

ISSN: 1813-162X (Print) ; 2312-7589 (Online)

Tikrit Journal of Engineering Sciences

available online at: <http://www.tj-es.com>

TJES
Tikrit Journal of
Engineering Sciences

Ahmed AK, Al-Sulayvany BJ, Jomma'h MM. Mechanical Characteristics of Lightweight Concrete Enhanced by Fly-ash and steel fiber. *Tikrit Journal of Engineering Sciences* 2019; 26(4): 16-25.

Arkan Khaleel Ahmed¹
Bayer Jaafar Al-Sulayvany¹
Muyasser Mohammed Jomma'h^{2*}

¹Civil Eng. Dept., College of Engineering,
University of Mosul.

²Civil Eng. Dept., College of Engineering,
Tikrit University.

MECHANICAL CHARACTERISTICS OF LIGHTWEIGHT CONCRETE ENHANCED BY FLY-ASH AND STEEL FIBER

ABSTRACT

This research deals with production of light weight aggregate concrete by using clayey stone aggregate, normal material (cement , sand) and some of mineral admixtures (fly ash and steel fiber). Many trial mix were doing some of these by weighing ratio and others by volumetric ratio . We get light weight aggregate concrete (LWAC) with 24.92 N/ mm² compressive strength and we improved mechanical properties by adding same percentage of fly ash and steel fiber (0.5 ,1 ,1.5) % of each other as a percentage weighing ratio of cement content . compressive strength increased with (7.8 , 5.2 , 2.9) % , splitting tensile strength increased with (20 ,16.71, 12)% and flexural strength increased with (24.5 , 17.9 , 8) % when adding (0.5 ,1 ,1.5) % of each steel fiber and fly ash respectively. The practical results of the current study indicates that the using clayey stone to produce (LWAC) is success and we can improved mechanical properties of this (LWAC) was produced in this research by adding fly ash and steel fiber with previously percentage.

@2019 TJES, College of Engineering, Tikrit University

Keywords:

Concrete
Lightweight
Fly-ash
Steel Fiber

ARTICLE INFO

Article history:

Received 10 May 2016
Accepted 14 Nov 2018
Available online 20 Dec 2019

DOI: <http://doi.org/10.25130/tjes.26.4.03>

بعض الخصائص الميكانيكية والإنشائية للخرسانة خفيفة الوزن المدعمة بالألياف الحديدية والرماد المتطاير

أركان خليل احمد / قسم الهندسة المدنية ، كلية الهندسة، جامعة الموصل ، العراق
بيار جعفر السليفاني / قسم الهندسة المدنية ، كلية الهندسة ، جامعة الموصل ، العراق
ميسر محمد جمعة / قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة تكريت، العراق

الخلاصة

تناول هذا البحث إنتاج خرسانة خفيفة الوزن إنشائية باستخدام ركام الصخور الطينية والمواد الأساسية المتوفرة محلياً مع بعض الإضافات القياسية مثل الرماد المتطاير وألياف الحديد ، إذ تم إجراء عدة خلطات تجريبية باستخدام النسب الوزنية لمكونات الخلطة وأخرى باستخدام النسب الحجمية وتم الحصول على خرسانة خفيفة الوزن ذات مقاومة انضغاط (24.92) نيوتن/ملم² ثم تم تحسين خواص هذه الخرسانة بإضافة الألياف الحديدية والرماد المتطاير بنسب (0.5 ، 1 ، 1.5) % كنسب وزنية من وزن الاسمنت المستخدم لكل منهما، إذ ازدادت مقاومة الانضغاط بنسبة (2.9 ، 5.2 ، 7.8) % عند إضافة (0.5 ، 1 ، 1.5) من كل من الإضافات أعلاه وازدادت مقاومة شد الانشطار بالنسب (8 ، 17.9 ، 24.5) % عند إضافة نفس النسب أعلاه، إذ كانت الزيادة في مقاومة الانضغاط والانشطار والانتشاء تدريجية مع زيادة نسبة الإضافات ويستنتج من البحث إمكانية إنتاج خرسانة خفيفة الوزن للأغراض الإنشائية باستخدام الصخور الطينية وإمكانية تحسين خواص هذا النوع من الخرسانة بإضافة الياف الحديد والرماد المتطاير وبناءاً على الخواص التي تم الحصول عليها فإنه من الممكن استخدام هذا النوع من الخرسانة في تطبيقات متعددة مثل الابنية والساحات وغيرها.

الكلمات الدالة: خرسانة خفيفة الوزن، رماد متطاير، الياف حديدية.

* Corresponding Author: E-mail: <mailto:mmuyasserjomaah@gmail.com>

يُعد الوزن الذاتي العالي نسبياً للخرسانة الأعتيادية مقارنة بالمواد الإنشائية مثل الخشب والحديد من أهم سلبات الخرسانة الأعتيادية لذلك ظهرت الحاجة لإنتاج خرسانة لها نفس الخواص

1. المقدمة

زيادة جميع هذه الخواص وتحسينها بسبب الإضافات بنسب متفاوتة.

