Comprehensive Journal of Science
Volume (10), Issue (39), (March, 2026)
ISSN: 3014-6266

مجلة العلوم الشاملة
المجلد (10) ملحق العدد 39 مارس 2026
ردمد: 3014-6266

دراسة خاصية الترابط بين الخرسانة المطاطية وحديد التسليح

عبدالمطلب محمد زائد المقروس
A.Magrous@histr.edu.ly
عبدالوهاب صالح سالم نصر
abdulwahabnassr6@gmail.com
المعهد العالي للعلوم والتقنية برقدالين

A Study of the Bonding Properties Between Rubber Concrete and Reinforcing Steel

Abdulmutallab Muhammad Zayed Al-Maqrous
Abdulwahab Saleh Salem Nasr
Higher Institute of Science and Technology, Raqdalin

تاريخ الاستلام:2026/01/22 –تاريخ المراجعة: 2026/02/22– تاريخ القبول: 2026/03/01– تاريخ للنشر:02 /04/ 2026

الملخص

يعتبر الترابط المناسب بين الخرسانة وحديد التسليح أمرا بالغ الأهمية، ونظرا للمشاكل المترتبة من مخلفات الإطارات المطاطية ولما تسببه من مشاكل بيئية كبيرة، فقد اجريت في السنوات الاخيرة العديد من الدراسات على اضافة المطاط المعاد تدويره من الإطارات في الخلطات الخرسانية وتأثيره على خواص الترابط بين الخرسانة وحديد التسليح.

يتناول هذا البحث دراسة الترابط بين الخرسانة المطاطية وحديد التسليح، بهدف تقييم تأثير استخدام المطاط والمطاط المعالج على أداء الخرسانة. تشمل الدراسة إعداد خلطة مرجعية، وخلطة تحتوي على نسبة 30% من المطاط كبديل جزئي للركام الناعم، بالإضافة إلى خلطة تحتوي على مطاط معالج بالمونة الأسمنتية بنسبة 30% كبديل جزئي للركام الناعم. حيث كانت نسبة الماء إلى الإسمنت ثابتة في جميع الخلطات (w/c =0.4) .وتم استخدام اقطار مختلفة من حديد التسليح (10، 12، 14) مم لدراسة تأثير قطر حديد التسليح على الترابط مع الخرسانة المطاطية. وأجريت اختبارات ميكانيكية للخرسانة وتشمل هذه الإختبارات اختبار مقاومة الضغط، اضافة إلى اختبار مقاومة الشد غير المباشر واختبار السحب.

أظهرت نتائج هذا البحث أن إضافة المطاط إلى الخرسانة يؤدي إلى التقليل من مقاومة الضغط وقوة ترابط الخرسانة مع حديد التسليح. كما تبين من النتائج أنّ معالجة المطاط بالمونة الأسمنتية أظهر تحسناً طفيفًا في هذه الخصائص مقارنة بالمطاط غير المعالج. وكانت الخلطة المرجعية هي الأفضل من حيث الأداء كما تم التوصل إلى أنه كلما قل قطر حديد التسليح زاد إجهاد التماسك بينه وبين الخرسانة المطاطية .

الكلمات المفتاحية :الخرسانة المطاطية إعادة تدوير الإطارات حديد التسليح الترابط بين الخرسانة وحديد التسليح مقاومة الضغط مقاومة الشد غير المباشر اختبار السحب الركام الناعم معالجة المطاط بالمونة الأسمنتية الخرسانة المستدام

Abstract

Proper bonding between concrete and rebar is crucial, and due to the problems caused by rubber tire waste and the significant environmental problems it causes, in recent years, many studies have been conducted on the addition of recycled rubber from tires in concrete mixtures and its effect on the bonding properties between concrete and rebar.

This research deals with the study of the bond between rubber concrete and rebar, with the aim of evaluating the effect of the use of rubber and treated rubber on the performance of concrete. The study includes the preparation of a reference mixture, a mixture containing 30% rubber as a partial substitute for fine aggregates, in addition to a mixture containing 30% rubber

treated with cement mortar as a partial substitute for fine aggregates. The ratio of water to cement was constant in all mixtures (w/c = 0.4).Different diameters of rebar (10, 12, 14) mm were used to study the effect of rebar diameter on bonding with rubber concrete. Mechanical tests were conducted for the concrete, including compressive strength testing, indirect tensile strength testing and drag testing.

The results of this research showed that adding rubber to concrete leads to a reduction in the compressive resistance and bonding strength of concrete with rebar. The results also showed that the treatment of rubber with cement mortar showed a slight improvement in these properties compared to untreated rubber. The reference mixture was the best in terms of performance and it was concluded that the lower the diameter of the rebar, the greater the cohesion stress between it and the rubber concrete.

Keywords in: Rubberized concrete Recycled tires Reinforcing steel (Rebar) Bond strength between concrete and reinforcement Compressive strength Indirect tensile strength Pull-out test Fine aggregate replacement Cement mortar treatment of rubber Sustainable concrete

المقدمــة

1.1التمهيد:

تمثل الخرسانة العمود الفقري للبناء الحديث لما لها من تأثير كبير على تطور الهندسة الإنشائية والبنية التحتية والجماليات المعمارية، رغم التطور الحاصل في الهندسة الإنشائية إلا أن الخرسانة لازالت تحافظ على مكانتها في عمليات البناء والتشييد لما تمتلكه من خواص تميزها عن غيرها من مواد البناء. حيث أمكن تطويرها من مجرد خرسانة تقليدية إلى الدخول بها إلى مجال الاستدامة وذلك عن طريق إدخال مواد كانت تعد ضارة للبيئة وتحويرها والوصول بها لإنتاج خرسانة صديقة للبيئة. ظهرت الخرسانة كمادة بناء معتمدة على نطاق واسع في أواخر القرن التاسع عشر، وقد سمح تعدد استخداماتها ومقاومتها وديمومتها للمهندسين والمعماريين ببناء ناطحات سحاب قوية وجسور وسدود وعدد لا يحصى من الهياكل الأخرى التي تحدد معالم العالم الحديث، كما أن قدرة الخرسانة على التكيف مع الظروف البيئية المختلفة ومتطلبات البناء جعلتها عنصرًا لا غنى عنه في أعمال البناء.

وقد ساهمت التطورات في مجال البناء في استحداث أنواع خرسانة جديدة تختلف خواصها عن الخرسانة التقليدية باختلاف كميات ونسب المكونات المستخدمة في الخلطة، والتي استبدلت فيها المكونات الأساسية بغيرها من المواد بهدف إنتاج خرسانة أقوى في مقاومة الضغط أو مقاومة الشد او الانحناء، كي تتناسب مع التطبيقات الإنشائية العصرية المختلفة، ومن بعض أنواع هذه الخرسانة، الخرسانة المسلحة بالألياف وخرسانة البوليمير والخرسانة المطاطية والخرسانة خفيفة الوزن.

الخرسانة المطاطية هي نوع من الخرسانة التي يتم فيها استخدام المطاط المعاد تدويره من الإطارات القديمة كجزء من مكونات الخلطة الخرسانية. يتم طحن الإطارات المطاطية إلى فتات ذو قوام مشابه للرمل، ثم يتم استخدام هذا الفتات لاستبدال نسبة معينة من الرمل الممزوج عادةً بالإسمنت والماء ومكونات أخرى لتشكيل الخرسانة. تتميز الخرسانة المطاطية بعدة مزايا، منها مقاومة عالية للصدمات، ليونة، وعزل حراري وصوتي أفضل. كما أنها أخف وزنًا مقارنة بالخرسانة التقليدية.

في هذا البحث تم استبدال المطاط والمطاط المعالج في الخلطة الخرسانية بنسبة 30% كبديل جزئي للركام الناعم، وتم استخدام اقطار مختلفة من حديد التسليح (10، 12، 14) مم لدراسة تأثير قطر حديد التسليح على الترابط مع الخرسانة المطاطية. وقد تمت دراسة تأثير استخدامه على خواص الخلطة الخرسانية بما في ذلك تأثيره على تشغيلة الخرسانة ومقاومة الضغط لها اضافة الى مقاومتها للسحب والشد غير المباشر.

2.1 اهداف البحث.

دراسة تأثير قوة الترابط بين الخرسانة وقضبان حديد التّسليح من خلال استبدال حبيبات المطاط بنسبة (30%) كبديل جزئي للركام الناعم عن طريق إجراء إختبار السحب (Pull–out Test) لها، وتحديد النسبة الأمثل لإضافتها للخرسانة لإعطاء إجهاد تماسك جيد بين الخرسانة وحديد التّسليح مع مقاومة ضغط ومقاومة وشد غير مباشر وتشغيلية جيدين.

