مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (4) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (4) 2016

# الخصائص الميكانيكية للبيتون الخفيف المسلح بالألياف الفولاذية

**الدكتور طارق أصلان***
**الدكتور عصام ناصر ****
**نسرين الجبيلي*****

**(تاريخ الإيداع 13 / 4 / 2016. قُبِل للنشر في 3/ 8 / 2016)**

## □ ملخّص □

يتناول هذا البحث دراسة الخصائص الميكانيكية للبيتون الخفيف المسلح بالألياف الفولاذية. وقدتم الحصول على البيتون الخفيف باستخدام حصويات السكوريا المتوفرة بكميات كبيرة في الجمهورية العربية السورية. صممت ثلاث خلطات بيتونية بنسب مختلفة من الألياف الفولاذية ,0.5 , %(00.75)(على أساس حجمي).

تم إجراء مجموعة من الاختبارات على عينات اسطوانية وموشورية مأخوذة من هذه الخلطات لتعيين الخصائص الميكانيكية للبيتون الناتج والمتمثلة بالمقاومة على الضغط، معامل المرونة، الشد بالانفلاق، والشد بالانعطاف كما تم إيجاد سلوك البيتون (العلاقة إجهاد–تشوه) تحت تأثير الضغط.

بيّنت النتائج ازدياد قيم مقاومة الضغط ومقاومة الشد بالانفلاق ومقاومة الانعطاف بنسب تصل لـ16.9%و25.6% و 53.6%عند استخدام الألياف الفولاذية على الترتيب. كما أظهرت أهمية استخدام الألياف الفولاذية لتحسين أداء البيتون وتحويل سلوكه الهش إلى سلوك مطاوع.

**الكلمات المفتاحية:** البيتون الخفيف الإنشائي، البيتون المسلح بألياف فولاذية، الخصائص الميكانيكية.

* أستاذ مساعد – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
** أستاذ – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية . سورية.
*** طالبة دكتوراه–قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية . جامعة تشرين . اللاذقية. سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (4) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (4) 2016

# Mechanical properties of steel fiber reinforced lightweight concrete

**Dr. Tarek Aslan***
**Dr.Issam Nasser***
**Nisrin Aljubayli *****

**(Received 13 / 4 / 2016. Accepted 3 / 8 / 2016)**

## □ ABSTRACT □

Thepaper studies the mechanical properties ofsteel fibers reinforced lightweight concrete.This kind of concrete is produced by usingscoria aggregateswhich can be found abundantly in Syria. Thelightweight concrete mixeswere designed for three different percentage of steel fibers (0, 0.5, 0.75)%.

Different tests were performed to determine mechanical properties of product concrete such as compressive strength, elasticity modulus, splitting tensile strengthand flexural strengthalso; the stress–strain diagram of produced lightweight concrete was established under compression.

The results showedanincrease of the compressive, splitting tensile and flexural strengths reach up 16.9%, 25.6%, and 53.6% respectivelywhen the steel fibers were used. Also the results indicated the importance of using the steel fibers to improve the performance of concrete and change its brittle behavior to ductile behavior.

**Keywords**: structural lightweight concrete, steel fiber reinforced concrete, mechanical properties.

*Associate Professor – Department Of structural Engineering–faculty of Civil Engineering- Tishreen University – Lattakia- Syria.
** Professor – Department Of structural Engineering–faculty of Civil Engineering- Tishreen University – Lattakia- Syria.
*** PhD Student, Department Of structural Engineering–faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

## مقدمة:

أُستخدم البيتون الخفيف(LWC)lightweight concreteمنذ عدة عقود كمادة إنشاء في العديد من المنشآت كالأبنية والجسور والبلاطات، وذلك من أجل تخفيض الأحمال الميتة المؤثرة على المنشأ نظراً لصغر كثافتهمما يجيز استخدام مقاطع أصغر للعناصر الإنشائية كالأعمدة والجوائز والأساسات وبالتالي تخفيض كمية التسليح اللازمة. كما يساهم تخفيض الأحمال الميتة للمنشأ في تخفيض الأحمال الزلزالية المؤثرة عليه باعتبار أنّ هذه الأحمال مرتبطة بكتلة المنشأ. كما يستخدمفي مجال العناصر مسبقة الصنع باعتبار أنّ كلفة عمليات النقل والرفع والتركيب تتناسب طرداً مع أوزان هذه العناصر [1].

هناك أنواع عديدة للبيتون الخفيف ومنها البيتون الخفيف الإنشائي الذي يعرف بأنه بيتون لا تتجاوز كثافته $1920kg/m^3$ ولا تقل مقاومته عن 17.2Mpa بحسبالكود ACI 213R-03 [1] ويتم الحصول عليهبإجراء استبدال جزئي أو كلي للحصويات العادية بحصويات خفيفة ذات منشأ طبيعي أو صناعي.

