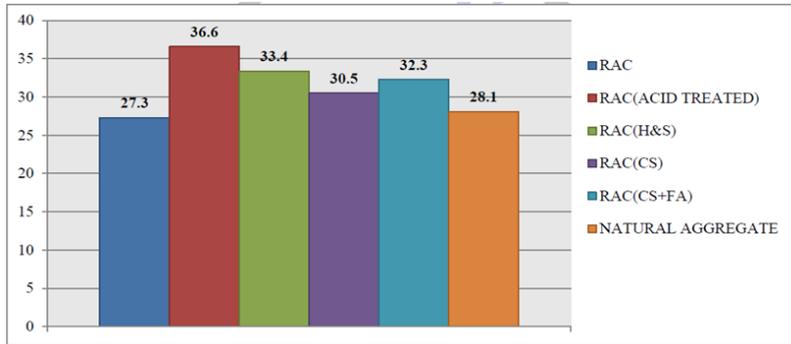
قام (Shrinath et.al., 2016) بإجراء دراسة عن تأثير طرق المعالجة على الخرسانة المصنوعة من الركام المعاد تدويره (الركام المعالج). تمت في هذه الدراسة إخضاع الركام المعاد تدويره لطرق معالجة مختلفة لتحسين خصائصه المختلفة. حيث تم استخدام أربعة طرق لعلاج الركام المعاد تدويره كمحاولة لتحسين خصائصه قبل استخدامه في صناعة خرسانة جديدة . الطرق المستخدمة على التوالي (النقع في الحمض , التسخين والفرك , طلاء الملاط الإسمنتي, طلاء الملاط الإسمنتي والرماد المتطاير). الجدول(4) يوضح بشكل عام طرق العلاج المختلفة المستخدمة في الدراسة والتي حسنت وبشكل ملحوظ الخصائص المختلفة للركام المعاد تدويره مقارنة مع الركام الطبيعي مثل الوزن النوعي، امتصاص الماء، معامل الصدم، معامل التفسير، وقيمة التآكل. كما أظهرت النتائج تحسن ملحوظ في الخصائص الميكانيكية للركام المعاد تدويره كما موضح بالشكل (2)،(3). الخلاصة أن تقنية نقع الأحماض هي الأفضل في إنتاج ركام معاد تدويره [22]. واتفقت هذه الدراسة مع الدراسات [18-20].

الجدول (4): مقارنة الخصائص المختلفة للركام التي تم الحصول عليها من طرق المعالجة المختلفة مع الركام الطبيعي [22].

Properties	Untreated aggregates	Acid soaking method	Heating and scrubbing method	Cement slurry coating	Coating with cement slurry plus fly ash	Natural aggregates
Specific gravity	2.15	3.12	2.40	2.39	2.50	2.89
Water absorption (%)	4.50	2.70	3.18	3.20	3.25	0.50
Impact value (%)	9.00	6.00	8.00	18.00	16.00	7.00
Crushing value (%)	16.50	7.50	11.25	16.79	15.20	9.25
Abrasion value (%)	17.00	8.00	8.70	-	-	7.60



الشكل (2): مقاومة الشد (نيوتن/مم²) لأنواع المختلفة للركام المعاد تدويره [22].



الشكل (3): مقاومة الضغط بعد 28 يوم (نيوتن/مم²) لأنواع المختلفة للركام المعاد تدويره [22].

قام ((Getahun, 2017) بدراسة لمراقبة أداء الركام المعاد تدويره للاستخدام في الخرسانة الإنشائية. تمت في هذه الدراسة استخدام عينة خرسانية مدمرة عمرها 10 سنوات كمصدر للركام المعاد تدويره، وتم دراسة خصائص ثلاثة أنواع من الركام المعاد تدويره من حيث محتوى الشوائب وتأثيراتها على خواص

الخرسانة. النوع الأول عينة تم استخدام قطع الركام المعاد تدويره بدون إجراء عملية تنظيف، والثاني عينة تم تنظيف الركام المعاد تدويره يدوياً بواسطة المطرقة كمحاولة لإزالة الشوائب و بقايا المونة الإسمنتية الملتصقة على الركام المعاد، والثالث عينة تم فيها غسله وتنظيفه باستخدام 35% من حمض الهيدروكلوريك المخفف كمحاولة لإزالة الشوائب و بقايا المونة الإسمنتية الملتصقة على الركام المعاد تدويره. بعد تصميم الخلطات الخرسانية تم إجراء الاختبارات اللازمة لتحديد قابلية التشغيل لفحص جودة الركام واختبارات الوزن النوعي والامتصاص. كما تم إجراء اختبارات مقاومة الضغط لمدة 7 أيام بشكل أساسي على مكعبات خرسانية مصممة بحجم (15 × 15 × 15) سم من الركام المعاد تدويره ومن ثم تم تقدير قيم مقاومة الضغط لمدة 28 يوماً.

أظهرت النتائج أن قابلية التشغيل تحسنت بشكل ملحوظ عند تنظيف الركام بواسطة حمض الهيدروكلوريك المخفف مقارنة مع التنظيف بواسطة المطرقة والتي سببت في انخفاض قابلية التشغيل. وأن الوزن النوعي انخفض إلى حوالي 6% في العينة الأولى، 7% في العينة الثانية، 1% في العينة الثالثة أي أن الوزن النوعي ينخفض كلما زاد محتوى الشوائب في الركام المعاد تدويره مقارنة مع الركام العادي. وأن القدرة على الامتصاص أعلى مقارنة مع الركام العادي إلا أن في النوع الثالث انخفضت قدرة الامتصاص إلى حوالي 3.7% ويرجع ذلك إلى فعالية معالجة حمض الهيدروكلوريك في تنظيف الملاط المرتبط بأسطح الركام. كما لوحظ أن مقاومة الضغط عند 7 و 28 يوم لم تتغير بالمقارنة بين النوعين الأول والثاني عكس ذلك زادت مقاومة الضغط في النوع الثالث كمقارنة مع النوعين الأول والثاني وهذا يرجع إلى فعالية (HCI) في تنظيف الشوائب المرفقة على سطح الركام المعاد تدويره و المسؤولة عن تقليل مقاومة الضغط. لذلك مع الإجراءات المحددة لإعداد الركام المعاد تدويره ، من الممكن التوصل إلى حبيبات ركام خشنة مناسبة للاستخدام في الأغراض الهيكلية [23].

قام ((Tang et al., 2019)) بمعالجة سطح الركام المعاد تدويره بواسطة سيليكات الليثيوم لدراسة مدى تأثير استخدام الركام المعاد تدويره (RA)) المعالج في صناعة خرسانة صديقة للبيئة. تمت في هذه الدراسة استخدام نسب 50%، 100% من الركام الخشن المعالج والغير معالج كبديل عن الركام الطبيعي ((NA)) في صناعة خرسانة بالإضافة إلى استخدام الركام الطبيعي (NA) كخرسانة مرجعية. بعد إجراء الاختبارات اللازمة لتحديد خواص الخرسانة، أظهرت النتائج أن قدرة الإمتصاص لـ (RA) الغير معالج أعلى بنسبة 8.10% مقارنة مع ((NA)) التي كانت 1.30%، بينما كانت 4.25% للعينة ((RA)) المعالج. نتائج مقاومة الضغط بعد 7 و 28 يوم بينت أن استبدال 50% من (RA) المعالج بـ (NA) أعطت نتائج مماثلة للخرسانة المرجعية بينما انخفضت عند استخدام نسبة 100%. كذلك الحال بالنسبة لنتائج مقاومة الشد، تبين أن النتائج كانت قريبة إلى تماثلتها مع الخرسانة المرجعية عند استخدام تقنية المعالجة.

عكس ذلك تبين أن معامل المرونة انخفض انخفاض ليس كبير عند استخدام تقنية المعالجة مقارنة مع الخرسانة المرجعية [24].

مناقشة الدراسات السابقة:

- مقاومة الضغط:

عند استخدام نسبة استبدال 30% من الركام الخشن المعاد تدويره ((RA الغير معالج كبديل عن الركام الطبيعي (NA) لوحظ أن مقاومة الضغط لم تتأثر وأعطت نتائج متماثلة مقارنةً مع الخرسانة المصنوعة من الركام الطبيعي في أغلب الدراسات السابقة، بينما عند استخدام نفس النسبة 30% من الركام المعاد تدويره المعالج عن طريق النقع في محاليل كيميائية قبل استخدامه في صناعة الخرسانة حققت مقاومة الضغط زيادة بنسبة 5.20% بعد 28 يوم عند النقع في حمض الهيدروكلوريك [18],[23]. وعند استخدام نسبة الاستبدال 35% ، 40% من الركام المعاد تدويره (RA) الغير معالج بالركام الطبيعي (NA)، لوحظ انخفاض تدريجي في مقاومة الضغط بعد 28 يوم بنسبة 7.87% [11]، 17.4% [10] على التوالي، وعند زيادة نسبة الاستبدال إلى 50% من الركام المعاد تدويره غير المعالج تأثرت مقاومة الضغط للخرسانة وانخفضت بنسبة 16% [11]، 17.8% [10]، بينما اعتمدت نفس النسبة 50% وأعطت نتائج مقبولة لمقاومة الضغط ومماثلة للخرسانة الطبيعية عند استخدام الركام المعاد تدويره وهو في الحالة المشبعة [14]، وعند معالجة الركام المعاد تدويره بواسطة سيليكات الليثيوم [24] استخدام نسبة استبدال كاملة 100% من الركام المعاد تدويره الغير معالج كبديل عن الركام الطبيعي أثرت بشكل ملحوظ على مقاومة الضغط للخرسانة فانخفضت بنسبة من 20-25% مقارنة مع الخرسانة التقليدية [5]، بينما انخفضت مقاومة الضغط بنسبة من 4-10% مقارنة مع الخرسانة الطبيعية عند استخدام تقنية المعالجة للركام المعاد تدويره قبل استخدامه وذلك بالنقع في حمض الهيدروكلوريك وحمض الكبريتيك [20].

من خلال هذه النتائج عند استخدام الركام الخشن المعاد تدويره في صناعة خرسانة صديقة للبيئة كبديل عن الركام الطبيعي فإن مقاومة الضغط للخرسانة تقل كلما زادت نسبة الركام المعاد تدويره في الخلطة الخرسانية ويرجع السبب الرئيسي إلى جودة الركام المعاد تدويره ووجود بقايا المونة الإسمنتية الملتصقة على سطحه والتي ساهمت في الزيادة الملحوظة في القدرة على الامتصاص مقارنة بالركام الطبيعي وبالتالي انخفضت مقاومة الضغط. ومع ذلك اتفق عدد كبير من الباحثين أن نسبة الاستبدال 30% هي النسبة المثلى من الركام الخشن المعاد تدويره الغير معالج ((RA) كبديل عن الركام الطبيعي (NA) في صناعة خرسانة صديقة للبيئة لا تؤثر على مقاومة الضغط للخرسانة. بينما أكد عدد آخر من الباحثين على استخدام نسبة 50% يعطي خرسانة لها مقاومة ضغط مماثلة للخرسانة الطبيعية. هذا الاختلاف في النتائج يرجع إلى جودة الركام المعاد تدويره قبل استخدامه في صناعة الخرسانة حيث اعتمد الباحثون استخدام نسبة 30% من الركام المعاد تدويره بدون إجراء تعديلات أو معالجة عليه قبل استخدامه في

صناعة الخرسانة، بينما اعتمد الباحثون الآخرون استخدام نسبة 50% من الركام تدويره بعد استخدام تقنية المعالجة عليه قبل استخدامه في صناعة خرسانة كمحاولة للحصول على ركام ذو جودة جيدة والتخلص من بقايا المونة الاسمنتية الملتصقة على سطحه والتي بالفعل أعطت نتائج إيجابية حسنت وبشكل ملحوظ من مقاومة الضغط.

- مقاومة الشد:

عند استخدام الركام المعاد تدويره في صناعة خرسانة صديقة للبيئة وجد أن مقاومة الشد تتخفف مقارنة مع استخدام الركام الطبيعي كلما زادت نسبة الاستبدال وهذا بسبب ضعف جودة الركام المعاد تدويره ووجود بقايا الاسمنت ملتصقة على سطح الركام، كما أنه وعند استخدام نسبة استبدال 30% من الركام المعاد تدويره الغير معالج كبديل عن الركام الطبيعي وجد أن مقاومة الشد لم تتأثر وكانت النتائج متماثلة تقريباً مع الخرسانة الطبيعية وانخفضت مقاومة الشد عند استخدام نسب استبدال كاملة عند أغلب الباحثين. بينما عند استخدام تقنية المعالجة للركام المعاد تدويره باستخدام المعالجات الكيميائية عن طريق النقع في محاليل كيميائية أو بواسطة المعالجات الميكانيكية كمحاولة لتحسين جودة الركام فقد وجد عدد من الباحثين أن نتائج مقاومة الشد تحسنت بشكل ملحوظ مقارنةً مع الركام المعاد تدويره الغير معالج، وكانت النتائج قريبة إلى متماثلة مع الخرسانة الطبيعية عند استخدام نسبة استبدال تصل حتى 50%.

- معامل المرونة:

يتأثر معامل المرونة للخرسانة عند استخدام الركام المعاد تدويره في صناعة خرسانة صديقة للبيئة وقد وجد أن استخدام نسبة 30% من الركام المعاد تدويره الغير معالج كبديل عن الركام الطبيعي يزداد معامل المرونة بنسبة 5% مقارنة مع الخرسانة المصنوعة من الركام الطبيعي [4]. بينما زاد بنسبة 12.33% عند استخدام الركام المعاد تدويره المعالج بواسطة النقع في محاليل كيميائية [18]. كما لوحظ أن زيادة نسبة الركام المعاد تدويره الغير معالج في الخلطة الخرسانية يتسبب في انخفاض معامل المرونة فعند استخدام نسبة استبدال 50% انخفض معامل المرونة في أغلب الدراسات، بينما زاد بنسبة 4% عند معالجة الركام المعاد تدويره بواسطة سيليكات الليثيوم [24]. ومن أجل استخدام نسبة استبدال كاملة 100% انخفض معامل المرونة بنسبة 16% عند استخدامه من غير معالجة [6]. [4] بينما كان الانخفاض ليس كبيراً عند استخدام تقنية المعالجة لركام المعاد تدويره بواسطة المعالجات الكيميائية [18], [19], [24]. ومن خلال الدراسات السابقة نستنتج أنه عند استخدام تقنية المعالجة للركام المعاد تدويره قبل استخدامه في صناعة خرسانة صديقة للبيئة هو الخيار الأفضل والأنسب لأن نسبة الاستبدال 50%، نسبة جيدة تشجع أكثر على استخدام الركام المعاد تدويره وذلك بتقليل استنزاف الموارد الأولية والخامات والحفاظ عليها وتحقيق الاستدامة للأجيال القادمة وأيضاً تشجع على أن يكون الركام المعاد تدويره مصدر لركام الخرسانة الجديدة. ومن بين طرق العلاج المستخدمة كانت المعالجات الكيميائية بواسطة النقع في

الأحماض هي الأفضل في تحسين جودة الركام المعاد تدويره وهذا يرجع إلى فاعلية الأحماض الكيميائية في إزالة وتقليل الشوائب وبقايا المونة الإسمنتية الملتصقة على الركام المعاد تدويره والتي كانت سبباً رئيسياً يؤثر على خواص الركام المعاد تدويره وبالتالي يؤثر على خواص الخرسانة المنتجة منه.

الخلاصة

1. إعادة تدوير نفايات الهدم الخرسانية ومخلفات الحروب مثل الركام هي أفضل طريقة لإعادة استخدام المواد عن طريق منع التخلص منها في مدافن النفايات، وبالتالي خلق مخرجات ذات قيمة عالية لهذه المخلفات بتقليل استنزاف الموارد الأولية وتحقيق الاستدامة للأجيال القادمة. وليبيا في أمس الحاجة لاستخدام هذه التقنية في ظل وجود الكميات الضخمة من المخلفات الناتجة عن الحروب.
2. الركام المعاد تدويره هو المادة المستخدمة في العصر الحديث لأنه اقتصادي وصديق للبيئة، واستخدامه كبديل عن الركام الطبيعي في صناعة خرسانة صديقة للبيئة قد ينتج عنه ضعف في أداء الخرسانة خاصة عندما تكون نسبة الاستبدال عالية بسبب الإنتاج الغير جيد ووجود الشوائب و بقايا المونة الاسمنتية على سطحه.
3. يمكن استخدام نسبة تصل إلى 30% من الركام الخشن المعاد تدويره كبديل عن الركام الطبيعي من غير معالجة من أجل التماشي مع مواصفات جيدة للخرسانة (RAC) مماثلة للخرسانة المصنوعة من الركام الطبيعي ((NAC). ويمكن تحسين أداء الخرسانة المصنوعة من ركام معاد تدويره وذلك بتقليل نسبة الماء إلى الأسمنت، وزيادة كمية الاسمنت في الخلطة الخرسانية. أو باستخدام الركام المعاد تدويره وهو في الحالة المشبعة.
4. استخدام تقنية المعالجة للركام المعاد تدويره قبل استخدامه في إنتاج خرسانة كمحاولة لإزالة بقايا المونة الاسمنتية الملتصقة على سطحه باستخدام المعالجات الكيميائية عن طريق النقع في محاليل كيميائية لمدة زمنية، أو باستخدام المعالجات الميكانيكية عن طريق التسخين والفرك. ويمكن استخدام نسبة استبدال قد تصل حتى 50% من الركام المعاد تدويره المعالج كبديل عن الركام الطبيعي في صناعة خرسانة صديقة للبيئة من أجل التماشي مع مواصفات عالية القوة والأداء للخرسانة ((RAC) ومماثلة للخرسانة المصنوعة من الركام الطبيعي ((NAC).
5. من بين تقنيات العلاج المستخدمة تقنية المعالجات الكيميائية وذلك بالنقع في الأحماض هي الطريقة الأفضل لمعالجة الركام المعاد تدويره قبل استخدامه في صناعة خرسانة.

التوصيات:

1. بناءً على هذه الدراسة نشجع على تدوير هذه المخلفات واستخدامها مجدداً في صناعة خرسانة صديقة للبيئة بدلاً من نقلها إلى أماكن الطمر، خاصةً وفي ليبيا توجد كميات كبيرة من مخلفات البناء الناتجة عن الحروب.

2. نوصي بمعالجة الركام المعاد تدويره قبل استخدامه في صناعة خرسانة صديقة للبيئة للحصول على ركام ذو جودة جيدة، كما نوصي بإجراء المزيد من الأبحاث والدراسات لتحسين سلوك هذا النوع من الخرسانة بمحاولة الحصول على ركام معاد تدويره بجودة عالية أو من خلال استخدام إضافات كالألياف، والمواد البوزلانية وغيرها.

المراجع

1. د. محمد المحسن " إعادة تدوير مخلفات الخرسانة " مقالة علمية، جامعة البريمي (سلطنة عمان)، منظمة المجتمع العلمي العربي 2016م.
2. د. قاسم الزحيلي. ط. تماضر مقبل " دراسة تجريبية على الخرسانة المنتجة من ركام معاد تدويره" مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية- سلسلة العلوم الهندسية. المجلد (3)، العدد (4)، (2014)، 255-256.
3. أحمد جميل إبراهيم " خواص الركام المعاد تصنيعه من الخرسانة " جامعة عمر المختار - كلية الهندسة - قسم الهندسة المدنية ، المختار للعلوم العدد الخامس والعشرون، (2010)، 77.
4. Paul, S. "Mechanical Behaviour And Durability Performance of Concrete Containing Recycled Concrete Aggregate". Master's Thesis .The Department Of Civil Engineering Of The University Of Stellenbosch, Stellenbosch, South Africa, (2011), 128.
5. Etxeberria.M, Vázquez.E, Marí.A, Barra.M, "Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete" Cement and Concrete Research, Vol 37,(2007), 735-742.
6. Park, S. "Recycled Concrete Construction Rubble As Aggregate For New Concrete". Building Research Association of New Zealand, No. 86, 1999, 4-7.
7. Konin, A.; Kouaido, d. " Influence Of Cement Content On Recycled Aggregates Concrete" . Modern Applied Science, Vol. 5, No. 1, (2011), 23-31.
8. Suraya Hani Adnan, Lee Yee Loon, Ismail Abdul Rahman, Hamidah Mohd Saman, Mia Wimala Soejoso, Fakultas Kejuruteraan Awam dan Alam Sekitar.

- "Compressive strength of recycled aggregate concrete with various percentage of recycled aggregate"
<https://www.researchgate.net/publication/301680302>
9. Oikonomou, N. "Recycled Concrete Aggregates". Cement & Concrete Composites", Vol27, (2005), 315–318.
 10. Sumaiya Binte Huda. " Mechanical And Durability Porperties of Recycled And repeated Recycled Coarse Aggregate". Master’s Thesis, The University of British Columbia, The College of Graduate Studies (Civil Engineering). February (2014), 41–59.102.
 11. Fathei Ramadan salehlamein, Mochamad .Solikin, Ir.sriSunarjono. “Effect of Recycled Coarse Aggregate on Concrete Properties”. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Issn (Online): 2319–8753, Issn (Print): 2347–6710 Vol. 4, (2015), 19060–19067.
 12. Ashish Shrimali, Digvijay S. Chauhan, Dr. Trilok Gupta and Dr. Ravi K. Sharma. “Behavior of Concrete Utilizing Recycled Aggregate – A Review” Issn: 2248–9622, Vol. 7, (2017), 72–79.
 13. [Tourkia Guerzou](#), [Mebrouki Abdelkader](#), [João P. Castro–Gomes](#). "Study of concretes properties based on pre–saturated recycled aggregates"
<https://www.researchgate.net/publication/329571888>
 14. Rahal, Kh. "Mechanical Properties Of Concrete With Recycled Coarse Aggregate". Building and Environment, Vol 42, (2007), 407–415.
 15. S. P. Arredondo–Re , R. Corral–Higuera, J. M. Gómez–Soberón , D. C. Gámez–García, J. M. Bernal–Camacho, C. A. Rosas–Casarez and M. J. Ungsson–Nieblas. " Durability Parameters of Reinforced Recycled Aggregate Concrete: Case Study" Applied Sciences, 9,617; doi:10.3390/app9040617.(2019), 7–12
 16. Malesev, M, Radonjanin, V., Marinkovic, S. "Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production Sustainability", Vol. 2, (2010), 1204–1225.

17. Montgomery, D. G. "Workability and compressive strength properties of concrete containing recycled concrete aggregate". *Sustainable Construction*, (1998), 287–296.
18. Vivian W.Y. Tam , C.M. Tam, K.N. Le "Removal of cement mortar remains from recycled aggregate using pre-soaking approaches"*Resources, Conservation and Recycling* 50, (2007), 82–101.
19. Murali, G.; Vivek, C.M.; Rajan, G.; Janani, N. "Experimental Study On Recycled Aggregate Concrete". *International Journal of Engineering Research and Applications*, Vol 2, (2012), 407 –410.
20. Revathi Purushothaman; Ramesh Ruthirapathy Amirthavalli; and Lavanya Karan "Influence of Treatment Methods on the Strength and Performance Characteristics of Recycled Aggregate Concrete " *American Society of Civil Engineers*, 27(5):04014168, (2015), 3–6.
21. Hanaa Khaleel Alwan Al-Bayati, Susan L. Tighe "Utilizing a Different Technique for Improving Micro and Macro Characteristics of Coarse Recycled Concrete Aggregate " Paper prepared for presentation at the Green Technology, Transportation Association of Canada, (2016), 15–16.
22. Shrinath.H, Bharat Kumar, Avinash, Sumit, Vinodkumar.L "Influence of Treatment Methods on Recycled Aggregate Concrete made with Recycled Coarse Aggregate" *International Journal of Scientific Development and Research*, Vol 1, (2016), 840–841.
23. Biniyam Getahun " Evaluation of Recycled Aggregate for Using in Structural Concrete" September, A thesis submitted, Addis Ababa Science & Technology University College of architecture and civil engineering School of post graduate studies, (2017), 27–35.
24. Waiching Tang, Mehrnoush Khavarian, Ali Yousefi, Ricky W. K. Chan and Hongzhi Cui "Influence of Surface Treatment of Recycled Aggregates on Mechanical Properties and Bond Strength of Self-Compacting Concrete" *sustainability*, doi:10.3390/su11154182, (2019), 7–11.

إعادة استخدام الخرسانة التالفة (المحطمة) في الخلطة الخرسانية

* أ.رافع فوزي بوخشيم¹ ، أ.احمد عبدالله الشريف²، أ. سهيل عطية العوامي³

المعهد العالي للعلوم والتقنية /درنة - ليبيا

*للمراسلة rafa.boakhshem79@gmail.com

المخلص

ان التخلص من بعض المشاكل في المدن او الدول تعتبر من اهم الأمور لأنها تدخل تحت معنى الاستدامة وذلك لأنها تقلل من استخدام الموارد الطبيعية وتحمي البيئة من بعض النفايات، وقد تم في هذه الدراسة اختيار مواد الخرسانة التالفة من المباني المحطمة وإعادة تدويرها في الخلطات الخرسانية، ومما لا يخفى على الجميع ان بلادنا (ليبيا) في هذه الفترة تعاني من حطام المباني جراء الحروب وبكميات لا يستهان بها.

تم دراسة نوعين من الخلطات الخرسانية في هذا البحث خلطة تتكون من المواد المحلية وتم تسميتها بالخلطة العادية ويرمز لها ND، اما الخلطة الثانية التي دخلت في وجه المقارنة مع الخلطة الاولى والتي تعتمد عليها الدراسة وهي الخلطة التي تم فيها استبدال الركام الناعم بكسر الخرسانة التالفة والتي تم تسميتها بالخلطة المعدلة ويرمز لها MD.

وقد أجريت معظم الاختبارات التي تجرى على المواد الداخلة في الخرسانة للخلطتين وذلك للمقارنة بين نتائجها ومعرفة سلوك الخرسانة المتكونة من حطام المباني في الحالتين الطازجة والمتصلده.

وقد أظهرت النتائج المتحصل عليها من هذه الدراسة انه يمكن استخدام الركام المكسر من الخرسانة التالفة بدلا من الركام الناعم حيث لها تأثير جيد لقابلية التشغيل والتدرج الحبيبي وبعض خصائص الخرسانة.

الكلمات المفتاحية: لركام الناعم المكسر، الخرسانة التالفة، الخلطة الخرسانية، الركام الخشن، الركام الناعم، التدرج الحبيبي، (MD Mix ، ND Mix).

المقدمة

من المتعارف عليه ان الخرسانة من المواد المهمة التي طغت في البناء القديم والحديث فهي لاتزال الي يومنا الحاضر تحت عمليات ودراسات علمية تبحث وتدرس خصائصها وخصائص جميع المواد الداخلة فيها من حيث بعض الخصائص الهامة لأجل الحصول على خرسانة ذات نوعية واقتصادية جيدة. ومن المعروف اذ تم تحسين المواد الداخلة في تكوين الخرسانة فأنها تتأثر تأثيرا كبيرا علي كامل الخرسانة المنتجة فمثلا إذا تم تحسين الرمل او الركام الخشن او اي ماده من المواد الداخلة في الخرسانة يتم تحسين المنتج النهائي للخرسانة. [1]

ومن هنا تم البحث على مواد لإضافتها الي الخرسانة وعلى نفس الغرض الذي ذكر سابقا. فقد تم البحث عن بعض المواد التالفة او المتهالكة لكي يتم تدويرها في مكونات الخرسانة وتعطى خرسانة مرضية وذات خصائص جيدة.

ومن المعروف ان تدوير المخلفات وبعض المواد المستفاد منها مسبقا هذا يعتبر تطور فكري وتكنولوجي وذلك لان هذه المواد بدلا من ان تصبح عالية على المنطقة او المدينة وتزيد في مأساة التلوث وهدم المساحات بمواد تالفة تم استخدامها واعادة تدويرها ومن هنا تصبح هذه الدراسة من احدى الدراسات الداخلة في معنى الاستدامة ومن وجهة نظر الباحث حتى ولو كانت هذه المواد مكلفة في اعادة تدويرها ولكن الالهم هو التخلص منها بطريقة مستفاد منها.