3.1 منهجية البحث:

تعتمد المنهجية المتبعة في هذا البحث على شقين أولهما نظري حيث يتمثل في تجميع البيانات والمعلومات من الكتب والأبحاث والأوراق العلمية، أما الشق الثاني فهو عملي يتمثل في إعداد خلطات خرسانية.

4.1 هيكلية البحث:

- الفصل الأول: عبارة عن مقدمة عامة عن الخرسانة ومكوناتها، بالإضافة إلى المنهجية المتبعة في هذا البحث والأهداف المرجوة منه.
- الفصل الثاني: يشمل هذا الفصل على التعريف بمخلفات الإطارات المعاد تدويرها التي تحوي على المطاط واستخداماتها في الخلطات الخرسانية بالإضافة لتاريخ استخدام الخرسانة المطاطية، ومكوناتها وخواصها الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية كما يحتوي هذا الفصل على بعض الدراسات السابقة الخاصة بتأثير المطاط على خواص الخلطة الخرسانية.
- الفصل الثالث: يتضمن هذا الفصل المواد المستخدمة في هذه الدراسة وبرنامج الاختبارات المعملية لها.
- الفصل الرابع: عرض للنتائج التي تم الحصول عليها من الاختبارات.
- الفصل الخامس: يعرض هذا الفصل الاستنتاجات والتوصيات التي تم التوصل إليها من خلال هذا البحث.
- المراجع التي تم الاستناد إليها في هذه الدراسة بالإضافة لبعض الملاحق.

2. الدراسات السابقة

1.2 تمهيد:

المطاط هو مادة طبيعية تنتجها النباتات وتستخدم في العديد من المنتجات اليومية. ومع ذلك، أصبح التخلص من نفايات المطاط تحديًا بيئيًا كبيرًا. عند التخلص من نفايات المطاط في مدافن النفايات، يمكن أن تطلق مواد سامة في التربة والمياه الجوفية، مما يؤدي إلى تلوث البيئة ومخاطر صحية محتملة للبشر. وعند حرق نفايات المطاط، تنبعث ملوثات ضارة تساهم في تلوث الهواء.

لمواجهة هذه المشكلة، بدأ الباحثون في استكشاف طرق مختلفة لاستخدام المطاط، منها إضافته إلى الخرسانة. تتميز الخرسانة المطاطية بعدة جوانب تفوق فيها الخرسانة التقليدية، مثل مقاومة الصدمات.

يمكن أن يكون الأثر البيئي لاستخدام المطاط في الخرسانة إيجابيًا على عدة مستويات. حيث يقلل من كمية نفايات المطاط التي تحتاج إلى التخلص منها، مما يحد من التلوث البيئي. يساهم أيضا استخدام المطاط في الخلطات الخرسانية في إنتاج خرسانة أخف وزناً واكثر مرونةً، وكذلك يمكن أن يحسن من مقاومة الصدمات والعزل الحراري والصوتي. وتعتبر الخرسانة المطاطية نوعًا من الخرسانة المرنة، حيث يتم فيها استخدام مواد مطاطية مختلفة كبديل للركام الطبيعي المستخدم. ويتميز هذا النوع من الخرسانة بمرونتها ومقاومتها للتأكل مقارنةً بالخرسانة العادية، وكذلك قدرتها على التحمل ومقاومتها للاهتزازات والتغيرات في درجات الحرارة. وتُستخدم الخرسانة المطاطية في العديد من التطبيقات، مثل الطرق والأرصفة والحواجز الصوتية والأرضيات والجدران الصوتية وغيرها [1، 2].

2.2 تاريخ استخدام الخرسانة المطاطية:

يعد استخدام الخرسانة المطاطية (شكل 2−1) تطورًا حديثًا نسبيًا في صناعة البناء والتشييد، وترجع أصوله إلى الجهود المبذولة لإيجاد حلول مستدامة وبديلة وتحسين خصائص الخرسانة التقليدية، حيث بدأ مفهوم إضافة المطاط في الخلطات الخرسانية يحظى بالاهتمام في أواخر القرن العشرين، كان الباحثون والمهندسون مهتمين بإيجاد طرق لإعادة تدوير مخلفات الإطارات كالمطاط واستخدامه في تطبيقات مختلفة وخاصة من مخلفات الإطارات، كوسيلة للتخفيف من الأثر البيئي الناتج من التخلص منها عن طريق الدفن، ركزت التجارب الأولية على خلط نسب صغيرة من المطاط في الخرسانة لتقييم آثاره على خصائصها المختلفة. في البداية أستخدم المطاط المعاد تدويره من الإطارات في صناعة الاسفلت المطاطي، حيث بدأ استخدام الأسفلت المطاطي في أسطح الطرق في الستينيات وتطور مع مرور الوقت، مما يدل على تحسن الأداء من حيث المتانة ومقاومة الانزلاق [1].

استمرت الأبحاث حول الخرسانة المطاطية طوال أواخر القرن العشرين، واكتشفت طرق مختلفة لإضافة المطاط في الخلطة الخرسانية، حيث درس الباحثون تأثير استبدال مختلفة من محتوى المطاط، وأحجام الحبيبات، وطرق الخلط لتحديد التأثيرات على خصائص الخرسانة مثل معامل المرونة، ومقاومة الانحناء، والعزل الحراري بالإضافة للعديد من الخصائص الأخرى، وبحلول أواخر القرن العشرين وأوائل القرن الحادي والعشرين، بدأت الخرسانة المطاطية تشهد تطبيقات تجارية في مشاريع بناء محددة. كانت هذه التطبيقات في المقام الأول في العناصر التي تتطلب الخصائص التي تمتاز بها الخرسانة المطاطية، مثل مقاومة الصدمات والمرونة وتقليل الضوضاء[1].

يستمر البحث والابتكار في مجال الخرسانة المطاطية حتى يومنا هذا، حيث يعمل المهندسون والعلماء على الوصول إلى أفضل النسب للخلطات الخرسانية، واستكشاف طرق جديدة لإضافة المطاط وتوسيع نطاق تطبيقاتها. بهذا اكتسبت الخرسانة المطاطية اهتمام البحاث والعلماء بسبب فوائدها على النطاق البيئي مقارنة بالخرسانة التقليدية، والمتمثلة في التقليل من حجم نفايات الإطارات في مدافن النفايات وتأثيرها بشكل كبير على الخفض من البصمة الكربونية لإنتاج الخرسانة، ولا يزال استخدام الخرسانة المطاطية في تطور وتطبيقاتها في توسع، فهي توفر حلاً قابلاً للتطبيق لتحديات بناء محددة، لا سيما في التطبيقات التي تكون فيها المرونة وتقليل الضوضاء ذات أهمية قصوى. مع تقدم التكنولوجيا والأبحاث، من المحتمل أن تجد الخرسانة المطاطية المزيد من التطبيقات في صناعة البناء والتشييد [1] .

شكل (2−1) خلطة خرسانية مستخدم فيها الإطارات المطاطية المعاد تدويرها

3.2 التأثير البيئي لاستخدام المطاط في الخلطة الخرسانية:

تكمن الفائدة البيئية للخرسانة المطاطية في قدرتها على إعادة استخدام المطاط المعاد تدويره من الإطارات القديمة، وتحويل هذا العبء البيئي الكبير بعيدًا عن مدافن النفايات والحرق، ومن خلال القيام بذلك، تخدم الخرسانة المطاطية غرضًا مزدوجًا، فهي تخفف من المشكلة المتزايدة لنفايات الإطارات (شكل 2−2)، بينما تقلل في الوقت نفسه الطلب على المواد الخام

المستخدمة في إنتاج الخرسانة التقليدية خاصة الركام. وغالبًا ما يتطلب إضافة المطاط في الخلطات الخرسانية طاقة أقل مقارنة باستخراج ومعالجة الركام الطبيعي ويؤدي ذلك إلى عملية إنتاج أكثر كفاءة بتقليل استهلاك الطاقة.

شكل (2–2) تراكم الإطارات بأعداد ضخمة داخل مكبات تجميع القمامة

4.2 خصائص الخرسانة المطاطية:

1.4.2 تحسين المتانة:

تتميز الخرسانة المطاطية بمتانة محسنة بسبب إضافة حبيبات المطاط التي تمتص الطاقة وتقلل من التشقق [2].