على الرغم من ميزات استخدام البيتون الخفيف إلا أنه يبدي مقاومة أقل على الشد وسلوكاً هشاً مقارنة بالبيتون العادي، ولذلك تستخدم الألياف بكمياتمدروسةلتحسين مقاومته على الشد وزيادة مطاوعته وإعاقةتطور التشققات من خلال التجسير الميكانيكي للشقوق[2]. وتعود فكرة استخدام الألياف في البيتون إلى عام 1874 عندما تم تطبيقها للمرة الأولى.

تصنع الألياف من مواد متنوعة( الفولاذ،الزجاج،الكربون،أومن مواد صناعية )وبخصائص هندسية مختلفة(الطول،القطر،الشكل الطولي،شكل المقطع العرضي،....)، ويتم إجراء تشويه ميكانيكي للألياف الفولاذية (ألياف متعرجة أو معكوفة النهاية) بهدف تعزيز التماسك مع البيتون.تتراوح أطوال الألياف عادة بين mm (60 – 10)وقطر مكافئ بين mm (1.2– 0.5) و نسبةشكل ( الطول/القطر ) أصغر من 100 ويفضل أن تكون هذه النسبة بين (80–40). يتم عادة إضافة الألياف الفولاذية بنسبة %(2–0.25) من حجم الخلطة أي بمقدار $kg/m^3$ (160 – 20).

### 1-3-الدراسات المرجعية:

هناكالعديد من الدراسات التي تناولت إنتاج بيتون خفيف إنشائي باستخدام الحصويات البركانية، قد تم ذكرها في بحث سابق[3]،وسنركز في هذا البحث على عرضبعض الأبحاث التي تناولت دراسة خصائص البيتون الخفيف المسلح بالألياف.

-أجرى الباحث (Duzgun, 2005)وآخرون [4]دراسة لمعرفة تأثير الألياف الفولاذية على الخصائص الميكانيكية للبيتون المصنع من حصويات الخفان. استبدلتالحصويات العادية بحصويات الخفان على أساس حجمي بنسب %(25, 50, 75, 100) واستخدمت نسب حجمية مختلفة للألياف الفولاذية %(0.5, 1, 1.5) وعيار ثابت للإسمنت مقداره $300kg/m^3$. بّينت الدراسة أنّ زيادة النسبة المستخدمة من حصويات الخفان خفّضت الخصائص الميكانيكية للبيتون، وأنّ زيادة الحجم المستخدم من الألياف الفولاذية أدت إلى زيادة كل من الوزن الحجمي للبيتون والمقاومة على الضغط والمقاومة على الشد بالانفلاق والشد بالانعطاف بنسب تصل لـ 8.5% و 21.1% و 61.2% و120.2% على الترتيب، كما ساعدت الألياف على زيادة معامل المرونة وتحسين المطاوعة.

-قام الباحث (Mahoutian, 2009)وآخرون[5]بتحضير بيتون خفيف مسلح بألياف فولاذية وذلك باستخدام حصويات الخفان ذات القطر الأعظمي 16mm والقدرة على الامتصاص المقدرة بـ 40% في 30 دقيقة، واستخدم رمل عادي بقطر 4.75mmومعامل نعومة 3.1 ووزن نوعي 2.6، واستخدم اسمنت بورتلاندي صنفII، وملدن فائق الأداء لزيادة قابلية تشغيل الخلطات البيتونية. واستخدمت الألياف الفولاذية ذات الطول 35mm والقطر 0.55mm.

حضرت خلطة بيتونية معيارية وأربع خلطات بيتونية أخرى أضيفت لها نسب حجمية مختلفة من الألياف (0.5, 1, 1.5, 2)%من أجل دراسة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للبيتون الخفيف. استخدم عيار اسمنت مقداره 475kg/m$^3$، ورمل عادي بمقدار 800kg/m$^3$و 450kg/m$^3$ من الخفان. استخدمت نسبة ثابتة للماء إلى الاسمنت(w/c=0.29)، وأضيف الملدن بنسب مختلفة تراوحت بين (0.5-1)% من وزن الاسمنت وذلك للحصول على قيمة هبوط ثابتة لجميع الخلطات المقترحة.

