

دراسة الخواص الميكانيكية في الخرسانة باستخدام مادة مطاط ستايرين بوتادين  
المعاد تدويره

د. محمد مفتاح مصطفى العبار  
المعهد العالي للتقنيات الهندسية القوارشة  
د. أحمد عبد المطلب القاضي  
جامعة الزيتونة تrehونة  
د. صلاح الدين عبد السلام عرفة  
الهيئة الوطنية للبحث العلمي

المخلص:

يتناول هذا البحث مسألتين مهمتين محلياً ودولياً، التلوث البيئي والعائد الاقتصادي الكبير نتيجة إعادة التدوير، وإعادة استخدام المواد دون الحاجة إلى عناء وتكاليف المواد الخام، ومن الملوثات الصناعية للبيئة هي نفايات إطارات السيارات المصنوعة من Styrene Butadiene Rubber (SBR). في هذه الدراسة البحثية، تم استخدام مجاميع SBR التي يقل حجمها عن 4.75 ملم كبدائل للركام الناعم بنسب (10%، 20%، 30%) ، كما تم استبدال الإسمنت بمادة سيكا توب -122 بنسب مختلفة (3%، 6%، 9%) في الخرسانة. تمت دراسة الخواص الميكانيكية في الخرسانة كمقاومة الضغط و مقاومة الشد بالإضافة الي الكثافة. وأجريت اختبارات الضغط وقوة الشد بعد 28 يوماً. أشارت النتائج العملية التي تم الحصول عليها من هذه الدراسة إلى أن استبدال المطاط المعاد تدويره SBR في الخرسانة يؤدي إلى انخفاض مقاومة الانضغاط بنسبة (20.31%، 50.19%، 58.9%) على التوالي عند مقارنتها بخرسانة السيطرة، مما تؤثر بشكل سلبي. بالإضافة إلى أنها تقلل من كثافة الخرسانة وتساعد بشكل إيجابي في إنتاج خرسانة خفيفة الوزن.

## Study of mechanical properties in concrete using recycled Styrene Butadiene Rubber

Muhammad Muftah Mustafa Al-Abbar,  
The Higher Institute of Engineering Technologies Gwarsha  
Ahmed Abdulmutallab Al-Qadi  
Faculty of Civil Engineering, Al-Zaytoonah University, the Libyan  
Salah aldin abdslam arafa  
, Scientific Research Authority, Tripoli Branch

### Abstract:

This research deals with two important issues locally and internationally. They are the environmental pollution and the great economic return because of recycling as well as reusing materials avoiding the trouble and costs of raw materials.

One of the industrial pollutants of the environment is the waste of car tires made of Styrene Butadiene Rubber (SBR) .In this research study, SBR aggregates with a size of less than 4.75 mm were used as substitutes for fine aggregates (10%, 20%, 30%), and cement was replaced with Sika Top-122 in different percentages (3%,6%,9%).

in concrete.The mechanical properties of concrete, such as compressive strength and tensile strength as well as density, have been studied.

Compression and tensile strength tests were performed after 28 days.The laboratory results obtained from this study has indicated that the replacement of SBR recycled rubber in concrete leads to a decrease in compressive strength by (20.31%, 50.19%, 58.9%) respectively when compared with control concrete, which has a negative effect. In addition, it reduces the density of concrete and positively helps in the production of lightweight concrete.