3. البرنامج العملي

يتضمن البرنامج العملي صب عدد من الخلطات التجريبية واختيار أفضل خلطة من حيث مقاومة الانضغاط والكثافة، وبعد ذلك اعتمدت هذه الخلطة من الخرسانة خفيفة الوزن كخلطة مرجعية بدون مضافات ثم تم إضافة الألياف الحديدية والرماد المتطاير وبالنسب (0.5، 1، 1.5) % على التوالي كنسبة من وزن السمات المستخدم في الخلطة لكل منهما الى الخلطات الثلاث الأخرى، وتم صب خلطة من الخرسانة الاعتيادية لأغراض المقارنة وأجريت الفحوصات اللازمة إذ تمت دراسة خواص الخرسانة خفيفة الوزن المنتجة باستخدام ركام الاحجار الطينية (البونزا) وتأثير إضافة الألياف الحديدية والرماد المتطاير على الخواص الميكانيكية إذ تم صب (3) مكعبات قياسية (150x150x150) ملم من كل خلطة وفحصها بعمر (28) يوماً لقياس مقاومة الانضغاط، كما تم صب ثلاث اسطوانات قياسية بقياس (300x150) ملم من كل خلطة وفحصت بعمر (28) يوماً لقياس مقاومة الانشطار، وتم صب ثلاثة مواشير قياسية بقياس (100x100x500) وتم فحصها بعمر (28) يوماً لقياس مقاومة الانثناء، واحتساب معايير الكسر للخرسانة وحسب المواصفات القياسية البريطانية.

1.3 عملية الخلط (Mixing)

ان عملية خلط مكونات الخرسانة مهمة للحصول على قابلية التشغيل المطلوبة وتجانس الخلطة، وإن عملية خلط الخرسانة تؤثر على نوعية الخرسانة وخواصها بعد تصلبها حيث أن توزيع مواد الخلطة بانتظام خلال الخرسانة، يؤدي للحصول على خرسانة متصلة متجانسة ولها نفس الخواص في جميع اجزاء النموذج الخرساني بالإضافة إلى أن قوة التماسك بين أجزاء الخرسانة وتغطية السمات لأجزاء الركام بصورة كاملة يعتمد على عملية الخلط الصحيحة، لذلك لا بد من استخدام الطريقة الأمثل في الخلط للحصول على خرسانة متجانسة ونتائج أفضل. وتم خلط المواد والحصول على الخلطة المناسبة في الدراسة الحالية باتباع الخطوات الآتية:

1. في البداية يتم تهيئة الخباطة (Mixer) ذات حوض أفقي بسعة (0.03 m³).
2. تضاف مادة الرماد المتطاير الى السمات وتحرك جيدا إلى أن يتجانس الخليط جيدا حيث تتداخل جزيئات الرماد المتطاير بين جزيئات السمات.
3. يتم تقسيم الماء إلى جزئين تضاف كمية الملدن المطلوبة إلى ثلث ماء الخليط ويترك لتلين الكمية.
4. يتم وضع كمية الركام الخشن وكمية الركام الناعم في الخباطة وتضاف كمية الألياف الحديدية إليها حيث يتم إضافة قليل من ماء الخليط إلى الألياف لإزالة المادة الصمغية التي تربط بينها وتخلط لمدة دقيقة واحدة على الأقل.
5. تضاف كمية السمات المضاف إليها الرماد المتطاير إلى الخليط ويضاف الماء إلى الخلطة حيث يتم إضافة كمية الماء غير الحاوية على الملدن (الثلاثين) أولاً ثم يضاف الثلث الحاوي على الملدن بعد ذلك وتكون إضافة الماء تدريجياً مع استمرار الخلط.

2.3 المواد المستخدمة في البحث (Materials)

1.2.3 السمات (Cement)

وذات وزن ذاتي أقل وهي الخرسانة خفيفة الوزن وقد استخدمت بشكل واسع في كافة أنحاء العالم مؤخراً، علماً إن استخدامها يعود إلى فترات بعيدة جداً ويطلق على الخرسانة تسمية الخرسانة خفيفة الوزن إذا كانت كثافتها الجافة في الفرن لا تقل عن (800) كغم/م³ ولا تزيد عن (2000) كغم/م³ [1],[2] وتتميز الخرسانة خفيفة الوزن بقلّة وزنها الذي بدوره يساعد على تقليل حجم الأسس المستخدمة في المنشآت مما يؤدي إلى تقليل أحمال المنشأ وهذا بدوره يؤدي إلى تقليل كلفة الإنشاء، كما تتميز بقابليتها العالية على العزل الحراري والعزل الصوتي ومقاومتها العالية للحريق، وتختلف الخرسانة خفيفة الوزن في مقاومتها للانضغاط حسب الحاجة إلى تلك المقاومة في مراحل التصميم ولذلك تصنف الى خرسانة خفيفة الوزن اعتيادية وخرسانة خفيفة الوزن عالية المقاومة.