وقد تم في هذه الدراسة اختيار مواد الخرسانة التالفة من المباني القديمة او المباني المحطمة ومما لا يخفى على الجميع ان بلادنا في هذه الفترة تعاني من حطام المباني جراء الحرب وبكميات لا يستهان بها ومن المعروف لدي المهندسين والباحث ان هذا النوع من الحطام لا يستخدم في عملية الردم او لا يجذب ذلك لأنه غالبا ما بترك فجوات كبيرة ومن ثم يسبب الهطول بعد فتره من مرحلة الردم. ومن هنا تطرق البحث في دراسة حطام الخرسانة التالفة وطحنها لجعلها ركام ناعم واستبدال الركام الناعم بعينة الركام المحطم من الخرسانة التالفة.

2. الدراسات المعملية

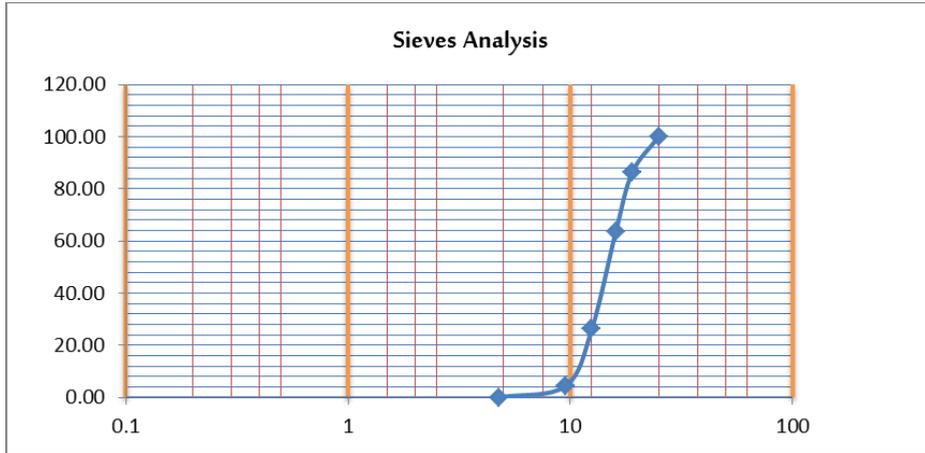
تم اجراء كل الاختبارات في كل من الخلطات الخرسانية لكل نوع من انواع الركام الداخلة في الخلطتين المذكور سلفا في معمل الخرسانة بالمعهد العلي للعلوم والتقنية بمدينة درنة، وتم اختبار الخلطتين في مرحلة الخرسانة الطازجة وكذلك الاختبارات التي تجرى على الخرسانة المتصلده. تم تكسير الركام الناتج من الخرسانة التالفة يدويا عن طريق المطرقة الكبيرة بوزن Kg50 ثم تم وضعة في مكانة طحن صنع محلي لتكسيهه الي مقاس يمثل الركام الناعم وامراره على المنخل رقم 4 الخاص بالركام الناعم.

1.2 اختبار التدرج الحبيبي للركام الخشن

الركام الخشن المستخدم في كل من الخلطتين من نفس الموقع من محجر هارون الواقع غرب مدينة درنة وبنفس المواصفات، والجدول رقم (1.2) بين التدرج الحبيبي للركام الخشن ومخطط التدرج للركام الخشن في الشكل رقم (1.2).

جدول رقم (1.4) يبين ترتيب المناخل ونسب المحجوز والمار في اختبار التدرج الحبيبي للركام الخشن.

Sieve No	Retained		Cumulative		Pass Percentage %
	Weight (g)	percent	Weight (g)	Percent (gr)	
25	0	0.00	0	0.00	100.00
19	0.48	13.71	0.48	13.71	86.29
16	0.8	22.86	1.28	36.57	63.43
12.5	1.3	37.14	2.58	73.71	26.29
9.5	0.77	22.00	3.35	95.71	4.29
4.75	0.15	4.29	3.5	100.00	0.00
pan	0	0.00	3.5	100.00	0.00



شكل (3.4) مخطط التدرج الحبيبي للركام الخشن مقاس 25 mm

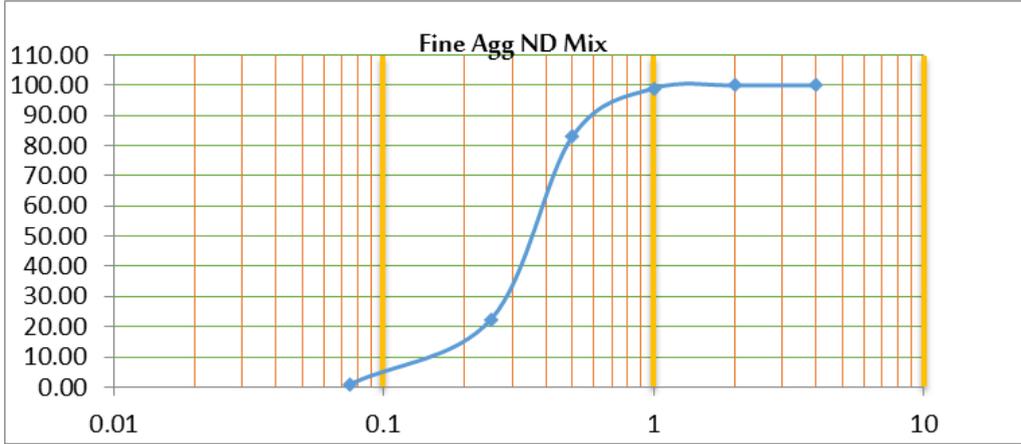
2.2 الركام الناعم من نوع ND

الركام الناعم المستخدم في الخلطة المعرفة تحت مسمى "ND" هو من الركام الطبيعي المتواجد في المنطقة والمستخدم في خلط الخرسانة والجدول رقم (2.2) يبين التدرج الحبيبي والشكل رقم (2.2) يبين مخطط التدرج الحبيبي للركام الناعم.

جدول رقم (2.4) يبين ترتيب المناخل ونسب المحجوز المار في اختبار التدرج الحبيبي للركام الناعم الطبيعي.

Sieve No	Retained		Cumulative		Pass Percentage %
	Weight (g)	percent	Weight (g)	Percent (gr)	
4	0	0.00	0	0.00	100.00
2	0	0.00	0	0.00	100.00
1	10	1.00	10	1.00	99.00
0.5	160	16.00	170	17.00	83.00
0.25	605	60.50	775	77.50	22.50
0.075	215	21.50	990	99.00	1.00
pan	10	1.00	1000	100.00	0.00

$$ND = (0+0+1+17+77.5+99) / 100 = 1.95 = 2 \text{ معيار النعومة للركام } 2$$



شكل (2.2) مخطط التدرج الناعم الطبيعي.

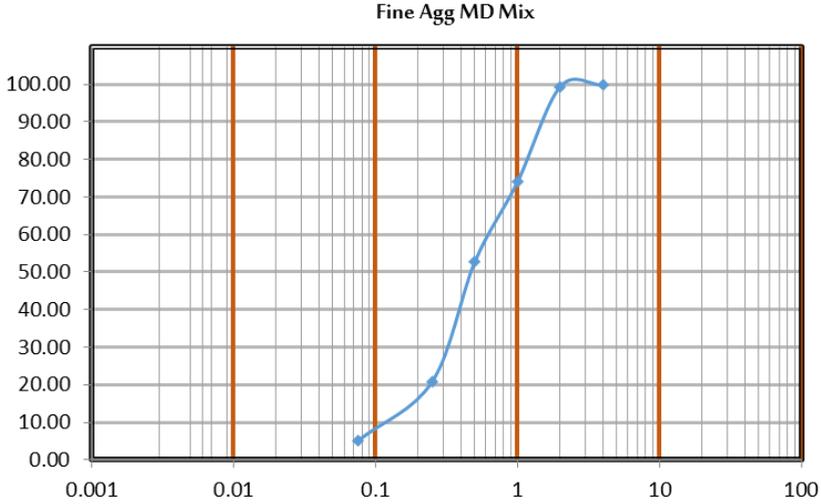
3.2 الركام الناعم من نوع MD:

الركام الناعم المستخدم في الخلطة المعرفة تحت مسمى "MD" هو من الركام المكسر من الخرسانة التالفة والجدول رقم (3.2) يبين التدرج الحبيبي والشكل رقم (3.2) يبين مخطط التدرج الحبيبي للركام الناعم.

جدول رقم (3.2) يبين ترتيب المناخل ونسب المحجوز المار في اختبار التدرج الحبيبي للركام الناعم

Sieve No	Retained		Cumulative		Pass Percentage %
	Weight (g)	percent	Weight (g)	Percent (gr)	
4	2	0.20	2	0.20	99.80
2	4	0.41	6	0.61	99.39
1	250	25.35	256	25.96	74.04
0.5	210	21.30	466	47.26	52.74
0.25	315	31.95	781	79.21	20.79
0.075	155	15.72	936	94.93	5.07
pan	50	5.07	986	100.00	0.00

$$MD = (0.2+0.61+25.96+47.25+79.21+94.93) / 100 = 2.84 \text{ معيار النعومة للركام}$$



شكل (3.2) مخطط التدرج الحبيبي للركام الناعم المكسر.

4.2 اختبار خصائص الركام

بحيث يتم في هذه الفقرة اختبار الركام طبقا المواصفات ASTM C127 AASHTO T27/T11 والجدول (4.2) بين الاوزان التي تم تحديدها لأجراء الاختبار على كافة أنواع الركام المستخدم والجدول رقم (5.2) يبين نتائج الفحص. [2]

جدول رقم (4.2) يبين أوزان جميع أنواع الركام التي تم اختبارها في المعمل.

Description of sample	Weight (g)
اختبار الركام الخشن ((COARSE AGGREGATE))	
Weight of Dray Sample "A"	3860
Weight of SSD Sample "B"	4100
Weight of Sample ,water and machine "C"	4195
Weight of Machine and Water "D"	1360
Weight of Wet Sample "E"	4110
اختبار الركام الناعم الطبيعي (ND)	
Weight of Dray Sample "A"	194.5
Weight of SSD Sample "B"	200
Weight of Sample ,water and machine "C"	478.7
Weight of Machine and Water "D"	351.4
Weight of Wet Sample "E"	238.5
اختبار الركام الناعم المكسر (MD)	
Weight of Dray Sample "A"	90
Weight of SSD Sample "B"	101.5
Weight of Sample ,water and machine "C"	485
Weight of Machine and Water "D"	428.5
Weight of Wet Sample "E"	121

5.2 اختبار الكثافة الجافة للركام الخشن: Dry Rodd

تم اختبار عينة الركام الخشن بحث يتم معرفة الوزن الجاف وذلك لاستخدامها في طريقة التصميم وهي من متطلبات التصميم لمعرفة كمية الركام الداخلة في الخلطة الخرسانية وتم الاختبار على النحو التالي:

$$\text{Dry Rodd} = (\text{Weight of Sample} / \text{Volume of Machine})$$

$$= (17947 - 3423) / (10.5^2 * \pi * 28) = 1.4976 \text{ g/cm}^2$$

$$= 1.4976 * 1000 = 1497.6 \text{ Kg/m}^3$$

3. تصميم الخلطة الخرسانية Mix Design of Concrete:

بعد ان تم الحصول على نتائج خصائص المواد الداخلة في الخلطة، يتم عمل الخلطة الخرسانية طبقاً للمواصفات الأمريكية 9-211.1 ACI و ASTM C494. بحيث تم حساب الكميات الداخلة في كل نوع من الخلطات الخرسانية طبقاً للمواصفات أعلاه كما هو موضح في الجدول رقم (1.3).

جدول رقم (5.2) يبين نتائج خصائص جميع أنواع الركام المتحصل عليها من المعمل.

Description of sample:	Specification
اختبار الركام الخشن	
Bulk specific gravity = $A / (B - C)$	2.65
SSD specific gravity = $B / (B - C)$	2.82
Apparent specific gravity = $A / (A - C)$	2.28
Absorption = $[(B - A) / (A)] * 100$ (%)	6.22
Moisture Content = $[(Wet\ Wt. - Dry\ Wt.) / Dry\ Wt.] * 100$	6.08
اختبار الركام الناعم الطبيعي (ND)	
oven dry bulk specific gravity = $A / (B + D - C)$	2.68
SSD bulk specific gravity = $B / (B + D - C)$	2.75
Apparent specific gravity = $A / (A + D - C)$	2.89
Absorption = $[(B - A) / A]$ (%)	2.75
Moisture Content = $[(Wet\ Wt. - Dry\ Wt.) / Dry\ Wt.] * 100$	18.45
اختبار الركام الناعم المكسر (MD)	
oven dry bulk specific gravity = $A / (B + D - C)$	2.00
SSD bulk specific gravity = $B / (B + D - C)$	2.26
Apparent specific gravity = $A / (A + D - C)$	2.69
Absorption = $[(B - A) / A]$ (%)	12.78
Moisture Content = $[(Wet\ Wt. - Dry\ Wt.) / Dry\ Wt.] * 100$	25.6

جدول رقم (1.3) يبين مقادير الخلطات الخرسانية علي حسب نوع كل خلطة.

Mix design content ACI method For "ND Mixes"	Kg/m ³	Mix design content ACI method For "MD Mixes"	Kg/m ³
Water	193	Water	193
Cement	416.85	Cement	416.85
Coarse aggregate	1123.3	Coarse aggregate	1063.3
Fine aggregate	659.05	Fine aggregate	545.3

1.3 تعديل نسب الخلط

تم تعديل نسب الخلط وذلك اعتمادا على نسبة الامتصاص والرطوبة للركام بنوعية وتعديل الاوزان علي حسب الاوزان الرطبة والجدول رقم (2.3) يبين الاوزان المعدلة في الخلطتين.

جدول رقم (2.3) يبين مقادير الخلطات الخرسانية المعدلة علي حسب نوع كل خلطة.

Mix design content ACI method For "ND Mixes"	Kg/m ³	Mix design content ACI method For "MD Mixes"	Kg/m ³
Water	92	Water	122.2
Cement	416.85	Cement	416.85
Coarse aggregate	1125.5	Coarse aggregate	1065.43
Fine aggregate	757.9	Fine aggregate	614

تم عمل 5 مكعبات لك خلطة واستخدام نموذج المكعب القياسي في المعمل والذي يساوي $m^3 (15*15*15)$ وتم تعديل الاوزان علي حسب عدد المكعبات على النحو الاتي:

جدول رقم (3.3) يبين مقادير الخلطات الخرسانية علي حسب نوع كل خلطة لعدد المكعبات.

Mix design content ACI method	Kg/m ³	weights in the trail batches /kg
ND Mix Design		
Water	0.02*92	1.84
Cement	0.02*416.85	8.32
Coarse aggregate	0.02*1125.5	22.5
Fine aggregate	0.02*757.9	15.16
MD Mix Design		
Water	0.02*122.2	2.44
Cement	0.02*416.85	8.33
Coarse aggregate	0.02*1065.43	21.30
Fine aggregate	0.02*614	12.28

4. النتائج

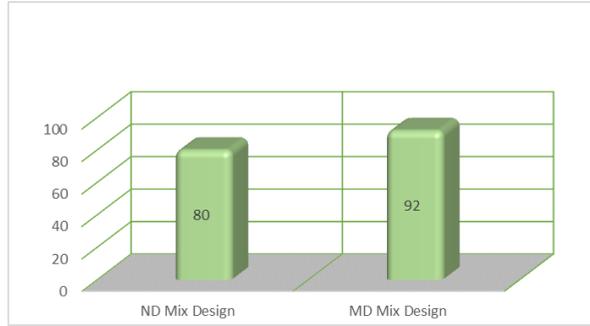
تم تدوين النتائج المتحصل عليها من كل اختبار في جداول ومخططات بيانية وذلك للمقارنة بين الخلطتين في الخطوات التالية:

1.4 نتائج اختبار الهطول: Slump Test Result

تم اختيار نسبة الهطول في الخلطة المصممة 75-100mm حيث تم الحصول على نتائج الهطول لجميع الخلطات:

جدول (1.4) يبين نتائج الهطول لجميع انواع الخلطات

Type of Mixture	Slump mm
ND Mix Design	80mm
MD Mix Design	92mm

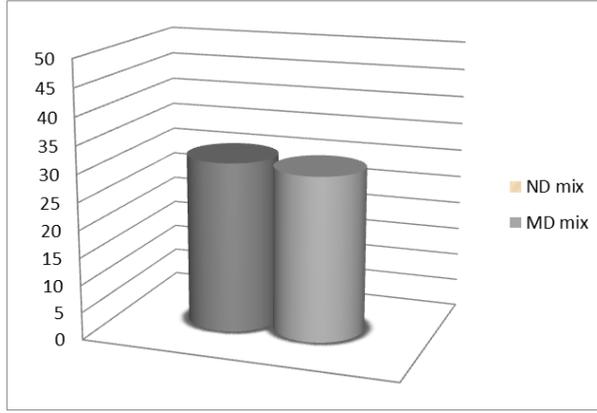


شكل (1.4) رسم تخطيطي يبين اوجه المقارنة بين الخلطات لاختبار الهطول.

2.4 - نتائج المقاومة القصوى للخلطات الخرسانية:

تم تصميم الخلطات لخرسانية على اختيار مقاومة قصوى بمعدل 30 MPa وذلك لأنواع الخلطات الخرسانية المستخدمة حيث تم الحصول على النتائج بعد 28 يوم كما هو موضح في الجدول جدول (2.4) يبين نتائج المقاومة بعد 28 يوما لجميع انواع الخلطات

Type of Mixture	Cube 1 N/mm ²	Cube 2 N/mm ²	Cube 3 N/mm ²	Cube 4 N/mm ²	Cube 5 N/mm ²	Average N/mm ²
ND Mix Design	27.6	35.02	26.67	33.33	فشل	31
MD Mix Design	29.78	27.78	31.11	30.22	فشل	30



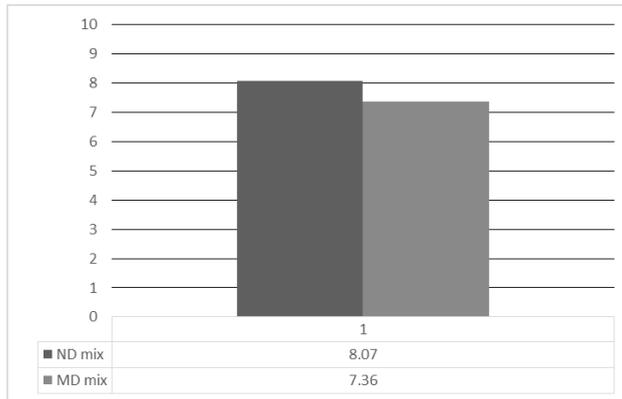
شكل (2.4) رسم تخطيطي يقارن بين القوى القصوى التي توصلت اليها الخلطات بعد 28 يوماً.

3.4 نتائج كثافة الخرسانة

تم وزن جميع المكعبات الداخلة في اختبارات الخلطة الخرسانية وكانت النتائج كما هي مدونة في الجدول الاتي

جدول (3.4) يبين كثافة الخرسانة لجميع انواع الخلطات

Type of Mixture	Cube 1 Kg	Cube 2 Kg	Cube 3 Kg	Cube 4 Kg	Cube 5 Kg	Average Kg
ND Mix Design	8.1	8	8.3	7.95	8	8.07
MD Mix Design	7.5	7.4	7.1	7.2	7.6	7.36



شكل (3.4) رسم تخطيطي يقارن بين كثافة الخلطات الخرسانية.

5. المناقشة

- 1- من شكل المخطط رقم (1.4) يتضح ان الخلطة الخرسانية نوع MD ذات الركام المكسر أعطت نسبة هطول 92mm أكبر بقليل من الخلطة العادية والتي كانت 80mm وذلك برجع لنسبة الامتصاص العالية لركام المكسر.
- 2- من الشكل المخطط رقم (2.4) يتضح ان الخلطتين ضمن القوة التصميمية للخلطة الخرسانية المطلوبة حيث ان الخلطة من نوع ND أعطت مقاومة انضغاط 31MPa والخلطة من نوع MD أعطت مقاومة مقدارها 30MPa وتعتبر هذه النسبة منطقية ويرجع سبب ذلك الي نسبة الهطول كما هو موضح في الفقرة رقم 1 حيث ان كلما زادت نسبة الهطول قلت المقاومة الخرسانية.
- 3- من الشكل المخطط (3.4) يتضح ان وزن المكعب للخرسانة من نوع ND أثقل والتي كانت 8.07 kg من الخرسانة من نوع MD والتي كانت 7.36 Kg ويرجع ذلك نتيجة اختلاف كثافة الركام المستخدم.

6. الاستنتاجات

- من خلال دراستنا الي هذا الموضوع وعمل التجارب المعملية ومواكبة الخلطات وتطوراتها خلال حالي الخلطة الخرسانية الطازجة و المتصلده يمكن استنتاج الاتي :
- 1- الخلطة نوع MD Mix أعطت اعلي قيمة للهطول ومنة نستنتج انها تعطي قابلية تشغيل افضل من الخلطات الأخرى .
 - 2- الخلطة نوع ND Mix اعطت اعلي قيمة للمقاومة القصوى بعمر 28 يوما مقارنة بالخلطات الأخرى وكثافة اكثر من الخلطات الأخرى.
 - 3- الخلطة من نوع MD Mix اعطت المقاومة المطلوبة بعد عمر 28 يوما علي الرغم انها اقل من مقاومة الخلطة ND Mix الا انها تحصلت علي المقاومة المطلوبة وبكثافة اقل.
 - 4- ان كسر الخرسانة تعطي تدرج حبيبي أفضل من الرمل المستخدم في المنطقة الا انه يحتوي علي نسبة اكثر بقليل من المواد الناعم عنه من الرمل المستخدم.
 - 5- نسبة الامتصاص بالنسبة للركام المكسر من الخرسانة اكبر من الركام الطبيعي المستخدم في المنطقة.

7. التوصيات:

من خلال دراستنا الي هذا الموضوع توصلنا الي التوصيات الاتية:

1. دراسة تكلفة كسر الخرسانة المستخدمة والقديمة ومقارنتها بالنسبة الي التكلفة مع الرمل.
2. استخدام هذا النوع من الخرسانة لأنها تمكنا من التخلص من حطام المباني واعادة تدويرها والاستفادة منها.
3. اختبار النوع ذات اقل مقاومة بنسبة تخفيض 6% للإسمنت لاستخدامها في الرصف والطرق.
4. عمل تجارب أكثر دقة وبكميات أكثر واستكمال هذه الدراسة من حيث اختبار بعض خصائص الخرسانة التي لم نتمكن من اختبارها.
- 6- نوصي باستخدام نسب مختلفة من تقليل نسبة الاسمنت واختبار مقاومتها.

8. المراجع

1. حمزة: المدني، الطاهر: أحميده، ضو: ضو ومصباح: ياسين "تأثير استخدام انواع مختلفة من الرمل على خواص المونة الاسمنتية الطرية والصلبة"، International Conference on Technical Sciences (ICST2019).
2. نهلة: هلال , مجيد : الدليمي و اسيل :عبدالله "تأثير استخدام الرمل السيليكبي على بعض الخواص الميكانيكية للخرسانة", جامعة الانبار كلية الهندسة.
3. ابو بكر: بإرحيم " مقارنة بين مقاومة ضغط الخرسانة باستخدام الركام الخفيف (السكوريا -الطف البركاني) من منطقة العرقوب والخرسانة العادية" قسم الهندسة المدنية - كلية الهندسة - جامعة عدن.
4. Maharaj : A. Mwasha " A comparative analysis of compressive and tensile strengths of concrete made with natural aggregates and electric arc furnace steel slag produced in Trinidad ", University of the West Indies, Trinidad
5. New York State Department of Transportation," Test Method to Determine the Moisture Content of Lightweight Fine Aggregate " , Test Method number NY 703-19 E, Issue Date August 2008, Subject Code 7.42-5.

تأثير ضبط الجودة على إعادة العمل في مشاريع البناء

م. عبد السلام عمرو أبوعلاق¹، د. زيدان علي حتوش²

¹ قسم إدارة المشاريع الهندسية بمدرسة العلوم الهندسية / الأكاديمية الليبية / طرابلس - ليبيا

² أستاذ / كلية الهندسة / جامعة طرابلس / طرابلس - ليبيا

*للمراسلة zhatushz@yahoo.com

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى معرفة تأثير ضبط الجودة على إعادة العمل في مشاريع البناء في ليبيا أثناء مرحلة التنفيذ، وذلك من خلال التعرف على مستوى ضبط الجودة ومدى إدراك العاملين في عدد من المشاريع بأهمية ضبط الجودة ومدى تأثيرها على إعادة العمل. ولتحقيق ذلك صمم الباحث استمارة استبيان تحتوي على أهم العوامل المؤثرة على ضبط الجودة، والتي يمكن من خلالها تحديد واقع ضبط الجودة، ومدى تأثيرها على إعادة العمل في تلك المشاريع. تم توزيع عدد (70) استمارة استبيان على عينة الدراسة و تم تحليل عدد (52) استمارة صالحة. وقد توصلت الدراسة إلى عدد من النتائج التي من أهمها وجود تأثير لضبط الجودة على إعادة العمل في مشاريع البناء، حيث أثبتت الدراسة أن ضبط الجودة (كمتغير مستقل) مسؤول عن تفسير (34%) من التغيرات التي تحدث في إعادة العمل (كمتغير تابع)، نقص التدريب للعاملين في مشاريع البناء في مجال الجودة وعدم وضوح المسؤوليات لمدير و فرق المشروع كان لها تأثير سلبي على مستوى ضبط الجودة للعمال بمشاريع البناء. وقد أوصت الدراسة بعدة توصيات منها: الإهتمام بوضع خطة تهتم بإدارة وضبط الجودة في مشاريع البناء، ضرورة توعية المهندسين و العاملين بمشاريع البناء بالآثار المترتبة على إعادة العمل، الاعتماد على أساليب الإدارة الهندسية العلمية في أثناء التنفيذ مثل البرمجة الزمنية و برمجة الموارد.

الكلمات المفتاحية: ضبط الجودة، إعادة العمل، مشاريع البناء

المقدمة

تتفاوت مشاريع البناء من حيث حجمها ودرجة تعقيدها ولكن يشترك أصحاب المصلحة في تلك المشاريع (مالك، استشاري، مقاول) في التطلع إلى إنجاز تلك المشاريع وفق الكلفة المحددة وفي الوقت المحدد وبالجودة المطلوبة مما يزيد من أهمية الحاجة للتحسين والتطوير لتحقيق ذلك. عادة ما تواجه مشاريع البناء مشاكل تتعلق بإعادة العمل وعدم الوصول للجودة المطلوبة من المرة الأولى للتنفيذ، يترتب على ذلك الزيادة في الكلفة والتأخر في التسليم وضعف في الجودة، مما يؤثر سلباً على أطراف العقد بشكل خاص وعلى اقتصاد البلاد بشكل عام.

تعتبر عملية ضبط الجودة في مشاريع البناء من أهم مراحل خطة الجودة، حيث يتم في هذه العملية التطبيق العملي لخطة الجودة وذلك للحصول على مباني بالكفاءة المطلوبة، وتحدد عملية ضبط الجودة ما إذا كانت مخرجات المشروع تؤدي ما كان مستهدفاً منها، وتؤدي هذه العملية على جميع مراحل المشروع[1].

و من خلال هذه الدراسة تم تقييم واقع ضبط الجودة لعينة من مشاريع البناء في ليبيا حيث تمثلت في ضبط الجودة فيما يتعلق بالإجراءات المتبعة و العمالة و المواد و المعدات و تحديد نقاط الضعف فيها، كما تم دراسة مدى تأثير ضبط الجودة على إعادة العمل في مشاريع البناء في مرحلة التنفيذ.

2. أهداف الدراسة وأهميتها

الهدف من هذه الدراسة هو الوصول إلى مدى تأثير ضبط الجودة على إعادة العمل في مشاريع البناء في مرحلة التنفيذ من خلال عينة لعدد من مشاريع البناء المنفذة في ليبيا، والتعرف على واقع ضبط الجودة في تلك المشاريع، وتكمن أهمية هذه الدراسة في أنها سلطت الضوء على واقع ضبط الجودة بشكل خاص والتي تعتبر أحد أسباب إعادة العمل.

3. المنهجية

أعتمدت المنهجية على الجانب النظري، والجانب العملي، وصولاً إلى أهم الاستنتاجات والتوصيات. أولاً: الجانب النظري:

تم الاطلاع على عدد من الأدبيات السابقة التي تناولت موضوع ضبط الجودة و إعادة العمل في مشاريع البناء .