بينت النتائج أن كثافة البيتون الخفيف المسلح بنسبة ألياف 1%تساوي1850kg/m$^3$ وهي أقل بحوالي 25% من كثافة البيتون العادي،وأن استخداماالألياففبنسبة 2%أدى لزيادة الكثافة بمقدار 170kg/m$^3$ أي بنسبة 10%مقارنة بالخلطة المرجعية، ولذلك يجب مراعاة زيادة الكثافة الناتجةعن استخدام الألياف الفولاذية عند تصميم خلطات البيتون الخفيف. ازدادت المقاومة على الضغط بنسبة 30% عند استخدام ألياف بنسبة0.5%، ولم يطرأ زيادة واضحة على قيم المقاومة في حال استخدام نسب أعلى من الألياف.كما تم التوصل إلى أن استخدام الألياف بنسب (0.5, 1, 1.5, 2)% أدى لزيادة مقاومة الشد بنسب تصل إلى (47, 116, 74, 68)%، في حين ازدادت المقاومة على الانعطاف بنسب تصل إلى (95, 200, 243, 338)%على التوالي.

-درس الباحث(Libre, 2011)وآخرون [2] الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للبيتون المصنع من حصويات الخفان والمسلح بألياف البولي بروبلين والألياف الفولاذية. تمت دراسة تسع خلطات بيتونية من أجل نسب ألياف بولي بروبلين(0, 0.2, 0.4%)PP ونسب ألياف فولاذية (0, 0.5, 1%). SF اعتمدت خلطة بيتونية مرجعية وفق المكونات التالية: (اسمنت 475kg/m$^3$ ونسبة ماء إلى الاسمنت w/c=0.3 ، وكمية ملدن 0.7% ونسبة حصويات الخفان إلى الرمل النهري العادي =LWA/S)(0.56 كنسبة وزنية. يظهر الجدول (1) خصائص الألياف المستخدمة.

**الجدول(1) خصائص الألياف المستخدمة [2]**

| نوع الألياف | كثافتها Kg/m$^3$ | طولها (mm) | قطرها (mm) | مقاومتها على الشد (Mpa) |
|---|---|---|---|---|
| الألياف الفولاذية SF | 8000 | 35 | 0.55 | 1100 |
| ألياف البولي بروبلين PP | 900 | 12 | 0.016 | 400 |

بيّنت الدراسةإمكانيةإنتاج بيتون خفيف إنشائي بكثافة تراوحت بين (1740-1880)kg/m$^3$ ومقاومة على الضغط تراوحت بين (19-30)Mpa وذلك باستخدام حصويات الخفان والرمل عادي. وأنّ إضافة الألياف الفولاذية بنسبة 1% تؤدي لزيادة كثافة البيتون حوالي 118 kg/m$^3$، في حين أنّه لا يوجد تأثير واضح لألياف البولي بروبلين على قيم الكثافة.

كما توصل الباحثون إلى أنّ إضافة 0.4% من ألياف الـpp لها تأثير مهمل على مقاومة الضغط، لكن تؤدي لزيادة المقاومة على الانعطاف وتمنع السلوك الهش للبيتون. في حين أنّ الألياف الفولاذية تؤثر بشكل كبير على خصائص البيتون كمقاومته على الضغط والانعطاف، حيث ازدادت مقاومة الانعطاف بنسبة 200% في حين ازدادت مقاومة الضغط بنسبة 50% فقط. كما أنّ الألياف الفولاذية تؤثر بشكل رئيسي على الجزء الهابط من مخطط (اجهاد – تشوه) تحت تأثير الضغط في حين لم يحدث تغيير واضح للجزء الصاعد من المخطط.

أدى استخدام الألياف في البيتون الخفيف لتحسين مقاومته على الشد بالانفلاق، إذ ازدادت المقاومة من 1.9Mpa إلى 4.1Mpa عند استخداماالألياف الفولاذية بنسبة1% ، في حين ازدادت مقاومة الشد بالانعطافعند استخدام نوعي الألياف (0.4% pp, 1% SF)من 2.1Mpa إلى 7.3Mpa، وهذا يعنيزيادة المقاومة على الشد بنسبة116% وزيادة المقاومةعلى الانعطافبنسبة248%..

–قدم الباحث(Widodo,2012)وآخرون [6]دراسة حول تأثير إضافة الألياف الفولاذية والبولي بروبلين على بعض خصائص البيتونالخفيف المصنع باستخدام حصويات الخفان. أُستخدمت حصويات الخفان ذات الوزن النوعي 1.62والكثافةالحجمية$760kg/m^3$، والقطر الأعظمي 20mm واستخدم الرمل العادي ذو الوزن النوعي 2.65 . تم تحضير خمس خلطات بيتونية باستخدام عيار ثابت للإسمنت $455kg/m^3$ ووزن ثابت لمادة السليكا فيوم $45kg/m^3$واستخدمت نسبة ثابتة من ألياف البولي بروبلين مقدارها 0.1% وخمس نسب حجمية منالألياف الفولاذية (0, 0.5, 1, 1.5, 2)%.