وتضاف المضافات إلى الخرسانة خفيفة الوزن لعدة أغراض منها، زيادة قابلية التشغيل وتقليل النضح في الخرسانة وتقليل الانكماش والزحف وكذلك لتحسين خواص النفاذية ولزيادة مقاومة الانضغاط ومن هذه المضافات الملدن الفائق (Super plasticizer) والذي يضاف لتقليل ماء الخلط بنسبة 20% تقريباً ويزيد قابلية التشغيل وأحياناً لزيادة مقاومة الانضغاط، ومن المواد المضافة أيضاً المواد الناعمة مثل غبار السليكا والرماد المتطاير والتي تضاف لتملأ الفراغات بين جزيئات السمات وتزيد مقاومة الانضغاط في الخرسانة، كما تُضاف أحياناً الألياف بمختلف أنواعها إلى الخرسانة لتحسين خواصها وزيادة مقاومتها للشد والصدم والانثناء وتقليل التشققات وزيادة المطيلية (Ductility) فعند إضافة الألياف إلى الخرسانة يكون الفضل فيها بطيء وغير مفاجئ خلافاً للخرسانة التي لا تحتوي على الألياف أي أن إضافة الألياف يساعد بشكل كبير جداً في التغلب على القصف أو الهشاشة في الخرسانة [3]. وتتوفر الألياف الفولاذية بأشكال مختلفة فمنها ما يكون على شكل شرائح مستطيلة ومنها المدورة ومنها المنثنية ومنها معكوفة النهاية ولكنها جميعاً تشترك بخاصية واحدة تسمى النسبة الباعية (Aspect ratio) وتمثل نسبة طول الليف إلى قطره المكافئ والتي تم اعتمادها من قبل المعهد الأمريكي للخرسانة ويفضل أن لا يزيد هذا المعامل عن الرقم (100) وذلك لتجنب الانعزال ومشاكل المزج. وقد أجريت دراسات عديدة في هذا المجال ومنها قيام كل من الباحثان (Wilson and Malhotra)، بدراسة سلوك الخرسانة الخفيفة عالية المقاومة (HSLWC) باستخدام الخرسانة الخفيفة، وقاما بتحضير 7 خلطات، وبمحتوى اسمنت مع مضافات الرماد المتطاير وغبار السليكا بين (300-635) كغم/م³ وكذلك تم استخدام الملدن الفائق ومضافات الهواء المقصود في كل الخلطات، واستنتج الباحثان بأنه من الممكن الحصول على خرسانة خفيفة الوزن وعالية المقاومة وبكثافة أقل من (2000) كغم/م³، وكانت أقصى مقاومة انضغاط (66.5) نيوتن/ملم² بعمر 365 يوماً وعند هذه المقاومة كان محتوى المواد الإسمنتية (638) كغم/م³، وكانت مقاومة شد الانشطار للخرسانة تساوي (3.5) نيوتن/ملم².

2. خطة البحث

سيتم العمل في هذا البحث على إنتاج خرسانة خفيفة الوزن باستخدام ركام الصخور الطينية (البونزا) ومن ثم تحسين مقاومة الانضغاط والانشطار ومعايير الكسر لهذا النوع من الخرسانة خفيفة الوزن عن طريق إضافة الرماد المتطاير وألياف الحديد بنسب (0.5، 1، 1.5) % كنسب وزنية لكل منهما من السمات المستخدم في الخلطة وصب مكعبات واسطوانات ومواشير قياسية وفحصها قبل وبعد وفحصها قبل وبعد إضافة المضافات أعلاه للتعرف على الفرق الذي تسببت به هذه المضافات ومن المتوقع

البورتلاندي الاعتيادي (Ordinary Portland Cement) و**جدول [2-1]** يوضحان الخصائص الكيميائية والفيزيائية للسمنت المستخدم على التوالي.

السمنت المستخدم هو اسمنت عراقي المنشأ (O P C) علامة ماس وبعد إجراء الفحوصات عليه تبين مطابقته للمواصفة العراقية القياسية (IQS, No.5, 1984) [4] ، للسمنت

جدول 1
التحليل الكيميائي للسمنت المستخدم ومركباته الرئيسية

Chemical Properties for cement	(%)	Standards Limits (IQS:5/1984) (%) 1984
Al ₂ O ₃	2.48	3-8
SiO ₂	14.81	17-25
SO ₃	1.03	≤ 2.8%
MgO	3.69	≤ 5 %
CaO	-	-----
Free Lime	-	-----
Loss on ignition	1.08	≤ 4%
Insoluble residu	0.98	≤ 1.5%
(Total)	-	-----
Solid Solution	-	-----

جدول 2
التحليل الفيزيائي للسمنت المستخدم

Physical Properties	Result	Standards Limits (IQS:5/1984)
Surface Area	312	Not less than 230 m ² /kg
Initial Setting time	130 minute	Not less than 45 minute
Final Setting time	250 minute	Not more than 10 hours
Compressive strength for 3 day	21.2 N/mm ²	Not less than 16 N/mm ²
Compressive strength for 7 day	27.5 N/mm ²	Not less than 24 N/mm ²

إجراء التحليل المنخلي له وجد أنه مطابق للمواصفات القياسية الأمريكية للمواد (ASTM C33-01) [5] ونتائج التحليل المنخلي مثبتة في **جدول 3** ويوضح **جدول 4** الخصائص الفيزيائية والكيميائية للركام الناعم المستخدم في الدراسة .

2.2.3 الركام الناعم (Fine aggregate)

الرمال المستخدم في الخلطة الخرسانية هو رمل نهري (River Sand) من منطقة الطوز في محافظة صلاح الدين ، بعد

جدول 3
التحليل المنخلي للركام الناعم

Sieve No.(mm)	Passing (%)	Standards Limits (%)
9.5	100	100
4.75	95	95-100
2.36	86	80-100
1.18	78.5	50-85
600	38.5	25-60
300	16.5	5-30
150	4	0-10

جدول 4
الخصائص الفيزيائية والكيميائية للركام الناعم

Fine Aggregate Properties	Standards	Results	Standards Limits
Specific Gravity	ASTM C128-01	2.65	
Absorption	ASTM C128-01	0.7%	
Dry Density	ASTM C29/C29M/97	1595	
Sulfate Content	(I.Q.S.)No.5-1984	0.3 %	0.5% Max value
Passing sieve (0.075 mm)	(I.Q.S.)No.5-1984	3%	5% Max value

ويوضح جدول 6 الخصائص الفيزيائية والكيميائية للركام خفيف الوزن المستخدم في الدراسة.