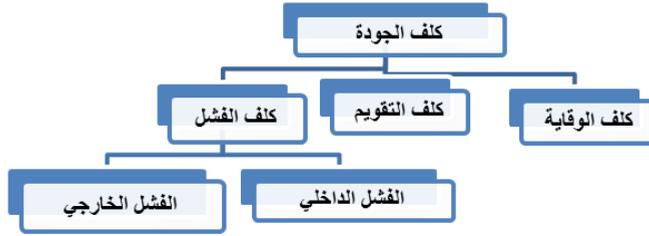
ثانياً: الجانب العملي:

- الإطلاع على عينة من المشاريع التي تم فيها إعادة العمل لبعض الأعمال.
- تصميم و توزيع استمارة استبيان لدراسة واقع ضبط الجودة وأثرها على إعادة العمل في مشاريع البناء .
- تجميع البيانات ونتائج الاستبيان.
- تحليل الإجابات المتحصل عليها وصولاً إلى عدد من الإستنتاجات والتوصيات الخاصة بموضوع الدراسة.

4. مفهوم ضبط الجودة

عرف جوران ضبط الجودة بأنها العملية التي يقاس من خلالها الأداء النوعي الفعلي و يقارن مع مواصفة و يتخذ إجراء تصحيحي عند وجود فرق بينهما، [2].

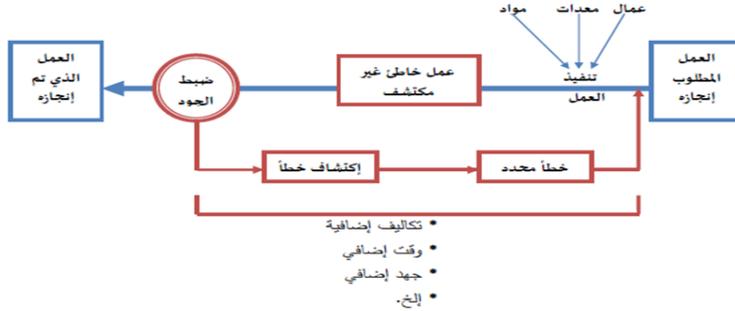
- تكلفة الجودة: هي التكاليف التي يتم تحملها من أجل الحصول على المواصفات المطلوبة والخدمة الجيدة، ويوضح الشكل رقم (1) أنواع كلف الجودة [2].



شكل رقم (1) أنواع كلف الجودة

5. إعادة العمل

تعريف إعادة العمل: يمكن تعريف إعادة العمل بأنه إجراء يتخذ لتعديل جزء معيب أو غير مطابق للمواصفات بحيث يوافق في النهاية المتطلبات والمعايير [1]، كما يمكن أن يعرف إعادة العمل بالجهد غير الضروري لإعادة تنفيذ العملية التي نفذت بشكل خاطئ من المرة الأولى [3]، و يبين الشكل رقم (2) حلقة ضبط الجودة و إعادة العمل [4].



شكل رقم (2) حلقة ضبط الجودة وإعادة العمل [4]

• أسباب إعادة العمل:

- توجد العديد من الأسباب التي يمكن أن تؤدي لإعادة العمل ومن أهم هذه الأسباب هي: [5]
1. أسباب لها علاقة بالتصميم مثل التصاميم غير الملائمة و أخطاء في المخططات.
 2. أسباب لها علاقة بالعقد ضعف وثائق العقد و طريقة إرساء العقد.
 3. أسباب لها علاقة بإدارة المشروع مثل نقص التفويض و ضعف الخبرة الإدارية.
 4. أسباب لها علاقة بعوامل فنية و هندسية مثل قبول الاخطاء التنفيذية وعدم الإلتزام بتطبيق معايير الجودة المطلوبة.
 5. أسباب لها علاقة بالتنسيق و التواصل مثل اتصالات ضعيفة وعمل جماعي ضعيف.
 6. أسباب لها علاقة بالعوامل البشرية مثل عمال قليلي الخبرة و ضعف الإشراف.

• الآثار المترتبة على إعادة العمل:

تحتاج حالات عدم المطابقة إلى أعمال تصحيحية وهي أعمال لإزالة أسباب عدم المطابقة المكتشفة ويترتب على ذلك العديد من الآثار منها:

1. يستغرق إعادة العمل بعض الوقت مما قد يترتب عليه تأخير في الزمن المحددة و تكاليف إضافية.
2. إعادة العمل تحتاج إلى جهد إضافي من العمالة ما يترتب عليه الإرهاق ونقص في الإنتاجية.
3. عدم رضا المالك.
4. السمعة السيئة وإحتمالية عدم الحصول على أعمال جديدة مع نفس المالك في المستقبل وإنخفاض في الأرباح.

تكلفة إعادة العمل: وهي كل التكاليف التي تنشأ عن حدوث عدم المطابقة و التي تبدأ من إكتشاف الخطأ وصولاً إلى إعادة تنفيذ العمل بالصورة الصحيحة و المطابقة للمواصفات و المعايير و تشمل تكلفة المواد و المعدات و العمالة المستخدمة لإعادة العمل كذلك تكلفة زمن التوقف لتصحيح العيوب. كما بينت الأبحاث و الدراسات التي إجريت على إعادة العمل أن تكلفة إعادة العمل في مشاريع الأبنية قد تؤثر بارتفاع يصل حتى (30%) من كلفة المشروع الكلية في ماليزيا [6]، بينما أظهرت دراسة امريكية أن متوسط إعادة العمل قد بلغ (4.4 %) من كلفة مرحلة البناء (هيكل) فقط [7].

6. الدراسة الميدانية

تم في الدراسة الميدانية استخدام الاستبيان لدراسة ضبط الجودة وأثرها على إعادة العمل في مشاريع البناء.

• عينة الدراسة

تتكون عينة الدراسة من عدد من العاملين (مدراء إدارات، مدراء مشاريع، رؤساء أقسام، مهندسين مشرفين، مهندسين بقسم الجودة) في الشركات و الجهات العاملة في مجال البناء و التشييد و الموضحة في الجدول رقم (1) و التي تم اختيارها للدراسة و بعد الاطلاع على عينة من مشاريع البناء التي تقوم تلك الشركات و الجهات بتنفيذها أو الإشراف عليها و حسب ما أفاد به عدد من العاملين في تلك المشاريع تبين وجود العديد من حالات إعادة العمل.

جدول (1) يبين الجهات التي تم اختيارها للدراسة.

ت	الجهة	الصفة
1	مكتب الإسكان والمرافق ببلدية الأصابعه	مالك
2	الشركة العامة للكهرباء	مالك
3	شركة الاتحاد العربي للمقاولات	مقاول
4	شركة القصبه للهندسة والاستثمار العقاري	مقاول
5	شركة ارساء للمقاولات	مقاول

• أداة الدراسة

تم تصميم استمارة الاستبيان خاصة من النوع المقفل كأداة لجمع البيانات من عينة الدراسة، للتعرف على واقع ضبط الجودة وأثرها على إعادة العمل في مشاريع البناء، وتتكون الاستمارة من عدد من الصفحات شملت (4) محاور رئيسية.

المحور الأول: معلومات عامة عن خصائص عينة الدراسة:

يحتوي هذا البند على مجموعة من الأسئلة، والتي كان الغرض منها التعرف على خصائص عينة الدراسة وهي: الجنس - العمر - المؤهل العلمي - الوظيفة الحالية - سنوات الخبرة - عدد الدورات في مجال الجودة.

المحور الثاني: مفهوم إدارة الجودة:

يتكون هذا المحور من عدد (4) عبارات تعكس مدى إلمام عينة الدراسة بمفهوم إدارة الجودة .

المحور الثالث: واقع ضبط الجودة

يتضمن هذا المحور على (38) عبارة موزعة على (4) بنود والتي تعكس واقع ضبط الجودة في مشاريع البناء من وجهة نظر آراء عينة الدراسة وهي كالتالي:

1. البند الأول: ضبط الجودة فيما يتعلق بالإجراءات المتبعة: يتكون هذا البند من عدد (13) عبارة.
2. البند الثاني: ضبط الجودة فيما يتعلق بالعمالة: يتكون هذا البند من عدد (8) عبارات.
3. البند الثالث: ضبط الجودة فيما يتعلق بالمواد: يتكون هذا البند من عدد (9) عبارات.
4. البند الرابع: ضبط الجودة فيما يتعلق بالمعدات: يتكون هذا البند من عدد (8) عبارات.

المحور الرابع: مدي تأثير ضبط الجودة على إعادة العمل في مشاريع البناء

يتكون هذا المحور من عدد (21) عبارة تعكس مدي تأثير ضبط الجودة على إعادة العمل في مشاريع البناء من وجهة نظر المدراء ورؤساء الأقسام والمهندسين بالمشاريع عينة الدراسة.

• مقياس الاستبيان

تم استخدام مقياس ليكرت الخماسي للإجابة على فقرات الاستبيان لجميع المحاور وتتنصر الإجابات وفق هذا المقياس في: (دائماً)، (غالباً)، (أحياناً)، (نادراً)، (لا يوجد) للاستبيان، وتم تحديد المتوسط الحسابي المرجح لكل فقرة وفق مقياس ليكرت الخماسي، حيث إن طول الفترة المستخدمة هي (5/4) أي حوالي (0.80) وقد حسبت طول الفترة على أساس أن أوزان الاستجابات الخمسة (5-4-3-2-1) على التوالي.

• الأساليب الإحصائية المستخدمة في الدراسة

تم استخدام العديد من الأساليب الإحصائية المناسبة بالاعتماد على استخدام برمجية الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية Statistical Package for Social Sciences التي يرمز لها اختصاراً بالرمز (SPSS) الإصدار 17 لتحقيق أهداف وفرضيات الدراسة وتحليل البيانات الأولية التي تم جمعها من مفردات العينة.

• صدق وثبات مقاييس الدراسة

أولاً: الصدق الظاهري: يقصد بالصدق الظاهري (صدق المحكمين) مدى قدرته على قياس الشيء المراد قياسه بدقة، وللتحقق من صدق الأداة المستخدمة في الدراسة والتأكد من دقة فقرات المقياس وتناسقها وتوافقها وملائمتها لبيئة الدراسة.

ثانياً: ثبات أداة الدراسة (عينة استطلاعية): تم اختيار عينة استطلاعية أولية من (15) مهندساً لحساب ثبات أداة الدراسة باستخدام الأساليب التالية:

أ- استخدم معامل (ألفا كرونباخ): يبين جدول (2) نتائج اختبار ألفا كرونباخ للمحاور الرئيسية للعينة الاستطلاعية.

يتضح من الجدول أن معامل ثبات (ألفا كرونباخ) لجميع محاور الدراسة بلغ (0.940). يلاحظ هذه القيم تقترب من الواحد الصحيح وبذلك يكون قد تأكد من ثبات الاستبيان ويكون الاستبيان في صورته النهائية صالحاً للتحليل.

جدول (2) نتائج اختبار ألفا كرونياخ لمحاور الدراسة

الرقم	المحور أو البند	عدد الفقرات	معامل الثبات
1	المحور الثاني : مفهوم إدارة الجودة	4	0.850
2	للبنء الأول: ضبط الجودة فيما يتعلق بالإجراءات المتبعة	13	0.933
3	للبنء الثاني: ضبط الجودة للعمالة	8	0.902
4	للبنء الثالث: ضبط الجودة للمواد	9	0.726
5	للبنء الرابع: ضبط الجودة للمعدات	8	0.789
6	المحور الثالث: واقع ضبط الجودة	38	0.922
7	للمحور الرابع: مدى تأثير ضبط الجودة على إعادة العمل	21	0.859
	الدراسة الكلية	63	0.940

ب-الثبات بطريقة التجزئة النصفية: استخدم الباحث معامل التقسيم النصفى (Spilt-Half)، ولا استخراج ثبات وتاسق محتويات الاستبيان يتم إيجاد معامل ارتباط بيرسون (R) بين العبارات الفردية والزوجية للاستبيان حيث كان (0.706)، ويتم حساب معامل الثبات بمعادلة سبيرمان براون حسب المعادلة التالية:[8]

$$\text{معامل الثبات سبيرمان براون} = ((1+R)/2R) \dots\dots\dots (6)$$

جدول (3) معاملات الثبات بطريقة التجزئة النصفية للاستبيان

الوصف	معامل الارتباط	معامل ثبات سبيرمان براون
الاستبانة الكلية	0.706	0.828

وقد بلغ معامل الثبات سبيرمان براون الكلى (0.828) مما يدل على أن الاستبيان يتمتع بدرجة عالية من الثبات.

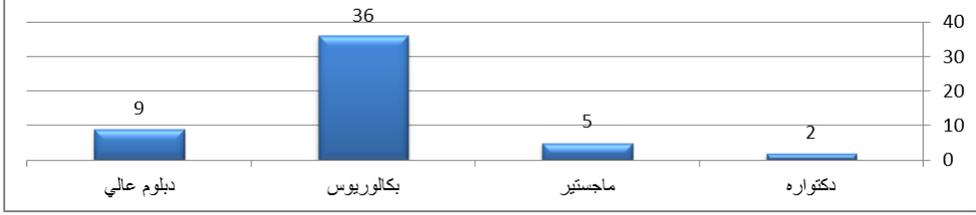
7. تحليل ومناقشة النتائج

خصائص عينة الدراسة

1. المؤهل العلمي

تشير النتائج المتحصّل عليها و المبينة بالشكل رقم (3) إلى أن أعلى نسبة من أفراد عينة الدراسة كان مستواهم التعليمي (بكالوريوس) وبلغت نسبتهم (69%)، يليها في المرتبة (دبلوم عالي) حيث بلغ عددهم

(9) ونسبتهم (17%)، أما من كان مستواهم التعليمي (ماجستير) فقد بلغ عددهم (5) أفراد ونسبتهم (10%) من مفردات عينة الدراسة، بينما حملة درجة (الدكتوراه) فقد كان شخصين ونسبتهم (4%).



شكل رقم (3) المؤهل العلمي لأفراد عينة الدراسة

2. سنوات الخبرة

يبين جدول رقم (4) أن أفراد العينة الذين قلت خبرتهم عن خمسة سنوات بلغ عددهم (3) أفراد بنسبة 6% من عينة الدراسة، بينما من خمسة إلى عشر سنوات (5) أفراد بنسبة 10%، ومن 11 إلى 15 سنة بلغ (8) أفراد بنسبة 15%، أما الذين خبرتهم من 16 إلى 20 سنة فقد بلغ عددهم (12) فرداً بنسبة 23% من عينة الدراسة.

جدول رقم (4) توزيع أفراد العينة حسب سنوات الخبرة.

ت	سنوات الخبرة	العدد	التكرار
1	أقل من 5 سنوات	3	6%
2	من 5 إلى 10 سنوات	5	10%
3	من 11 سنة إلى 15 سنة	8	15%
4	من 16 سنة إلى 20 سنة	12	23%
5	من 21 سنة إلى 25 سنة	14	27%
6	أكبر من 25 سنة	10	19%
	المجموع	52	100%

• التحليل الإحصائي للمحاور الرئيسية للدراسة

أ. المحور الثالث واقع ضبط الجودة في مشاريع البناء من وجهة نظر عينة الدراسة بعد التحليل الإحصائي لهذ المحور المتوسط الحسابي العام لمحور واقع ضبط الجودة في مشاريع البناء قد بلغ (2.73) وانحراف معياري 0.15. ويدل على اتجاه عينة الدراسة حول جميع بنود المحور في مستوى (أحياناً) وفق مقياس ليكرت الخماسي، كما أن معامل الاختلاف (6%)، مما يشير إلى أن هناك تجانسا واتفاق بنسبة (94%).

ب. التحليل الإحصائي للمحور الرابع "مدى تأثير ضبط الجودة على إعادة العمل" بعد التحليل الإحصائي لهذا المحور كان المتوسط الحسابي الكلي لمحور مدى تأثير ضبط الجودة على إعادة العمل قد بلغ (3.70) وبانحراف معياري (0.18) ويدل على اتجاه أفراد عينة الدراسة حول جميع فقرات المحور في اتجاه (موافق) وفق مقياس ليكرت الخماسي، كما أن معامل الاختلاف (5%)، مما يشير إلى أن هناك تجانساً واتفاقاً بنسبة (95%) على أن اتجاهات أفراد الدراسة لهذا المحور كانت في اتجاه (موافق).

• الفرضية الرئيسية للدراسة

تنص الفرضية الرئيسية للدراسة على أنه: هل يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لضبط الجودة على إعادة العمل في مشاريع البناء من وجهة نظر عينة الدراسة ولاختبار هذه الفرضية عند مستوى المعنوية 0.05 فإنه يمكن صياغتها كما يلي:

فرضية العدم: لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لضبط الجودة على إعادة العمل في مشاريع البناء.

فرضية البديل: يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لضبط الجودة على إعادة العمل في مشاريع البناء.

للتحقق من هذه الفرضية تم استخدام أسلوب تحليل الانحدار البسيط لقياس أثر لضبط الجودة (كمتغير مستقل) على إعادة العمل في مشاريع البناء (كمتغير تابع) والجدولين رقم (6) و(7) تبين ذلك، حيث يوضح الجدول رقم (6) دراسة لاختبار أثر لضبط الجودة (كمتغير مستقل) على إعادة العمل في مشاريع البناء (كمتغير تابع)، أظهرت نتائج التحليل الإحصائي المدونة بالجدول أن قيمة (F) المحسوبة والتي بلغت (24.907)، وهي أكبر من قيمة (F) الجدولية عند درجة حرية (0.05, 2, 50) والبالغة (3.20)، عند مستوى الدلالة (0.05)، وهذا يوجب قبول فرض البديل الذي ينص على " يوجد تأثير معنوي ذو دلالة إحصائية عند مستوى المعنوية 0.05 بين ضبط الجودة وإعادة العمل في مشاريع البناء. ورفض الفرض العدم. ويؤكد ذلك هذه النتيجة مستوى دلالة (F) المحسوبة البالغة (0.000) وهي أقل من مستوى الدلالة المعتمدة.

جدول (6) نتائج تحليل التباين الانحدار البسيط للتأكد من صلاحية النموذج لاختبار أثر ضبط الجودة على إعادة العمل في مشاريع البناء

المصدر	مجموع المربعات	درجات الحرية	متوسط المربعات	قيمة F المحسوبة	مستوى الدلالة المحسوبة	معامل الارتباط R	معامل التحديد R2
الانحدار	2.869	1	2.859	24.907	0.000	0.577	0.335
الخطأ	5.730	50	0.115				
المجموع	8.598	51					

كما يؤكد ذلك قيمة معامل الارتباط (0.577) وهي قيمة تشير إلى وجود تأثير إيجابي جيد لضبط الجودة كمتغير مستقل على إعادة العمل في مشاريع البناء (كمتغير تابع) وأن معامل التحديد (R2) يساوي (0.335)، مما يعني أن متغير ضبط الجودة كمتغير مستقل مسؤول عن تفسير (34%) من التغيرات التي تحدث في متغير إعادة العمل في مشاريع البناء (كمتغير تابع)، وهناك ما نسبته (64%) يرجع لعوامل أخرى بالإضافة إلى حد الخطأ العشوائي.

بينما يوضح الجدول رقم (7) دراسة العلاقة بين (الأثر) لضبط الجودة كمتغير مستقل وبين إعادة العمل في مشاريع البناء (كمتغير تابع).

جدول (7) نتائج تحليل الانحدار البسيط لاختبار أثر ضبط الجودة على إعادة العمل في مشاريع البناء.

المتغير	معامل الانحدار B	قيمة t المحسوبة	مستوى الدلالة المحسوبة
الحد الثابت	1.106	4.544	0.000
ضبط الجودة	0.449	4.991	0.000

وقد كانت قيمة معامل الانحدار (B) (1.106) المقطع الثابت وتساوي (0.449) ضبط الجودة ويمكن التوصل إلى معادلة الانحدار البسيط كما يلي:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1$$

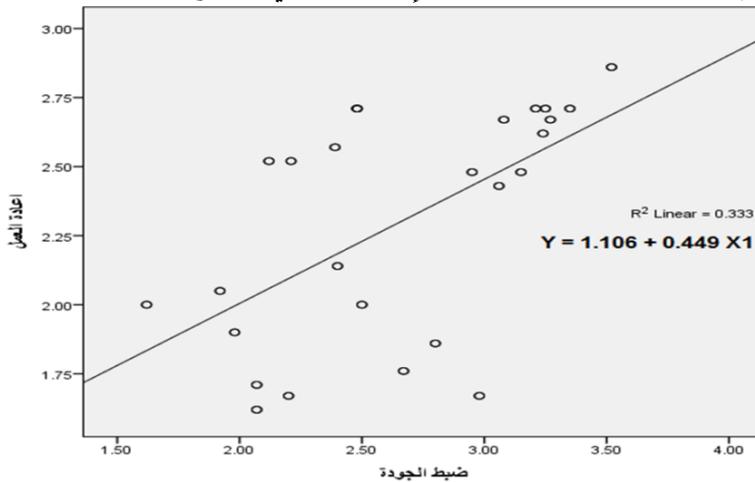
حيث: Y إعادة العمل في مشاريع البناء

X1 أثر ضبط الجودة

إعادة العمل في مشاريع البناء = 1.106 + 0.449 * أثر ضبط الجودة

$$Y = 1.106 + 0.449 X_1$$

كما يبين الشكل (4) العلاقة بين أثر ضبط الجودة وإعادة العمل في مشاريع البناء.



الشكل (4) العلاقة بين ضبط الجودة وإعادة العمل.

8. الاستنتاجات

بعد تحليل النتائج المتحصل عليها في الدراسة الميدانية، تم التوصل إلى النتائج الآتية:

1. توصلت الدراسة إلى أن 65% من أفراد عينة الدراسة لديهم خلفية عن إدارة وضبط الجودة.
2. يوجد اتفاق وتجانس بنسبة 35% من أفراد عينة الدراسة على أنه غالباً ما تكون هناك خطة لإدارة الجودة بالمشاريع.
3. يتفق 50% من أفراد عينة الدراسة بعدم وجود وثائق الإختبار المستخدمة لمراقبة الجودة.
4. يوجد اتفاق وتجانس بنسبة 46% من أفراد عينة الدراسة بأنه لا توجد دورات تدريبية للمهندسين والعاملين في مشاريع البناء في مجال الجودة.
5. يتفق نسبة 35% من أفراد عينة الدراسة بعدم وضوح المسؤوليات والسلطات لمدير وفريق المشروع.
6. يوجد اتفاق وتجانس بنسبة 76% بين إجابات أفراد عينة الدراسة على وجود ضعف في ضبط الجودة للعمال.
7. هناك اتفاق وتجانس من أفراد عينة الدراسة بنسبة 96% بأنه لا يوجد نظام حاسوب لمتابعة حركة المواد بالمشروع.
8. يوجد اتفاق وتجانس بنسبة 58% من أفراد عينة الدراسة بأنه لا توجد إدارة للمعدات بمشاريع البناء.
9. يتفق 88% من أفراد عينة الدراسة بأن ضبط الجودة ساهمت في تحسين المستوى الفني لدى فريق المشروع.
10. يوجد اتفاق وتجانس بأن ضبط الجودة ساهمت في التقليل من العيوب الإنشائية بنسبة 50%.
11. يوجد اتفاق بنسبة 65% من أفراد عينة الدراسة بأن ضبط الجودة ساهمت في الإلتزام بالموصفات.

9. التوصيات

أولاً: توصيات عامة

1. إقامة الندوات وحلقات النقاش وورش العمل التي تساهم في التوعية بأهمية الجودة في مشاريع البناء.
 2. العمل على الإهتمام بالتعريف بالجودة من خلال إضافة مواد للمراحل الدراسية الجامعية والثانوية لضمان توفير الإطار والإلمام المعرفي بالجودة لدى الطلاب.
- ثانياً: توصيات لأصحاب المصلحة " العاملين في مجال البناء "
1. الإهتمام بوضع خطة تهتم بإدارة وضبط الجودة في مشاريع البناء.
 2. التأكيد على ضرورة تطبيق معايير الجودة من قبل العاملين بمشاريع البناء وذلك بوضع اجراءات صارمة تؤدي إلى الإلتزام بتطبيق خطة إدارة الجودة بالمشروع.
 3. وضع آلية لتقديم الحوافز والمكافآت للعاملين بمشاريع البناء تشجيعاً لهم على تنفيذ الأعمال

بالجودة المطلوبة من المرة الأولى للتنفيذ.

4. إقامة دورات تدريبية للمهندسين والعاملين بمشاريع البناء في مجال الجودة لزيادة المعرفة والإدراك بأهمية الجودة.
5. الإهتمام بتوثيق حالات عدم المطابقة والأثر المترتب عليها.
6. ضرورة توعية المهندسين العاملين بمشاريع البناء بالآثار المترتبة عن إعادة العمل.
7. الاعتماد على أساليب الإدارة الهندسية العلمية في أثناء التنفيذ مثل البرمجة الزمنية وبرمجة الموارد.
8. ضرورة استخدام نظام حاسوب لتسجيل حركة المواد المستخدمة داخل المشروع.
9. الإهتمام بوضع نظام لإدارة المعدات بالمشروع يتضمن سلسلة من الاجراءات التي تضمن إدارة عمل المعدات داخل المشروع بالكفاءة المطلوبة من حيث توفرها وتشغيلها وصيانتها بالصورة المثلى.

ثالثاً: توصيات للباحثين والأكاديميين

1. التركيز على الأسباب التي تؤدي إلى وجود ضعف في الجودة من خلال إجراء المزيد من البحوث في هذا المجال.
2. إجراء دراسة تتناول موضوع المقارنة بين تكلفة الجودة وتكلفة إعادة العمل لمشاريع البناء في ليبيا.

المراجع

1. الدليل المعرفي لإدارة المشروعات (PBOK Guide)، الطبعة السادسة، 2017.
2. اسماعيل ابراهيم القزاز وعادل عبد المالك، "ضبط الجودة النظرية والتطبيق"، مكتبة طرابلس العلمية العالمية، الطبعة الأولى، طرابلس، 1997.
3. Love, P. E. D. and Li. H, "Quantifying the causes and costs of rework in Construction", Construction Management and Economics, 2000.
4. Y. C. Mastenbroek, "Reducing rework costs in construction projects", Bachelor thesis, University of Twente, Honduras, 2010.
5. مريم دباغ، بسام حسن، رنا ميا "العوامل التي تؤدي لإعادة العمل في مشاريع التشييد"، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية- سلسلة العلوم الهندسية، المجلد (36) العدد (2)، سوريا، 2014.
6. Egan. J. Rethinking construction. "Exploitation of contract documents for construction project planning and controlling". Unpublished Master of Science thesis, faculty of Civil Engineering, University Technology, Malaysia. In Aminudin,BA (1998)

7. Rogge. d . f ; CII "An investigation of field rework in industrial construction", Construction Industry Institute , Austin , Texas , USA. (2001a). research, summary: 11–53.
8. حمزة محمد دودين، التحليل الإحصائي المتقدم للبيانات باستخدام SPSS، ط2، دار المسيرة للنشر والتوزيع، عمان، 2013.

دراسة أسباب إعادة العمل المتعلقة بإدارة المشروع في بعض مشاريع البناء في ليبيا

م. نورالدين أحمد نويرة¹، د. زيدان علي حتوش²

¹ قسم إدارة المشاريع الهندسية بمدرسة العلوم الهندسية / الأكاديمية الليبية / طرابلس - ليبيا

² أستاذ / كلية الهندسة / جامعة طرابلس / طرابلس - ليبيا

*للمراسلة zhatushz@yahoo.com

المخلص

تُعد إعادة العمل مشكلة متكررة في مشاريع البناء والتي لم تجد الاهتمام الكافي بالدراسة والبحث، لذلك فقد تناول هذا البحث دراسة إعادة العمل في بعض مشاريع البناء في ليبيا من حيث الأسباب وتصنيفها. تم جمع المعلومات لمعرفة أسباب إعادة العمل عن طريق استبيان تم فيه تعريف عدد من المتغيرات أُدرجت تحت محور إدارة المشروع. تم استطلاع آراء عدد من المهندسين العاملين في إدارة المشاريع في بعض الشركات المنفذة والجهات المالكة لعدد من مشاريع البناء، حيث تم توزيع عدد (70) استبيان وتم استرجاع (60) منها. وكشفت الدراسة عن أهم الأسباب التي تؤدي إلى إعادة العمل في مشاريع البناء المتعلقة بإدارة المشروع، ومنها: عدم كفاءة مدير المشروع على إدارة المشروع، ضعف التنسيق بين الاستشاري والمهندس المقاول، عدم تواجد الاستشاري بموقع التنفيذ بشكل مستمر، وخلصت الدراسة لعدد من الأساليب التي يجب اتباعها لتقليل إعادة العمل منها: تعيين مدير مشروع مؤهل وذو خبرة وكفاءة، العمل بروح الفريق الواحد، الاهتمام بالتدريب والتطوير، توزيع فريق العمل بصورة منظمة على أنشطة المشروع.