## 1- مقدمة

البحوث المتعلقة باستخدام المنتجات الثانوية لزيادة خصائص الخرسانة مستمرة منذ سنوات عديدة في العقود الأخيرة ، بذلت الجهود لاستخدام المنتجات الصناعية مثل الرماد المتطاير، ودخان السليكا، وخبث أفران الصهر المحبب على الأرض، والألياف الزجاجية وإطارات السيارات وغيرها في الإنشاءات المدنية(1). واستخدام هذه المواد في الخرسانة يأتي من القيود البيئية في التخلص الآمن من هذه المنتجات و يتم التركيز بشكل كبير على البيئة وحماية الموارد الطبيعية و إعادة تدوير النفايات،

في الواقع تنتج العديد من الصناعات عددًا كبيرًا من المنتجات التي تتضمن الخردة (المخلفات) خلال العشرين عامًا الماضية (2). تم نشر الكثير من الأعمال المتعلقة باستخدام عدة أنواع من النفايات الحضرية في عملية صناعة مواد البناء، تم تمديد العديد من الأبحاث لدراسة أنواع جديدة من النفايات للتحقيق في جوانب معينة بعمق، بالإضافة إلى الفوائد البيئية، تنتج أيضًا تأثيرات جيدة على خصائص المنتجات النهائية، من المهم التأكيد على أن إعادة استخدام النفايات مفيدة اقتصاديًا بعد نظرًا لارتفاع تكاليف النقل وتأثيرها على إجمالي تكاليف الإنتاج علاوة على ذلك، من المهم عدم إهمال التكاليف الأخرى، التي يمكن الرجوع إليها مباشرة إلى نوع النفايات، ويرجع ذلك، على وجه الخصوص إلى الحاجة إلى قياس انبعاثات الغاز، أثناء حرقها، لوجود عناصر سامة وملوثة(4)،(5). واحدة من النفايات الجديدة المستخدمة في صناعة الخرسانة هي إطارات السيارات (SBR) المعاد تدويرها (3) .

ويعتبر تراكم الإطارات الخردة في دولة ليبيا و الوطن العربي سببه عدم وجود خطة إستراتيجية جادة لحل المشكلة، الأبحاث العلمية أثبتت وما زالت تثبت أنه يمكن استعمال الإطارات الخردة كمادة بديلة عن الركام في الخرسانة ويكون ذلك بفرم أو قطع مطاط الإطارات بأحجام مختلفة لاستعمالها كركام خشن أو ناعم في الخرسانة بمصانع خاصة.(6) إعادة تدوير المطاط وغيرها من المواد هو جزء لا يتجزأ من أساسات إدارة النفايات في معظم بلدان العالم، إعادة تدوير مطاط إطارات السيارات وغيرها من الأنواع

المطاط تعمل على الحد من تلوث البيئة والحفاظ على الموارد الطبيعية، في إنشاء البناء والتشييد يتم الاهتمام بالحفاظ على البيئة والتنمية المستدامة في استخدام المواد الخام (8). ولذلك تم استعمال المطاط الستايرين البتوتادين في هذا البحث كمادة بديلة عن الركام الناعم في الخرسانة. وعلاوة على ذلك أن صناعة الاسمنت تسبب في انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون وغازات أخرى وكميات هائلة من الغبار تضر بالبيئة وصحة الانسان ومن هنا يجب استخدام إسمنت صديق للبيئة أو استخدام بدائل عن الإسمنت البورتلاندي (9). مثل غبار السيكس بنسب معينة في صناعة الخرسانة المستدامة. وتعتبر سيكا مادة متنوعة الاستعمالات ويمكن توظيفها لتقوم بالوظائف التالية: مونة إصلاح وترميم لخرسانة المنشآت حاجزة للماء وجوانب القنوات المائية وإصلاحات الثقوب والتشققات والحواف التالفة وتشوهات الفواصل.

## 2- أهمية البحث:

إن استخدام مادة مطاط (SBR) في أعمال الخرسانة والبناء له عدة منافع اقتصادية منها تقليل التلوث البيئي، تصنيع خرسانة عازلة للصوت، الحرارة وذات وزن خفيف أقل تكلفة.

وتعتبر مادة السيكس اقوى مقاومة من الأسمنت وبالتالي يتم إجراء أبحاث علمية ومعملية تبين مدى إمكانية الاستفادة من هذه المواد واستغلالها بالشكل المفيد والصحيح في المستقبل كبديل للرمل والأسمنت في الخرسانة.