2.4.2 تحسن المرونة:

تُظهر الخرسانة المطاطية مرونة أكبر مقارنة بالخرسانة التقليدية، حيث تعمل حبيبات المطاط على تحسين قدرة الخرسانة على امتصاص الطاقة والتشوه دون التشقق تحت الضغط، وهذا يجعلها مناسبة للتطبيقات التي تكون فيها مقاومة الصدمات أمرًا بالغ الأهمية، كما هو الحال في الأرصفة أو الأرضيات في البيئات الصناعية [2].

3.4.2 تقليل التشققات :

تعمل جزيئات المطاط على تقليل خطر التشقق في الخرسانة، تعتبر هذه الخاصية ذات قيمة خاصة في الحالات التي قد يؤدي فيها التشقق إلى مشاكل في الديمومة وتقليل عمر الخدمة [2] .

4.4.2 عزل حراري وصوتي أفضل:

غالبًا ما تتمتع الخرسانة المطاطية بخصائص عزل حراري وصوتي محسنة بسبب المحتوى المطاطي، وهذا يجعله اختيارًا ممتازًا للتطبيقات التي يكون فيها التحكم في درجة الحرارة وتقليل الضوضاء أمرًا مهمًا، مثل عزل المباني أو حواجز الصوت على طول الطرق السريعة [2]

5.4.2 وزن أخف:

إن إضافة المطاط يقلل من كثافة الخرسانة، مما يجعلها أخف من الخرسانة التقليدية في الوزن، يمكن أن يكون هذا مفيدًا في مشاريع البناء التي يكون بها الوزن أمرًا مقلقًا [2].

6.4.2 تحسين مقاومة الانزلاق:

يمكن للخرسانة المطاطية أن توفر مقاومة أفضل للانزلاق، لأرصفة الطرق والأسطح الأخرى[2].

5.2 الدراسات السابقة

1.5.2 الدراسة الاولى: [3]

تتناول هذه الدراسة مقارنة بين مجموعة من الخلطات الخرسانية التي تحتوي على مطاط معاد تدويره ودراسة مجموعة من المتغيرات وتأثيرها على ترابط الخرسانة بحديد التسليح. كانت نسبة استبدال المطاط بالركام الناعم والخشن 0%و25%و50% والحد الأقصى للحجم المستخدم من المطاط المعاد تدويره في الخرسانة المطاطية هو 10 مم.

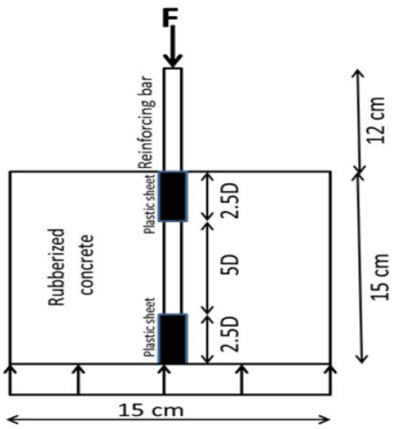
تمت إضافة الملدن و غبار السيليكا والرماد المتطاير في الخلطات لزيادة قابلية تشغيل الخرسانة وكانت أقطار قضبان التسليح المغروسة في العينات على النحو التالي (12–16–22–25) مم,

وكانت قوة الضغط المستهدفة للخرسانة المطاطية (24–30–35–50) ميجاباسكال ويبين الجدول التالي خصائص هذه الخلطات.

الجدول (2–1) خصائص الخلطات الخرسانية

مقاومة الضغط (ميجا باسكال)	**50**	**35**	**30**	**24**	**24**	**24**
مقاومة الضغط (ميجا باسكال)	الخرسانة المطاطية					الخرسانة التقليدية
نسبة الإحلال %	50	50	50	50	25	0
ميكروسيليكا (كجم \ م^3)	41					_
الرماد المتطاير (كجم \ م^3)	41					_
حبيبات مطاط ناعم (كجم \ م^3)	225				115	0
الاسمنت (كجم \ م^3)	345					365
ركام ناعم (كجم \ م^3)	703	613	554	494	548	765
	905	774	687	605	653	1085
	7.5					-
	147					188
	0.42					0.51

تم استخدام مكعبات بأبعاد (150 × 150 × 150) مم لدراسة الترابط عن طريق اختبار السحب، كان عمق القضيب المغروس يتراوح طوله من (5 إلى 12) مم من قطر حديد التسليح، حيث تم تغليف بعض من أجزاء القضيب بأنابيب من (pvc) وترك جزء اخر بدون تغليف



شكل (2–3) عينة اختبار السحب

تم تقسيم الخلطات الخرسانية إلى ستة مجموعات من 18عينة لدراسة ترابط الخرسانة ومقارنتها بالخلطة المرجعية التي تحتوي على نسبة استبدال 50% من حبيبات المطاط بالركام, تم تقسيم الستة مجموعات على النحو التالي:

- في المجموعة الأولى محور الدراسة كان تأثير نسب استبدال الركام الخشن والناعم بالمطاط المعاد تدويره على الخلطة الخرسانية (0%–25%–50%) وسميت العينات كالتالي:
  (B1–R50%, B2–R25%, B3–R0%)
- المجموعة الثانية كانت لدراسة تأثير مقاومة الضغط على إجهاد الترابط حيث سميت كما يلي:

(B1−R50%, B4−fc30 , B5−fc35 , B6−fc50).

- المجموعة الثالثة بدراسة تأثير قطر حديد التسليح وكانت الأقطار المستخدمة (12_16_22_25)مم أما تسميات العينات هي (B9-D25 ، B1−R 50% B7−D16 , B8−D22).
- المجموعة الرابعة درست تأثير عمق غرز حديد التسليح (5D_7D_10D _ 12D) و أما تسميات العينات هي (B1−R50% ،B10−Em7D ،B11−Em10D ،B12−Em12D).
- المجموعة الخامسة كانت لدراسة تأثير إجهاد الخضوع لحديد التسليح على الخرسانة المطاطية وكانت قيم الاجهادات (525_325_420_625) ميقاباسكال, وأما تسميات العينات هي: (B1−R50, B13−fy325, B14−fy420, B15−fy625).
- المجموعة السادسة تأثير الغطاء الخرساني وكانت العينات هي (B1−R50% ،B16−Co100 ،B17−Co200 و B18−Co250).

إجراء اختبار:

تم اختبار العينات تحت آلة هيدروليكية بقوة 150 كيلو نيوتن، تقوم آلة الاختبار بسحب حديد التسليح من جانب واحد لإنتاج انزلاق نسبي بين قضيب التسليح والخرسانة المطاطية وتولد إجهادات قص على طول العينة, يوضح الشكل (2−4) الجهاز المستخدم لإجراء الاختبار , ويوضح الجدولين (2−2) نتائج اختبار السحب على جميع العينات.

شكل(2−4) يوضح الجهاز المستخدم لإجراء الاختبار

جدول (2−2) يوضح نتائج اختبار السحب للمجموعات (1,2,3,4,5,6)

المجموعة	إجهاد التماسك	اسم العينة
العينة المرجعية	9.09	B1-R50%
الأولى	9.94	B2-R25%
	10,81	B3-R0%
الثانية	9.12	B4-fc30
	9,89	B5-fc35
	11.65	B6-fc50

الثالثة	6.81	B7-D16
	4.94	B8-D22
	4.16	B9-D25
الرابعة	7.55	B10-Em7D
	4.98	B11-Em10D
	4.44	B12-Em12D
الخامسة	6.1	B13-fy325
	7.5	B14-fy420
	10.5	B15-fy625
السادسة	8.65	B16-Co100
	8.84	B17-Co200
	8.94	B18-Co250

نتائج وتأثير المتغيرات على قوة الربط ونتائج الاختبار:

من خلال النتائج المتحصل عليها تم استنتاج أن:

1. بسبب الشقوق الصغيرة التي تحدث في الخرسانة المطاطية، تنخفض قوة ترابط الخرسانة بنسبة 19% عند استبدال الركام التقليدي بنسبة 50%.
2. عند زيادة مقاومة الضغط للخرسانة المطاطية من 24 إلى 50 ميجاباسكال, تزداد قيمة اجهاد السحب بمقدار 27.7% وهذا يؤكد التأثير الكبير لمقاومة ضغط الخرسانة على ترابط الخرسانة بحديد التسليح.
3. ينخفض اجهاد السحب بنسبة 54% عند زيادة قطر حديد التسليح من 12 إلى 25 مم بينما زيادة طول قضيب التسليح يقلل من قوة الربط. .
4. تزداد قوة الربط بزيادة الغطاء الخرساني وقوة الضغط للخرسانة وإجهاد الخضوع لقضيب التسليح.