وأوصت الدراسة في النهاية بتطبيق سياسات إدارة الجودة التي تؤدي إلى تخفيض إعادة العمل، والعمل على نشر التوعية بمفهوم إعادة العمل والآثار المترتبة عليه، وكذلك تحسين طرق التواصل بين أطراف المشروع، وذلك لتجنب أسباب إعادة العمل في مشاريع البناء في ليبيا.

الكلمات المفتاحية: إعادة العمل، مشاريع البناء في ليبيا، إدارة المشاريع.

المقدمة

يعتبر قطاع البناء والتشييد من القطاعات الأساسية في الدولة، والتي تساهم بشكل فعال في الاقتصاد الوطني، من خلال خلق فرص العمل، " ويساهم في الناتج المحلي بما نسبته 5.2% [1] ، ما يجعل الحاجة ملحة لتحسين وتطوير هذا القطاع.

إن تقليل تكاليف الصيانة، مما يساهم في زيادة العمر الاقتصادي للمنشأ ويكسب الجهة المنفذة ثقة بأعمالها ويزيد حصتها في سوق العمل ويتيح لها إمكانية المنافسة والاستمرار [2].

يمثل إعادة العمل مصطلحاً جديداً في قاموس قطاع البناء، وينتج عند عدم تطابق العمل المنجز مع متطلبات المواصفات الفنية ووثائق العقد ما يؤدي لإعادته [3]، ومن خلال الدراسات السابقة تبين أن معظم الأسباب التي تؤدي إلى إعادة العمل تنجم عن قصور في إدارة المشروع سواء كانت متعلقة بالتصاميم أو توفير المواد أو التنسيق والمواصلات.

ومن خلال هذه الدراسة تم تحديد اهم العوامل التي تؤدي إلى إعادة العمل خاصةً تلك المتعلقة بإدارة المشروع لعينة من مشاريع البناء المنفذة في ليبيا، وذلك من خلال اعداد استمارة استبيان تم فيها تعريف عدد من المتغيرات بالاستعانة بما تم في دراسات سابقة، وأهمها: عدم قدرة مدير المشروع ونقص خبرة الموارد البشرية وكذلك نقص التكليف والتفويض للمهام ، وإيضاً تم إستقصاء بعض المعلومات من القائمين على تنفيذ بعض المشاريع، ومن ثم تم تجميع نتائج الاستبيان و تحليل البيانات التي تم الحصول عليها باستخدام البرامج الإحصائية المناسبة للوصول للأسباب التي تؤدي لإعادة العمل المتعلقة بإدارة المشروع في مشاريع البناء.

أهمية الدراسة واهدافها:

تكمن أهمية الدراسة في مساهمتها في التعريف بإعادة العمل وتحديد أسبابه خاصة تلك المتعلقة بإدارة المشروع وبالتالي تكوين إطار معرفي يسهم في رفع الوعي و يساعد في تقادي هذه العوامل والوصول لجودة عمل تؤدي لتنفيذ صحيح من المرة الأولى الأمر الذي ينعكس إيجابياً و يؤدي لتوفير الوقت و الجهد و التكلفة التي يتم هدرها بسبب إعادة العمل.

1. تعريف إعادة العمل:

- وضعت عدة تعاريف لإعادة العمل من قبل باحثين ومنظمات في مجال الإنشاءات منها:
- عرف معهد أعمال البناء في أمريكا إعادة العمل: بالنشاطات الحقلية التي يجب أن تنجز أكثر من مرة أو النشاطات التي يتم فيها إعادة العمل المنفذ سابقاً كجزء من المشروع [4] .
 - إعادة العمل الجهد غير الضروري لإعادة تنفيذ العملية التي نفذت بشكل خاطئ من المرة الأولى [4].
 - إعادة العمل يشكل هدراً ونشاطاً ذا كلفة تضاف إلى الكلف المباشرة وغير المباشرة للمشروع وذلك من وجهة نظر الأنظمة [4].

إعادة العمل في مشاريع البناء :

نظراً للطبيعة الفريدة لمشاريع البناء والتي تحتوي على مجموعة كبيرة من من المتغيرات والمتناقضات وتتميز بعدم تشابه الفعاليات و الأنشطة للمشاريع، ولأن لكل مشروع ظروفه الخاصة ما يزيد من تحدي الجهات المنفذة في التعامل مع التأخير في أعمال التنفيذ عن المخطط له وزيادة تكلفة التنفيذ، والذي

عادةً ما يكون بسبب تأخر تنفيذ بعض البنود لعدة أسباب أهمها عدم التنفيذ الصحيح من المرة الأولى و الذي يتطلب إزالة بند أو جزء منه وإعادة تنفيذه لي مطابق للتصاميم والمواصفات ويكون بالجودة المطلوبة [5].

الدراسة الميدانية

مقدمة:

تم استخدام الأسلوب الوصفي التحليلي بالجانب العملي والمتمثل في أداة الاستبيان وذلك لدراسة أسباب إعادة العمل المتعلقة بإدارة المشروع في بعض مشاريع البناء في ليبيا، و لا يتوقف المنهج الوصفي التحليلي على جمع البيانات و المعلومات المتعلقة بالظاهرة من أجل استقصاء مظاهرها وعلاقتها المختلفة، بل يتعداه إلى تحليل الظاهرة وتفسيرها والوصول إلى نتائج تسهم في تطوير الواقع وتحسينه.

عينة الدراسة

بعد إجراء الدراسة الميدانية لبعض الشركات الوطنية العاملة في مجال البناء والتشييد والجهات المالكة لعدد من المشاريع، والموضحة في الجدول رقم (1)، و التي تم اختيارها للدراسة وبعد الاطلاع على عينة من مشاريع البناء التي تقوم تلك الشركات و الجهات بتنفيذها أو الاشراف عليها. جدول (1) الجهات التي تم اختيارها للدراسة.

ت	الجهة	الصفة
1	الشركة العامة للكهرباء	مالك
2	شركة الاتحاد العربي للمقاولات	مقاول
3	شركة القصبه للهندسة والاستثمار العقاري	مقاول
4	شركة ارساء للمقاولات	مقاول
5	مكتب الاسكان والمرافق الاصابعه	مالك

منهجية الدراسة

عينة الدراسة

نظرا لصعوبة تحديد مجتمع الدراسة فقد تم اختيار عينة عشوائية من شركات المقاولات التي تقوم بتنفيذ عدد من المشاريع الإنشائية أو الهندسية سواء هذه الشركات عامة أو خاصة، حيث تم إختيار عينة الدراسة حجمها 70 موظفاً، استغرق توزيع هذه الاستبيانات شهر، تم استرجاع (60) استبيانة وجد منها 8 استبيانات غير صالحة للتحليل وبذلك يكون عدد (52) إستبيان مكتمل البيانات وصالحة للتحليل ، بنسبة استرجاع بلغت (74%) وهي نسبة عالية كما هو موضح في الجدول (2).

جدول (2) إجراءات توزيع مجتمع الدراسة وحركة الاستبيان

ت	الجهة	الصفة	الاستبيانات الموزعة	الاستبيانات المجمعة	الاستبيانات غير قابلة للتحليل	الاستبيانات قابلة للتحليل	نسبة التحليل إلى الموزعة
1	الشركة العامة للكهرباء	مالك	28	25	3	22	79%
2	شركة الاتحاد العربي للمقاولات	مقاول	12	10	2	8	67%
3	شركة القصبية للهندسة والاستثمار العقاري	مقاول	12	10	0	10	83%
4	شركة ارساء للمقاولات	مقاول	8	7	1	6	75%
5	مكتب الاسكان والمرافق الاصابعة	مالك	10	8	2	6	60%
	المجموع		70	60	8	52	74%

أداة الدراسة

تمثلت أداة الدراسة في استمارة الاستبيان، وهي الأسلوب المناسب لجمع البيانات من خلال آراء عينة الدراسة حول ظاهرة أو موقف معين.

تم تصميم استمارة الاستبيان من النوع المقفل كأداة لجمع البيانات من عينة الدراسة للتعرف على أسباب إعادة العمل المتعلقة بإدارة المشروع في بعض مشاريع البناء في ليبيا، وشملت (3) محاور رئيسية، حيث تم تصميم عبارات بكل محور بالاستبيان من خلال مراجعة الأدبيات السابقة حول أسباب إعادة العمل في مشاريع البناء، وكانت المحاور كما يلي:

المحور الأول: معلومات شخصية عن عينة الدراسة

المحور الثاني: مفهوم إدارة المشاريع

المحور الثالث: أسباب إعادة العمل في مشاريع البناء المتعلقة بإدارة المشروع :

يتضمن هذا المحور (12) والتي تعكس تقييم لاهم أسباب إعادة العمل في المشاريع من وجهة نظر آراء عينة الدراسة.

مقياس الاستبيان

تم استخدام مقياس ليكرت الخماسي للإجابة على فقرات الاستبيان، وتم تحديد المتوسط الحسابي المرجح لكل فقرة وفق مقياس ليكرت الخماسي، حيث إن طول الفترة المستخدمة هي (5/4) أي حوالي (0.80).

الأساليب الإحصائية المستخدمة في الدراسة

تم استخدام العديد من الأساليب الإحصائية المناسبة بالاعتماد على استخدام برمجية الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية Statistical Package for Social Sciences التي يرمز لها اختصاراً بالرمز (SPSS) الإصدار 17 لتحقيق أهداف وفرضيات الدراسة وتحليل البيانات الأولية التي تم جمعها من مفردات العينة، وفيما يلي مجموعة الأساليب الإحصائية التي تم استخدامها:

أ. المتوسط الحسابي

ب. الانحراف المعياري

ج. اختبار ألفا كرونباخ

د. اختبار (T) للعينة

تتبع هذه الدراسة أسلوب مستوى الدالة المعنوية (P- value or Sig) لاختبار فرضيات الدراسة حيث يتم مقارنة قيمة مستوى الدالة المعنوية المحسوبة Sig مع قيمة مستوى الدالة المعتمدة، ويتم قبول الفرضية الصفرية إذا كان قيمة Sig المحسوبة أكبر من مستوى المعنوية المعتمدة بالدراسة (0.05)، وفي حالة العكس فإنه يتم رفض الفرضية الصفرية وبالتالي قبول الفرضية البديلة.

هـ. اختبار التوزيع الطبيعي

تم استخدام اختبار (كولمجروف- سمرنوف) لمعرفة هل البيانات تتبع التوزيع الطبيعي أم لا، وعندما تكون البيانات تتبع التوزيع الطبيعي عندما تكون قيمة مستوى الدالة أكبر من (0.05)، لذا يمكن استخدام طرق الإحصاء الوصفي في تحليل البيانات.

صدق وثبات مقاييس الدراسة

أولاً: الصدق الظاهري

تم عرض استمارة الاستبيان على مجموعة من المحكمين من ذوي الخبرة والاختصاص في مجال هذه الدراسة، وذلك لإبداء رأيهم وتقديم مقترحاتهم حول استمارة الاستبيان، والاستفادة من خبراتهم في الحكم على المقاييس المستخدمة ومدى ملاءمتها للتطبيق في الدراسة.

ثانياً: ثبات أداة الدراسة (عينة استطلاعية)

لقياس مدى الثبات للمحاور الرئيسية للدراسة والتي تختص بدراسة أسباب إعادة العمل في بعض مشاريع البناء في ليبيا، تم اختيار عينة استطلاعية أولية من (15) مهندساً لحساب ثبات أداة الدراسة، باستخدام الأساليب التالية لقياس الثبات:

أ- استخدم معامل (ألفا كرونباخ)

يبين جدول (3) نتائج اختبار ألفا كرونباخ للمحور الرئيسي للعينة الاستطلاعية للدراسة، ويتضح من الجدول أن معامل ثبات (ألفا كرونباخ) بلغ (0.840)، يلاحظ هذه القيم تقترب من الواحد الصحيح وبذلك يكون قد تأكد من ثبات الاستبيان ويكون الاستبيان في صورته النهائية صالحاً للتحليل.

جدول (3) نتائج اختبار ألفا كرونباخ للدراسة

معامل الثبات	عدد الفقرات	المحور
0.840	12	الأسباب المتعلقة بإدارة المشروع

ب- الثبات بطريقة التجزئة النصفية

تم استخدام معامل التقسيم النصفى (Spilt-Half) لحساب درجة الثبات الاستبيان، بتجزئة الفقرات إلى جزئين: الأسئلة الفردية، الأسئلة الزوجية، ثم تم احتساب معامل الارتباط بينها، كما يوضحه الجدول (4).

جدول (4) معاملات الثبات بطريقة التجزئة النصفية للاستبيان

معامل ارتباط سبيرمان براون	معامل الارتباط	الاستبانة الكلية
0.866	0.764	

وقد بلغ معامل الثبات سبيرمان براون الكلي (0.866)، وهى قيمة تعتبر جيدة جداً وهو معامل ثبات دال إحصائياً وهذا أيضاً يدل على أن الاستبيان يتمتع بدرجة عالية من الثبات بما يطمئن الباحث إلى تطبيقه على عينة الدراسة.

التوزيع الطبيعي للدراسة

تم استخدام اختبار (كولمجروف- سمرنوف) لمعرفة هل البيانات للمحاور الرئيسية للدراسة تتبع التوزيع الطبيعي أم لا، ويوضح الجدول (5) نتائج الاختبار حيث أن قيمة مستوى الدلالة المحسوبة للمحور اكبر من (0.05) وهى مستوى الدلالة المعتمدة (عند مستوى الثقة 95%) وهذا يدل على أن البيانات تتبع التوزيع الطبيعي وبذلك يمكن استخدام طرق الإحصاء الوصفي في تحليل البيانات.

جدول (5) اختبار التوزيع الطبيعي

مستوى الدلالة المحسوبة	العينة	البند
0.949	15	الأسباب المتعلقة بإدارة المشروع

تحليل ومناقشة النتائج:

يتضمن هذا المحور على (12) فقرة تعكس تقييم أهم الاسباب التي تؤدي إلى إعادة العمل في مشاريع البناء تعود إلى إدارة المشروع، من وجهة نظر مدراء و المهندسين في عدد من مشاريع البناء في ليبيا، ومن خلال استطلاع آراء العينة كانت نتائج التحليل الإحصائي للبيانات كما يوضحها الجدول رقم (6) .

جدول (6) آراء أفراد الدراسة حول تقييم اسباب إعادة العمل التي تعود إلى إدارة المشروع

ترتيب	الانحراف المعياري	المتوسط المرجح	مهم بدرجة كبيرة	مهم	مهم إلى حد ما	غير مهم	غير مهم إطلاقاً	العدد	العبارة	ت
2	1.00	3.81	16	16	14	6	0	52	قدرة والتزام مدير المشروع على إدارة المشروع	1
			31%	31%	27%	12%	0%			
4	1.05	3.54	8	22	16	2	4	52	عدم تخصص مدير المشروع في مجال المشروع	2
			15%	42%	31%	4%	8%			
9	1.04	3.19	2	24	12	10	4	52	عدم وجود مختص بمراقبة الجودة في فريق المشروع	3
			4%	46%	23%	19%	8%			
3	0.96	3.62	10	20	14	8	0	52	نقص التمويل الكافي للمشروع ما يؤدي لاستخدام مواد ومعدات أقل جودة من المطلوب	4
			19%	38%	27%	15%	0%			
5	0.79	3.42	4	20	22	6	0	52	عدم توفر مواد التنفيذ في الوقت المناسب وبالكمية المحددة	5
			8%	38%	42%	12%	0%			
7	1.04	3.35	4	24	14	6	4	52	نقص تفويض و تكليف مهام مدير المشروع لفريق العمل ما يؤدي لارتباك العمل وبالتالي التنفيذ الخاطئ	6
			8%	46%	27%	12%	8%			

1	1.17	3.85	20	14	10	6	2	52	نقص المهارات الفنية للعمال الفنية بالمشروع والتي تؤدي لفشل التنفيذ الصحيح من المرة الأولى	7
			38%	27%	19%	12%	4%			
9	0.88	3.19	2	20	16	14	0	52	نقص الخبرات الفنية في المشاريع المماثلة	8
			4%	38%	31%	27%	0%			
6	0.74	3.38	0	28	16	8	0	52	ضعف الخبرة الإدارية لمدير المشروع	9
			0%	54%	31%	15%	0%			
10	1.22	3.12	8	12	16	10	6	52	ضعف التخطيط والضبط للموارد البشرية بالمشروع	10
			15%	23%	31%	19%	12%			
4	0.97	3.54	8	20	18	4	2	52	عدم تحديد المسؤوليات ما يؤدي للتداخل فيها	11
			15%	38%	35%	8%	4%			
8	1.06	3.27	6	18	14	12	2	52	ضعف استخدام البرامج المتطورة	12
			12%	35%	27%	23%	4%			
7%	0.24	3.44	المتوسط الحسابي للعوامل المتعلقة بإدارة المشروع							

فرضيات الدراسة:

الفرضية الأولى: تنص الفرضية على أن: "نقص المهارات الفنية للعمال الفنية بالمشروع والتي تؤدي لفشل التنفيذ الصحيح من المرة الأولى" من أهم الأسباب التي تؤدي إلى إعادة العمل في مشاريع البناء.

الفرضية الثانية: تنص الفرضية على أن: "عدم قدرة والتزام مدير المشروع" من أهم الأسباب التي تؤدي إلى إعادة العمل في مشاريع البناء.

الفرضية الثالثة: تنص الفرضية على أن: "عدم تحديد المسؤوليات" من أهم الأسباب التي تؤدي إلى إعادة العمل في مشاريع البناء.

اختبار فرضيات الدراسة:

لاختبار فرضيات الدراسة، تم إدخال إجابات أفراد عينة الدراسة حول عبارات الفرضيات الرئيسية، ولاختبار T. Test للعينة الواحدة ومقارنة المتوسط الحسابي لإجابات أفراد العينة مع المتوسط الحسابي للاختبار، كما في الجدول رقم (7) نتائج الاختبار.

جدول (7): نتائج اختبار (T) حول فرضيات الدراسة

الفرضيات	العدد	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	مستوى الدلالة المحسوبة	مستوى الدلالة المعتمدة
الأولى	52	3.85	1.17	0.000	0.05
الثانية	52	3.58	1.01	0.002	0.05
الثالثة	52	4.00	0.92	0.000	0.05

الإستنتاجات:

استناداً على ما تم من استعراض لمتغيرات الدراسة استناداً على الدراسات السابقة، وما توصلت إليه الدراسة التجريبية الميدانية، حيث تم فيه اختبار فرضيات الدراسة، وبالتالي فإن الشكل (1) يوضح تلخيصاً لترتيب الأسباب التي تؤدي إلى إعادة العمل المتعلقة بإدارة المشروع في بعض مشاريع البناء في ليبيا وفق نتائج هذه الدراسة.



شكل (1): ملخص لترتيب الأسباب التي تؤدي إلى إعادة العمل المتعلقة بإدارة المشروع في مشاريع البناء في ليبيا وفق نتائج الدراسة

التوصيات

توصيات عامة:

1. تنفيذ ورش عمل بشأن التعريف بظاهرة إعادة العمل أثناء تنفيذ المشاريع وتأثيرها في التنفيذ من حيث: الوقت، الكلفة، الجودة.

2. زيادة الوعي بمفهوم الجودة وذلك من خلال العمل على إطار معرفي لدى الطلاب في سن مبكرة بمفهوم الجودة وتطبيقاتها.

توصيات لأصحاب المصلحة في مشاريع البناء (المالك ، المقاول ، الاستشاري):

1. من خلال النتائج تبين أن الموارد البشرية هي أكثر العوامل التي تؤدي إلى إعادة العمل وبالتالي فإن الاهتمام بتنفيذ دورات تدريبية للمهندسين مع التركيز على الدورات المتقدمة في مجال إدارة المشروعات كخطيط والجدولة للمشروع.
2. العمل على إحداث مؤشرات أداء أو قياس، تساعد في تحسين أداء إدارة المشروع الإشراف على تنفيذ المشاريع ومتابعتها.
3. التخطيط للمشروعات في مراحل إعداد دراسات الجدوى، ووضع الخطط المناسبة للتمويل و ضبط الموارد البشرية خلال فترة التنفيذ.
4. تحسين طرق وتقنيات التواصل بين أطراف المشروع لضمان تبادل المعلومات بشكل ميسر وفعال يضمن توافي التنفيذ الخاطئ.
5. وضع معايير أو مقاييس للأداء Key Performance Indicators للمشاريع ، للمساعدة على متابعتها وتقييمها.

توصيات للباحثين والأكاديميين:

1. من خلال النتائج تبين عدم التطرق لموضوع إعادة العمل في مشاريع البناء في الجانب البحثي محلياً، لذا توصي الدراسة بإجراء مزيد من الدراسات لظاهرة إعادة العمل وإثراء المكتبة المحلية بدراسات بالخصوص.
2. تبين من خلال الدراسة تأثير إعادة العمل على موازنة المشروع ما يؤدي لزيادة كلفة التنفيذ عن الكلفة التقديرية لذا يوصي البحث بإجراء دراسات بخصوص تكلفة إعادة العمل و نسبة تأثيره على الكلفة التقديرية للتنفيذ.

المراجع

1. Mustafa Ahmed, 2009, Understanding the Time Delay in Libyan Construction Projects Using Lean Six Sigma DMAIC Methodology, A Master Thesis submitted to the Project Management Department, Academy of Post

Graduate Studies.

- [2] قصي صالح ، نصر الدين خير الله ، محمد الجلالي " إدارة الجودة في مشاريع التشييد في سورية " مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية ، المجلد الثاني والعشرون ، العدد الأول ، 2006 ، 10 - 11.
2. Oyewobi L. O.; Ibronke O. T; Ganiyu B. O. and Ola-Awo A. W," Evaluating rework cost- A study of selected building projects in Niger State, Nigeria " Journal of Geography and Regional Planning , March 2011. Vol. 4 (3) , pp. 147-15.
3. م. مريم دباغ ، د. بسام حسن ، د. رنا ميا بحث بعنوان " العوامل التي تؤدي لإعادة العمل في مشاريع التشييد " مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية - سلسلة العلوم الهندسية مجلد (36) العدد (2) 2014 ، اللاذقية - سوريا.
4. Palaneeswaran, E. "Reducing Rework to enhance Project Performance Levels", Proceedings of the one day Seminar on Recent Developments in Project Management in Hong Kong. (12 May, 2006), 10 Pages (publication pending).

اقتصاديات صناعة مواد البناء والتشييد الواقع والمأمول

د. حوسين مصباح العلام

كلية الاقتصاد والعلوم السياسية، جامعة بني وليد، بني وليد، ليبيا

H64299@yahoo.com

المخلص

تعتبر الصناعة من الأنشطة الاقتصادية التي ترقى بالتنمية الاقتصادية والاجتماعية، حيث أصبح التصنيع مرادفاً لعملية التنمية، وبدأ على سلم أولويات استراتيجية الخطط الاقتصادية للدول النامية، فقد كانت التنمية الصناعية في مقدمة استراتيجيات وخطط وبرامج التنمية لأغلب الدول النامية ومنها العربية في عقد السبعينيات من القرن الماضي ، وقد شهدت تنمية هذا القطاع عدة تطورات جوهرية وهامة عكست التطورات الاقتصادية والاجتماعية وكذلك التغيرات الهيكلية التي شهدتها المجتمعات النامية ، فكان دور النشاط الصناعي إلى منتصف الستينيات دوراً هامشياً في الاقتصاديات النامية ، فقد اعتمد في التنمية على المبادرات الفردية، التي أعطت أولوية الاستثمار للأنشطة البديلة التي تتميز بسرعة مردودها وقلة مخاطرها الاستثمارية، الأمر الذي انعكس على هيكل النشاط الصناعي المتكون في تلك الفترة من منشآت صناعية صغيرة ذات طاقات محدودة، حيث كان الهدف الأساسي للتخطيط الصناعي من عقد السبعينيات هو تحويل الاقتصاديات النامية من اقتصاديات رعية يعتمد اغلبها على المساعدات الأجنبية إلى اقتصاديات منتجة.

ومن هنا فإن الباحث ومن خلال هذه الورقة قام بدراسة اقتصاديات وآفاق صناعة مواد البناء والتشييد واقعها والمأمول منها، من خلال ثلاث محاور رئيسية وتوصلت الدراسة إلى جملة من النتائج والمقترحات ذات العلاقة بموضوع البحث.

ومما سبق يتبين الهدف الرئيسي للدراسة، وهو تحليل واقع الاقتصاد الصناعي في الدول النامية بشكل عام والعربية بشكل خاص على اعتبار ليبيا جزءاً من هذه الفضاءات، وتسليط الضوء على أهم التحديات التي تواجه صناعة مواد البناء والتشييد.

، واعتمد الباحث المنهج الوصفي التحليلي لطبيعة الدراسة التي تمت في هذا الموضوع.

وخصص المحور الاخير للخاتمة التي تتضمن أهم النتائج التي تم التوصل إليها، - ومن أبرزها - تعاني العديد من الدول العربية من عدم قدرة القاعدة الإنتاجية فيها على توفير عرض متنوع بالكمية والنوعية والجودة والتنافسية المطلوبة، ويتجلى ذلك في ضعف مساهمة الصناعات التحويلية في الناتج المحلي الإجمالي والصادرات وفرص العمل مقارنة بالدول المتقدمة والناشئة. وقد خلصت الدراسة إلى المقترحات التي من أبرزها:

1- الاستفادة من تجارب الدول الرائدة في مجال صناعة مواد البناء والتشييد للاستفادة من

الاجابيات ومحاولة تلافي السلبيات.

2- تعزيز التجارة البينية والتكامل الاقتصادي فيما بين دول الجوار خاصة والعربية بوجه عام والتجارة الدولية في هذه المواد، لتحقيق القيمة المضافة المرجوة من هذه الصناعات.
الكلمات المفتاحية: مواد البناء، التشييد، التنمية الاقتصادية.

المقدمة

يعتبر التصنيع هو الاستخدام المتزايد للتقنية المتطورة في عمليات الإنتاج، وبناءً على ذلك فإنه قادر على تحقيق التغيرات النوعية والمتكاملة في الاقتصاد الوطني، كما أن التصنيع يعد عملية تطوير اقتصادي تعباً فيه الموارد القومية من أجل تطوير الهيكل الاقتصادي الداخلي المتعدد الفروع، والمجهز بالتقنية الحديثة، والذي يتميز بقطاع تحويل ديناميكي يملك وينتج وسائل الإنتاج، وبيع الاستهلاك القادر على ضمان تحقيق معدلات نمو عالية للاقتصاد ككل، وبذلك فإن صناعة مواد البناء والتشييد تعتبر من فروع الصناعات التحويلية والتي تكون القاعدة الإنتاجية التي تسهم في تحقيق أهداف التنمية الاقتصادية والاجتماعية في الاقتصاد الوطني، لكونها أداة خلق موارد جديدة للدخل، وهذا ما تتطلبه الدول النامية التي يعتمد اقتصادها على الموارد الطبيعية، حيث يقوم هذا القطاع بإعادة تصنيعها في صورة سلع وخدمات مختلفة، سواء كانت إنتاجية أو استهلاكية بما يتوافق واحتياجات المجتمع، وبالنظر إلى واقع الصناعات التحويلية في الدول النامية وتطورها، ومدى مساهمة هذه الصناعات في الناتج المحلي الإجمالي، فواقع هذه الصناعات وإنتاجيتها توضح الضعف الملحوظ والمتمثل في تدني مساهمة هذه الصناعات في الناتج المحلي الإجمالي، وافتقار هذه الصناعات للتكنولوجيا الحديثة، كما أن تبني سياسات صناعية غير ملائمة أسهم في عدم قدرتها على تصحيح مصادر القيمة المضافة إلى هذه الصناعات.

ومما زاد من عمق هذه الاختلالات للصناعات التحويلية بشكل عام وصناعة مواد البناء والتشييد بشكل خاص تسارع التطورات الاقتصادية المعاصرة، الأمر الذي جعل هذه الصناعات تواجه اختلالات موروثية، إضافة إلى الاختلالات الناجمة عن اقتصاد العولمة المتمثل في تطبيق اتفاقيات منظمة التجارة العالمية الخاصة بالصناعات التحويلية، الأمر الذي سيفضي في نهاية الأمر إلى فقدان القدرة التنافسية لهذه الصناعات في الأسواق المحلية والعالمية.