3.2.3 الركام الخشن خفيف الوزن (Light weight coarse aggregate)



شكل 1: الركام الخشن خفيف الوزن المستعمل

أن الركام المستخدم في هذا البحث هو ركام الصخور الطينية (Clayey stone) والذي يُسمى محلياً بونزا (Ponza) وهو ركام خشن خفيف الوزن يتم استخدامه في معامل إنتاج الكتل البنائية الخفيفة الوزن في محافظة أربيل والمستخدم كقواطع في الأبنية، ومصدره الأصلي جبال تركيا وشمال العراق وتم غربلته في معامل إنتاج الكتل البنائية للحصول على التدرج المطلوب، إن التركيب المسامي لركام البونزا المستخدم يجعله خفيف الوزن بسبب احتوائه على فجوات في داخله وبسبب ذلك يكون امتصاصه للماء عالي جداً مقارنة بالركام الاعتيادي لذلك ولمعالجة هذه الخاصية تم ترطيب الركام بوضعه في أحواض ماء لمدة (24) ساعة ثم يتم إخراجها ويترك لمدة تتراوح بين ساعة إلى ساعتين ليجف سطح الركام ليكون مشبع جاف السطح بعدها يتم استخدامه في الخلطة وأن التحليل المنخلي لركام البونزا موضح في جدول 5

جدول 5

التحليل المنخلي للركام الخشن خفيف الوزن

Sieve No. (mm)	Passing (%)	Standards Limits(%) for (ASTM C33-01)
12.5 mm	100	90-100
9.5 mm	90	85-100
4.75 mm	18	10-30
2.36 mm	3	0-10

جدول 6

الخواص الفيزيائية والكيميائية للركام الخشن خفيف الوزن

LWA Properties	Standards	Result
Specific Gravity	ASTM C127-88	1.4
Absorption	ASTM C127-88	4.6%
Dry Density	ASTM C29/C29M/97	640
Sulfate Content	BS 3797-part 2-1981	0.1 %

4.2.3 المواد المضافة (Additive materials)


1.4.2.3 الالياف الحديدية (Steel fibers)

الالياف الحديدية التي تم استخدامها في هذا البحث هي نوع (Dramix®ZP305) [6]، وهي مصنعة من قبل شركة (Bekaert) البلجيكية وتكون معقوفة النهائيين بطول (30 mm) وعلى شكل حزم ملتصقة بعضها ببعض بمادة غروية تزال بإضافة قليل من الماء إليها وان نسبة الطول إلى القطر أو ما يسمى النسبة الباعية (Aspect ratio) للالياف المستخدمة هي (55) والتي يحددها معهد الخرسانة الامريكي (ACI - CODE) بما لا يزيد عن (100) وذلك لتجنب تكورها أثناء الخلط حيث يعد تكور الالياف من أهم الصعوبات التي تواجه العمل عند إضافتها إلى الخرسانة و جدول 7 يوضح شكل ومواصفات هذه الالياف.



شكل 2: الالياف الحديدية المستخدمة

جدول 7
المواصفات الفنية للألياف الحديدية [6]

Type	Shape	Properties	Standards
(Dramix®ZP305)	 2- end hooked	Density	7860 kg/m ³
		Ultimate Strength	1345 MPa
		Modulus of elasticity	210x10 ³ MPa
		(strain at proportion limit)	6.4 x10 ³
		(Poisson's ratio)	0.28
		Average length	30 mm
		(Nominal diameter)	0.55
		(Aspect ratio)	55

2.4.2.3 الرماد المتطاير (Fly Ash)



شكل 3: الرماد المتطاير المستخدم

الرماد المتطاير هو أحد الإضافات المعدنية التي تضاف إلى الخرسانة لغرض تحسين خواصها ويستعمل منذ فترة بعيدة لهذا الغرض كماله استعمالات أخرى كثيرة حيث تشير الإحصائيات أن الولايات المتحدة وحدها تستخدم ما يقارب (42) مليون طن من الرماد المتطاير سنوياً ، وهو ناتج عرضي من الأفران التي يتم فيها حرق الفحم الحجري ويعتمد في صناعته على المواصفة الأمريكية (ASTM C618) وله فوائد عديدة عند استعماله في الخرسانة فاستعمال الرماد المتطاير يحسن الديمومة ويزيد مقاومة الانضغاط للخرسانة ويساعد في تقليل النضح والانعزال والنفاذية ويقلل أيضاً الحرارة الناتجة من إمهة السمنت [7] ، ويوضح جدول 8 تفاصيل الرماد المتطاير المستخدم في الدراسة .

جدول 8
تفاصيل تحليل الرماد المتطاير المستخدم [7]

Property	Result
SO ₂ (%)	52.46
Fe ₂ O ₃ (%)	6.32
Al ₂ O ₃ (%)	31.46
CaO (%)	2.76
K ₂ O (%)	1.08
Na ₂ O (%)	0.18
Loss with fire	4.58
Density	300-650 كغم/م ³

3.4.2.3 الملدن الفائق (Super Plasticizer)

الخرسانة عالية المقاومة والخرسانة التي يتم صبها في الجو الحار والخرسانة ذاتية الرص والخرسانة الاعتيادية ويستخدم أيضاً عند الحاجة الى تقليل ماء الخلط بدرجة كبيرة تصل الى (30%) حيث يوفر قابلية تشغيل جيدة جداً ويضاف بمقدار يتراوح بين (0.2-0.8) كنسبة مئوية من وزن السمنت المستخدم في الخلطة .