## 3- البرنامج التجريبي:

تشمل هذه الفقرة المواد المستخدمة وتفاصيل الفحوصات والاختبارات التي تم إجراؤها لغرض معرفة الكثافة واختبار مقاومة الضغط ومقاومة الشد للخرسانة باستخدام الإضافات. حيث أجريت جميع الاختبارات في شركة برقة للمقاولات العامة والاستثمار العقاري - بنغازي.

### 3-1 المواد المستخدمة :

تم استخدام الإسمنت البورتلاندي العادي بالإضافة إلي الركام الناعم حيث تم غسله جيدا للتخلص من الشوائب وتجفيفه في الفرن لمدة 24 ساعة وتم استخدام الركام الخشن المتوفر محلياً في مدينة بنغازي والذي يبلغ حجمه (10 / 20 مم) واستخدام المياه الصالحة للشرب في عملية الصب بالإضافة إلي مادة مطاط (SBR) بحجم اقل من (4.75 مم) بالإضافة إلي مادة السيكا توب-122.

وقد تم وزن العينات بدقة عالية قبل عملية الخلط، وخلطة هذه العينات جيداً قبل عملية الصب، في البداية تم خلط الركام الخشن والناعم جيداً، وإضافة لهم الإسمنت ومن ثم اضافة المطاط (SBR) كنسبة من الرمل والسيكا توب كنسبة من الاسمنت ويضاف الماء بعناية حتى لا تضيق المياه أثناء الخلط، وفي الاشكال التالية توضح وزن العينات بدقة قبل عملية الخلط.



المطاط (SBR)



سيكا توب-122



إسمنت - ركام - رمل

الشكل (1) المواد المستخدمة

2-3 عملية الخلط :

تم تصميم الخرسانة لتحقيق مقاومة ضغط تبلغ 25 MPa بعد مرور 28 يوم وفقاً لتصميم الخلطات الخرسانية العادية للكود الأمريكي (ACI 211.1-91).

كما هو مبين في الجدول (1) تم استبدال الركام الناعم بمادة المطاط (SBR) المعاد تدويره ومادة الإسمنت بمادة السليكاتوب لإنتاج خرسانة جديدة بنسب استبدال مختلفة حيث أن (R1,R2,R3) هي الخلطات التي تحتوي على نسب الاستبدال.

جدول (1) عدد المكعبات الجافة والرطبة

المواد	نسبة المطاط %0 مع سيكا توب %0 R0	نسبة مطاط 10% مع سيكا توب 3% R1	نسبة مطاط %20 مع سيكا توب %6 R2	نسبة مطاط %30 مع سيكا %9 R3
الاسمنت	380	368	357.2	345.8
الركام الخشن	1050	1050	1050	1050
الركام الناعم	795	715.5	636	556.5
ركام المطاطي	0	79.5	159	238.5
سيكا	0	11.4	22.8	34.2
ماء	119	119	119	119
W/C	0.5	0.5	0.5	0.5

3-4 إعداد العينات:

جدول (2) عدد المكعبات الجافة والرطبة

المجموع	عدد العينات المغمور في الماء	عدد عينات الجافة	نسبة السيكا توب-122	نسبة المطاط (SBR)	
6	3	3	%0	%0	R0
6	3	3	%3	%10	R1
6	3	3	%6	%20	R2
6	3	3	%9	%30	R3
24	المجموع الكلي				