مشكلة الدراسة

إن طبيعة المشكلة البحثية لهذه الدراسة تكمن في ضعف ملحوظ لمساهمة صناعات مواد البناء والتشييد في الناتج الصناعي ومن ثم تدني مساهمة هذه الصناعات في الناتج المحلي الإجمالي، وافتقار هذه الصناعات للتكنولوجيا الحديثة، كما أن تبني سياسات صناعية غير ملائمة أسهم في عدم القدرة على

تصحيح مصادر القيمة المضافة إلى هذه الصناعات، ومما زاد من عمق هذه الاختلالات للصناعات تسارع التطورات الاقتصادية المعاصرة.

فرضية الدراسة

تتمثل فرضية الدراسة في الآتي:

- يرجع ضعف مساهمة صناعات مواد البناء والتشييد في الناتج الصناعي للدول النامية وليبيا جزء رئيس منها إلى ضعف القدرة التنافسية لهذه الصناعات في الأسواق المحلية والدولية نتيجة انخفاض التكاليف الصناعية في هذه الدول، وزيادة الأعباء عليها.
- يؤدي تحرير التجارة الخارجية إلى عجز إضافي في الميزان التجاري من خلال تدفق الواردات، مما جعل الاقتصاديات النامية تعاني مشاكل الإغراق وغيرها.

أهمية الدراسة

يترتب على ضعف مساهمة صناعات مواد البناء والتشييد في الناتج الصناعي ومن تم الناتج المحلي الإجمالي أوضاع جديدة تتأثر بها الصناعات التحويلية في الدول النامية، ومنها العربية والليبية خاصة، ولذلك يجب التعرف على أهم هذه الصناعات واقعها والتحديات التي تواجهها.

أهداف الدراسة

ومن أبرز الأهداف التي تسعى هذه الدراسة الوصول إليها:

- تحليل واقع الاقتصاد الصناعي في الدول النامية بشكل عام والعربية بشكل خاص على اعتبار ليبيا جزءاً منها.
- التعريف بصناعة مواد البناء والتشييد من حيث المفهوم والأهمية.
- تسليط الضوء على أهم التحديات التي تواجه صناعة مواد البناء والتشييد.
- توضيح أهم استراتيجيات التصنيع التي يمكن اعتمادها في هذا المجال.

منهجية الدراسة

أعتمد الباحث في هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي من خلال تجميع البيانات من المصادر والمراجع والدوريات وغيرها من مصادر البحث، وذلك للوصول الى نتائج علمية ومنطقية من دراسة موضوع اقتصاديات وافاق صناعة مواد البناء والتشييد واقعها والتحديات التي تواجهها.

حدود الدراسة

- استتدت الحدود الزمنية لهذه الدراسة بأخذ عينة عن السنوات الأخيرة والحالية وفق توفر البيانات 2010-2019م.
- اما الحدود المكانية للدراسة وهي دراسة اقتصاديات وافاق صناعة مواد البناء والتشييد في الدول النامية بوجه عام والعربية بوجه خاص.

محاور الدراسة

- تم تقسيم الدراسة الى عدة محاور على النحو التالي:
- المحور الاول: الاقتصاد الصناعي (المفهوم والأهمية).
 - المحور الثاني: صناعة مواد البناء والتشييد.
 - المحور الثالث: صناعة مواد البناء والتشييد في الوطن العربي (الواقع والمأمول).
 - المحور الرابع: الخاتمة.

المحور الاول: الاقتصاد الصناعي (المفهوم والأهمية).

أولاً: الصناعة في التاريخ الاقتصادي.

ظهرت الثورة الصناعية في إنجلترا في القرن الثامن عشر، ثم ما لبثت أن انتقلت إلى دول غرب أوروبا، وبعدها إلى كافة أنحاء العالم. وقد كانت إنجلترا هي الدولة الأولى التي ظهرت فيها الثورة الصناعية (كما ظهرت فيها الثورة الزراعية من قبل) لعدة أسباب، منها أنها كانت قوية اقتصادياً ولمواردها الاقتصادية والتي منها الفحم تحديداً والوفرة النسبية في الأيدي العاملة، فضلاً عن الموقع الجغرافي المهم. ويمكن القول بأن نشوء وتطور الصناعة يرجع إلى فترات تاريخية طويلة، أي منذ بداية تكوين المجتمعات، إلا أن سرعة تطورها من مجتمع لآخر مرهون بجملة من الاعتبارات والتي تختلف باختلاف الشعوب والأقاليم الجغرافية والموارد والحضارات وغيرها. وهذا التطور ينعكس على مجمل الحياة الاقتصادية والاجتماعية والسياسية. وعليه فإن المجتمعات قد انتقلت من مرحلة إلى أخرى بسرعة أو ببطء. وبصورة عامة كان المجتمع في بداية الأمر مجتمعاً رعوياً يعمل برعي الماشية ينتقل من مكان لآخر باحثاً عن الكلاً والماء، ثم انتقل ليصبح مجتمعاً زراعياً، ثم صناعياً، ليصل اليوم إلى ما يعرف بالمجتمع المعرفي، وهذا التطورات المرحلية، من الصناعات المنزلية البسيطة الى الحرفية ومرحلة التعاونية الرأسمالية البسيطة والى الثورة الصناعية أو مرحلة الصناعة الآلية.

ثانياً: مفهوم وأهداف علم الاقتصاد الصناعي.

تعريف الاقتصاد الصناعي: "بأنه العلم الذي يهتم بتحليل الصناعات والأسواق وسلوك المنشآت العاملة في تلك الأسواق والأداء الاقتصادي العام، ويقوم بدراسة سلوك المؤسسات فيما يخص الانتاج والبيع وتحليل مركزها التنافسي".

كما أن اقتصاديات الصناعة تستهدف دراسة السياسات الصناعية التي تتبعها الحكومات بغرض تعزيز معدلات النمو الاقتصادي والتي تؤثر بدورها على سلوك المنشآت الصناعية والمؤسسات وأدائها ، ودراسة مستويات الأداء للشركات والمشروعات الصناعية من حيث الأرباح ومستويات الكفاءة ومدى تطور المنشأة من الناحية التقنية.

أهداف علم الاقتصاد الصناعي:

ومن أهم الأهداف التي تسعى الصناعة إلى تحقيقها:

1. إن الصناعة تدعم وتسد الاستقلال الاقتصادي الذي أصبح ضرورة لا غنى عنها لتعزيز الاستقلال السياسي في عالم اليوم، الذي يشهد سيطرة القطب الواحد المتمثل بالدول الرأسمالية المتقدمة بزعامة الولايات المتحدة الأمريكية، ولذلك فإن هذه القوى يمكن أن تستغل الحاجة الاقتصادية التي تبرز لدى بعض الدول في سد احتياجاتها اعتماداً على الخارج، وبالذات من السلعة المصنعة .
2. الإسهام في معالجة الخلل في الهيكل الاقتصادي، عن طريق ما يقدمه من إضافة إلى الناتج المحلي الإجمالي والدخل والناتج القومي، وفي مجال التشغيل والصادرات، خاصة أن هذا القطاع يتسم بالتنوع في نشاطاته.
3. إسهام القطاع الصناعي في تطوير القطاعات الاقتصادية الأخرى، وذلك بحكم ارتباطاته، من خلال استخدام منتجاتها في إنتاجه، وتوفير متطلبات الإنتاج ومستلزماته في تلك القطاعات من إنتاجه.
4. يُعتبر القطاع الصناعي من بين أكثر القطاعات الاقتصادية ارتباطاً بالتكنولوجيا، من خلال قدرته العالية على استخدام أحدث المنجزات العلمية والتكنولوجية والانتفاع منها.
5. التصنيع يعظم القيمة المضافة المرتبطة باستخدام الموارد المحلية، من خلال تحويلها إلى منتجات أخرى، بدلاً من استخدامها أو تصديرها بشكل أولي، وبذلك يتم الحصول على القيمة المضافة المرتبطة بعملية التحويل.
6. التصنيع يسهم في تطوير قدرات ومهارات العاملين وخبراتهم الفنية، لاعتماده في الغالب على استخدام وسائل وطرق إنتاج حديثة ومتطورة، تضمن تحقيق إمكانية التطوير للعاملين، أي يمكن من خلال التصنيع تطوير العنصر البشري.
7. القطاع الصناعي يسهم في توفير احتياجات الأفراد من السلع المصنعة الاستهلاكية، مما يؤدي إلى رفع مستوى المعيشة، وزيادة درجة الرفاهية.

8. الصناعة تؤثر تأثيراً إيجابياً على ميزان المدفوعات، وتوفر للبلاد قدراً أكبر من العملات الأجنبية، تمكن البلاد من العمل بمدى أوسع لتحقيق التنمية.

9. إن التصنيع يسهم بتحقيق درجة أكبر من الاستقرار الاقتصادي، نظراً لما يتيح من تنوع في الهيكل الإنتاجي، وتنوع لهيكل الصادرات، وخاصة أن منتجات القطاع الصناعي تنتم بالتنوع. إن تحقيق التطور في القطاع الصناعي من خلال ما سبق، يسهم في نقل الاقتصاد من حالة التخلف إلى حالة التقدم، ويُمكن الاقتصاد من إقامة قاعدة إنتاجية تدفع عجلة التنمية إلى الأمام. فهذه هي النقاط الرئيسية التي تجعل القطاع الصناعي هو القطاع القائد لعملية التنمية الاقتصادية.

ثالثاً: الاقتصاد الصناعي وعلاقته بالتنمية.

إن المشكلات التي تواجه الدول النامية في سعيها الدؤوب لتحسين مستوى معيشة شعوبها، وتطوير لاقتصاداتها والنهوض بها لمواكبة عجلة التقدم الاقتصادي من أهم التحديات التي تواجه حكومات هذه البلاد منذ استقلالها السياسي.

تعتبر عملية التصنيع، عملية ناتجة عن أو مصاحبة للتنمية الاقتصادية. وهو (التصنيع) يمثل أحد الجوانب المهمة التي تدفع عملية التنمية، إذ أنها تمثل زيادة مساهمة القطاع الصناعي التحويلي في تكوين الناتج القومي الاجمالي. وعليه لا يمكن تحقيق تنمية دون تطوير عملية التصنيع أو القطاع الصناعي، فإنهما عمليتان متلازمتان، فكل الوحدات الصناعية (للقطاعين العام والخاص) لا يمكنها أن تعمل بكفاءة وتحقق النجاح المرجو منها إلا في ظل المناخ الاقتصادي الملائم، أي محابٍ للتنمية، وفي ظل سياسة اقتصادية وصناعية راعية وداعمة ومرسخة لهذا المناخ.

ويجب إعادة النظر في السياسات الاقتصادية لأنها توفر المناخ الاقتصادي الملائم، والسياسة الاقتصادية "هي مجموعة من القواعد والوسائل والأساليب والإجراءات والتدابير التي تقوم بها الدولة وتحكم قراراتها نحو تحقيق الأهداف الاقتصادية للاقتصاد القومي خلال فترة زمنية معينة".

إن شروط التصنيع (الإرادة - الإدارة والتنظيم - المناخ الاقتصادي) هي الشروط الضرورية وليست الكافية، أما الشروط الكافية فتتمثل في تجاوز القطاعين العام والخاص لاستغلال الموارد الطبيعية والبشرية والتمويلية المتوفرة لبناء الصناعات ذات الجدوى الفنية والاقتصادية، مستخدمة التقنيات الحديثة في التشغيل والإدارة، فإن توافر الشروط الضرورية هو الأساس، وعدم توافر الشروط الكافية ليس مشكلة. وإن أي خطة تهدف في مجال الصناعة إلى تحقيق إنتاج إضافي في جميع المشاريع، بالإضافة إلى تحقيق استغلال أفضل للطاقات الإنتاجية الصناعية الموجودة، عن طريق توفير المواد الخام وخلق الحوافز وعوامل التشجيع الصناعية، بالتأكيد سيكون لها دور كبير في تحقيق الأهداف المرجوة منها، وكمرحلة أولى نحو التنمية الصناعية في الدول النامية، يجب أن تتركز استراتيجية التخطيط الصناعي على أساس إعطاء الأهمية لفروع الصناعات التالية :

1. الصناعات الغذائية، وذلك لتوفير احتياجات المواطنين من الأغذية محلياً بدلاً من الاستيراد.
2. صناعة مواد البناء والتشييد موضوع دراستنا، وذلك للحاجة إليها في تنفيذ برامج التنمية.
3. الصناعات البتروكيمياوية، والكيمياوية، وذلك للميزة النسبية التي يمكن أن تتميز بها تلك الدول في هذا المجال.
4. الصناعات الهندسية والمعدنية الأساسية التي يستخدم إنتاجها النهائي كسلع وسيطة مثل حديد التسليح، والأنابيب والجرارات الزراعية وسيارات الشحن، والتي تساهم في تنفيذ مشاريع القطاعات الأخرى مثل الزراعة والتشييد والبناء والنفط والكهرباء.

رابعاً: استراتيجيات التصنيع.

"يقصد بالاستراتيجية مجموعة الأهداف التي ترسم التقدم والنمو، وتسعى المجتمعات إلى تحقيقها على المدى الزمني الطويل، وبهذا المعنى فإن استراتيجية التصنيع لا بد أن تكون جزءاً لا يتجزأ من الاستراتيجية العامة للدول"، وتتكون هذه الاستراتيجيات من:

1. استراتيجية إحلال الواردات: وهي تتكون من مرحلتين:

أ- المرحلة الأولى:

يقصد بمرحلة إحلال الواردات أن يتم إنتاج السلع المستوردة البسيطة محلياً، والتي تشمل بصفة أساسية السلع الاستهلاكية غير المعمرة، مثل الملابس والأحذية والأدوات المنزلية، وكذلك الصناعات التي تنتج المدخلات المطلوبة لإنتاجها، مثل الخامات الخاصة بصناعة النسيج والجلد والخشب، وهذه الصناعات تناسب الدول النامية في بداية مرحلة تصنيعها، فهي ليست بحاجة إلى وجود صناعة متطورة للأجزاء والمكونات وقطع الغيار، إلا أن هذه الصناعات رغم بساطتها فإنها تعطي وفورات خارجية، مثل تدريب العمال المحليين، وإنشاء كوادر تنظيمية وإدارية، ونشر التكنولوجيا والمعرفة، ولقد لجأت الدول المختلفة في السابق والحاضر إلى حماية صناعاتها خلال هذه المرحلة الأولى من التصنيع، وذلك بالاعتماد على مبدأ حماية الصناعة الناشئة.

ب- المرحلة الثانية:

ومن المرحلة الأولى لإحلال الواردات لوحظ عند تطبيقها زيادة الإنتاج المحلي بدرجة أكبر من زيادة الاستهلاك المحلي، وذلك لأن الإنتاج المحلي عليه أن يحل محل الواردات من الخارج، وكذلك لمواجهة الزيادة السنوية في الطلب المحلي، وبالطبع يتم تحقيق عملية إحلال الواردات بصورة تدريجية قد تأخذ عدة سنوات، وعندما يصبح الإنتاج المحلي قادراً على الإحلال التام محل الواردات، فإن معدل النمو السنوي في الإنتاج سوف ينخفض إلى المستوى الزيادة في الاستهلاك المحلي سنوياً. فلو فرضنا أنه في بداية مرحلة الإحلال محل الواردات كان معدل زيادة الإنتاج سنوياً 20%، فإننا بعد سنوات قليلة نكون قد

نجحنا في الاستغناء عن الواردات، ثم يأخذ معدل الزيادة السنوي في الإنتاج المحلي في الانخفاض، ويصبح مقتصراً على معدل الزيادة في الاستهلاك المحلي الذي يتوقف عادة على:

- معدل الزيادة في الدخل.
- معدل الزيادة في عدد السكان.

أي يكون في حدود 5% مثلاً سنوياً في حالة دولة مثل مصر، وبالطبع يعد هذا المعدل صغيراً لتحقيق التنمية الصناعية المطلوبة والتي تكون جزءاً هاماً في عملية التنمية الاقتصادية الكلية.

وإذا ما رغبت الدول النامية في تحقيق معدل مرتفع للنمو الصناعي فإنه يجب في هذه الحالة أن نأخذ باستراتيجية صناعية جديدة، ويكون أماننا اختيار إما استراتيجية الإنتاج للتصدير أو الانتقال إلى المرحلة الثانية من عملية إحلال الواردات، وسوف نركز على الانتقال إلى المرحلة الثانية من استراتيجية إحلال الواردات من السلع الاستهلاكية المعمرة مثل السيارات والثلاجات، والسلع الإنتاجية المعمرة مثل الآلات والمعدات، وكذلك إقامة الصناعات الوسيطة مثل الحديد والصلب والاسمنت والبتروكيماويات.

كذلك فإن دول أمريكا اللاتينية والهند ودول شرق أوروبا، قد دخلت مرحلة إحلال الواردات الثانية بعد الحرب العالمية الثانية، وقد تأثرت دول أمريكا اللاتينية (البرازيل - الأرجنتين وغيرها) بآراء الاقتصادي الكبير (راؤول بريبيش)، الذي نصح هذه البلاد بعدم جدوى الاعتماد على الصادرات لتحقيق معدل مرتفع للتنمية الاقتصادية، ونصح هذه الدول بتعميق النهضة الصناعية فيها بالانتقال إلى المرحلة الثانية من استراتيجية إحلال الواردات في أعقاب الحرب العالمية الثانية، فتأثرت الهند بالتجربة السوفيتية، وقامت دول شرق أوروبا بتقليد التجربة السوفيتية آخذة في الاعتبار ضيق نطاق أسواقها المحلية وقلة مواردها الطبيعية بالمقارنة بالاتحاد السوفيتي .

2. استراتيجية الإنتاج للتصدير

يمكن الإشارة إلى أن انخفاض معدل النمو الاقتصادي في الدول التي انتهجت استراتيجية إحلال الواردات دفع الكثير من هذه الدول إلى إجراء تعديل جذري على استراتيجية إحلال الواردات فيها بهدف الاهتمام بالتصدير، ومن الدول التي أدخلت هذه التعديلات في الاستراتيجية في منتصف الستينيات (الأرجنتين والبرازيل وكولومبيا)، ثم (المكسيك) بعد ذلك، وقد اشتملت الإصلاحات على:

أ- منح معونات إلى السلع الصناعية المصدرة.

ب- تخفيض الحماية الجمركية على السلع المستوردة.

ج- تعديل أسعار الصرف.

د- رفع أسعار الفائدة وجعلها تعطي أسعاراً إيجابية حقيقية.

و- إدخال تعديلات على أسعار الخدمات التي تقدمها المرافق العامة بهدف جعلها أسعاراً اقتصادية معقولة.

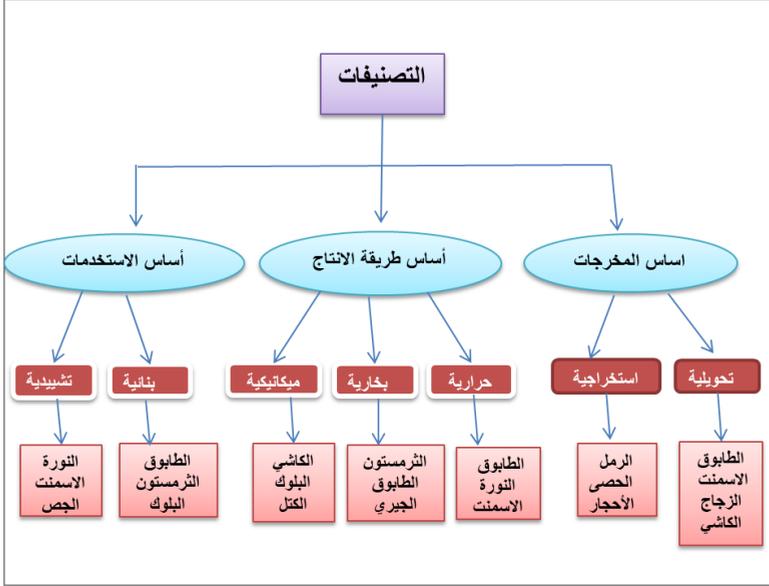
ولتنمية الصادرات يجب الاهتمام بالعمال والمديرين وتدريبهم؛ لضمان تخفيض التكاليف عن طريق زيادة إنتاجية رأس المال والعمل والتحسين المستمر في الإنتاج، والعمل على إدخال الأساليب الحديثة في الإدارة، ويلاحظ أن تعديل استراتيجية التصنيع بهدف تشجيع الإنتاج بهدف التصدير، لا يعني تفضيل التصدير على الإنتاج المحلي بهدف الإحلال محل الواردات، ومن أجل ذلك فإن الحوافز التي تقدم للصناعة بهدف التصدير تشابه الحوافز التي تقدم للصناعة التي تنتج للاستهلاك المحلي للإحلال محل الواردات.

المحور الثاني: صناعة مواد البناء والتشييد.

ترتبط صناعة المنتجات المعدنية اللافلزية والمقصود بها (مواد البناء والتشييد) ارتباطاً وثيقاً بالتقدم الحضري (العمراني)، وازدياد حجم مشروعات الإسكان والتشييد، فمنتجات هذا النشاط مطلوبة في جميع قطاعات التنمية الأخرى وتعد هذه الصناعة من الصناعات التحويلية الأساسية المهمة . إذ تبرز أهميتها في اعتمادها على الخامات الطبيعية المحلية المتوفرة في الدول بنسبة كبيرة جداً، يضاف إلى ذلك إن صناعة مواد البناء والتشييد شغلت مكانة مهمة من قطاع الصناعات التحويلية الأخرى في اغلب الدول، وهي من أكثرها تطوراً وازدهاراً، وقد ارتبط قيامها وتطورها بمشاريع البناء والإعمار والتوسع الحضري، إذ استطاعت أن توفر أغلب مواد البناء والتشييد لكافة المشاريع، فضلاً عن توفيرها للعملاء الصعبة في حالة عدم استيرادها من الخارج، إضافة إلى مساهمتها في دعم الاقتصادات الوطنية من خلال تصدير بعض المنتجات الأساسية من تلك المواد مثل الاسمنت ، فضلاً عن دور هذه المواد في تطوير الصناعة بشكل عام من خلال إنشاء أسس المكائن، ومنشآت المواقع الصناعية كافة، إضافة إلى ذلك فإن صناعة مواد البناء والتشييد تشغل الموقع الأول بين بقية الصناعات التي تعتمد على مواد خام غير نفطية (بتروولية) ، إذ تُعد الخامات الأولية المحتوية على عناصر مكونات صناعة مواد البناء والتشييد من أكثرها انتشاراً على وجه الأرض ، ولما يخلو مكان منها.

أولاً: مفهوم صناعة البناء والتشييد :

يأخذ مفهوم صناعة مواد البناء والتشييد إطاراً أكثر تحديداً ، إذ "يمثل هذا المفهوم المواد البنائية الصرفة مثل الطابوق المفخور والبلوك والكاشي والثرمستون والطابوق الجيري هذا من جهة ، ومن جهة ثانية ، هناك المواد للأصقة أو الماسكة مثل الاسمنت ، أما الاتجاه الأخر الثالث فيتمثل بالمواد الداخلة في صناعة مواد البناء والتشييد نفسها كمادة إنشائية مثل النورة ، إضافة إلى صناعات الحديد والصلب وعلى وفق ذلك يمكن أن يطلق على هذا النشاط الصناعي تسمية صناعة المواد البنائية والإنشائية" وللتوضيح أكثر أنظر الشكل البياني رقم (1).



الشكل رقم (1) تصنيف الصناعات التحويلية اللافلزية (مواد البناء والتشييد كبيرة الحجم)

ثانياً : مواد البناء والتشييد (أنواعها وتصنيفاتها).

أبرز أنواع مواد البناء الأساسية والفرعية الأخرى:

1- موادّ البناء: إنّ موادّ البناء ضرورية لمقاومة العوامل الطبيعية المختلفة والمؤثرة في الأبنية، وهناك العديد من الموادّ المستعملة في البناء، سواء موادّ صلبة كالحجارة والأخشاب أو سائبة كالرمال والإسمنت، ومن الضروريّ مطابقت موادّ البناء لمتطلّبات العمل ومعايير الجودة، وسنعرض في هذا المقال أنواع موادّ البناء.

2- الخرسانة: تُعرف أيضاً بالباطون، وهي من أهمّ المواد المستخدمة في البناء في الوقت الحالي، ويُمكن تعريفها بأنّها مادّة أو خليط يتشكّل من الماء، والإسمنت، والرمل، وأحد أنواع الركام كالزلط أو السن، وتخلط هذه المواد معاً ليتشكّل خليط متجانس عن طريق عملية تسمّى زمن الشك. وجديرٌ بالذكر أنّ الرومان هم أول من استخدم هذه المادّة قبل ألفين عام تقريباً، وقد استخدموها في مبانيهم للعديد من الأسباب، منها: قابليتها للتشكيل بسهولة، وقدرة أيّ شخص على القيام بها بعد تدريب بسيط، ومن أنواع الخرسانة:

3- المونة الخرسانية: هي خليط من الزلط الحمصاني مع كمية من مونة الرمل والإسمنت. الخرسانة الناعمة: هي الباطون، وتتشكّل من البحص الطبيعيّ أو الكسر الناتج عن الحجر الصلب مع كمية من الرمل النقيّ، إضافة إلى مقدار من البودرة الناعمة والإسمنت.

- 4- الخرسانة العادية: هي خرسانة النظافة، ولا تستخدم في الأبنية التي تتعرض لضغوطات أو أحمال، وتستخدم عادةً لتعبئة الفراغات الموجودة في المنشآت، أو لتثبيت التربة المبنية فوق تلك المنشآت.
- 5- الخرسانة المسلحة: يتم صبّها باستخدام قضبان الحديد لتدعيمها وزيادة قوتها وقدرتها على تحمل أوزان كبيرة، وتستخدم غالباً في الجسور، والأبنية المرتفعة، والأسقف.
- 6- الإسمنت: هو أهم مادة بناء على مستوى العالم، وغُرف من مئات السنين، وكان يعدّ من مخلفات البراكين، ثم تطوّر في العصور الوسطى وأصبح يعدّ من الحجر الجيري والصلصال، ثم في العصور الحديثة أصبح يعدّ بشكل رمليّ جاف.
- 7- الحديد: له العديد من الأنواع، منها ما يمتلك شكل قضبان اسطوانية بسماكات مختلفة، ومنها ما يأخذ شكل القضبان مضلعة الأطراف مخرصة الوسط، ويُستخدم الحديد في تدعيم الخرسانة وتقويتها، لتسمّى عندها بالخرسانة المسلّحة.
- 8- خشب الطوبار : هو خشب على هيئة قضبان طويلة وسطح مبسط كالموجود على مقاعد المنتزهات، ويُستخدم بهدف تشكيل المساحة المطلوب صبّ الخرسانة داخلها حتّى تأخذ شكل تلك المساحة.
- 9- الطوب: هو قطع على شكل متوازي المستطيلات، ويعدّ من الصلصال والماء، ويُستخدم في بناء جدران الأبنية ما بين الأعمدة، كما يوجد نوع منه يستخدم لبناء السقوف إلى جانب الحديد والخرسانة.
- 10- مواد أخرى:
 - الرمل الأبيض: هو مسحوق الحجارّة، ويُخلط مع الإسمنت والماء لتشكيل الخرسانة.
 - البلاط: تستخدم لتغطية أرضيات البناء، ويوجد منه العديد من الأنواع، منها: السيراميك، والجرانيت والرخام.
 - الحصى: فرش أسفل البلاط في الأبنية للحصول على سطوح مستوية، كما تستخدم كمية بسيطة منه في خليط الخرسانة لزيادة تماسكها مع الحديد.
 - الدهانات: تستخدم لطلاء الأبنية من الداخل بألوان مختلفة.

تصنيف صناعة مواد البناء والتشييد عالمياً وعربياً:

تمثل صناعة مواد البناء والتشييد فرعاً مهماً من الصناعات التحويلية، وتصنف مواد البناء والتشييد إلى أقسام متعددة وعلى أسس مختلفة، فمن حيث المخرجات على مجموعتين:

أ- الصناعات التحويلية: وتشمل الاسمنت، الطابوق، الزجاج، الملاط (الجص) والبلاط (الكاشي).

ب- الصناعات الاستخراجية: وتشمل بشكل خاص الرمل والحصى وتقطيع الأحجار.