استخدم في هذا البحث مضاف مقلل للماء بدرجة فائقة نوع (Sika ViscoCrete®5930) والمصنوع من قبل شركة (Sika) وهو يلبي جميع متطلبات الملدن الفائق بموجب المواصفة الأمريكية (ASTM-C-494) والمواصفة البريطانية (BS EN 934 Part 2: 2001) وهذا النوع ملائم لأنواع عديدة من الخرسانة ومنها

4. النتائج والمناقشة

1.4 فحص قابلية التشغيل

تم إجراء فحص الهطول (Slump test) لجميع الخلطات المستخدمة مباشرة بعد عملية الخلط باستخدام المخروط القياسي لغرض التعرف على قابلية التشغيل لجميع الخلطات الخرسانية في هذه الدراسة إذ يجب أن تكون قابلية التشغيل مقبولة لسهولة

جدول 9

نتائج فحص الهطول للخلطات المعتمدة

item	Mix type	Steel fiber (%)	Fly Ash (%)	Super plasticizer (%)	(w/c)	Slump result
1	LW0	0	0	0.8	0.28	71
2	LW1	0.5	0.5	0.8	0.28	70
3	LW2	1	1	0.8	0.28	68
4	LW3	1.5	1.5	0.8	0.28	65
5	MR	0	0	0.8	0.28	73

إن إضافة الألياف الحديدية والرماد المتطاير تساهم في زيادة مقاومة الانضغاط بشكل واضح من خلال اشتراك الألياف الحديدية الموازية لمحور تسليط الحمل في تحمل الحمل المسلط مع الخرسانة ومن خلال حجز التشققات في الخلطات الخرسانية التي تحتوي على نسب مختلفة من الألياف الحديدية والرماد المتطاير ، نلاحظ من خلال النتائج المختبرية أن مقاومة انضغاط الخرسانة تزداد نتيجة لإضافة هذه المضافات مقارنة مع الخرسانة المرجعية من الخرسانة خفيفة الوزن [9]، [10]، إذ كانت نسبة الزيادة في مقاومة انضغاط الخرسانة للمكعب هي (2.9 ، 5.2 ، 7.8) % نتيجة إضافة الألياف الحديدية والرماد المتطاير بنسب (0.5 ، 1 ، 1.5) لكل منهما % كنسبة من وزن الاسمنت على التوالي والسبب في ذلك يعود إلى أن معامل المرونة للألياف الحديدية أعلى من معامل مرونة الخرسانة ونتيجة لزيادة تماسك الخرسانة وجعلها كتلة أكثر صلابة فإنها تقاوم إلى حد كبير التشققات الحاصلة في منطقة الشد ، وأن وجود الرماد المتطاير بين جزيئات الاسمنت يملأ الفراغات الصغيرة مما يؤدي إلى زيادة تماسك الخرسانة وجعلها ذات صلابة أكثر، ومن ملاحظة التشققات الحاصلة في نماذج المكعبات الخرسانية عند فشلها نجد أن الخرسانة الاعتيادية ذات تشققات كبيرة وأحياناً نجد أن النموذج ينهار بشكل شبه كامل، أمّا في حالة الخرسانة خفيفة الوزن المحتوية على المضافات فإن التشققات تكون صغيرة إذ أن وجود الألياف والرماد المتطاير يقلل من عرض التشققات ويزيد من تماسك الكتلة الخرسانية .

يلاحظ من خلال جدول 9 انخفاض الهطول بزيادة نسبة المواد المضافة (الألياف الحديدية والرماد المتطاير) مع ملاحظة أن الفرق ليس كبيراً بين الخلطات ذات النسب المختلفة من المضافات ولم يؤثر بشكل كبير على قابلية التشغيل للخرسانة المنتجة ، إذ كانت قابلية التشغيل مقبولة لجميع الخلطات وأن انخفاض الهطول مع زيادة المضافات قد يكون بسبب وجود الألياف الحديدية إذ إن وجود الألياف يعرقل الانسيابية للخلطة الخرسانية وأن جميع الخلطات ذات الركام خفيف الوزن كانت ذات مقدار هطول أقل من الخلطة المرجعية وذلك بسبب تركيبة الركام خفيف الوزن وخشونة سطحه مقارنة بالركام الاعتيادي (Rounded Aggregate) الذي يكون ذات ملمس أنعم مما يسهل انسيابية الخلطة أكثر في حالة الخلطة المرجعية منها في الخلطات الأخرى وأن استخدام الملدن الفائق ساهم بشكل كبير في زيادة الهطول فضلاً عن تقليل ماء الخلط .

2.4 فحص مقاومة الانضغاط

يُعد فحص مقاومة الانضغاط من أهم فحوصات الخرسانة المتصلبة إذ تعد مقاومة انضغاط الخرسانة (f_c') من أهم الخصائص الميكانيكية للخرسانة المتصلبة ، إذ يوضح مقدرة المادة على مقاومة القوى الضاغطة محورياً وهي قيمة إجهاد الضغط المحوري الذي تصل إليه المادة عند الانهيار التام. وأن معدل نتائج فحص مقاومة الانضغاط لثلاثة مكعبات بعمر 28 يوماً للخلطات الخرسانية كافة موضحة في جدول 10.