### 3-5 صب العينات ومعالجتها:

استخدامات مكعبات بأحجام (150 مم x 150 مم x 150 مم) والاسطوانات بحجم (300 مم x 150 مم) تم تنظيف جميع المكعبات والاسطوانات وتزييتها وتشديدها بشكل آمن لتصحيح الأبعاد قبل الصب لعدم وجود أي ثغرات، بحيث لا يوجد احتمال لتسريب المياه خارج الخلطة الخرسانية واتخذت جميع الإجراءات بدقة قبل عمليات الخلط والصب ثم خلطات جميع النسب جيدا قبل الصب وملأت في مكعبات علي ثلاث طبقات كل طبقة تدمك 25 مرة وسمح للعينات بالبقاء في المكعبات لمدة 24 ساعة الأولى في حالة البيئة المحيطة. بعد ذلك تم تفكيكها بعناية حتى لا يتم تكسير الحواف تم وضع المكعبات والاسطوانات الرطبة بالتجفيف ليوم واحد قبل وضعها في خزان ماء لمعالجتها لمدة 28 يوم كما هو موضح في الشكل (2)، والعينات الجافة تم وضعها في الهواء معرض لأشعة الشمس. جميع الاختبارات أجريت طبقا للمواصفات الأمريكية بعد مرور 28 يوم وانه تعبر عن 70% إلى 80% من المقاومة الضغط النهائية للخرسانة.



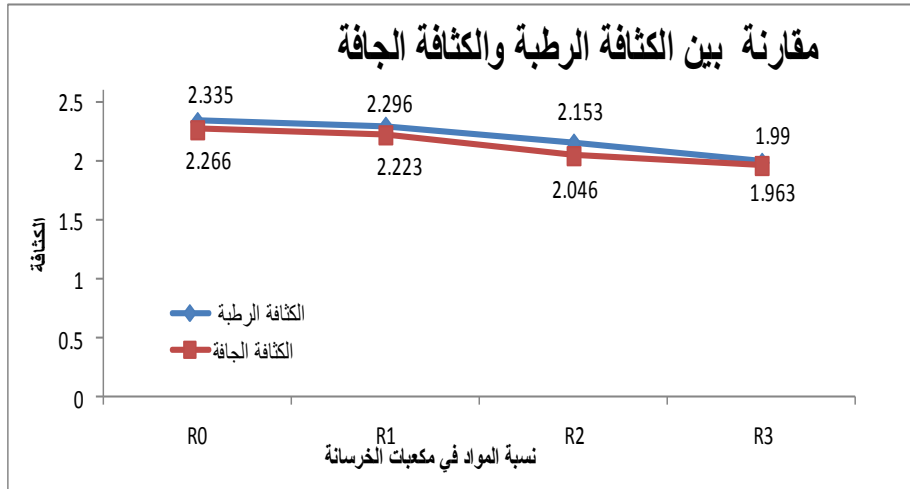
الشكل (2) خزان ماء للمعالجة



## 4- النتائج والمناقشة:

## 4-1 الكثافة:

يتم قياس الكثافة للمكعبات الرطبة والجافة من خزان المعالجة بعد مرور 28 يوماً، وذلك قبل اختبار مقاومة الضغط. ويوضح الشكل (3) قيمة الكثافة التي تم الحصول عليها من الخرسانة المرجعية والخرسانة المعدلة بالمطاط (SBR)، وسيكا توب لجميع النسب سوى كانت جاف او رطبه. وقد تبين من الشكل أن وزن الخرسانة المعدلة قد انخفض عند مقارنتها بالخرسانة المرجعية. حيث أظهرت النتائج كلما زاد نسبة مادة المطاط (SBR) الى الخرسانة قد أدت إلى انخفاض كثافة المكعبات. كما لاحظ ان العينات المضاف اليها المطاط SBR تتخفف كثافتها بمقدار يتراوح من بين (1.67% الي 14.75%) في جميع العينات الرطبة والجافة عند مقارنتها بالعينه المرجعية، ويرجع سبب هذا الانخفاض في الكثافة إلى انخفاض كثافة المطاط مقارنة بكثافة الرمل. وجد أن المطاط (SBR) المستبدل يقلل من وزن الخرسانة ويمكن استخدامها كخرسانة خفيفة الوزن. ولا يفوتنا ان نوه من الشكل ان كثافة المكعبات الجافه والرطبه لا تختلف كثيرا عند مقارنتها.