المواد المستخدمة والاختبارات المعملية

1.3 تمهيد:

يتناول هذا الفصل المواد المستخدمة في هذه الدراسة، ونتائج الاختبارات المعملية لها، كما يتناول تصميم وإعداد الخلطات الخرسانية، ونتائج الاختبارات التي تم تنفيذها في هذه الدراسة لمعرفة بعض خصائص الخرسانة اللدنة والصلبة. وتتضمن هذه الاختبارات اختبار الهبوط، اختبار مقاومة الضغط، اختبار السحب، اضافة إلى اختبار الشد غير المباشر.

2.3 المواد المستخدمة في هذه الدراسة:

1.2.3 الإسمنت البورتلاندي (Portland Cement):

استخدم الإسمنت البورتلاندي العادي نوع (42.5 N) المورد من مصنع شركة الاتحاد العربي للمقاولات شكل (3-1) في جميع الخلطات في هذه الدراسة ويوضح جدول (3-1) الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لهذا الإسمنت والتي تبين مطابقتها للمواصفات القياسية الليبية.

جدول (3–1) الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للإسمنت المستخدم

الاختبار	النتيجة	حدود المواصفة	مواصفة لاختبار
القوام القياسي (%)	30	غير مشروطة	م ق ل 2005:341 [9]
زمن الشك الابتدائي (دقيقة)	140	لا يقل عن 45	م ق ل 2005:341 [10]
زمن الشك النهائي (ساعة)	3.40	لا يزيد عن 10	م ق ل 2005:341 [10]
ثبات الحجم (مم)	0.3	لا يزيد عن 10	م ق ل 2005:341
مقاومة الضغط للمونة الإسمنتية عمر 3 أيام (ميجا باسكال)	25	أعلى من 21	م ق ل 2005:341 [11]
مقاومة الضغط للمونة الإسمنتية عمر 28 يوم (ميجا باسكال)	46	أعلى من 39	م ق ل 2005:341 [11]

شكل (3–1) اسمنت شركة التحاد العربي للمقاولات

2.2.3 حبيبات المطاط الناعم:

استخدمت حبيبات المطاط الناعم المحجوز على منخل 2.63 مم والمار من منخل 4.75 مم، والتي تم الحصول عليها من مصنع شبام لتدوير الإطارات التالفة بمدينة مصراتة، ويوضح الشكل (3–2) حبيبات المطاط الناعم المستخدمة في هذه الدراسة.

شكل (3–2) حبيبات المطاط الناعم

3.2.3 الركام الخشن (Coarse Aggregate):

تم استخدام الركام الخشن بمقاس اعتباري 20 مم ويوضح الركام الخشن المستخدم في الدراسة، ويوضح (جدول 3-2) نتائج الاختبارات

المعملية للخواص الفيزيائية والميكانيكية للركام الخشن المستخدم.

شكل (3-3) الركام الخشن

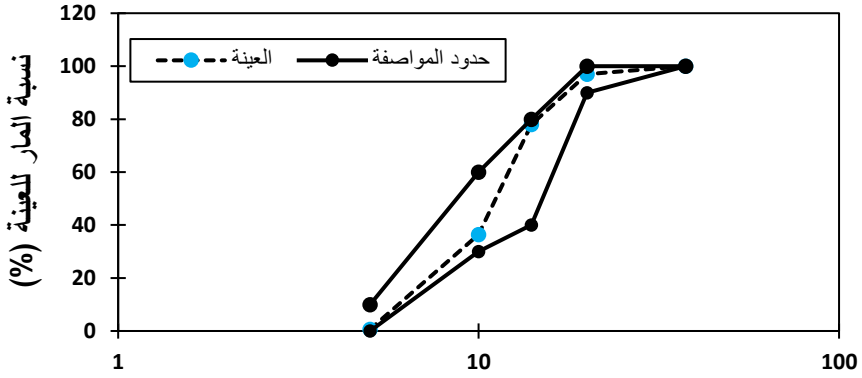
جدول (3-2) نتائج اختبارات الخواص الفيزيائية والميكانيكية للركام الخشن

الاختبار	النتيجة	حدود المواصفة	مواصفة الاختبار
الوزن النوعي Specific gravity	2.464	2.6-2.7	م ق ل 2006:256 [12]
نسبة الامتصاص Absorption (%)	1.69	لا تزيد عن 3	
وزن وحدة الحجوم Unit Weight (كجم/م^3)	1519	1400-1800	ASTM C29 [13]
معامل التهشيم Crushing Value (%)	16.8	لا يزيد عن 45	م ق ل 2006:253 [14]
معامل الصدم Value Impact (%)	18.2	لا يزيد عن 45	م ق ل 2006:255 [15]

تم اجراء اختبار التحليل المنخلي طبقا للمواصفة الليبية (2006:252) للركام الخشن مقاس اعتباري أكبر 20 مم، ويوضح الشكل(3-3)، والجدول (3-5) نتائج اختبار التحليل المنخلي للركام المستخدم وأنه ضمن حدود المواصفات.

جدول (3–3) التحليل المنخلي للركام الخشن

مقاس فتحة المنخل (مم)	النسبة المئوية للمار (%)	حدود المواصفة الليبية (49/2002)
37.5	100	100
20	97.05	100- 90
14	77.96	80 – 40
10	36.4	60 – 30
5	0.66	5-0



شكل (3–4) منحنى التدرج الحبيبي للركام الخشن

4.2.3 الركام الناعم (Fine Aggregate):

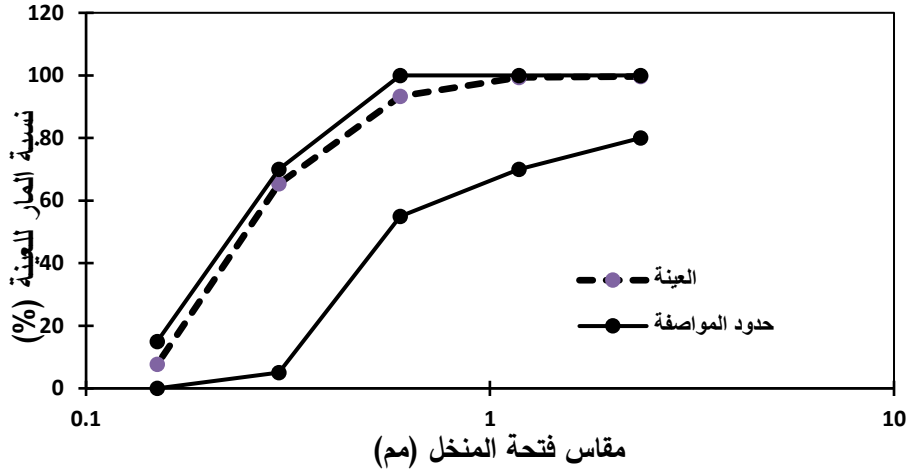
استخدم ركام ناعم مورد محلياً من مدينة زليطن، وأجريت عليه الاختبارات اللازمة للتحقق من مطابقته للمواصفات الليبية ذات العلاقة, ويوضح جدول (3-6) الاختبارات التي تم إجراؤها على الركام، بينما يوضح الجدول (3–7) نتائج التحليل المنخلي طبقاً للمواصفة القياسية الليبية رقم 2006:252, ويوضح الشكل (3–5) منحنى التدرج الحبيبي للركام الناعم، وحدود المواصفة القياسية الليبية رقم 2002:49.

جدول (3–4) نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام الناعم

الاختبار	النتيجة	حدود المواصفة	مواصفة الاختبار
الوزن النوعي Specific gravity	2.67	2.7-2.6	م ق ل 2006:256 [12]
نسبة الإمتصاص Absorption (%)	0.50	لا تزيد عن 3	م ق ل 2006:256 [12]
معامل التهشيم Crushing value (%)	18,40	لا يزيد عن 45	م ق ل :2532006 [14]
وزن وحدة الحجوم Unit Weight (كجم/م³)	1505	1800-1400	ASTM C29 [13]

جدول (3-5) نتائج التحليل المنخلي للركام الناعم

مقاس فتحة المنخل (مم)	النسبة المئوية للمار (%)	حدود المواصفة الليبية (2002/49)
2.36	99.65	100-80
1.18	99.31	100-70
0.6	93.37	100-55
0.3	65.36	70-5
0.15	7.66	15-0



شكل (3-5) منحنى التدرج الحبيبي للركام الناعم وحدود المواصفة القياسية الليبية

5.2.3 ماء الخلط (Mixing Water):

تنص المواصفات القياسية الليبية 294:2013 [18] أن الماء الصافي الصالح للشرب صالحاً لخلط ومعالجة الخرسانة، ويجب أن تتوفر الاشتراطات التالية في الماء في حالة أنه يراد استخدام مياه غير صالحة للشرب:

- خلوها من المواد الضارة، مثل الزيوت والشحوم والمنظفات والألوان والأحماض والروائح والمواد الناعمة، سواء كانت ذائبة أم معلقة وخلافها من المواد التي يكون لها تأثيراً عكسياً على الخواص الميكانيكية للخرسانة.
- يجب أن لا تتجاوز كمية الكلوريدات فيها النسب التالية:

  500 مج/لتر في الخرسانة سابقة الإجهاد أو خرسانة.