جدول 10

نتائج فحص مقاومة الانضغاط للخلطات المعتمدة

item	Mix type	Steel fiber (%)	Fly Ash (%)	Super plasticizer (%)	(w/c)	Comp. strength MPa	Decreasing ratio (%)
1	LW0	0	0	0.8	0.28	24.92	49.35
2	LW1	0.5	0.5	0.8	0.28	25.65	47.86
3	LW2	1	1	0.8	0.28	26.22	46.70
4	LW3	1.5	1.5	0.8	0.28	26.88	45.36
5	MR	0	0	0.8	0.28	49.20	0



شكل 4: نموذج اسطواني من الخرسانة خفيفة الوزن بعد الفحص

3.4 فحص مقاومة الانشطار

إن فحص مقاومة الانشطار (f_t) أو قياس الشد غير المباشر من الفحوصات المهمة للخرسانة المتصلية لأنه يعبر عن قابلية الخرسانة لمقاومة إجهاد الشد الذي تتعرض له العناصر الإنشائية في المنشآت الخرسانية ويتميز هذا الفحص بسهولة إجرائه حيث يتم تسليط قوة انضغاط على طول النموذج الاسطواني وطريقة التحميل هذه تتسبب في حدوث إجهادات شد في مستوى الحمل المسلط، فيحدث الانشطار في اتجاه أفقي أو الانفلاق في النموذج الخرساني ويوضح جدول 11 نتائج فحص الانشطار لثلاثة نماذج خرسانية بعمر (28) يوماً لكل خلطة من الخلطات المستخدمة في الدراسة.

جدول 11

نتائج فحص مقاومة شد الانشطار للخلطات المعتمده

item	Mix type	Steel fiber (%)	Fly Ash (%)	Super plasticizer (%)	(w/c)	Splitting strength MPa	Decreasing ratio (%)
1	LW0	0	0	0.8	0.28	2.64	33.67
2	LW1	0.5	0.5	0.8	0.28	2.96	25.62
3	LW2	1	1	0.8	0.28	3.08	22.61
4	LW3	1.5	1.5	0.8	0.28	3.17	20.35
5	MR	0	0	0.8	0.28	3.98	0

4.4 فحص مقاومة الانثناء

نجد أن قيمة مقاومة الانثناء لجميع أنواع الخرسانة خفيفة الوزن أكبر من القيمة النظرية الناتجة من المعادلة (a)، فأما الخلطة (LW0) فإن نسبة الزيادة في قيمة مقاومة الانثناء كانت بنسبة (3%) وهذا بسبب محتوى السمنت العالي المستخدم وأما باقي الخلطات (LW1, LW2, LW3) التي تحتوي على نسب مضافات (0.5، 1، 1.5) بالتساوي لكل من الألياف الحديدية والرماد المتطاير فإن نسب الزيادة عن القيمة الناتجة من المعادلة كانت (14، 20، 23) % على التوالي وأن هذه الزيادة تعود لسببين الأول محتوى السمنت والسبب الثاني وجود الألياف الحديدية والرماد المتطاير في الخلطة التي أدت إلى تحسين خواص الخلطة الخرسانية ومنها مقاومة الانثناء بنسبة تعتبر كبيرة نسبياً وهي بين (14-23) % وعند مقارنة مقاومة الانثناء للخلطة المرجعية من الخرسانة الاعتيادية الوزن نجد أن نسبة الزيادة عن المعادلة تبلغ (18) % وهذا أيضاً بسبب محتوى السمنت، ومن مقارنة نتيجة الخلطة المرجعية وخلطة الخرسانة الخفيفة غير الحاوية على المضافات مع الخلطات الأخرى الحاوية على المضافات يتأكد لنا أن تأثير المضافات كان إيجابياً بتحسين قيمة مقاومة الانثناء [10]، [11].

تم فحص ثلاث عينات من المواشير بعمر (28) يوماً لكل خلطة من الخلطات المستخدمة في البحث وتم إجراء الفحص بطريقة نقطتي تحميل (Two point load) حيث يتم تقسيم الفضاء على ثلاثة أجزاء متساوية وتكون نقطتي التحميل في بداية ونهاية الثلث الوسطي للفضاء مما يعطي دقة في النتائج لأن الثلث الوسطي لا يحصل فيه تداخل بين قوى القص والانثناء كما هو الحال لو كان التحميل في نقطة واحدة في المنتصف (One point load) ، ويوضح جدول 12 نتائج فحص مقاومة الانثناء أو معايير الكسر للخلطات المستخدمة في هذه الدراسة.

يتبين من هذا الفحص الذي يعطي معايير الكسر (f_r) الذي بواسطته نستدل على مقاومة الخرسانة الاعتيادية للانثناء بدون استخدام حديد التسليح وبما أن الخرسانة بدون حديد تسليح تكون ضعيفة في مقاومة قوى الشد لذلك تكون قيمة مقاومة الانثناء قليلة نسبياً مقارنة بمقاومة الانضغاط لنفس النوع من الخرسانة. ومن ملاحظة النتائج ومقارنتها مع ما أشارت إليه مدونة المعهد الأمريكي للخرسانة بأن العلاقة بين مقاومة الانضغاط ومقاومة الانثناء تكون حسب المعادلة (a) [8].

$$f_r = 0.62 \times \sqrt{f'_c} \text{ ----- (a)}$$

جدول 12

نتائج فحص مقاومة الانثناء لجميع الخلطات

item	Mix type	Steel fiber (%)	Fly Ash (%)	Super plasticizer (%)	(w/c)	Flexural strength MPa	Decreasing ratio (%)
1	LW0	0	0	0.8	0.28	3.35	37.03
2	LW1	0.5	0.5	0.8	0.28	3.62	31.95
3	LW2	1	1	0.8	0.28	3.95	25.75
4	LW3	1.5	1.5	0.8	0.28	4.17	21.61
5	MR	0	0	0.8	0.28	5.32	0

5.4 فحص الكثافة

وزن الخرسانة وبالتالي تقل كثافتها مما يؤثر سلباً على تحملها للأحمال ، ونلاحظ من النتائج أن كثافة خلطات الخرسانة الخفيفة هي منخفضة مقارنة بالخرسانة المرجعية والسبب في ذلك يعود لاستخدام ركام البونزا خفيف الوزن ذي التركيبة المسامية والوزن النوعي المنخفض، وأن الفرق بين الخلطات (LW0, LW1, LW2, LW3) لا يتجاوز (3) % وذلك لأن الخلطات متشابهة بالنسب باستثناء المضافات وأن نسب المضافات لا تؤثر بشكل كبير على كثافة الخرسانة المنتجة .