الشكل (3) الكثافة الرطبة والكثافة الجافة

## 4-2 مقاومة الضغط :

تم اختبار قوة الضغط بعد مرور 28 يوماً باستخدام جهاز اختبار قوة الضغط كما هو موضح في الشكل، يتم اختبار ثلاث مكعبات من كل نسبة و يتم أخذ المتوسط من أجل دقة النتائج. تم جدولة قيم مقاومة الضغط التي تم الحصول عليها في جدول (3)، حيث تم

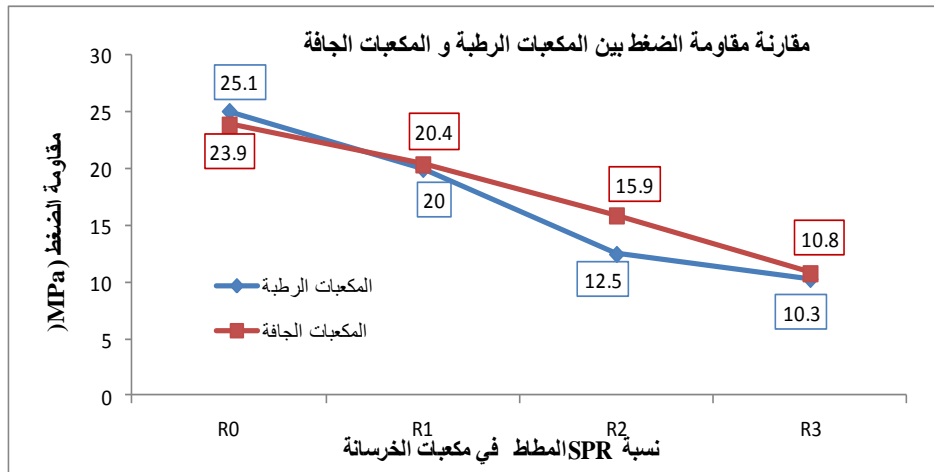


الشكل (4) اختبار مقاومة الضغط

## جدول (3) مقاومة الضغط للخرسانة

متوسط مقاومة الضغط للعينات الرطبة MPA	متوسط مقاومة الضغط للعينات الجافة MPA	عدد العينات المعالجة في الماء	عدد العينات الجافة	الخلطة
25.1	23.9	3	3	R0
20	20.4	3	3	R1
12.5	15.9	3	3	R2
10.3	10.8	3	3	R3

ونلاحظ في الشكل التالي انخفاض المقاومة في جميع المكعبات المعدلة تدريجياً كلما زادت نسبة الإضافات في الخلطة الخرسانية المختلفة. حيث أظهرت النتائج بأن إضافة المطاط SBR ومادة سليكا إلى الخرسانة قد أدى إلى انخفاض مقاومة الضغط بمقدار (55%) للمكعبات R3 عند مقارنتها بالعينة المرجعية. ويرجع هذا الانخفاض في المقاومة إلى ضعف قوة التماسك بين المطاط SBR مع الخلطة الخرسانية، وقد يفسر ذلك أنه كلما زادت كمية الركام المعاد تدويره في الخلط كلما قلت نسبة المسامات، وبالتالي قلت كمية الماء المختزنة ضمنها، والتي مما تسبب تواقف التفاعلات الإماهة مع الإسمنت والحصول على مقاومة أقل للضغط مع الزمن. و عند مقارنة العينات الجافة بالرطوبة نجد ان العينات الجافة R1 تزيد مقاومتها بنسبة (1.96%) عن العينات الرطبة وان العينات الجافة المضاف R2 تزيد مقاومتها بنسبة (21.38%) عن العينات الرطبة وان العينات الجافة R3 تزيد مقاومتها بنسبة (4.63%) عن العينات الرطبة. من هذه المقارنة نستنتج ان المطاط SBR، ومادة السليكا تظهر قوتها في مكعبات الخرسانة الجافة اكثر من مكعبات الخرسانة الموجودة في الماء، عند تعرض المكعبات الجافة الى حرارة الشمس يتمدد المطاط الذي بداخلها مع مرور الزمن مما أدى الي زيادة مقاومة الضغط.(10).