  1000 مج/لتر في الخرسانة المسلحة.

  4500 مج/لتر في الخرسانة العادية غير المسلحة وغير المحتوية على معدن بداخلها.
- يجب ان لا تزيد كمية الكبريتات عن 2000 مجم/لتر.
- يجب ان لا يتجاوز المحتوى القلوي 1500مجم/لتر.

حيث تم في هذه الدراسة استعمال مياه البلدية الموجودة بمعمل الخرسانة بجامعة طرابلس، وهو ماء مطابق للمواصفة القياسية الليبية 294 [18].

6.2.3 الإضافات الكيميائية (Chemical Admixtures):

استخدمت في هذه الدراسة نوع إضافة كيميائية لكافة الخلطات، وهي الملدنات فائقة الأداء (Superplasticizer) من صنع شركة (sika) اسمها التجاري (SIKA ® VISCOCRETE® tempo)يوفر الملدن المستخدم في هذه الدراسة تحسين لقابلية تشغيل الخرسانة، مما يسهل عملية الخلط والتشطيب ويسهم في تقليل محتوى الماء في الخلطة الخرسانية مع الحفاظ على قابلية التشغيل، كما تساهم المادة المضافة في زيادة المقاومة المبكرة، مما يسمح بإزالة القوالب بشكل أسرع وتحسين التماسك بين جزيئات الاسمنت مما يؤدي إلى مزيج أكثر تجانس وتقليل الانفصال الحبيبي ويوصى باستخدام جرعة تتراوح من 0.2% إلى 3% من وزن الاسمنت.

7.2.3 حديد التّسليح (Reinforcement Steel):

استخدم في هذه الدراسة حديد تسليح من إنتاج الشركة الليبية للحديد والصلب، حيث تم استخدام ثلاث اقطار حديد مختلفة وهي (10, 12 , 14) مم، وتم قصهم إلى أطوال متساوية وهي 40 سم، ويعرض جدول (3-9) الخواص الميكانيكية لهذا الحديد، بينما يبين جدول (3-10) التحليل الكيميائي له.

جدول (3−6) الخواص الميكانيكية لحديد التّسليح

الخاصية	الحد الأدنى
إجهاد الخضوع (نيوتن/مم^2)	500
إجهاد الشد (نيوتن/مم^2)	550
نسبة الاستطالة (%)	10

جدول (3−7) التحليل الكيميائي لحديد التّسليح

المادّة	النسبة المئوية (%)
الكربون	≤0.22
السيليكون	≤0.40
المنجنيز	≤1.50
الفسفور	≤0.05
الكبريت	≤0.05

3.3 تصميم الخلطة الخرسانية:

تم تصميم ثلاثة خلطات خرسانية، الخلطة الاولى كانت خلطة خرسانية قياسية دون أي إضافات و في الخلطة الثانية استبدلت نسبة 30% من الركام الناعم بحبيبات المطاط المعاد تدويرها، بينما في الخلطة الثالثة تم استبدال 30% من الركام الناعم بمطاط معالج بالمونة الاسمنتية، وذلك لغرض دراسة تأثير إضافة المطاط و المطاط المعالج على ترابط الخرسانة و حديد التسليح وتأثيرها على مقاومة الضغط مقارنةً بالخلطة الخرسانية القياسية وتم استخدام المعادلة الحجمية التالية في تحديد أوزان مكونات الخلطة الخرسانية لكل متر مكعب:

$$\frac{W}{1000}+\frac{FA}{1000\rho_{FA}}+\frac{CA}{1000\rho_{CA}}+\frac{C}{1000\rho_{C}}=1\,m \qquad \text{معادلة (1)}$$

حيث أن:

C : وزن الإسمنت. ρ_C : الوزن النوعي للإسمنت

FA : وزن الركام الناعم. ρ_{FA} : الوزن النوعي للركام الناعم

CA : وزن الركام الخشن — ρ_{CA}: الوزن النوعي للركام الخشن.

R : وزن حبيبات المطاط الناعم — ρ_R : الوزن النوعي لحبيبات المطاط

W : وزن الماء — ρ_W : الوزن النوعي للماء.

وكانت الاوزان النوعية للمواد الداخلة في الخلطة كالآتي:

- الوزن النوعي للإسمنت (ρ_C) = 3.15
- الوزن النوعي للمطاط الناعم (ρ_R) = 0,764
- الوزن النوعي للركام الخشن (ρ_{CA}) = 2.646
- الوزن النوعي للركام الناعم (ρ_{FA}) = 2.67
- الوزن النوعي للماء (ρ_W) =1

تم في هذه الدراسة إعداد خلطات لتحديد النسب الأمثل للملدن التي تعطي التشغيلية المطلوبة والمناسبة في الأعمال الخرسانية العادية وكانت النسب المستخدمة من المواد في خلطات هذه الدراسة كالتالي:

- نسبة الماء إلى المواد الإسمنت (W/C) = 0.40
- نسبة الركام الناعم إلى الإسمنت (FA/C) = 1.35
- نسبة الركام الخشن إلى الإسمنت (CA/C) =3.15
- نسبة حبيبات المطاط المعاد تدويره هي (30%) كبديل جزئي للركام الناعم.

ويعرض الجدول (3−8) أوزان مكونات كل خلطة لكل متر مربع.

الجدول (3−8) أوزان مكونات كل خلطة لكل متر مربع

رمز الخلطة	الماء (كجم/م3)	الملدن (كجم/م3)	المطاط (كجم/م3)	الركام الناعم (كجم/م3)	الركام الخشن (كجم/م3)	الاسمنت (كجم/م3)
C	165.33	0.83	0	558.52	1302.81	413.63
RUC	164.5	1.66	57.28	391.1	-	413.63
RUCT	129.37	1.13	126.22	373.07	-	377.57

حيث حسبت أوزان المواد المستخدمة في كل خلطة بضرب وزن كل مادّة لكل متر مكعب في مجموع حجم المكعبات المستخدمة وهي 5 مكعبات لاختبار مقاومة الضغط لكل خلطة مع حجم الاسطوانات وهي 9 أسطوانات لاختبار السحب.

4.3 المعدات المستخدمة:

1.4.3 ميزان إلكتروني:

تم استخدام الميزان الإلكتروني لحساب الاوزان حيث تبلغ دقة هذا الميزان 0.5 جم

2.4.3 الخلاط الكهربائي:

استخدم نوعين من الخلاطات الكهربائية الموجودتان بمعمل مواد البناء الخاص بجامعة طرابلس وهما خلاطتان متحركتان تعملان بمحرك كهربائي شكل (3−5)، حيث استخدمت الخلاطة الصغيرة في الخلطات التجريبية، بينما استخدمت الخلاطة الكبيرة في الخلطات الرئيسية.

شكل (3-5) نوعين من الخلاطات الكهربائية

5.3 الاختبارات المعملية التي تم اجرائها في هذا البحث:

1.5.3 اختبار الهبوط (Slump Test):

يستخدم اختبار الهبوط كوسيلة للتعبير عن درجة تشغيلية الخلطة الخرسانة و قوامها، وأيضاً يعتبر معياراً للتأكد من نسب الخلطة الخرسانية لأن أي تغيير في كمية الماء أو الإسمنت أو الركام تؤثر في قيمة الهبوط، وأي خطأ في المكونات من الممكن أن يضعف مقاومة الخرسانة أو يصعب تشغيلها وصبها، وتم في هذا المشروع إجراء الإختبار وفقا للمواصفات البريطانية BS

خطوات التجربة:

قبل البدء في اجراء الاختبار يجب التأكد من نظافة المعدات من أي شوائب أو بقايا خرسانة عالقة، ثم يتم الاختبار بوضع لوح القاعدة على سطح أفقي مستوى ويتم تثبيته جيداً إما بواسطة القدمين أو اليدين، ثم يتم ملء الخرسانة في القالب بواسطة المغرفة، ويكون الملء على ثلاثة طبقات، كل طبقة تقريبًا ثلث ارتفاع القالب عند دمكها، وتدمك كل طبقة بضربها بواسطة قضيب الدمك القياسي 25 ضربة، وتكون الضربات موزعة على كامل الطبقة، بعد الانتهاء من ملء كل الطبقات يتم تنظيف سطح القاعدة من أي خرسانة منسكبة عليها، ويرفع القالب بعناية في الاتجاه الرأسي وتكون فترة الرفع من 5 إلى 10 ثواني، بعد إزالة القالب مباشرة يتم قياس مقدار الهبوط للخرسانة بتحديد الفرق بين ارتفاع القالب وأعلى نقطة في عينة الاختبار المتساقطة.