يوضح **جدول 13** نتائج فحص الكثافة لثلاث عينات من المكعبات القياسية (150x150x150) ملم ويعمر (28) يوماً من بداية وقت المعالجة لجميع الخلطات المستخدمة في البحث إذ تم أخذ وزن النماذج بحالة مشبع جاف السطح . إن فحص الكثافة يتناسب طردياً مع مقاومة انضغاط الخرسانة وإن أحد أهم أسباب إنتاج الخرسانة الخفيفة الوزن هو الحاجة إلى تقليل وزن المنشآت وهذا يكون بتقليل

جدول 13

نتائج فحص الكثافة للخلطات المعتمده

item	Mix type	Steel fiber (%)	Fly Ash (%)	Super plasticizer (%)	(w/c)	Density Kg/m3	Decreasing ratio (%)
1	LW0	0	0	0.8	0.28	1766.22	27.98
2	LW1	0.5	0.5	0.8	0.28	1773.18	27.70
3	LW2	1	1	0.8	0.28	1795.44	26.80
4	LW3	1.5	1.5	0.8	0.28	1819.35	25.82
5	MR	0	0	0.8	0.28	2452.62	0

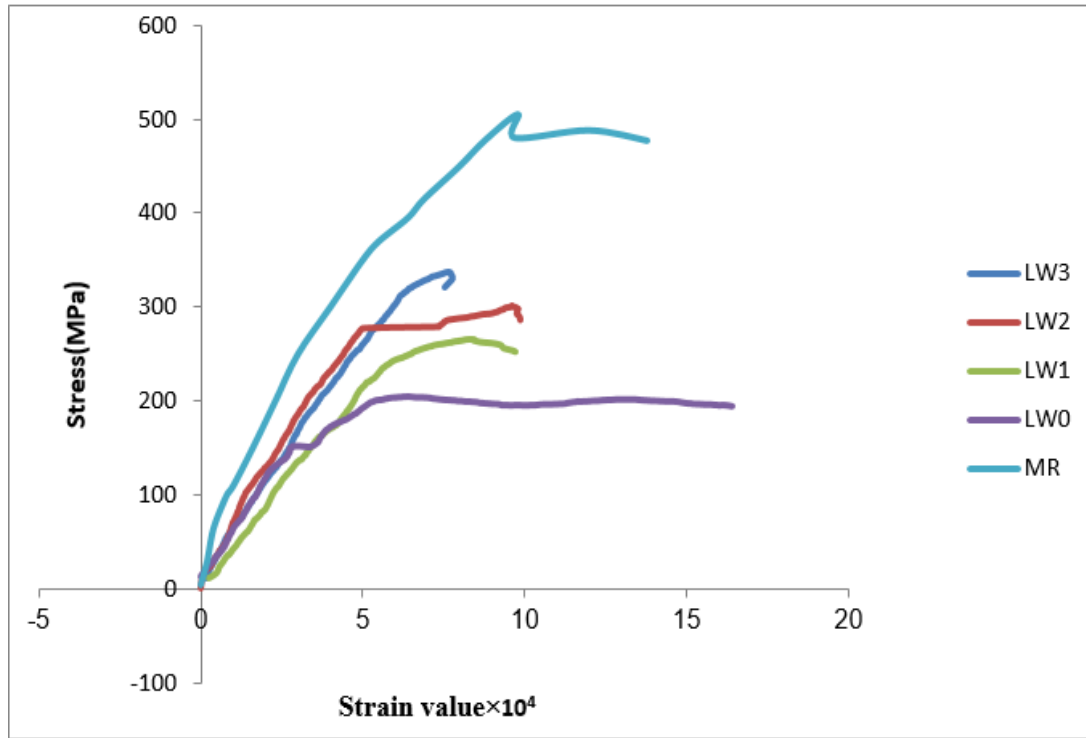
6.4 فحص معامل المرونة

النتيجة متوقعة بسبب انخفاض الكثافة والوزن النوعي للركام خفيف الوزن أمّا تأثير إضافة الألياف الحديدية والرماد المتطاير فإنه تسبب في زيادة معامل المرونة لخرسانة الركام خفيف الوزن بنسبة بين (8-10) % عند المقارنة مع نفس الخرسانة خفيفة الوزن بدون المضافات والسبب هو تحسين خواص هذا النوع من الخرسانة بإضافة الألياف الحديدية والرماد المتطاير وكما ازدادت مقاومة الانضغاط ومقاومة الانشطار وغيرها من الخواص فمن الطبيعي أن معامل المرونة يزداد بتحسين خواص الخرسانة.