الشكل (5) مقاومة الانضغاط بين المكعبات المعالجة في الماء و المكعبات الجافة

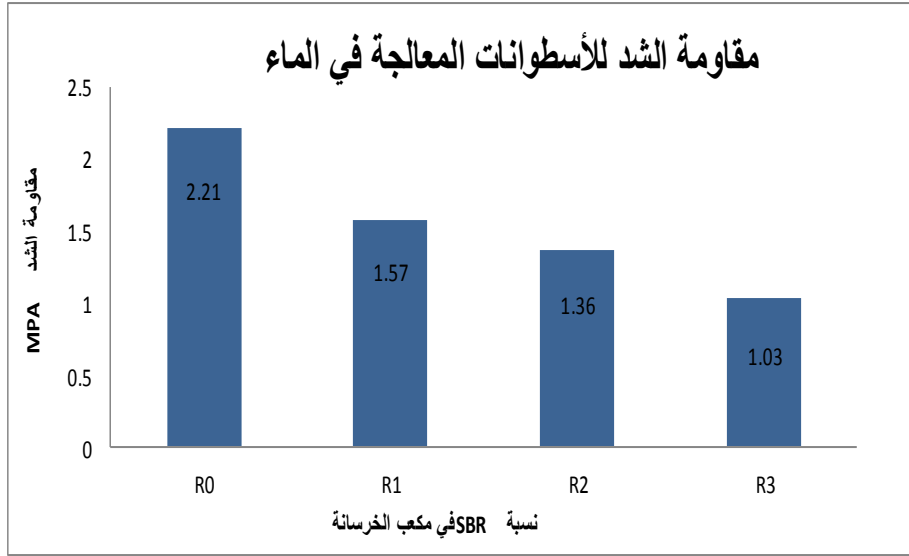
3-4 مقاومة الشد :

تم اختبار مقاومة الشد لنسب مختلفة للخرسانة المعدلة والخرسانة العادية بعد 28 يوماً باستخدام جهاز اختبار قوة الشد كما هو موضح في الشكل (6) تم صب ثلاثة اسطوانات من كل نسبة .



الشكل (6) اختبار مقاومة الشد

نلاحظ من خلال القيم التي في الشكل (7) أن السلوك على الشد مماثل للسلوك على الضغط، حيث تتخضع مقاومة الشد كلما زادت نسبة المطاط المعاد تدويره في الخلط. حيث أظهرت النتائج بأن إضافة جزيئات المطاط إلى الخرسانة لتكوين خرسانة خفيفة الوزن قد أدى إلى انخفاض مقاومة الشد للأسطوانة بمقدار (28.95%، 38.46% و53.39%) للعينات الرطبة المعدلة (R1, R2, R3) على التوالي عند مقارنتها بالعينة المرجعية، وبالتالي فإن مقاومة الشد كانت أكثر تأثراً من مقاومة الضغط. وخلاصة القول يرجع هذا الانخفاض في المقاومة إلى انخفاض قوة تلاصق بين مادة المطاط مع الخلطة الخرسانية.



الشكل (7) مقاومة الشد للأسطوانات المعالجة في الماء

#### 5- الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذا البحث دراسة تأثير استخدام الركام المعاد تدويره من الاطارات المطاطية للسيارات في الخلطة الخرسانية وبنسب متفاوتة (10%، 20%، 30%) بالإضافة إلي سيكاثوب - 122 على الخصائص الميكانيكية للخلطة الخرسانية حيث تبين ما يلي:

من خلال هذه الدراسة التجريبية تبين أن كثافة الخلطة المنتجة من ركام المطاطي SBR المعاد تدويره ومادة سيكا ثوب أقل من الخلطة التقليدية، كذلك ظهر من الخصائص الميكانيكية التي تم دراستها أن مقاومة الضغط، الشد تتخفض مع زيادة محتوى الركام المطاطي SBR المعاد تدويره.