2.5.3 اختبار مقاومة الضغط (Compressive Strength Test):

تعد مقاومة الضغط أهم خواص الخرسانة المتصلدة وهي تعبر عن درجة جودتها وصلاحيتها، وتعرف مقاومة الضغط للمادّة بقدرتها على حمل الأحمال على سطحها دون أيّ تشقق أو انحراف، وتعتمد مقاومة ضغط الخرسانة على العديد من العوامل مثل نسبة الماء إلى الإسمنت ومقاومة الإسمنت وجودة المواد الخرسانية والخلط الجيد للمواد. وعادةً ما يجرى هذا الاختبار بعد مرور 7 أيام و 28 يوم من الصب، حيث تبلُغ مقاومة الضغط التي تحققها الخرسانة عند 7 أيام حوالي (70% – 80%) من مقاومتها المستهدفة أي بعد 28 يوم. وتم في هذا المشروع إجراء إختبار مقاومة الضغط وفقاً للمواصفات البريطانية (BS 2009:EN12390-3) [20].

خطوات الاختبار:

أولاً يجب تنظيف جميع أسطح آلة الاختبار ومسحها وإزالة أي حبيبات عالقة بها، ويتم أيضاً تجفيف عينة الاختبار من الماء بقطعة قماش، ثم يتم ووضع العينة في جهاز التحميل، وعند استخدام العينة المكعبة يجب أن يكون وجهي العينة الملامسان لسطحي رأس الآلة هما الوجهين المقابلين للسطح الداخلي للقالب.

ويجب التأكد من أن يكون السطح العلوي والسفلي للعينة موازياً تماماً لأسطح الجهاز، ثم يتم التحميل تدريجياً وبدون صدم بمعدل تحميل ثابتًا هو 0.68 ميجا باسكال/ثانية. ويُحمّل كل قالب حتى الكسر وفي اللحظة التي ينكسر فيها المكعب تكون المقاومة المسجلة هي مقاومة الخرسانة للضغط (Fcu).

3.5.3 اختبار السحب (Pull-out Test):

يعتبر اختبار السحب احد الاختبارات المهمة في عمليات ضبط جودة أعمال البناء، حيث يتم استخدام اختبار السحب لحديد التّسليح في تحديد إجهاد التماسك بين الخرسانة والحديد في الهياكل الخرسانية المسلحة، ويتم إجراء الاختبار عن طريق سحب قضيب من حديد التّسليح مغروز في الخرسانة بعمق محدد، ومن ثم يتم تطبيق قوة شد على عينة الحديد ويتم قياس القوة اللازمة لسحب القضيب من الخرسانة وتسجيلها كقيمة السحب. ويستخدم هذا الاختبار لمعرفة مدى ترابط الخرسانة بحديد التّسليح، ويستخدم أيضاً في اختبار جودة عمليات زراعة حديد التّسليح في الأعمال التي تتطلب فيها زراعة الحديد لأغراض الصيانة أو إضافة عناصر جديدة في المنشآت.

تمّ تنفيذ اختبار السحب وفقاً للمواصفة ASTM C900، وتمّ استخدام جهاز Universal Testing (UTM) Machine في هذا الاختبار، ويستخدم هذا الجهاز لاختبار المواد وتحديد خصائصها الميكانيكية، مثل مقاومة الشد، مقاومة الانحناء، مقاومة الضغط، مقاومة السحب بالإضافة إلى العديد من الاختبارات الاخرى. ولتنفيذ هذا الاختبار تم صناعة قالب

4.5.3 اختبار مقاومة الشد غير المباشر (Indirect Shear Strength Test):

من الخصائص المهمة للخرسانة مقاومتها للشد حيث تظهر ضعفاً في مقاومتها لقوى الشد، وتقدر مقاومة الشد للخرسانة بـ 10% من مقاومة الضغط للخرسانة، يتضمن اختبار مقاومة الشد الغير مباشر إعداد واختبار عينات خرسانية أسطوانية، ويتم تحديد مقاومة الشد من خلال تطبيق قوى الشد على هذه العينات.

تم اجراء اختبار الشد الغير مباشر في معمل مواد بناء بجامعة طرابلس باستخدام قالب حديد لوضع العينة علية وقطعتين من الحديد لتثبيت العينة خلال الاختبار وسيخ من الحديد لتطبيق القوى على العينة كما هو موضح (شكل 3-6).

شكل (3-6) اختبار الشد غير المباشر

4. عرض ومناقشة النتائج:

يتناول هذا الفصل عرض وتحليل ومناقشة نتائج الاختبارات المعملية التي أجريت على الخرسانة، حيث تم اجراء اختبار الهبوط لحساب تشغيلية الخرسانة وتم أيضاً اجراء اختبار مقاومة الضغط واختبار السحب المعملي لتحديد إجهاد التماسك.

1.4 نتائج اختبار الهبوط (Slump Test):

أجري اختبار الهبوط على جميع الخلطات الخرسانية للحصول على التشغيلية المناسبة، تم حساب نسبة الاضافة 12 Tempoمن وزن الاسمنت، كانت نتائج اختبار الهبوط تتراوح بين 100 مم إلي 160 مم وتعد نتائج عالية نسبيا، ويعرض الجدول (4–1) نتائج الاختبار على جميع العينات.

جدول (4–1) نتائج اختبار الهبوط

رمز الخلطة	نسبة الملدن (%)	مقدار الهبوط (مم)
PC	0.2	100
RUC	0.4	150
RUCT	0.3	160

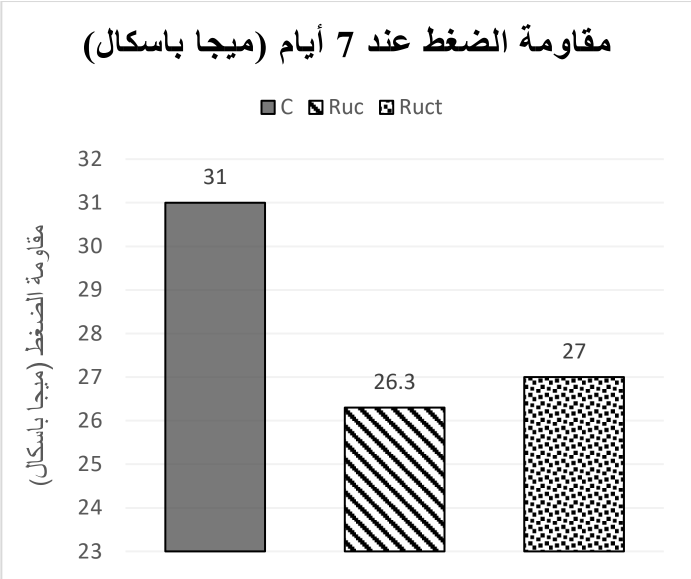
نستنتج من النتائج التي تم التحصل عليها من اختبار الهبوط أن التشغيلية في العينات التي تحتوي على حبيبات المطاط اقل منها في العينة المرجعية يمكن أن يكون بسبب ان حبيبات المطاط تقوم بامتصاص المياه مما يسبب في تقليل التشغيلية و لكن كان مقدار الهبوط في العينات التي تحتوي على حبيبات المطاط والمطاط المعالج اعلى منه في العينة المرجعية وذلك بسبب إضافة الملدن للعينات التي تحتوي على حبيبات المطاط.