معدل نتائج فحص معامل المرونة لعينيتين من النماذج الاسطوانية بعمر (28) يوماً من جميع الخلطات الخرسانية المستخدمة في الدراسة موضحة في **جدول 14** و**شكل 5** . إن معامل المرونة هو دالة على مقاومة الانضغاط للخرسانة ويمكن من خلاله معرفة مدى قوة الخرسانة ومقاومتها وتحملها ويظهر من نتائج فحص معامل المرونة أنه يقل في خلطات الخرسانة خفيفة الوزن بنسب من (31) % إلى (35) % مقارنة بالخرسانة الاعتيادية المرجعية وهذه

جدول 14 نتائج فحص معامل المرونة

item	Mix type	Steel fiber (%)	Fly Ash (%)	Super plasticizer (%)	(w/c)	Modulus of elasticity (MPa)	Decreasing ratio (%)
1	LW0	0	0	0.8	0.28	22875	34.91
2	LW1	0.5	0.5	0.8	0.28	23876	32.06
3	LW2	1	1	0.8	0.28	24112	31.39
4	LW3	1.5	1.5	0.8	0.28	23987	31.74
5	MR	0	0	0.8	0.28	35145	0



شكل 5: علاقة الاجهاد- الانفعال لنماذج اسطوانية للخلطات المستخدمة

المستخدم في الخلطة إذ إن مقاومة الانضغاط زادت بنسبة (7.8) % ومقاومة شد الانشطار بنسبة (16.7) % وكذلك مقاومة الانثناء بنسبة (23) % .

5- إن استخدام الرماد المتطاير والألياف الحديدية في الخرسانة خفيفة الوزن يؤدي إلى زيادة كثافتها ولكن بنسبة قليلة تتراوح بين (2.7-3.6) % وهي نسبة لا تؤثر على تصنيف الخرسانة خفيفة الوزن.

6- إن استخدام المضافات اعلاه لا يؤثر بشكل كبير على قابلية التشغيل فنجد ان استخدام الياف الحديد والرماد المتطاير كمضافات معدنية وبمقدار (0.5 ، 1 ، 1.5) لكل منهما كنسب وزنية من وزن الاسمنت تسبب بنقص قياس فحص الهطول بالنسب (1 ، 4 ، 8) % على التوالي وهذا يعني ان قابلية التشغيل تقل بزيادة نسبة المضافات وهذا الامر منطقي .

6. المصادر

[1] A state-of-the art Report , "Guide to the Use of Lightweight Aggregate Concrete in Bridges" , A cement and Concrete Industry Publication , Technical Guide No. 8 , pp. (5) .

[2] British standards BS-EN 206-1:2000.

[3] Al-Attar A. A. "Microstructure and Mechanical Properties of Lightweight Aggregate Concrete Containing Fibers"

5. الاستنتاجات

1- يمكن إنتاج خرسانة خفيفة الوزن إنشائية باستخدام الركام خفيف الوزن (ركام الصخور الطينية) (Clayey stone) المُسمى محلياً (البونزا) وباستخدام اسمنت وركام ناعم وبنسب حجمية (1:1.2:1.5) وبنسبة الماء إلى السمنت (w/c) بمقدار (0.28) وبمحتوى (0.8) % للملدن الفائق .

2- يمكن تحسين الخواص الميكانيكية للخرسانة خفيفة الوزن المنتجة بإضافة ألياف الحديد والرماد المتطاير كمضافات معدنية وبمقدار (0.5 ، 1 ، 1.5) لكل منهما كنسب وزنية من وزن الاسمنت إذ إن مقاومة الانضغاط تزيد بنسبة تتراوح بين (7.8-2.9) % عند إضافة النسب أعلاه وكذلك يزيد مقاومة شد الانشطار بنسبة (16.7-10.8) % وتزيد مقاومة الانثناء بنسبة (14-23) % .

3- يمكن تحسين معامل المرونة للخرسانة خفيفة الوزن المنتجة بإضافة الرماد المتطاير وألياف الحديد والنسب المذكورة آنفاً حيث ان معامل المرونة يزداد بمقدار (8-10) % عن قيمته لنفس النوع من الخرسانة قبل اضافة الرماد المتطاير والياف الحديد .

4- إن النسبة الأفضل للمضافات المعدنية المستخدمة (ألياف الحديد والرماد المتطاير) هي النسبة الأعلى المستخدمة (1.5) % نسبة وزنية من وزن الاسمنت

- Commentary", ACI 318-08, American Concrete Institute,
- [9] R.V. Balendran , F.P. Zhou , A. Nadeem &A. Y. T. Leung " Influence Steel fibres on strength and ductility of normal and lightweight high Strength concrete "Building and environmental " ,Vol. ,37,2002;pp.1361-1367.
- [10] A. D. Oguz ,G. Rustem &C. A. Abdulkadir , "Effect of steel fibres on the mechanical properties of natural light weight aggregate concrete" Material letters , Vol.59 2005 ; pp.3357-3363.
- [11] Al-Samarai Noor S. N. ,"Some of Mechanical Properties of Lightweight Aggregate Concrete Reinforced by Carbon Fiber and byAcrylic Polymer" , M.SC Thesis , College of Engineering, University of Anbar , Iraq , 2012.
- Ph.D. Thesis, University of Technology, October 2006.
- [4] المواصفات القياسية العراقية رقم(5) ، لعام(1984) ، " خصائص السمنت البورتلاندي الاعتيادي " ، الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية ، العراق ، 1984 ،
- [5] ASTM C 33-01, " Specification for concrete Aggregates " ASTM standards in Building codes, American Society for testing and materials.
- [6] Bekaert Company, "Data sheet of Dramix® ZP305 Steel Fibers" 2010
- [7] Perkins And Will, "fly ash in concrete" , November 2011 , USA ,PP.54
- [8] ACI Committee 318, "Building Cod Requirement for Structural Concrete and