استخدام خليط بنسبة 10% من الركام المعاد تدويره للعينات المعالجة في الماء أعطى قيمة مقاومة ضغط أقل بنسبة (16.31%) من مقاومة الخرسانة التقليدية، وللعينات الجافة أعطى قيمة مقاومة ضغط أقل بنسبة (18.7%) من مقاومة الخرسانة التقليدية .

استخدام خليط بنسبة 10% من الركام المعاد تدويره للعينات المعالجة في الماء أعطى قيمة مقاومة شد أقل بنسبة (28.95%) من مقاومة الخرسانة التقليدية. استخدام نسبة 30% و 20% من الركام المطاطي المعاد تدويره غير مجدية كثيراً فقد أعطت قيم ضعيفة

العينات الجافة المضاف إليها المطاط تعطي مقاومة ضغط أعلى من العينات المعالجة في الماء رغم انخفاض الكثافة في العينات الجافة عن العينات المعالجة في الماء.

المزيد من الأبحاث يجب أن تجرى لتحسين سلوك هذا النوع من الخرسانة إما بتخفيض نسبة المطاط المضاف إلى أقل من 10% أو من خلال استخدام إضافات كالألياف وغيرها لتحسين الترابط وإغلاق المسامات.

#### المصادر البحث:

- 1- Al-Azzawi, Z. M., & Al-Khameesi, D. T. (2010). Impact Resistance of Lightweight Chopped Worn-Out Tires Concrete. *Engineering and Technology Journal*, 28(16), 5200-5212
- 2- Hamza, D. M., & Ghedan, R. H. (2011). Effect of rubber treatment on compressive strength and thermal conductivity of modified rubberized concrete. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 15(4), 21-29.
- 3- انتصار قدوري جمعة، عبير فؤاد حسين، & بيداء قتيبة. (2011). تأثير مفروم الإطارات المطاطية علي بعض خواص الخرسانة A61-A71. مجلة التقني، 24(8).
- 4-Carrasco, M. F., Menéndez, G., Bonavetti, V., & Irassar, E. F. (2005). Strength optimization of "tailor-made cement" with limestone filler and blast furnace slag. *Cement and Concrete Research*, 35(7), 1324-1331.
- 5-Rashwan, E. F. (2016). Effects of pre-treated recycled tire rubber on fresh and mechanical properties of concrete. Effects of pre-treated recycled tire rubber on fresh and mechanical properties of concrete

- 6-Thiyab, H. M. (2017). Mechanical Properties of Light Weight Polymer Modified Concrete Made with Chopped Rubber Tires. Journal of University of Babylon, 25(4), 1169-1178.
- 7- عبد الرحمن يوسف خرسانات العزل الحراري والصوتي واستخدام الخرسانة المطاطية  
المجلة العربية للنشر العلمي (2022). (AJSP) ISSN: 2663-5798.
- 8- هدى نعمة خليفة. (2005). تأثير اضافة رماد فحم الخشب على بعض خواص  
الخرسانة الطرية والمتصلبة. مجلة التقني، 18(2)، A1-A7.
- 9-Carrasco, M. F., Menéndez, G., Bonavetti, V., & Irassar, E. F. (2005). Strength optimization of "tailor-made cement" with limestone filler and blast furnace slag. Cement and Concrete Research, 35(7), 1324-1331.
- 10- M.M.Mustafa ,S. N Mokhatar, Z. M. Jaini, Properties of different artificial lightweight aggregates and their effect on concrete strength. Journal of Engineering and Applied Sciences ,11 , 3726-3730 (2015)
- 11-American Concrete Institute. "ACI. 211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete." ACI Manual of Concrete Practice (1991).