2.4نتائج اختبار مقاومة الضغط (Compressive Strength Test):

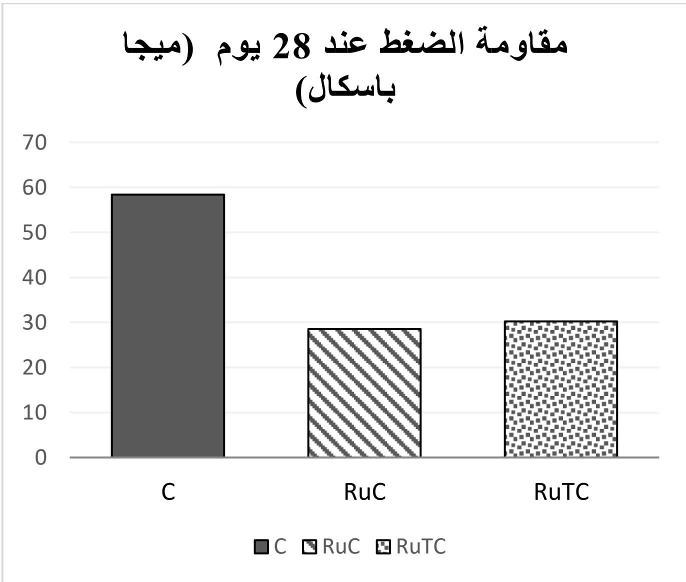
نفذ اختبار مقاومة الضغط على قوالب قياسية (150X150X150) مم، حيث تم اختبار العينات من كافة الخلطات عند سبعة أيام وعند ثمانية وعشرون يوم، ويبين جدول (4–2) والشكلين (4–1) و(4–2) النتائج المتحصل عليها من هذا الاختبار.

جدول (4–2) نتائج اختبار مقاومة الضغط

رمز الخلطة	مقاومة الضغط عند 7 أيام	مقاومة الضغط عند 28 يوم		
		العينة (1)	العينة (2)	العينة (3)
PC	31	58.5	58.9	57.7
RuC	26.3	27.8	30.5	28.3
RuCT	27	29.4	31.3	30



الشكل (4−1) متوسط لنتائج اختبار مقاومة الضغط عند 7 أيام



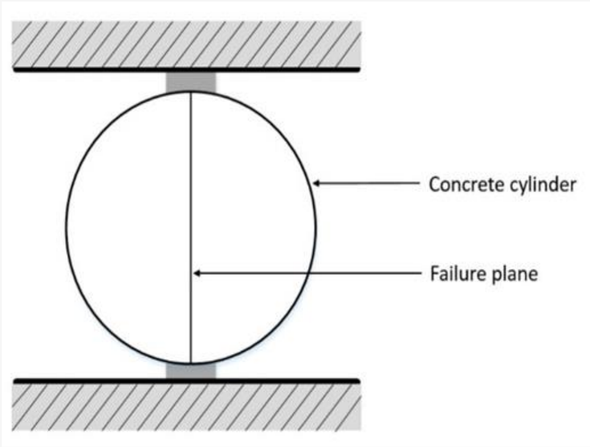
الشكل (4−2) متوسط نتائج اختبار مقاومة الضغط عند 28 يوم

من النتائج الموضحة في الجدول (4-2) و الشكلين (4-1) (4-2) نلاحظ ان:

حققت مقاومة الخرسانة التي تحتوي على مطاط فقط (RuC) 49.23% من مقاومة العينة المرجعية (PC)، بينما حققت مقاومة الخرسانة التي تحتوي على مطاط معالج بالمونة الاسمنتية (RuTC) 51.56% من مقاومة العينة المرجعية (PC).

بناءاً على النتائج السابقة يتبين أن إضافة المطاط بنسبة استبدال 30% من حجم الركام الناعم، أدت إلى انخفاض المقاومة إلى نصفها مقارنة بالعينة المرجعية وهو ما كان متوقع , وعملية المعالجة للمطاط بالمونة الاسمنتية أدت إلى ارتفاع طفيف في مقاومة الضغط مقارنة بالعينة التي تحتوي على مطاط فقط دون عملية معالجة، حيث وصلت 104.73% من مقاومة عينة المطاط بدون عملية معالجة، ويتبين أيضا من خلال النتائج أن عملية معالجة المطاط بالمونة الاسمنتية قبل الخلط بأربع وعشرون ساعة كانت مفيدة وأدت إلى ارتفاع مقاومة الضغط مقارنة بالخلطات غير المعالجة.

حققت مقاومة السحب في العينات التي تحوي على مطاط مقارنة بالخلطة المرجعية في اقطار 10 مم و 12 مم و 14 مم حققت مقاومة سحب 81.4% و 67.8% و 75.2% على التوالي، بينما بلغت قيمة مقاومة السحب في العينات التي



تحوي على مطاط معالج بالمونة الاسمنتية مقارنتا بالخلطة المرجعية في اقطار 10 مم و 12 مم و 14 مم حققت مقاومة سحب 91.5% و 68% و 94% على التوالي.

يتبين من النتائج المحصلة أن إضافة المطاط والمطاط المعالج تؤثر سلبًا على خصائص الترابط في الخرسانة. حيث كانت قيمة متوسط إجهاد التماسك للعينة التي تحتوي على المطاط 4.45 ميجاباسكال عند قطر 14 مم، وهي أقل قيمة بالمقارنة مع العينات الأخرى. كما يظهر أن أعلى قيم للترابط كانت في الخلطات الاعتيادية بقطر 12 مم و10 مم على التوالي بقيم 9.84 و8.4 ميجاباسكال، تليها الخلطات المضاف إليها المطاط المعالج. يتضح من القيم المحصلة أن قطر التسليح ليس له تأثير كبير على الترابط باستثناء العينة ذات القطر 12 مم، حيث أعطت قراءة أعلى نسبيًا مقارنة بالعينات الأخرى. من القيم المحصلة نستنتج أنه كلما زاد قطر التسليح كلما ضعف الترابط نسبيًا، ويتضح هذا من خلال النتائج التي أظهرت أن أفضل القيم كانت عند قطري تسليح 10 مم و 12 مم.

3.4 نتائج اختبار مقاومة الشد غير المباشر:

تم إجراء اختبار الشد الغير المباشر على جميع الخلطات عند 28 يوم بعد صب الخرسانة وفقا للمواصفة ASTM – C 496 [20]، وبمعدل تحميل 13.5 kN/sec، حيث تم استخدام المعادلة لتقدير مقاومة الشد الغير المباشر لجميع الخلطات، وحيث أن

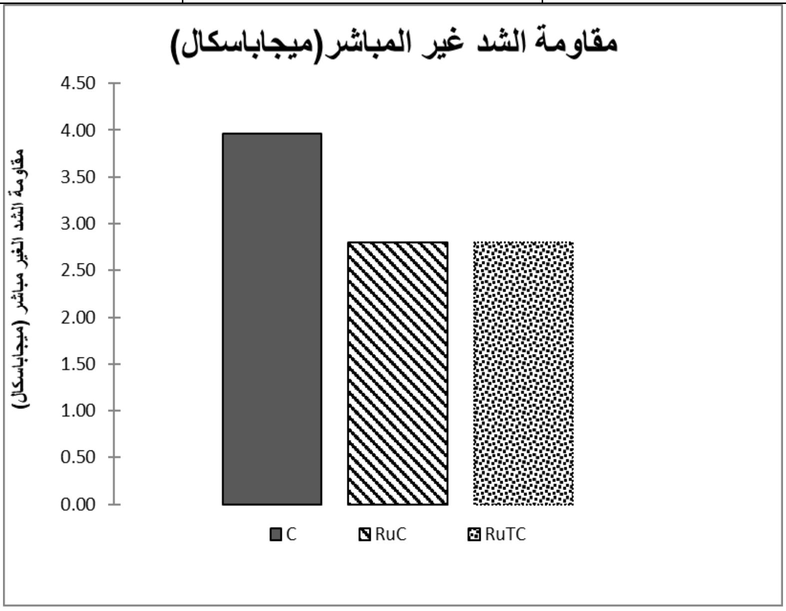
- T = مقاومة الشد الغير مباشر ووحدتها (ميجا باسكال)
- P = مقدار القوة ووحدتها (نيوتن)
- D = قطر العينة الأسطوانية ووحدتها (مليمتر)
- L = طول العينة الأسطوانية ووحدتها (مليمتر)

ويوضح طريقة اختبار العينة.