وهناك تصنيفين آخرين:

أولهما: -

على أساس طريقة الإنتاج وتقسم على ثلاثة أقسام هي:

- 1- الطريقة الحرارية (الطابوق المفخور والنورة والسمنت).
 - 2- الطريقة البخارية (الثرستون والألواح والطابوق الجيري).
 - 3- الطريقة الميكانيكية (الكاشي، البلوك والكتل الكونكريتية - الجاهزة-)
- وثانيهما:

على أساس الاستخدامات وتقسم هنا على قسمين:

- 1- صناعة مواد البناء وتضم (الطابوق المفخور، الثرستون، الطابوق الجيري، البلوك والكتل الجاهزة).
- 2- صناعة مواد التشييد وتضم (السمنت والنورة).

وبهذا فقد بات واضحاً مما سبق إن هذه الصناعة ترتبط ارتباطاً مباشراً بالسكان والسكن، وتعتمد اعتماداً مباشراً على كثافة المواد الأولية، والأيدي العاملة، ورأس المال، وإن تطورها عبر هذه المدة من الزمن كان مرافقاً للتطور الذي أصاب حياة السكان والتطور التقني الواسع الذي قدمته البشرية لحياتها، فقد أصبح قطاع البناء والتشييد يمثل واحداً من القطاعات الأكثر استقطاباً للتطور والاستثمار، وجذب رؤوس الأموال، إذ يسير متوازياً مع زيادة السكان والمساكن والخدمات التي تعدّ مواد البناء والتشييد عمادها.

وإغلب التصنيفات العالمية والعربية تعطي لصناعات مواد البناء والتشييد الأولوية من ناحية الاهتمام بها وتطويرها، لتأثيرها الإيجابي بتحقيق قيمة مضافة للنتاج المحلي الإجمالي للدول، ومن هذه التصنيفات

التصنيف الألماني الذي تشغل فيه صناعة مواد البناء والتشييد المرتبة الخامسة فئة (أ)، والتصنيف الأمريكي الذي شغلت صناعة مواد البناء والتشييد المركز السابع عشر ، والاستشهاد بأحد الدول العربية وموقع صناعة مواد البناء حسب تصنيفها الصناعي وهي العراق كما هو موضح بالجدول رقم(1).

الجدول رقم (1): تصنيف أنشطة الصناعات التحويلية (الألماني، الأمريكي، العراقي) وموقع صناعة مواد البناء والتشييد فيه

التصنيف العراقي	التصنيف الأمريكي	التصنيف الألماني
1. استخراج البترول والغاز والمعادن.	1. الطاقة	أ.الصناعات الأساسية وتشمل :
2. الغذائية.	2. الحديد الصلب.	1. توليد الطاقة الكهربائية.
3. المنسوجات والألبسة الجاهزة.	3. الصهر.	2. التعدين.
4. الاحذية.	4. بناء وسائل النقل.	3. الصهر.
5. الخشب والأثاث.	5. بناء المكائن.	4. الكيميائية.
6. الورق والطباعة.	6. الكهربائية.	5. الإنشائية (البناء والتشييد).
7. الكيميائية.	7. العدسات.	بالصناعات المعدنية وتشمل:
8. الإنشائية (البناء والتشييد).	8. المنتجات المعدنية.	1. بناء المكائن.
9. المعدنية الأساسية.	9. الاخشاب.	2. الكهربائية.
10. المعدنية المصنعة.	10. الزجاج.	ج.الصناعات الخفيفة وتشمل :
11.تحويلية أخرى.	11.الورق.	1. المنسوجات والملابس الجاهزة.
	12. الطباعة.	2. الاخشاب.
	13. الجلود.	3. الجلود ومنتجاتها.
	14. النسيج.	4. لعب الاطفال.
	15. الملابس الجاهزة.	5. الطباعة.
	16. الكيميائية.	د.الصناعات الغذائية وتشمل :
	17. الإنشائية (البناء والتشييد).	1. طحن الحبوب.
	18. الغذائية.	2. الحلويات.
		3. السكر.

ثالثاً : خصائص صناعة مواد البناء والتشييد.

ويطلق عليها أحياناً الصناعات البنائية لأنها تدخل في عملية البناء ، و تمتاز تلك الصناعة بجملة من

الخصائص والميزات تجعل منها قطاعاً متميزاً عن بقية القطاعات، ومن أهم هذه المزايا :

1- توفر موادها الأولية محلياً (الكلس ، الجبس ، الرمل ، الحصى ، الطين ، الماء وغيرها).

2- يرتبط نشاطها وتطورها بالتطور الحضري والصناعي ،وزيادة مشاريع الإسكان والتشييد ، إذ تُعد من أولى الصناعات التي أُقيمت في العراق .

3- تعد من العناصر الأساسية في تنفيذ خطط التنمية لأي مكان .

4- تعد في كثير من الأحيان معياراً لمستوى التطور .

5- غالباً تستخدم المواد الأولية بشكل مباشر أو بتعامل بسيط مثل الطين أو الرمل أو الحصى أو الأحجار .

6- تستخدم مواد أولية كبيرة الحجم ورخيصة الثمن .

7- تحتاج إلى طاقة كبيرة ومستمرة للقيام بالعملية الإنتاجية .

8- لها دور واسع في جذب أكبر عدد ممكن من الأيدي العاملة سواء بشكل مباشر في العملية الإنتاجية أو عن طريق ثانوي أو تكميلي أو بشكل نهائي في قطاع التشييد والبناء .

9- لا تحتاج إلى عمليات تقنية متطورة جداً (معقدة) نسبياً ، في بعض مواقع صناعات مواد البناء والتشييد التي تعمل بالوسائل القديمة .

10- ارتباطها بالقوة الشرائية للأفراد من حيث مستوى الطلب على هذه المواد .

رابعاً : التحديات التي تواجه صناعة مواد البناء والتشييد .

تواجه الدول النامية ومنها الأفريقية والعربية تحديات في صناعة البناء والتشييد على الرغم من كونها

تحقق معدلات نمو متوسطة مقارنة ببعض دول العالم الأخرى ، كما أن صناعة البناء والتشييد هي مجال

تركيز وتجتذب اهتماماً إيجابياً وتركز كبرى الشركات ذات الوزن الثقيل الآن بشكل كامل في صناعة

الإنشاءات في تلك الدول .

ومع ذلك ، ليس هناك شك في أن الصناعة لا تزال تواجه الكثير من التحديات ولا تزال الشركات الكبيرة

والصغيرة تكافح لمواجهة التحديات ، وهنا نجد بعضاً من أكبر خمسة تحديات تواجه صناعة البناء

والتشييد في الدول النامية :

1- الارتفاع المستمر في تكاليف المشروع:

هذه هي واحدة من المشاكل التي تواجه صناعة البناء في الدول النامية ، وهناك ارتفاع مستمر في

تكاليف المشروع. هذا يرجع عملياً إلى ارتفاع أسعار الصلب والنفط ، بسبب ضعف العملة المحلية مقابل

الدولار .

2-قضايا الفساد:

عندما نتحدث عن البلدان النامية ، فإن الفساد مصطلح يجب أن يظهر كعامل يؤدي إلى تأخر التنمية.

وقد عانى الكثير على أيدي الأفراد الفاسدين والجريمة المنظمة. يُدعى أن بعض الشركات على سبيل

المثال تدفع مبالغ لكبار المسؤولين الحكوميين لتلقي عطاءات أدت إلى إضعاف صناعة البناء .

3- نقص العمالة الماهرة

لا يمكن التقليل من نقص العمالة الماهرة عند الحديث عن المشكلات التي تواجه صناعة البناء ، على سبيل المثال عندما تزداد فرص البناء في هذه البلدان ، يضطر بعض المقاولين إلى البحث عن عمل ماهر من دول أخرى يطلبون دائماً أجور مرتفعة جداً.

4- السلامة في الموقع:

هناك مشكلة أخرى يواجهها قطاع البناء وهي السلامة في الموقع. هناك طلب كبير على مطالبات التأمين والتعويض من الإصابات الخطيرة التي تحدث في المواقع. نظراً لأن الصناعة تنفق أكثر على التأمين والتعويض ، فلن يكون هناك أموال كافية لتعزيز الإنتاجية.

5- قيود العرض الرأسمالي:

مع ظهور المزيد من المشاريع في مختلف البلدان النامية، من الواضح أن اتخاذ المزيد من الإجراءات لمحافظة للإقراض من جانب البنوك يحد من ثقة المستثمرين بسبب الصعوبة المتزايدة والركود في الحصول على الائتمان. من الصعب على شركات إقراض المال مد أيديهم من الخدمة. وذلك لأن جميع خدمات الإقراض تقريباً في تلك البلدان فقدت الثقة في اقتراض أموال شركات المقاولات.

المحور الثالث: صناعة مواد البناء والتشييد في الوطن العربي (الواقع والمأمول).

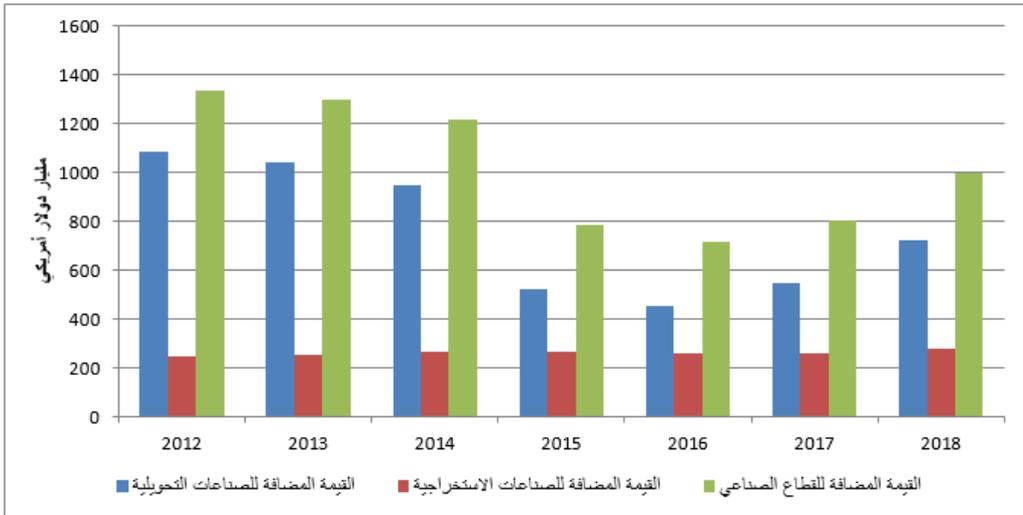
تأتي أهمية صناعة البناء والتشييد في دول العالم اجمع في مقدمة استراتيجيات صانعو السياسات الاقتصادية لما تقدمه من قيمة مضافة للنتاج المحلي الاجمالي ، وبالتالي فهي تعتبر وسيلة لتحقيق التنمية الاقتصادية وتقليص الفجوة بين دول الشمال المتقدم والجنوب المتخلف ، لان الصناعة تتميز عن سواها من الانشطة الاقتصادية بمساهمتها العالية في تحقيق الاهداف العامة للنمو. أولاً: الانتاج الصناعي في الوطن العربي.

بلغ الناتج الصناعي في الدول العربية في العام 2018م حوالي 999.6 مليار دولار مقارنة بحوالي 805 مليار دولار في العام 2017م وبمعدل نمو بلغ 24.2 % ، ويعود الى عدة اسباب منها ارتفاع اسعار النفط من متوسط سعر قدره 52.4 دولار للبرميل في العام 2017م إلى متوسط سعر قدره 69.8 دولار للبرميل في العام 2018م.

كما شكلت مساهمة القطاع الصناعي العربي في الناتج المحلي الاجمالي العربي في العام 2018م حوالي 37.2%، وتراوحت على مستوى الدول بين 64.9% و 5.1% وبلغت مساهمة قطاع الصناعة الاستخراجية والتحويلية في الناتج المحلي الاجمالي لعام 2018م على التوالي 26.8% و 10.4% كما هو موضح بالجدول رقم (2).

الجدول رقم (2) قيمة الناتج الصناعي العربي (بالأسعار الجارية) (2012-2018م) مليار دولار

إجمالي القطاع الصناعي			الصناعات التحويلية			الصناعات الاستخراجية			السنة
المساهمة في الناتج المحلي الإجمالي (%)	معدل النمو السنوي (%)	القيمة المضافة	المساهمة في الناتج المحلي الإجمالي (%)	معدل النمو السنوي (%)	القيمة المضافة	المساهمة في الناتج المحلي الإجمالي (%)	معدل النمو السنوي (%)	القيمة المضافة	
49.3	11.7	1337.6	9.2	9.3	249.1	40.1	12.3	1088.5	2012
46.9	-2.8	1299.7	9.2	2.5	255.5	37.7	-4.1	1044.2	2013
43.6	-6.2	1218.9	9.6	4.9	268.1	34.0	-8.9	950.8	2014
32.0	-38.7	784.3	10.7	-2.0	262.8	21.3	-45.1	521.5	2015
29.6	-8.9	714.7	10.9	-0.1	262.5	18.7	-13.3	452.2	2016
32.4	12.6	805.0	10.4	-1.2	259.2	22.0	20.7	545.8	2017
37.3	24.2	999.6	10.4	8.0	280.0	26.8	31.9	719.6	2018



الشكل رقم (2) تطور القيمة المضافة لكل من القطاع الصناعي والصناعة الاستخراجية والتحويلية في الوطن العربي للفترة (2012-2018م)

ثانياً: صناعة البناء والتشييد في الوطن العربي.

يعد قطاع البناء والتشييد من القطاعات الأكثر نشاطاً في الدول العربية ويعود سبب ذلك إلى الوفرة المالية في الدول النفطية، والمعدل العالي لنمو السكان الذي يتطلب بناء وتشديد مزيد من المساكن والبنى الأساسية والخدمات العامة وصناعة مواد البناء.

وقد ساهمت حركة البناء والتشييد وصناعات مواد البناء وخدماتها في توفير فرص عمل واسعة ومصادر دخل لأطراف عديدة تعمل في هذا القطاع الذي يساهم في توفير ظروف معيشية أفضل وتنمية أشمل ، حيث ساهم قطاع البناء والتشييد في الناتج المحلي الإجمالي للدول العربية في العام 2018م بحوالي 173.4 مليار دولار أمريكي ، مقابل 173.7 مليار دولار في العام 2017م ، وكانت أعلى مستويات البناء والتشييد في السعودية بناتج بلغ حوالي 40.4 مليار دولار ، تلتها الإمارات بحوالي 34.5 مليار دولار ، تم قطر بناتج بلغ حوالي 28.8 مليار دولار ، فالجزائر بناتج بلغ 20.8 مليار دولار ، تم مصر بحوالي 14.5 مليار دولار ، وتراوحت القيمة المضافة لقطاع البناء والتشييد بين 5 إلى 9 مليار دولار في كل من العراق ، المغرب ، عُمان ، وساهم القطاع بناتج تراوح بين مليار دولار و 5 مليار دولار من الناتج في كل من البحرين ، الكويت ، لبنان ، السودان ، الأردن ، وكانت مساهمة القطاع في بقية البلدان العربية بناتج أقل من مليار دولار في العام 2018م ، والجدول التالي رقم (3) يوضح ذلك .

الجدول رقم (3) ناتج قطاع البناء والتشييد (بالأسعار الجارية) للفترة 2000 - 2018م (مليون دولار أمريكي).

2018	2017	2016	2015	2014	2010	2005	2000	السنوات
173.363	173.736	172,525	174,742	167,811	127,078	60,922	39,104	مج الدول العربية
1,228	1,220	1213	1,180	1159	913	388	206	الأردن
34,544	33956	33715	34770	33293	31842	15769	9548	الإمارات
3,101	2,871	2544	2299	2126	1914	617	259	البحرين
524	544	617	665	734	615	475	326	تونس
20.771	19845	18931	19076	22269	16899	7693	4449	الجزائر
122	117	106	100	102	129	48	33	جيبوتي
40,399	41225	42553	43460	40791	24208	15568	11126	السعودية
1,186	3653	3685	3271	2827	3648	1570	460	السودان
215	131	139	251	470	2186	1075	586	سورية
9,040	13115	10374	17699	16380	8772	1823	118	العراق
5,165	5500	5959	5376	4952	3417	1188	414	عُمان
932	939	843	738	751	361	284	314	فلسطين
28,818	25024	21176	16674	13745	7555	2402	640	قطر
22	20	19	19	23	20	20	11	الْقَمَر
3,082	3027	3231	3269	3363	2546	1497	800	الكويت
2,148	1873	2124	2198	2631	1480	823	1347	لبنان
878	808	513	567	1095	4470	2048	1984	ليبيا
14,457	13197	18055	16341	13657	9522	3343	4433	مصر
6,358	6159	5901	5593	6378	4918	3438	1627	المغرب
0	0	0	0	0	0	0	0	موريتانيا
374	511	827	1196	1066	1662	853	424	اليمن

خلاصة البحث:

تمتاز المنطقة العربية بوفرة احتياطياتها من مصادر الطاقة بوجه عام وغير المتجددة بوجه خاص ، إلا أنه لاتزال الهيمنة على معظم هياكل الاقتصاد للصناعات الاستخراجية مقابل حصة أقل للصناعات التحويلية التي تتسم بتدني مستويات المحتوى التقني وغلبة التصنيع التجميعي الموجه للسوق المحلية والتصدير المعتمد على الاجور المنخفضة نسبياً لليد العاملة ، ولا تزال العديد من الدول العربية تعاني من عدم قدرة القاعدة الإنتاجية فيها على توفير عرض متنوع بالكمية والنوعية والجودة والتنافسية المطلوبة ، ويتجلى ذلك في ضعف مساهمة الصناعات التحويلية في الناتج المحلي الإجمالي والصادرات وفرص العمل مقارنة بالدول المتقدمة والناشئة ، وبذلك فالدول العربية بحاجة الى تعزيز جهودها لتنوع اقتصادياتها وهايكلها الإنتاجية بالتوسع في تنمية وتنوع الصناعات التحويلية .

ولدور الدولة أهمية كبيرة في إزالة المعوقات وتحفيز الاستثمار والمبادرة الخاصة في القطاعات الصناعية الموجهة إلى الاسواق العالمية.

ثالثاً: الخاتمة

تتضمن أهم النتائج والمقترحات التي توصل إليها الباحث من خلال الدراسة والبحث:

النتائج:

ومن أهم النتائج التي تم التوصل إليها ما يلي:

- 1.تمتاز المنطقة العربية بوفرة احتياطياتها من مصادر الطاقة بوجه عام وغير المتجددة بوجه خاص إلا أنها غير مستغلة الاستغلال الامثل القادر على خلق مصادر بديلة للدخل غير النفط.
- 2.لاتزال الهيمنة على معظم هياكل الاقتصاد للصناعات الاستخراجية مقابل حصة أقل للصناعات التحويلية التي تتسم بتدني مستويات المحتوى التقني وغلبة التصنيع التجميعي الموجه للسوق المحلية والتصدير المعتمد على الاجور المنخفضة نسبياً لليد العاملة.
- 3.تعاني العديد من الدول العربية من عدم قدرة القاعدة الإنتاجية فيها على توفير عرض متنوع بالكمية والنوعية والجودة والتنافسية المطلوبة، ويتجلى ذلك في ضعف مساهمة الصناعات التحويلية في الناتج المحلي الإجمالي والصادرات وفرص العمل مقارنة بالدول المتقدمة والناشئة.

التوصيات:

- من خلال نتائج الدراسة والبحث وما تم التوصل إليه هناك العديد من التوصيات التي يوصي بها الباحث لعلها تسهم في وضع حلول لبعض الإشكاليات القائمة حول مشكلة الدراسة وهي كالتالي:
- 1- ضرورة تبني سياسات وإجراءات خاصة بمساعدة مصنعي مواد البناء في دول العربية والتوجه للصناعات الصديقة للبيئة المتناغمة مع استراتيجيات التنمية المستدامة.
 - 2- العمل على اعتماد مواصفات ومقاييس موحدة لهذه الصناعات، والعمل مع مصنعي مواد البناء لإنشاء مختبرات متخصصة لتحقيق المواصفات التي يمكن أن تجعل من هذه الصناعات منافسة محلياً ودولياً لتكون هذه الصناعات ذات كفاءة اقتصادية عالية.
 - 3- الاستفادة من تجارب الدول الرائدة في مجال صناعة مواد البناء والتشييد للاستفادة من الايجابيات ومحاولة تلافي السلبيات.
 - 4- تعزيز التجارة البينية والتكامل الاقتصادي فيما بين دول الجوار خاصة والعربية بوجه عام والتجارة الدولية في هذه المواد، لتحقيق القيمة المضافة المرجوة من هذه الصناعات.
 - 5- العمل على جعل هذه الصناعات ذات جودة عالية لتعزيز قدراتها التنافسية والاهتمام بقضايا البحث والتطوير، والمواصفات العالمية التي تجعل منها صناعة رائدة.
 - 6- الصناعات الصغيرة والمتوسطة لها دور كبير في دعم وتعزيز صناعة مواد البناء والتشييد من خلال ما توفره من مواد مكملة لبعضها البعض.
- محاولة الاستفادة قدر الإمكان من مؤسسات وهيئات ضمان وتشجيع الصادرات بما يدعم صناعة مواد البناء والتشييد لتكون لها القدرة على التصدير.

المصادر والمراجع:

أولاً: الكتب.

1. صبحي قنوس وآخرون: التحولات السياسية والاقتصادية والاجتماعية في ليبيا (ليبيا في ثلاثون عام)، الدار الجماهيرية للنشر والطباعة والتوزيع، 2000.
2. عبله عبد الحميد بخاري، اقتصاديات الصناعة، جامعة الملك عبد العزيز، المبحث الأول، 2018.
3. فليح حسن خلف: اقتصاديات الوطن العربي، منشورات الجامعة المفتوحة، 1994.
4. عبد المطلب عبد الحميد: السياسات الاقتصادية على مستوى الاقتصاد القومي، مجموعة النيل العربية للنشر والطباعة، 2002.
5. محمد محروس إسماعيل: اقتصاديات الصناعة والتصنيع، مؤسسة شباب الجامعة للنشر، الإسكندرية، 1992.

6. رياض المسعودي، صناعة مواد البناء والتشييد "كبيرة الحجم" في محافظة كربلاء من 1996 الى 2004م.

ثانياً: الرسائل العلمية والمؤتمرات.

1. نصر عبد الرحمن المحتوت: تقييم وضع الصناعة العربية واستشراف مستقبلها في ضوء المتغيرات الاقتصادية الدولية، رسالة ماجستير غير منشورة، أكاديمية الدراسات العليا- طرابلس، 2005.

2. أبو القاسم سالم عبد الله دوة: الصناعات التحويلية ومساهمتها في الناتج المحلي الإجمالي في ليبيا (1970 - 1998)، رسالة ماجستير، أكاديمية الدراسات العليا- طرابلس، 2002.

3. نجاح الطاهر البيباص: الآثار المحتملة لانضمام الدول النامية إلى منظمة التجارة العالمية على الصناعات الصغرى، رسالة غير منشورة، أكاديمية الدراسات العليا- طرابلس، 2005.

4. صبحي أحمد الدليمي، التوزيع المكاني للصناعات الإنشائية الكبيرة في محافظة الأنبار (دراسة جغرافيا الصناعة) رسالة غير منشورة، جامعة الأنبار 2003 .

5. عمر مفتاح رموح: دور الصناعة في تحديد ملامح الاقتصاد الليبي، حلقة نقاش حول هوية الاقتصاد الليبي ومهمة التخطيط، 28 / 9 / 2002.

ثالثاً: شبكة المعلومات الدولية.

1. () www.mawdoo3.com /21/06/2017م.

2. www.equiti.com /06/11/2017م.

3. www.ar.constructionreviewonline.com

4. صندوق النقد العربي، التقرير الاقتصادي العربي الموحد الناتج الصناعي للصناعات (الاستخراجية والتحويلية) القطاع الصناعي، التقرير العربي الموحد سنوات مختلفة.

تقييم تأثير الخواص الميكانيكية للخرسانة على خدمة العناصر الإنشائية وسلامة المنشآت الحافظة للسوائل

أمين مصطفى بوزيد

ماجستير في الهندسة المدنية، درنة، ليبيا

للمراسلة aminbouzid6890@gmail.com

المخلص

كثير من المنشآت الخرسانية قد انهارت خدما بسبب حدوث تشققات عميقة في العناصر الإنشائية أدت إلى ضعفها وتآكلها وتشوهها وازدادت بالأحمال المسلطة عليها وأدت أيضا إلى تسربها للسوائل الحافظة لها، تدرس هذه الورقة تأثير الخواص الميكانيكية للخرسانة على خدمة العناصر الإنشائية و سلامه المنشآت الحافظة أو الناقلة للسوائل، الخرسانة هي مادة غير متجانسة مكونه من خليط لأنواع مختلفة من الصخور وبالتالي التكهن بسلوكها الثابت تحت تأثير الأحمال غير دقيق، لذلك يجب لكل خلطه خرسانية تحديد سلوكها من خلال الخواص الميكانيكية التي تصف تشوهها تحت تأثير الإجهادات، تحدث في الخرسانة أنواع مختلفة من التشققات في العناصر الإنشائية مثل التمدد والانكماش بسبب درجات الحرارة، وبسبب الهبوط للمنشآت، وبسبب الأحمال الزائدة، وبسبب فقد الماء، وبسبب الهز أثناء الصب، وبسبب عدم المعالجة الجيدة، وبسبب ارتفاع نسبه المونة في الخلطة، وبسبب تآكل حديد التسليح، وبسبب الإضافات للحصول على المقاومة المبكرة، لذا تهدف هذه الورقة إلى تحديد تأثير سلوك الخرسانة في التشوه لكل خلطه خرسانية على حدوث أو زيادة حجم الشقوق في العناصر الإنشائية، وبالتالي إمكانية خفض عرض الشقوق أو التقليل من حدوثها لزيادة سلامه العناصر الإنشائية خدما و منع تسريب السوائل بها.

باستخدام البلاطات الخرسانية (Flat Plate, Flat Slab, Tow Way Slab) لتطبيق حاله الدراسة، ووفقا لبحوث اختباراتها في جامعه إينوي في ولاية إينوي الأمريكية عام 1961م، وحسب المواصفات الأمريكية لتحديد أسباب الشقوق وطرق قياسها وأساليب معالجتها (ACI 224.1R, ACI 302.1R)، تشير نتائج البحث إلى أن عرض الشقوق في البلاطات الخرسانية قد زاد باستخدام تأثير قيم معامل يصف تشوه الخرسانة (الخواص الميكانيكية)، وبالتالي فان التحكم به يمكن أن يقلل من عرض الشقوق والحد منها، حيث بين التحليل أن مقدار التشوه للعنصر الإنشائي الذي تصفه الخواص الميكانيكية للمادة له تأثير واضح على تقليل أو زيادة عرض الشقوق، وبالتالي يمكن استخدام هذه النتائج لتحسين أداء العناصر الإنشائية الحافظة للسوائل لتقليل تسريب السوائل داخلها، لذلك يوصى بأخذ تأثير قيم الخواص الميكانيكية التي تصف سلوك الخرسانة في التشوه في الاعتبار بتحديدتها والتحكم بها وذلك خلال إجراء اختبارات كسر المكعبات وأن لا تترك للتخمين التقريبي المعتمد على الحالات سابقة.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة، سلوك الخرسانة، الخواص الميكانيكية، التشوه، الشقوق، الخدمية، التسريب.