شكل (3-4) اختبار الشد غير المباشر

جدول (4-3) اختبار الشد غير المباشر

رمز الخلطة	متوسط نتائج الاختبار (ميجا باسكال)	عينة 1 (ميجا باسكال)	عينة 2 (ميجا باسكال)
C	3.96	3.89	4.03
RuC	2.80	2.73	2.86
RuCT	2.80	3.00	2.59



شكل (4-4) نتائج اختبار مقومة الشد غير المباشر

بالاطلاع على النتائج الخاصة بالاختبار يمكن ملاحظة أن مقاومة الخرسانة للشد للخلطات التي تحوي مطاط فقط (RuC) وكذلك التي تحوي مطاط معالج بالمونة الإسمنتية (RuCT) تساويان حوالي 70% من مقاومة الخرسانة للشد في الخلطة المرجعية (C). فبالنسبة للخلطات التي تحوي على مطاط فقط لم تنهار العينات بشكل مفاجئ وظلت متماسكة بعد انتهاء الاختبار والوصول إلى مقاومة الشد القصوى، ويوضح انهيار الخلطة الخرسانية التقليدية بينما يبين شكل (4-8) إنهيار عينة خرسانة المطاط.

حيث يتضح أن عملية المعالجة لم تؤثر على النتائج حيث لم تختلف خلطات المطاط المعالج (RuCT) عن خلطات المطاط غير المعالج (RuC) وأيضا سلوك الخرسانة بعد الانهيار كان متشابها، حيث ظلت الخرسانة متمسكة بعد الإنهيار، لكن بشكل أقل من الخلطة التي تحتوي على مطاط فقط (RuC).

وبناء على النتائج والمناقشة الموضحة أن:

- جميع الخلطات كانت متقاربة في نتائجها.
- إضافة المطاط بنسبة استبدال 30% من حجم الركام الناعم، أدت إلى انخفاض مقاومة الشد كما كان متوقع ولكن الانخفاض لم يكن كبيرا، وأيضاً لم تنقسم الخلطات بعد الوصول إلى اقصى مقاومة للشد.

5. الاستنتاجات والتوصيات:

يعرض هذا الفصل الاستنتاجات التي تم التوصل خلال نتائج الاختبارات بهذه الدراسة بالإضافة إلى التوصيات.

1.5 الاستنتاجات:

1 في اختبار الضـغط, انخفضـت مقاومة خلطات المطاط الغير معالج الي النصـف مقارنة بالخرسـانة المرجعية, ولكن عملية معالجة المطاط رفعت المقاومة بشكل جيد ولكنها تظل خرسانة ضعيفة مقارنة بالخرسانة المرجعية.

2 في اختبار الســحب, انخفضــت قيم المقاومة في خلطات المطاط والمطاط المعالج مقارنة بالخلطة المرجعية, وكانت قيم المقاومة في خلطات المطاط المعالج افضل بنسبة طفيفة مقارنة بالمطاط الغير شكل الانهيار.

3 استبدال المطاط بالركام الناعم بنسب تصل 30% يخفض المقاومة بشكل كبير ولكن يمكن استخدامها في العناصر الانشائية غير الحرجة (الارضيات، الحواجز، حوائط غير حاملة).

4 عملية المعالجة بالمونة الإسـمنتية تزيد من مقاومة الخرسـانة للضـغط والسـحب مقارنة بالخرسـانة الخاصـة بالمطاط الغير معالج.

5 تقل قيم مقاومة السحب كلما زاد قطر حديد التسليح.

6 من خلال نتائج هذه الدراسة، تم التوصل إلى إمكانية إنتاج خرسانة صديقة للبيئة تحتوي على مخلفات الإطارات (حبيبات المطاط) وتتميز بمقاومة مقبولة للضغط والسحب، مما يسمح باستخدامها في العناصر الإنشائية الثانوية.

2.5 التوصيات:

1 إجراء دراسات وبحوث مستقبلية على تأثير حبيبات المطاط على خاصية الترابط بين الخرسانة وحديد التّسليح على أنواع اخرى من الخرسانة مثل الخرسانة ذاتية الدمك.

2 التشجيع على اجراء دراسات حول خاصية الترابط بين الخرسانة وحديد التّسليح باستخدام متغيرات مختلفة, كاستخدام نسب مختلفة من حبيبات المطاط واقطار حديد تسليح مختلفة.

3 إعادة الدراسة باستخدام المطاط الخشن بدلاً من المطاط الناعم.

4 دراسة طرق اخرى لمعالجة المطاط.

المراجع:

1. موقع صحيفة إيلاف (إطارات السيارات التالفة خطر يهدد البيئة).

2. Fawzy, Hesham M., and Suzan A. A. Mustafa. "Rubberized Concrete Properties and Its Structural Engineering Applications – An Overview." The Egyptian International Journal of Engineering Sciences and Technology 30 (2020): 1-11.

3. Zhu, H., Wang, L., Chen, Y., & Zhang, X. (2023). Applications of Waste Tire Rubber in Concrete: A Comprehensive Review. Journal of Material Cycles and Waste Management, 25(1), 45-62.

4. Bond Strength Behavior in Rubberized Concrete Hussein AL-Quraishi ,Khudhayer Najim Abdulllah Kammash ,Zinah Asaad Abdul-Husain.

5. Parveen, Sachin Dass, Ankit Sharma (2013) Rubberized Concrete: Needs of Good Environment.

6. المضوي، عبد العاطي المهدي، وعبد الله محمد الشاوش. "تأثير إحلال ركام مخلفات الإطارات المطاطية على بعض خواص الخرسانة." كلية الهندسة، الجامعة الأسمرية الإسلامية 2021.

7. IS: 12269-1989 SPECIFICATION FOR 53 GRADE ORDINA'RY PORTLAND CEMENT.

8. IS: 10262 - 1982, "Recommended guidelines for concrete mix design," Indian Standard Institution, New delhiy.T. Yu, M.F. Lau, "A comparison of MC/DC, MUMCUT and several other coverage criteria for logical decisions", Journal of Systems and Software, 2005, in press.

9. المركز الوطني الليبي للمواصفات والمعايير القياسية (2005)، " المواصفة الليبية م ق ل 341-2:2005، طرق الاختبارات الفيزيائية للإسمنت، الجزء – 2: القوام القياسي.
10. المركز الوطني الليبي للمواصفات والمعايير القياسية الليبية (2005)، "المواصفة الليبية م ق ل 341-2:2005، طرق الاختبارات الفيزيائية للإسمنت، الجزء – 3: زمني الشك".
11. المركز الوطني الليبي للمواصفات والمعايير القياسية الليبية (2005)، "المواصفة الليبية م ق ل 341-2:2005، طرق الاختبارات الفيزيائية للإسمنت، الجزء – 6: مقاومة الضغط".
12. المركز الوطني الليبي للمواصفات والمعايير القياسية (2006)، "المواصفة الليبية م ق ل 256:2006، ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية، طريقة تعيين الوزن النوعي والامتصاص".
13. American Society for Testing and Materials, “ASTM C29 – Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate
14. عبد الرحمن محمد عوض & نضال عبد السالم خلف الله. (2025). دراسة مقاومة الصدم للخرسانة ذاتية الدمك. مجلة العلوم الشاملة . 5799-2518, (35) 9,
https://drive.google.com/file/d/1SJb31WG3Z8WXdCteetFHnwVR3lB7D-Tq/view
15. سراج صالح اونيس & نسيم صالح اونيس. (2026). تأثير الاستبدال الجزئي للإسمنت البورتلاندي العادي بمسحوق مخلفات الرخام المحلي على قابلية التشغيل ومقاومة الضغط للخرسانة مجلة العلوم الشاملة. 1455-1472 , (39)10, DOI: https://doi.org/10.65405/e05kcb69
16. سعاد محمد المبروك محمد. (2024). دراسة تأثير إحلال مخلفات الرخام والزجاج على مقاومة الضغط المونة الإسمنت مجلة العلوم الشملة. 2518- 5799 , (33) 9,
https://drive.google.com/file/d/131EuciBLFWHHdnM8uNLH783IjvHRSs84/view
17. ابوبكر محمد الشاوش.(2025). دراسة تحليلية عن توفير السكن في ليبيا. مجلة العلوم الشاملة 5799-2518 , (33) 9,
https://drive.google.com/file/d/1s7nR1gE1aWp5y-VkqZa0EsQ11hD2NACk/view
18. سامية الحبيب عمر سعيد. (2024). التأثيرات اللونية المستدامة على التصاميم الداخلية بالعمارة السكنية مجلة العلوم الشاملة. 5799-2518 , (33) 9,
https://drive.google.com/file/d/1BI13D8RNq3hRxr76H9f04NjwBojTmSRv/view
19. ASTM C143/C143M-2022 standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete.
20. ASTM C39/C39M-2021 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
21. ASTM C496/C496M-2017 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.