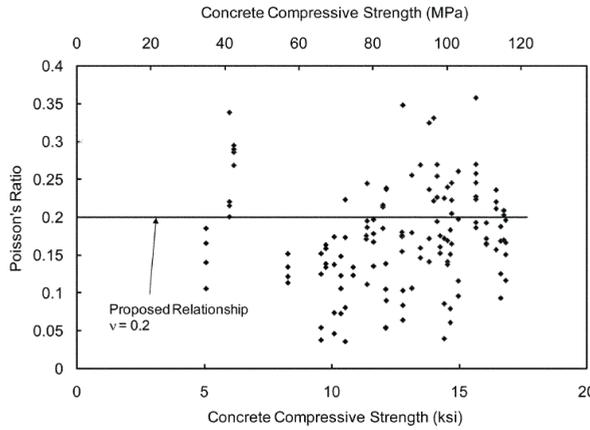
المقدمة

من الأهداف المهمة في الهندسة المدنية هو تمديد دورة حياة المنشآت نظراً لمحدودية الموارد أو حتى زيادة تكلفه الإنشاءات الجديدة، ولجعل المنشآت أمنه خديماً وسليمة من تأثيرات تسريبات المواد الحافظة لها يكون بدراسة سلوك الخرسانة المسلحة بشكل أدق و زيادة المراقبة أثناء عمليات التنفيذ والمعالجة، أحد أهم العلامات الرئيسية للدليل على سلامه المنشآت الخرسانية هي الشقوق التي تشير إلى المناطق الضعيفة والقوية في العناصر الإنشائية، لازالت تشكل الشقوق وتحديد أسبابها في المنشآت الخرسانية تحدياً للمهندسين من عقود، والتقليل والحد منها هو مجال أبحاث مستمر سواء بالاعتماد على تحسين مكونات الخلطة الخرسانية أو باستخدام الإضافات لمكون الخلطة أو بالإرشادات أثناء عمليات التنفيذ والمعالجة لتقليل من حدوثها، أنواع الشقوق في الخرسانة كثيرة ويصعب فهمها، وعندما تحدث شقوق في العناصر الإنشائية فإنه يفترض وجود خطأ خلال التنفيذ وهذا ليس الصحيح دائماً، هناك بعض أنواع من الشقوق لا مفر منها لذلك لا يمكننا الا القيام بالتحكم بها ومعالجتها، بعض التشققات لا تشكل أي خطر إنشائي ولكن إذا تركت بدون إصلاح فإنها توفر قنوات لاختراق الرطوبة التي تؤدي إلى الضرر في المستقبل، أن كثرة الشقوق تؤدي إلى زيادة نفاذية الخرسانة نظراً لأن عملية التدهور في المنشآت الخرسانية تبدأ بتسرب المواد المختلفة التي تؤدي إلى تلف العناصر الإنشائية و انخفاض متانة وسلامه المنشآت الخرسانية.

هناك نوعين من الشقوق، أولاً الشقوق غير الإنشائية تحدث بسبب الإجهادات الداخلية في مواد الإنشاء وعادة لا تعرض السلامة للخطر ولكن قد تبدو سيئه المظهر أو تخلق انطباعاً عن العمل الخاطئ أو تعطي شعوراً بعدم الاستقرار، ثانياً الشقوق الإنشائية تنتج عن التصميم الغير صحيح أو التنفيذ الخاطئ أو التحميل الزائد وقد تهدد سلامة المبنى، مثل شقوق البلاطات و الكمرات والأعمدة والقواعد، هناك أيضاً نوعان من الشقوق اعتماداً على وقت الحدوث كالشقوق البلاستيكية والشقوق الصلبة، أي تصنف الشقوق على أساس نشاطها ووقت حدوثها وعرضها ومكونات الخلطة الخرسانية، فعلى أساس النشاط تكون الشقوق من نوعين الشقوق النشطة والشقوق الخاملة والتي تحدث في الخرسانة البلاستيكية (التشقق الخرساني البلاستيكي) بسبب فقدان السريع جداً للرطوبة وذلك لانخفاض الرطوبة والرياح أو ارتفاع درجة الحرارة، وتعتمد شقوق الانكماش (التشقق الخرساني الصلب) على فقدان الرطوبة من مكون مونه الأسمنت مما يؤدي إلى انخفاضها في مقابل الحجم.

الخواص الميكانيكية هي خصائص توضح رد الفعل عند حمل مطبق، الخصائص الميكانيكية التي تم أخذها في الاعتبار هي القوة والليونة والمرونة والصلابة ومقاومة الصدمات وصلابة الكسر، تؤثر

الخواص الميكانيكية للخرسانة علي سلوكها تحت تأثير الاجهادات، حيث من أهمها هو معامل المرونة الذي يصف تشكل المادة لكل وحده إجهاد مؤثر، هذا يعتمد علي الانفعال للمادة الذي يتناسب خطيا مع الحمل المؤثر، ولكن وبما إن الخرسانة هي خليط لأنواع مختلفة من الصخور وبالتالي لن يكون سلوكها ثابت تحت تأثير الاجهادات، وهذا ما يتبين في مخطط العلاقة بين نسبه بواسون التي تصف تشكل المادة و الاجهادات القصوى المتمثلة في مقاومه كسر المكعب الخرساني، حيث إن نسبة بواسون تصف تمدد و تقلص مادة في اتجاهات متعامدة مع اتجاه التحميل، إن وجود عده قيم لنسبه بواسون لنفس مقاومه ضغط الخرسانه كما بين الاختبار يدل على أن سلوك الخرسانه غير ثابت تحت الاجهادات، وبالتالي فان فحص تأثير تغير الخواص الميكانيكية للخرسانه على الاجهادات في العناصر الإنشائية أساسي للحد و التقليل من اجهادات الشد التي تؤدي إلي حدوث التشققات في سطح الخرسانه.



شكل رقم (1): يوضح العلاقة بين نسبة بواسون (ν) ومقاومة ضغط الخرسانة (F_c)

يبين الشكل أن انفعال الخرسانة غير ثابت مع تغير مقاومة ضغط الخرسانة، وإن اخذ نسبه بواسون كرقم تقريبي عام مساوي إلي 0.2 غير دقيق.

2. مراجعة المواصفات و الدراسات السابقة

تقول المواصفة الأمريكية الخاصة بتنفيذ البلاطات والعناصر المستوية [1]، ACI 302.1R-04 في الفقرة 11، أن الخرسانة مادة غير متجانسة وبالتالي تتأثر جودتها سلبًا بالظروف التي لا يتحكم فيها المصمم أو المقاول، لذا يجب معرفة الظروف والأسباب التي يمكن أن تسبب عيوبًا في الأسطح والبلاطات الخرسانية، ومن خلال السيطرة علي أسباب بعض العيوب من الممكن التقليل من احتمالية تحقيق نتائج غير جيدة، من أسباب عيوب أسطح الأرضيات والبلاطات الخصائص الكامنة لخرسانة للأسمت البورتلاندي مثل تشقق الجفاف والتشققات الإنشائية، وبالتالي العيوب الأكثر شيوعًا تنجم عن

الفشل في إتباع القواعد الأساسية للتشطيب الخرساني، سبب آخر شائع لعيوب سطح الأرضيات والبلاطات هو عدم المعالجة الفورية خاصة في الطقس الجاف أو العاصف، حيث تحدث شقوق الخرسانة كما في الشكل رقم (2) من عدة أسباب مثل الإجهاد الداخلي أو الخارجي وذلك بسبب تغيير الحجم بسبب عوامل : انكماش الجاف ، والانكماش الحراري ، واستقرار التربة ، والأحمال المطبقة، وبالتالي يمكن تقليل حجم التشقق بشكل كبير عندما يتم فهم الأسباب واتخاذ خطوات الوقائية، ولكن المواصفة ACI 302.1R-04 لم تتحدث عن تأثير الخصائص الميكانيكية للخرسانة علي سلوك العناصر الإنشائية في التشوه، كتأثير نسبه بواسون علي حدوث زيادة في الإجهادات تؤدي سلبا إلي زيادة عرض الشقوق واتساعها.



شكل رقم (2) يوضح الشقوق في البلاطات الخرسانية المسلحة

تقول المواصفة الامريكيه [2]، ACI 224R-01 في الفقرة (4.3) أن التحكم في تشقق ألواح والبلاطات ثنائية الاتجاه وتحديد عرضها هو وفق معادلات التحكم في تشقق الكمرات والتي التي تم تطويرها في للألواح والبلاطات ذات اتجاهين كما في المصدر [3]، (Nawy and Blair-1971)، ولكنها لم تشير إلى طرق تصميمها او كيفية تسليحها، يتم التحكم في عرض التشقق في الألواح والبلاطات ذات الاتجاهين من خلال مستوى الإجهاد للفولاني والتباعد في التسليح في الاتجاهين المتعامدين، بالإضافة إلى ان يكون الغطاء الخرساني في الألواح والبلاطات ثنائية الاتجاه ثابتاً تقريباً 20 مم او (4/3 بوصة) لمعظم انواع البلاطات حيث أنه مؤثر رئيسي في معادلات التحكم في التشقق، قدمت من خلال تحليل البيانات حول التصدعات في الألواح والبلاطات ثنائية الاتجاه من قبل (Nawy and Blair-1971)، المعادلة التالية للتنبؤ بأقصى عرض للشقوق والمذكورة في الفقرة (3.4-ACI 224R-01) :

$$w = k * \beta * f_s * \sqrt{I} \dots \dots \dots (1)$$

حيث يطلق على (I) بمؤشر الشبكة ويحسب من:

$$I = \frac{d_{b1} s_2}{\rho_{t1}} = \left[\frac{s_1 s_2 d_c}{d_{b1}} - \frac{8}{\pi} \right] \dots \dots \dots (2)$$

$k =$ معامل التشقق بقيمة من $k = 2.8$ للبلاطات والألواح المربعة المقيدة بشكل موحد، بالنسبة للأحمال أو التفاعلات المركزة أو عندما تكون نسبة المدى القصير إلى الطويل أقل من 0.75 و أكبر من 0.5، يمكن تطبيق قيمة $k = 2.1$ لنسب أبعاد الامتداد أقل من 0.5 تأخذ $k = 1.6$.
 $\beta = 1.25$ ، يتراوح بين 1.20 و 1.35.

$F_s =$ متوسط الإجهاد الفعلي، أو 40% من قوة الخضوع المحددة f_y .

$d_{b1} =$ قطر التسليح الأقرب إلى الألياف الخارجية للخرسانة.

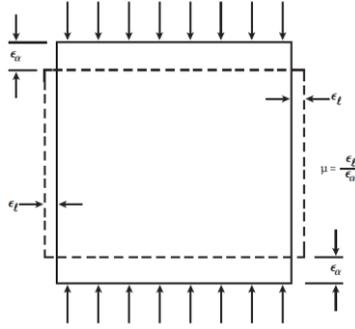
$S_1 =$ تباعد التسليح الطولي.

$S_2 =$ تباعد التسليح العمودي.

$\rho_{t1} =$ نسبة الحديد الرئيسي.

$w =$ عرض الشق عند سطح الخرسانة بسبب الانحناء.

المواصفة الأمريكية [4]، ACI 318-19 لم تحدد إي قيمه لنسبه بواسون في إصدار 2019م ولكن أشارت إلي مواصفة (ASTM-C469) الخاصة بطرق قياسها عمليا، يوصى المصدر [5] بأن قيمه نسبه بواسون للخرسانة المسلحة تتراوح بين 0.15 إلي 0.20، و أيضا يقول بأن لنسبه بواسون تأثير على الأعمدة الخرسانية أثناء تحميلها، حيث عند حدوث تقصير لها طولي تتمدد أفقيًا وذلك اعتمادًا على نسبة بواسون، وفقا للمواصفة [6] الخاصة باختبارات المواد ASTM، نسبة بواسون للخرسانة في الضغط يمكن قياسها بالطرق المبينة في مواصفة رقم (ASTM-C469) والقيم الديناميكية لها يمكن أن تقاس وفق المواصفة رقم (ASTM-C215)، حيث اكتفت المواصفة ASTM بتحديد طرق قياسها ولم تشير إلي أي قيم يمكن أخذها بالاعتبار، المواصفة ACI-318 [7] في الإصدار 2014 لم تحدد إي قيمه لنسبه بواسون، يقول المصدر [8] أن نسبه بواسون تتراوح بين 0.26 إلي 0.3 للخرسانة المسلحة، يقول المصدر [9] بأن نسبة بواسون تتراوح قيمتها من 0.11 للخرسانة ذات القوة العالية إلى 0.21 للخرسانة متوسطه المقاومة، بمتوسط قيم حوالي 0.16، ويقول أيضا انه في تصميم البلاطات الخرسانية أحاديه الاتجاه (عناصر المستوية) يفترض أن نسبة بواسون تكون مساوية إلي الصفر، يقول المصدر [10] أن نسبة بواسون تتراوح بين 0.15 إلي 0.20 للخرسانة خفيفة الوزن، ولا تستخدم نسبة بواسون في التحليل الإنشائي للبلاطات المسطحة ولكن تستخدم في الأنفاق والخزانات والسدود المقوسة و المنشآت الأخرى غير محددة بشكل ثابت، و تكون نسبة بواسون مساوية إلى 0.25 كقيمته متوسطه، يوصى المصدر [11] أن تؤخذ نسبة بواسون مساوية إلي 0.2 للخرسانة المسلحة، يقول المصدر [12] أن نسبة بواسون الشائعة المستخدمة هي بين 0.20 إلى 0.21، لكن القيمة تختلف من 0.15 إلى 0.25 اعتمادًا على محتوى الرطوبة وعمر الخرسانة ومقاومة الضغط.



شكل رقم (3) يوضح الانفعال الجانبي إلى المحورية

يوصى مرجع [13] بأن قيمه بواسون للخرسانة المسلحة التقليدية مساوية إلى 0.2، المواصفة الأمريكية [14]، ACI 318-11 في إصدار 2011 لم تذكر أي تحديد لقيم نسبة بواسون في نسختها، تحدث ملحق [15] للمواصفة ACI318-11 في الفقرة 19.2.1 أن في التحليل والتصميم يكون السلوك المرن أساساً مقبولاً لتحديد القوى الداخلية والإزاحات للقشريات والمنشآت الرقيقة، يسمح بهذا السلوك من خلال الحسابات على أساس تحليل إنشائي للخرسانة الغير المتشققة والتي تفترض أن المادة مرنة خطياً ومتجانسة و لذلك يسمح بأخذ نسبة بواسون للخرسانة مساوية للصفر، يقول المصدر [16] ان نسبة بواسون وفقاً للمواصفة: ASTM C469 لطرق تحديد وقياس نسبة بواسون، ان متوسط قيم نسبة بواسون لجميع الاسطوانات المختبرة هو 0.17 مع انحراف معياري 0.07، بشكل عام النطاق المقبول لنسبة بواسون بين 0.15 الي 0.25 ، بينما يُفترض عمومًا أنها 0.2 كقيمه متوسطه، يقول مصدر [17] أن قيم نسبة بواسون للخرسانة المسلحة تتراوح بين 0.15 إلى 0.25، حيث يدخل في التأثير عليها عوامل الركام ومحتوى الرطوبة وعمر الخرسانة ومقاومة ضغط الخرسانة، ويؤكد المرجع [18] بأخذ قيمه نسبة بواسون مساوية إلى 0.22 لتصف الانفعال العرضي إلى الطولي للخرسانة المسلحة، مع تنبيه في جدول رقم (14.7) إلى أن نسبة بواسون للخرسانة هي 0.15، و يقول أيضا بان نسبة بواسون لـ RCC لقيم الخرسانة الكتلية تتراوح بين 0.18 إلى 0.24 وذلك اعتمادًا على العمر الخرساني والركام والمقاومة وتقليل من نسب المخاليط ذات الركام الناعم ولكن يفترض بالعموم أخذها مساوية إلى 0.2، يقول المصدر [19] أن نسبة بواسون الشائعة المستخدمة هي 0.20 إلى 0.21، ولكن قد تختلف القيمة من 0.15 إلى 0.25 اعتمادًا على الركام ومحتوى الرطوبة وعمر الخرسانة وقوة الضغط، و بشكل عام لا تهم المصمم الإنشائي في التحليل الإنشائي للبلاطات و الألواح المسطحة والقشريات والسدود المقوسة وأسس الحصير، يقول مصدر [20] أن لنسبة بواسون تأثير جانبي علي إجهادات الانحناء في العناصر الإنشائية المقاومة للعزوم، و المصدر رقم [21] لم يحدد قيمه لنسبه بواسون للخرسانة، يقول المصدر [22] بان نسبة الانفعال الجانبي إلى الطولي يشار إليه بنسبة بواسون حيث تختلف قيمته من حوالي

0.11 للخرسانة ذات القوة العالية إلى 0.21 للخرسانة الأضعف بمتوسط قيم حوالي 0.16، ويقول أيضا بأنه هناك علاقة مباشرة بين قيمة النسبة و قيم العناصر مثل نسبة الماء إلى الإسمنت وكمية المعالجة والحجم الكلي ولكن يقول بالنسبة لمعظم التصاميم الخرسانية المسلحة لا يتم النظر في نسبه بواسون أن لها تأثير، ومع ذلك قد يكون من الضروري النظر في تحليل وتصميم السدود المقوسة والأنفاق وبعض المنشآت، ويشير أيضا إلي أن نسبة بواسون تكون مساوية إلي الصفر لحاله البلاطات والعناصر الإنشائية المسطحة وذلك بسبب أن اتجاه التمدد الجانبي صغير بالنسبة للسطحي، يقول المصدر [23] بان الجفاف السريع وعدم معالجه الخرسانة يقلل بشكل كبير من نسبة بواسون حوالي 0.3 إلى 0.18، و يقول بان نسبه بواسون ألقربه للخرسانة المسلحة في جدول رقم (1) مساوية إلى 0.18، وبشكل عام يقول بان عادة ما يفترض أن نسبة بواسون هي 0.18 إلى 0.20 ل قياسات ثابتة بينما يفترض القيم عادة 0.20 الي 0.22 للقياسات الديناميكية أو التحميل السريع الظروف، يقول المصدر [24] أن المادة عندما تخضع لحمل محوري بسيط يحدث نسبة تغير في الضغط الجانبي إلي الضغط المحوري ويسمي بنسبة بواسون، وهي غير مطلوبة بشكل عام لمعظم حسابات التصميم للخرسانه ولكن لازمة للتحليل الإنشائي للأنفاق والسدود المقوسة، ويقول أيضا أن للخرسانة تتراوح قيم نسبة بواسون بشكل عام بين 0.15 إلى 0.20، المصدر [25] لم يتحدث عن تأثير نسبة بواسون ولم يحدد إي قيمه لنسبه بواسون للخرسانة المسلحة، يقول المصدر [26] ان لنسبه بواسون تأثير في انفعال الجدار الخرساني المقاوم لقوى القص الجانبي حيث يحدث تمدد الأسياخ أكثر بسبب تأثير بواسون، المصدر [27] يقول ان نسبة بواسون للخرسانة المسلحه (v) تتراوح بين 0.15 الي 0.22 و تؤخذ عمليا مساويه الي 0.2، و يكون تأثير نسبة بواسون صغيراً للصفائح والألواح الخرسانية الغير مشققة، وبالتالي تؤخذ مساويه الي الصفر، ويقول أيضا أن التقليل من حركه الجزيئات الصغيرة الداخلية في الخرسانة المتمثل في نسبه بواسون، حيث ان الضغط العرضي يقلل من قوة الشد للخرسانة التي تحدث بشكل رئيسي من تأثير نسبة بواسون و يقلل أيضا الإجهاد العرضي من قوة الضغط، يقول المصدر [28] في الفقرة 3.1.3، أنه يمكن أخذ نسبة بواسون تساوي 0.2 للخرسانة المسلحه غير المتشققة و مساوية للصفر للخرسانة المتشققة، يقول المصدر [29] أن قيمه نسبه بواسون التي تمثل نسبه الانفعال العرضي إلى الانفعال المحوري للخرسانة المسلحة تتراوح بين 0.11 إلى 0.27، إي لها عدده قيم ولكن بالعموم تأخذ مساوية إلى 0.2 للخرسانة ذات وزن عادي والتقليل، يقول المصدر [30] أن في نهاية العنصر مسبق الاجهاد يميل الالتصاق بين الفولاذ والخرسانة إلى الفشل و الكوابل تنزلق بالنسبة للخرسانة وبذلك تكون قوة الاحتكاك بين المادتين منخفضة جدا مع الكوابل قرب من نهايات، ويزداد ذلك أيضا بسبب تأثيرات نسبة بواسون، ويقول إن تأثير نسبة بواسون يؤدي الي انخفاض في فقد قوة الكابل، حيث ان القوة في الكوابل تعتمد اساسا علي الترابط بين الفولاذ والخرسانة، يقول المصدر [31] بان نسبه بواسون تأخذ عادتا للخرسانة المسلحة مساوية إلى 0.2،

يوصى مرجع [32] بأخذ قيمه بواسون للخرسانة المسلحة مساوية إلى 0.2، يقول المصدر [33] بان نسبة بواسون للخرسانة المسلحة تؤخذ مساوية إلى 0.2 في العناصر الإنشائية العادية، إما القشريات والصفائح فانه ينصح بان تأخذ مساوية إلي صفر، يقول المصدر [34] أن المدى الأقصى لقيم نسبة بواسون للخرسانة يتراوح بين 0.15 إلى 0.25، حيث تتأثر قيمتها بكل من محتوى الرطوبة الكلي وعمر الخرسانة و قوة الضغط و هي التي تمثل العوامل الرئيسية المساهمة، يقول المصدر [35] في الفقرة 2.4.2.4، في حاله عندما يكون التحليل مرن أو خطي يمكن اعتبار أن نسبة بواسون مساوية إلي 0.2 للخرسانة المسلحة، يؤكد المصدر [36] إن نظرية الكمرات لا تنطبق على البلاطات و الألواح المسطحة والمستوية وذلك بسبب العمل الثنائي الأبعاد للألواح، وبالتالي تم استخدام نسبة بواسون بقيمه مساوية إلى 0.

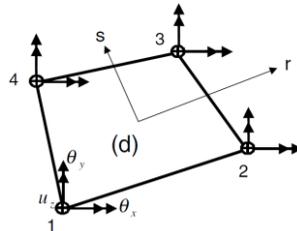
3. أهداف البحث

تبحث هذه الدراسة في تقييم تأثير الخواص الميكانيكية للخرسانة (نسبه بواسون) على حدوث الشقوق وزيادة حجمها في المنشآت الخرسانية من أجل سلامة خدمية العناصر الإنشائية وتأمين المنشآت الخرسانية الحافظة للسوائل وزيادة سلامتها، حيث تهدف هذه الورقة إلى دراسة تأثير استخدام القيم الغير دقيقة للخواص الميكانيكية على سلوك البلاطات الخرسانية في التشوه و الانحناء وتأثيرها على تقليل أو زيادة حجم شقوق بها، حيث يسهم هذا في تجنب إهمال تأثير ضرر التشقق على المنشآت المائية الذي يؤدي الي تسرب السوائل، سيتم تحديد تأثير الخواص الميكانيكية للخرسانة والمتمثلة في عده قيم لنسبه بواسون (ν) التي تصف تشوه المادة تحت تأثير الإجهادات على حدوث الشقوق و زيادة حجمها، ومدى تأثير التشوه في العنصر الإنشائي وزيادة الإجهادات بداخله على اتساع حجم الشقوق به، سيتم التحليل باستخدام البرامج التي تعتمد على استخدام الطرق العددية (طريقه العناصر المحددة).

4. طرق التحليل

1.4. التحليل العددي لعناصر الانحناء المستوية

تصمم البلاطات كشبكة من العناصر الكمرية، نظرية انحناء الصفائح هي امتداد لنظرية الكمرات ومعادلات المرنة ثلاثية الأبعاد، حيث يمثل العنصر كرباعي العقد رباعي الشكل ويتم صياغته مع أو بدون تشوهات القص المستعرضة.

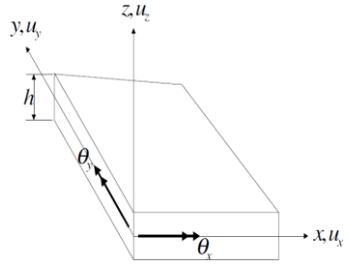


شكل رقم (5) يوضح عنصر انحناء اللوحة رباعية العقد

الإزاحة الرئيسية هي دوران الخطوط حول المستوى المرجعي للوحة، تحدد كما يلي:

$$\theta_x(r, s) = \sum_{i=1}^4 N_i(r, s)\theta_{xi} + \sum_{i=5}^8 N_i(r, s)\Delta\theta_{xi} \dots \dots \dots (3)$$

$$\theta_y(r, s) = \sum_{i=1}^4 N_i(r, s)\theta_{yi} + \sum_{i=5}^8 N_i(r, s)\Delta\theta_{yi} \dots \dots \dots (4)$$



شكل رقم (6) يوضح الإزاحة في عنصر انحناء اللوحة

الإزاحة ثلاثية الأبعاد بالنسبة للمستوى x-y هي:

$$u_x(r, s) = z\theta_y(r, s) \dots \dots \dots (5)$$

$$u_y(r, s) = -z\theta_x(r, s) \dots \dots \dots (6)$$

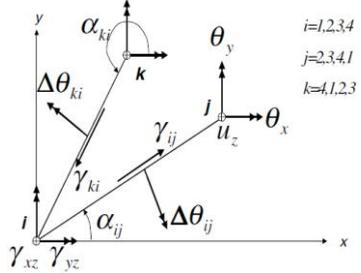
قوى القص على طول الجانب هي:

$$\gamma_{ij} = \frac{1}{L}(u_{zj} - u_{zi}) - \frac{1}{2}(\theta_i + \theta_j) - \frac{2}{3}\Delta\theta_{ij} \dots \dots \dots (7)$$

الدوران في العقد i و j من حيث التدوير x و y ، تكون المعادلة السابقة بصورة:

$$\gamma_{ij} = \frac{1}{L}(u_{zj} - u_{zi}) - \frac{\sin\alpha_{ij}}{2}(\theta_{xi} + \theta_{xj}) + \frac{\cos\alpha_{ij}}{2}(\theta_{yi} + \theta_{yj}) - \frac{2}{3}\Delta\theta_{ij} \dots \dots \dots (8)$$

قوى القص في العقدة من القص الجانبي تظهر العقدة الأساسية كما في الشكل التالي:



شكل رقم (7) يوضح القص العرضي لنقطة العقدة

قوى القص في منتصف الجانب في العقدة i كالمصفوفة:

$$\begin{bmatrix} \gamma_{ij} \\ \gamma_{ki} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha_{ij} & \sin\alpha_{ij} \\ \cos\alpha_{ki} & \sin\alpha_{ki} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{bmatrix}_i \dots\dots\dots (9)$$

أو بشكل معكوس المصفوفة:

$$\begin{bmatrix} \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{bmatrix}_i = \frac{1}{\det} \begin{bmatrix} \sin\alpha_{ki} & -\cos\alpha_{ki} \\ -\sin\alpha_{ij} & \cos\alpha_{ij} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_{ij} \\ \gamma_{ki} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (10)$$

حيث:

$$\det = \cos\alpha_{ij} \sin\alpha_{ki} - \cos\alpha_{ki} \sin\alpha_{ij}$$

2.4. معادلات الانفعال والإزاحة

باستخدام معادلات الإزاحة والانفعال ثلاثية الأبعاد، دوران العقد هو:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u_x}{L} (u_{zj} - u_{zi}) - \frac{\sin\alpha_{ij}}{2} (\theta_{xi} + \theta_{xj}) + \frac{\cos\alpha_{ij}}{2} (\theta_{yi} + \theta_{yj}) - \frac{2}{3} \Delta\theta_{ij} \dots\dots\dots (11)$$

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u_x}{\partial x} = z \theta_y(r, s)_{,x}$$

$$\varepsilon_y = \frac{\partial u_y}{\partial y} = -z \theta_x(r, s)_{,y}$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} = z[\theta_y(r, s)_{,y} - \theta_x(r, s)_{,x}] \dots\dots\dots (12)$$

ويعبّر عنها بمصفوفة بشكل:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & z & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{b} \begin{bmatrix} \theta_x \\ \theta_y \\ u_z \\ \Delta\theta \end{bmatrix} \text{ or } \mathbf{d} = \mathbf{B}\mathbf{u} = \mathbf{a}(z)\mathbf{b}(r, s)\mathbf{u} \dots\dots\dots (13)$$

3.4. صلابة (جساءه) العنصر رباعي العقد

مصفوفة صلابة هي:

$$\mathbf{k} = \int \mathbf{B}^T \mathbf{E} \mathbf{B} dV = \int \mathbf{b}^T \mathbf{D} \mathbf{b} dA \dots\dots\dots (14)$$

حيث:

$$D = \int \mathbf{a}^T \mathbf{E} \mathbf{a} dz \quad \dots\dots\dots (15)$$

وباستخدام تأثير الاتجاهات للتشوه وتأثير القوى وباستخدام تأثير خصائص الميكانيكية للمادة:

$$\begin{bmatrix} M_{xx} \\ M_{yy} \\ M_{xy} \\ V_{xz} \\ V_{yz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & D_{14} & D_{15} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & D_{24} & D_{25} \\ D_{31} & D_{31} & D_{33} & D_{34} & D_{35} \\ D_{41} & D_{42} & D_{43} & D_{44} & D_{45} \\ D_{51} & D_{52} & D_{53} & D_{54} & D_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi_{xx} \\ \psi_{yy} \\ \psi_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (16)$$

عزوم الانحناء (M) وقوى القص (V) هي قوى لكل وحدة طول كما في عناصر الكمرات، التشوهات المرتبطة بعزوم الانحناء ψ هي:

$$\begin{aligned} D_{11} = D_{22} &= \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \\ D_{12} = D_{21} &= \frac{\nu Eh^3}{12(1-\nu^2)} \\ D_{44} = D_{55} &= \frac{5Eh}{12(1+\nu)} \quad \dots\dots\dots (17) \end{aligned}$$

4.4. مصفوفة الصلابة

مصفوفه الصلابة (الجساءه) لعنصر انحناء اللوحة مع تشوهات القص بطرق العديديه هي:

$$\bar{\mathbf{K}} = \int \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} dA = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{11} & \mathbf{K}_{12} \\ \mathbf{K}_{21} & \mathbf{K}_{22} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (18)$$

ومعادلات الاتزان للعناصر هي:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K}_{11} & \mathbf{K}_{12} \\ \mathbf{K}_{21} & \mathbf{K}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{u} \\ \Delta\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{F} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (19)$$

حيث: F هي قوى العقدة.

5. حاله الدراسة

1.5. العناصر الإنشائية

تم إجراء عمليه التحليل للبلاطات الخرسانية اللوحية (Flat Plate) و البلاطات الخرسانية المسطحة (Flat Slab) و البلاطات الخرسانية ثنائيه الاتجاه (Two Way Slab) و المتكونات من 9 باكيات لكل

بلاطه، اي يحوى كل جانب على 3 باكيات كل باكيه بإبعاد (5*5) قدم، يتضمن جانبي كلا من البلاطة اللوحية (Flat Plate) و البلاطة المسطحة (Flat Slab) على وجود كمره طرفيه، أما البلاطة ثنائيه الاتجاه (Two Way Slab) فهي مرتكزة على كمرات داخلية وطرفيه.

2.5. التفاصيل الإنشائية للبلاطات

جدول رقم (1): يوضح التفاصيل الإنشائية للبلاطات اللوحية (Flat Plate) والبلاطات مسطحة (Flat Slab) والبلاطات ثنائيه الاتجاه (Two Way Slab).

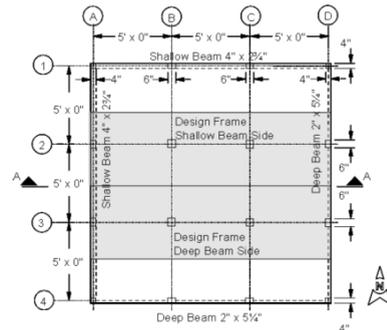
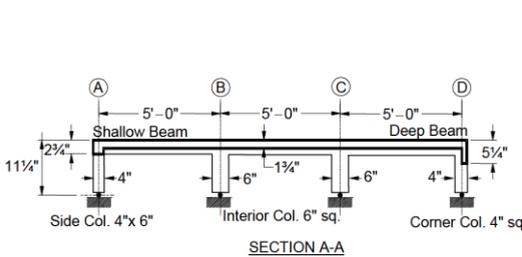
م	البلاطات الخرسانية		سمك البلاطة in	أبعاد البلاطة ft.	كمره طرفيه		كمره داخلية	
	عمق in	عرض in			عمق in	عرض in	عمق in	عرض in
1	البلاطات لوحيه (Flat Plate)		1.75	5*5	5.25	2	-	-
2	البلاطات مسطحة (Flat Slab)		1.75	5*5	6	2	2.5	4.5
3	البلاطات ثنائيه الاتجاه (Two Way Slab)		1.5	5*5	4.25	3	-	-

جدول رقم (2): يوضح التفاصيل الإنشائية للأعمدة

م	البلاطات الخرسانية		أعمده داخلية		أعمده طرفيه		أعمده زوايا	
	عمق in	عرض in	عمق in	عرض in	عمق in	عرض in	عمق in	عرض in
1	بلاطات لوحيه (Flat Plate)		6	6	6	4	4	4
2	بلاطات مسطحة (Flat Slab)		3.75	3.75	3.75	3.5	3.5	3.5
3	بلاطات ثنائيه الاتجاه (Two Way Slab)		6	6	6	4	4	4

3.5. المخططات الإنشائية للبلاطات

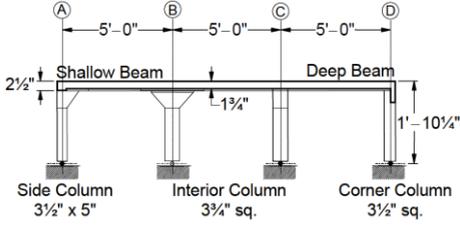
1.3.5. اللوحه الإنشائه للبلاطة اللوحية (Flat Plate)



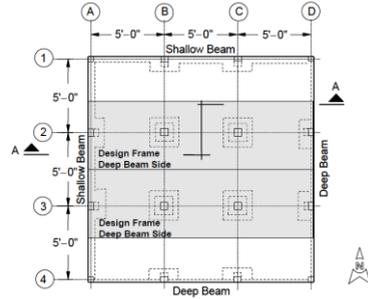
شكل رقم (9): قطاع A-A في البلاطة اللوحية (Flat Plate)

شكل رقم (8): المخطط الإنشائي للبلاطة اللوحية (Flat Plate)

2.3.5. اللوحة الإنشائية للبلطة مسطحة (Flat Slab)

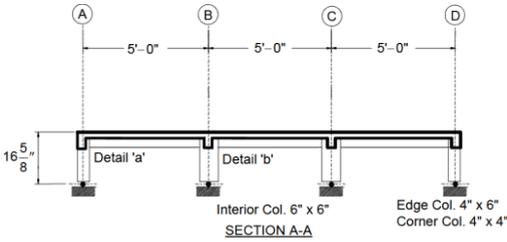


شكل رقم (11): قطاع A-A في البلطة مسطحة (Flat Slab)

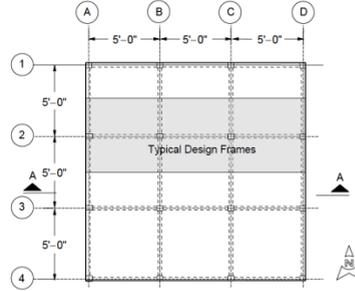


شكل رقم (10): المخطط الإنشائي للبلطة مسطحة (Flat Slab)

3.3.5. اللوحة الإنشائية للبلطة ثنائي الاتجاه (Two Way Slab)



شكل رقم (13): قطاع A-A في البلطة ثنائي الاتجاه (Two Way Slab)



شكل رقم (12): المخطط الإنشائي للبلطة ثنائي الاتجاه (Two Way Slab)

4.5. خصائص الميكانيكية للخرسانة

للإجراء عملية التقييم في البحث تم استخدام عدة قيم لخصائص الخرسانة المسلحة المتمثلة في مقاومته ضغط الخرسانة (F_c') ونسبه بواسون (ν) كمايلي:

جدول رقم (3) : يوضح عدة قيم لخصائص الخرسانة المسلحة

م	مقاومته ضغط الخرسانة (F_c' -psi)	نسبه بواسون (ν)		
1	3000 psi	0.15	0.2	0.25
2	4000 psi	0.15	0.2	0.25
3	5000 psi	0.15	0.2	0.25
4	6000 psi	0.15	0.2	0.25

5.5. الأحمال

تتضمن الأحمال المعتمدة في التحليل الأحمال الذاتية للبلاطات (self-weight, DL) بالإضافة إلى الأحمال الحية الموزعة (w, LL) كما يلي:
جدول رقم (4): يوضح الأحمال المعتمدة في التحليل الإنشائي

م	البلاطات الخرسانية	الحمل الحي الموزع (w-psf)
1	بلاطات لوحية (Flat Plate)	140
2	بلاطات مسطحة (Flat Slab)	280
3	بلاطات ثنائية الاتجاه (Two Way Slab)	150

6. النتائج والمناقشة

1.6. نتائج التحليل

1.1.6. نتائج تحليل البلاطات لوحية

1.1.1.6. الإجهاد في البلاطات لوحية (Flat Plate)

جدول رقم (5): يوضح الإجهادات في البلاطات لوحية (Flat Plate)

مقاومة ضغط الخرسانة (Fc')		الإجهادات في البلاطات لوحية (Flat Plate) kip/in ²					
		نسبة بواسون (ν)					نسبة التغيير %
		0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	
3000 psi	سطح علوي (corner)	0.6295	0.6369	0.6444	0.6518	0.6592	4.71
	سطح سفلي (center)	0.35265	0.361	0.3693	0.3776	0.386	9.45
4000 psi	سطح علوي (corner)	0.6295	0.6369	0.6444	0.6518	0.6592	4.71
	سطح سفلي (center)	0.35265	0.361	0.3693	0.3776	0.386	9.45
5000 psi	سطح علوي (corner)	0.6295	0.6369	0.6444	0.6518	0.6592	4.71
	سطح سفلي (center)	0.35265	0.361	0.3693	0.3776	0.386	9.45

2.1.1.6. الهبوط في البلاطات لوحيه (Flat Plate)

جدول رقم (6): يوضح الهبوط في البلاطات لوحيه (Flat Plate)

الهبوط في البلاطات لوحيه (Flat Plate) center in						
مقاومة ضغط الخرسانة (Fc')	نسبه بواسون (v)					
	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	نسبه التغيير %
3000 psi	0.070122	0.068625	0.067591	0.066249	0.064597	-7.87
4000 psi	0.070122	0.068625	0.067591	0.066249	0.064597	-7.87
5000 psi	0.070122	0.068625	0.067591	0.066249	0.064597	-7.87
6000 psi	0.070122	0.068625	0.067591	0.066249	0.064597	-7.87

3.1.1.6. عرض الشقوق في البلاطات لوحيه (Flat Plate)

جدول رقم (7): يوضح عرض الشقوق في البلاطات لوحيه (Flat Plate)

عرض الشقوق في البلاطات اللوحية (Flat Plate) in							
مقاومة ضغط الخرسانة (Fc')		نسبه بواسون (v)					
		0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	نسبه التغيير %
3000 psi	سطح علوي (corner)	0.14585	0.1522	0.157	0.1628	0.1697	16.35
	سطح سفلي (center)	0.0219	0.0224	0.0229	0.0234	0.0239	9.13
4000 psi	سطح علوي (corner)	0.14585	0.1522	0.157	0.1628	0.1697	16.35
	سطح سفلي (center)	0.0219	0.0224	0.0229	0.0234	0.0239	9.13
5000 psi	سطح علوي (corner)	0.14585	0.1522	0.157	0.1628	0.1697	16.35
	سطح سفلي (center)	0.0219	0.0224	0.0229	0.0234	0.0239	9.13
6000 psi	سطح علوي (corner)	0.14585	0.1522	0.157	0.1628	0.1697	16.35
	سطح سفلي (center)	0.14585	0.0224	0.0229	0.0234	0.0239	16.35

2.1.6. نتائج تحليل البلاطات مسطحة

1.2.1.6 الإجهاد في البلاطات مسطحة (Flat Slab)

جدول رقم (8): يوضح الإجهاد في البلاطات مسطحة (Flat Slab)

الإجهادات في البلاطات مسطحة (Flat Slab) kip/in ²							
مقاومة ضغط الخرسانة (Fc')		نسبة بواسون (v)					
		0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	نسبة التغير %
3000 psi	سطح علوي (corner)	1.0348	1.0577	1.0825	1.106	1.1283	9.03
	سطح سفلي (center)	0.77685	0.8056	0.8332	0.8616	0.8907	14.65
4000 psi	سطح علوي (corner)	1.0348	1.0577	1.0825	1.106	1.1283	9.03
	سطح سفلي (center)	0.77685	0.8056	0.8332	0.8616	0.8907	14.65
5000 psi	سطح علوي (corner)	1.0348	1.0577	1.0825	1.106	1.1283	9.03
	سطح سفلي (center)	0.77685	0.8056	0.8332	0.8616	0.8907	14.65
6000 psi	سطح علوي (corner)	1.0348	1.0577	1.0825	1.106	1.1283	9.03
	سطح سفلي (center)	0.77685	0.8056	0.8332	0.8616	0.8907	14.65

2.2.1.6 الهبوط في البلاطات مسطحة (Flat Slab)

جدول رقم (9): يوضح الهبوط في البلاطات مسطحة (Flat Slab)

الهبوط في البلاطات مسطحة (Flat Slab center) in						
مقاومة ضغط الخرسانة (Fc')	نسبة بواسون (v)					
	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	نسبة التغير %
3000 psi	0.17369	0.170373	0.167898	0.164865	0.161264	-7.15
4000 psi	0.17369	0.170373	0.167898	0.164865	0.161264	-7.15
5000 psi	0.17369	0.170373	0.167898	0.164865	0.161264	-7.15
6000 psi	0.17369	0.170373	0.167898	0.164865	0.161264	-7.15

3.2.1.6. عرض الشقوق في البلاطات مسطحة (Flat Slab)

جدول رقم (10): يوضح عرض الشقوق في البلاطات مسطحة (Flat Slab)

مقاومة ضغط الخرسانة (F _c)		عرض الشقوق في البلاطات مسطحة (Flat Slab) in					
		نسبه بواسون (ν)					
		0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	نسبه التغيير %
3000 psi	سطح علوي (corner)	0.06545	0.0629	0.0597	0.057	0.0546	-16.57
	سطح سفلي (center)	0.01125	0.0116	0.0119	0.0123	0.0126	12
4000 psi	سطح علوي (corner)	0.06545	0.0629	0.0597	0.057	0.0546	-16.57
	سطح سفلي (center)	0.00465	0.0073	0.0073	0.0072	0.0126	170.96
5000 psi	سطح علوي (corner)	0.06545	0.0629	0.0597	0.057	0.0546	-16.57
	سطح سفلي (center)	0.00765	0.0076	0.0076	0.0075	0.0075	-1.96
6000 psi	سطح علوي (corner)	0.06545	0.0629	0.0597	0.057	0.0546	-16.57
	سطح سفلي (center)	0.00235	0.0031	0.0031	0.0045	0.0046	95.74

3.1.6. نتائج تحليل البلاطات ثنائيه الاتجاه

1.3.1.6. الإجهادات في البلاطات ثنائيه الاتجاه (Two Way Slab)

جدول رقم (11): يوضح الإجهادات في البلاطات ثنائيه الاتجاه (Two Way Slab)

مقاومة ضغط الخرسانة (F _c)		الإجهادات في البلاطات ثنائيه الاتجاه (Two Way Slab) kip/in ²					
		نسيه بواسون (ν)					
		0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	نسبه التغيير %
3000 psi	سطح علوي (corner)	0.3085	0.3148	0.3188	0.3243	0.3314	7.42
	سطح سفلي (center)	0.36085	0.378	0.3947	0.4116	0.429	18.88
4000 psi	سطح علوي (corner)	0.3085	0.3148	0.3188	0.3243	0.3314	7.42
	سطح سفلي (center)	0.36085	0.378	0.3947	0.4116	0.429	18.88
5000 psi	سطح علوي (corner)	0.3085	0.3148	0.3188	0.3243	0.3314	7.42
	سطح سفلي (center)	0.36085	0.378	0.3947	0.4116	0.429	18.88
6000	سطح علوي	0.3085	0.3148	0.3188	0.3243	0.3314	7.42

2.3.1.6. الهبوط في البلاطات ثنائي الاتجاه (Two Way Slab)

جدول رقم (12): يوضح الهبوط في البلاطات ثنائي الاتجاه (Two Way Slab)

الهبوط في البلاطات ثنائي الاتجاه (Two Way Slab center) in						
مقاومة ضغط الخرسانة (Fc')	نسبه بواسون (v)					نسبه التغيير %
	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	
3000 psi	0.050213	0.04949	0.049056	0.048431	0.04761	-5.18
4000 psi	0.050213	0.04949	0.049056	0.048431	0.04761	-5.18
5000 psi	0.050213	0.04949	0.049056	0.048431	0.04761	-5.18
6000 psi	0.050213	0.04949	0.049056	0.048431	0.04761	-5.18

3.3.1.6. عرض الشقوق في البلاطات ثنائي الاتجاه (Two Way Slab)

جدول رقم (13): يوضح عرض الشقوق في البلاطات ثنائي الاتجاه (Two Way Slab)

عرض الشقوق في البلاطات ثنائي الاتجاه (Two Way Slab) in							
مقاومة ضغط الخرسانة (Fc')		نسبه بواسون (v)					نسبه التغيير %
		0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	
3000 psi	سطح علوي (corner)	0.005	0.0065	0.0076	0.0089	0.0106	112
	سطح سفلي (center)	0.00865	0.0088	0.009	0.0092	0.0093	7.51
4000 psi	سطح علوي (corner)	0.005	0.0065	0.0076	0.0089	0.0106	112
	سطح سفلي (center)	0.00865	0.0088	0.009	0.0092	0.0093	7.51
5000 psi	سطح علوي (corner)	0.00475	0.0059	0.0067	0.0077	0.009	89.47
	سطح سفلي (center)	0.0068	0.0066	0.0065	0.0063	0.0061	-10.29
6000 psi	سطح علوي (corner)	0.00485	0.006	0.0069	0.0079	0.0092	89.69
	سطح سفلي (center)	0.00375	0.0046	0.0045	0.0043	0.0062	65.33

2.6. المناقشة

باستخدام برنامج التحليل الإنشائي (CSI-SAFE) تم إجراء التحليل الإستاتيكي الخطي للبلاطات الخرسانية المسطحة اللوحية وثنائيه الاتجاه باستخدام عده قيم لنسبه بواسون لحالات مقاومه ضغط الخرسانة مختلفة، بينت نتائج التحليل تأثير الخصائص الميكانيكية على الاجهادات ومقدار الهطول في البلاطات الخرسانية، حيث أدت إلى زيادة حجم الشقوق في البلاطة في مناطق الشد، إن الإجهادات في مناطق الشد قد تأثرت باستخدام عده قيم لنسبه بواسون لحالات مختلفة لمقاومه ضغط الخرسانة للبلاطات الخرسانية المسلحة (البلاطات لوحيه-Flat Plate) و (البلاطات مسطحه-Flat Slab) و (البلاطات ثنائيه الاتجاه-Two Way Slab) و توضح كما يلي :

1. قد تأثرت الاجهادات في البلاطات اللوحيه (Flat Plate) في مناطق الشد باستخدام المتغيرات، وهذا أدى إلى انفعال مختلف لحالات التحليل للبلاطة مما أدى إلى تغير في قيم الهبوط لها، الذي أدى إلى زيادة حجم الشقوق في مناطق الشد بزيادة نسبه بواسون من (0.1 إلى 0.3)، وأيضا زيادة مقاومه ضغط الخرسانة من (3000psi إلى 6000psi) أثرت على تقليل من حجم الشقوق في مناطق الشد.
2. تأثرت الاجهادات في البلاطات مسطحه (Flat Slab) في مناطق الشد، حيث أدى إلى حدوث انفعال مختلف لحالات التحليل للبلاطة مما أدى إلى تغير في قيم الهبوط لها، الذي أدى إلى زيادة حجم الشقوق في مناطق الشد بزيادة نسبه بواسون من (0.1 إلى 0.3)، وأيضا زيادة مقاومه ضغط الخرسانة من (3000psi إلى 6000psi) أثرت على تقليل من حجم الشقوق في مناطق الشد.
3. أيضا تأثرت الاجهادات في البلاطات ثنائيه الاتجاه (Two Way Slab) في مناطق الشد حيث أدى إلى حدوث انفعال مختلف لحالات التحليل للبلاطة مما أدى إلى تغير في قيم الهبوط لها، الذي أدى إلى زيادة حجم الشقوق في مناطق الشد بزيادة نسبه بواسون من (0.1 إلى 0.3)، وأيضا زيادة مقاومه ضغط الخرسانة من (3000psi إلى 6000psi) أثرت على تقليل من حجم الشقوق في مناطق الشد.

7. الخلاصة و التوصيات

تتناقش هذه الورقة أهميه استخدام القيم الدقيقة للخصائص الميكانيكية للخرسانة بعيدا عن استخدام القيم المقترحة من إجراء التجارب السابقة، حيث بينت نتائج البحث إن التحليل الإنشائي باستخدام قيم للخصائص الميكانيكية للخرسانة المعتمدة على نتائج اختبارات سابقه يعطى نتائج غير متطابقة للسلوك الفعلي للمنشئ الخرساني، حيث توقع سلوك العناصر الإنشائية المعتمد على قيم لتجارب سابقه للخصائص الميكانيكية مثل نسبه بواسون (ν) هو غير متطابق مع السلوك الحقيقي (الفعلي) للعناصر الإنشائية، لذا تحديد قيم الخصائص الميكانيكية للخرسانة المستخدمة في التنفيذ أساسي من اجل تطابق توقعات التحليل الإنشائي

مع السلوك الحقيقي لمنشآت، بينت النتائج أيضا إن قيمة نسبة بواسون المستخدمة في التحليل الإنشائي تؤدي إلى زياد أو تقليل من عزوم الانحناء في العناصر الإنشائية وبالتالي إلى زيادة أو تقليل من عرض الشقوق بها، لذا فإن استخدام قيمه تقريبية لنسبه بواسون لا يحاكي السلوك الفعلي للمنشئ المعتمد على قيمه نسبة بواسون الفعلية للخرسانة المنفذ بها، كذلك بينت نتائج البحث إن زيادة مقاومه ضغط الخرسانه أثرت علي تقليل عزوم الانحناء في البلاطات الخرسانيه قيد الدراسة Flate Slab ، Flate Plate ، Two Way Slab وبالتالي أثرت علي التقليل من عرض الشقوق، الذي يؤدي إلي زيادة السلامة الخدمية و زيادة منع تسرب السوائل داخل العنصر الإنشائي وبالتالي حماية أكثر من التلف والتدهور خدميا وإنشائيا، يوصى بتحديد قيم الخصائص الميكانيكية الفعلية للخرسانة المستخدمة في التنفيذ إثناء إجراء تجارب كسر المكعبات وعدم استخدام القيم التقريبية وذلك للحصول على محاكاة السلوك الحقيقي للمنشئ تحت تأثير الأحمال المطلقة، يوصى أيضا بتحديد العوامل التي تؤثر على قيمه نسبة بواسون في الخلطة الخرسانيه (أنواع ونسب مكونات الرمل والحصي)، وكذلك يجب أن يكون تصميم الخلطات الخرسانيه ذات نسبة بواسون منخفضة للبلاطات و المنشآت المسطحة والمنشآت المائية للحصول على سلوك إنشائي جيد يتمثل بحدوث اقل اجهادات لتوليد عزوم انحناء اقل وكذلك حصول هبوط اقل للعناصر الإنشائية ليؤدي إلى التحكم بعرض الشقوق والحد منها، كذلك التقليل من تسرب السوائل للحفاظ على خدميتها وسلامتها إنشائيا، كذلك يوصى باستخدام مقاومه ضغط للخرسانه اكبر من اجل تحسين أداء السلوك الإنشائي للبلاطات المسطحة و اللوحيه والمنشآت المائية لغرض التقليل من الاجهادات ولتقليل التشوهات وبالتالي تقليل من عرض الشقوق والحد من حدوثها.

8. المراجع

- [1] ACI 302.1R-04, "Guide for Concrete Floor and Slab Construction", American Concrete Institute, 2004.
- [2] ACI-224R-01 , "Control of Cracking in Concrete Structures, by ACI Committee 224", American Concrete Institute, 2008.
- [3] Nawy, Blair , "Further Studies on Flexural Crack Control in Structural Slab System", Symposium Paper, 1971.

- [4] ACI 318–2019, "**Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318–19) and Commentary ACI 318– 2019**", American Concrete Institute, 2019.
- [5] David Darwin Charles W. Dolan Arthur H. Nilson, "**Design Of Concrete Structures**", McGraw–Hill, 2016.
- [6] ASTM International Standards, ASTM, "**C469/C469M Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression**", American Society for Testing and Materials–ASTM, 2015.
- [7] ACI 318–2014, "**Building Code Requirements For Structural Concrete (Aci 318–14) And Commentary**", American Concrete Institute, 2014.
- [8] J.P. Forth, A.J. Martin, " **Design of Liquid Retaining Concrete Structures**", Whittles Publishing, 2014.
- [9] Wai–Fah Chen, Lian Duan, "**Bridge Engineering Handbook Fundamentals**", Taylor & Francis Group, LLC, 2014.
- [10] Jack C. McCormac, Russell H. Brown, "**Design of Reinforced Concrete**", John Wiley & Sons, Inc, 2014.
- [11] M. Nadim Hassoun, Akthem Al–Manaseer, "**Structural Concrete Theory and Design**", JOHN WILEY & SONS, INC, 2012.
- [12] Bill Mosley, John Bungey, Ray Hulse, "**Reinforced Concrete Design to Eurocode 2**", W. H. Mosley, J. H. Bungey and R. Hulse, 2012.
- [13] Steven H. Kosmatka, Michelle L. Wilson, "**Design and Control of Concrete Mixtures The Guide To Applications, Methods, And Materials**", Portland Cement Association PCI, 2011.

- [14] Zongjin Li, "**Advanced Concrete Technology**", JOHN WILEY & SONS, INC, 2011.
- [15] ACI 318– 2011, "**Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318–11) and Commentary**", American Concrete Institute, 2011.
- [16] ACI 318–2011, "**Building Code Requirements For Structural Concrete (Aci 318–11) And Commentary–Pca Notes On 318–11**", American Concrete Institute, 2011
- [17] Andrew Logan, Wonchang Choi, Amir Mirmiran, Sami Rizkalla, Paul Zia, "**Short–Term Mechanical Properties of High–Strength Concrete**", ACI Materials Journal, 2010.
- [18] Irving Kett, "**Engineered Concrete Mix Design And Test Methods**", Taylor and Francis Group, LLC, 2010.
- [19] Edward G. Nawy, "**Concrete Construction Engineering Handbook**", Taylor & Francis Group, 2008.
- [20] Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, and William C. Panarese, "**Design and Control of Concrete Mixtures**", Portland Cement Association PCI , 2008.
- [21] Robert Benaim, "**The Design of Prestressed Concrete Bridges Concepts and principles**", Taylor and Francis Group, LLC, 2008.
- [22] L.H. Martin, J.A. Purkiss, "**Concrete Design to EN 1992**", 2006.
- [23] Jack C. McCormac, James K. Nelson, "**Design of Reinforced Concrete**", John Wiley & Sons, Inc, 2006.
- [24] Joseph F. Lamond, James H. Pielert, "**Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete–Making Materials**", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2006.

- [25] P. Kumar Mehta, Paulo J. M. Monteiro, "**Concrete Microstructure, Properties, and Materials**", McGraw-Hill, 2006.
- [26] Ken W. Day , "**Concrete Mix Design, Quality Control and Specification**", Taylor & Francis , 2006.
- [27] Prab Bhatt, Thomas J. MacGinley, Ban Seng Choo, "**Reinforced Concrete Design Theory And Examples**", Taylor and Francis Group, LLC, 2006.
- [28] R.I. Gilbert & N.C. Mickleborough, "**Design Of Prestressed Concrete**", Taylor and Francis Group, LLC, 2005.
- [29] **The European Union EUROPEAN STANDARD EN 1992-1-1**", Management Centre: Avenue Marnix, 2004.
- [30] Precast/Prestressed Concrete PCI, "**Design Handbook Precast And Prestressed Concrete 6- PCI**", Precast/Prestressed Concrete Institute PCI, 2004.
- [31] *M.K. Hurst*, "**Prestressed Concrete Design**", Taylor & Francis e-Library, 2003.
- [32] Precast/Prestressed Concrete PCI, "**Precast Prestressed Concrete Bridge Design Manual**", Precast/Prestressed Concrete Institute, 2003.
- [33] A. Ghali, R. Favre, M. Elbadry, "**Concrete Structures Stresses and Deformations** ", Spon Press, 2002.
- [34] Edward L. Wilson, "**Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures A Physical Approach With Emphasis on Earthquake Engineering** ", Computers and Structures, Inc, 2002.
- [35] Irving Kett , "**Engineered Concrete : Mix Design And Test Methods**", CRC Press LLC, 2000.

[36] BRITISH STANDARD, BS 8110-1: 1997, "**British Standard Structural Use Of Concrete Part 1: Code Of Practice For Design And Construction**", Board For Building And Civil Engineering, 1997.

[37] D. S. Hatcher, M. A. Sozen, C. P. Siess, "**Study Of Tests On A Flat Plate And A Flat Slab**", Urbana, University of Illinois, 1961.