أظهرت النتائجتحسن المقاومة على الضغط بمقدار 22.44% عند استخدام مزيج الألياف ( PP=0.1% و SF=)1%ومن ثم تميل للانخفاض من أجل النسب الأعلى للألياف الفولاذية ولكن تبقى قيمة المقاومة على الضغط أعلى منها في حال عدم استخدام الألياف الفولاذية. كما ازدادت قيمة معامل المرونة بنسبة تصل لـ 24.71% عند استخدام مزيج الألياف( PP=0.1% و SF=)0.5%. وعند استخدام ألياف ( PP=0.1% و SF=)1.5% ازدادت مقاومة الشد بالانفلاق بمقدار 222.28% ومقاومة الشد بالانعطاف بمقدار 187.46%.

## أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في انتاج بيتون خفيف باستخدام السكوريا المتوفرة محلياً بكميات كبيرة، وتحسين مقاومته وأدائه الميكانيكي من خلال إضافة الألياف الفولاذية بغية استخدامه في التطبيقات الإنشائية. لذلك جاء هدف البحث حول دراسة الخصائص الميكانيكية للبيتون الخفيف والبيتون المسلح بالألياف الفولاذية، والمتضمنة كلّاً من المقاومة على الضغط ومعامل المرونة والمقاومة على الشد بالانفلاق والشد بالانعطاف ودراسة سلوكه(إيجاد علاقة إجهاد–تشوه) تحت تأثير الضغط.

## طرائق البحث ومواده:

اعتمد هذا البحث على بعض الدراسات المرجعية التي تناولت دراسة البيتون الخفيف والبيتون المسلح بالألياف. تم اعتماد المنهجية التجريبية لإجراءهذا البحث وذلك من خلال إجراء عدد من اختبارات المقاومة الميكانيكية على خلطات بيتونيةأُستخدم فيها نسب مختلفة من الألياف الفولاذية، ومن ثم جمع نتائج هذه الاختبارات ومناقشتها للوصول

إلى بعض الاستنتاجات والتوصيات. تم تنفيذ هذا العمل التجريبي في مخابر كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين خلال العامين 2014,2015.

**3-1- مواصفات المواد الداخلة في تركيب الخلطات البيتونية المقترحة:**

تم تحضير الخلطات البيتونيةباستخدام المواد التالية:

- الإسمنت البورتلاندي العادي صنف ($42.5N/mm^2$).
- ماء صالح للشرب.

-المواد الحصوية: تتكون من ثلاثة أنواع هي: أ-حصويات السكوريا التي تم احضارها من محافظة السويداء- منطقة شهبا- تل شيحان،ب- رمل نهري خشن من توضعات نهر مرقية، ج- ورمل ناعم من مقالع منطقة القريتين (رمل قيرواني)وقد تم توصيف هذه المواد وتحديد تدرجها الحبي في المرجع [3].

-الملدن:استخدم ملدن عالي الفعالية (Super Plasticizer) نوع F مطابق للمواصفة الأمريكية ASTM C494.

-الألياف الفولاذية: استخدمت ألياف فولاذية بطول 50mm، ونسبة الشكل (الطول / القطر) مساوية لـ 62.5، وكثافة $7850kg/m^3$، ومقاومة على الشد 1100Mpa.

**3-2- تصميمخلطات البيتون الخفيف والبيتون المسلح بالألياف الفولاذية:**

صممت خلطة بيتونيةمرجعية **LWC-0%**محققة لمتطلبات الكثافة والمقاومة للبيتون الخفيف الإنشائي [1]، ثمّ تمت إضافة الألياف الفولاذية بنسب حجمية (0.5, 0.75)%للحصول على تراكيب الخلطتين **LWC-0.5%** و **LWC-0.75%**،وأضيف الملدن بقيم مختلفة للحصول على قيم ثابتة للهبوط،والجدول ( 2) يبينتراكيب الخلطات البيتونية المقترحة في هذه الدراسة.

**الجدول (2) تراكيب الخلطات البيتونية المقترحة مقدرة بـ kg**

| المواد | الخلطات البيتونية المقترحة | | |
|---|---|---|---|
| | LWC-%0 | LWC-0.5% | LWC-0.75% |
| الإسمنت | 450 | 450 | 450 |
| حصويات السكوريا | 452 | 452 | 452 |
| الرمل الطبيعي | 715 | 715 | 715 |
| ماء الخلط | 162 | 162 | 162 |
| الماء الذي تمتصه الحصويات | 80 | 80 | 80 |
| الملدن | 4.5 | 8 | 10.6 |
| وزن الألياف | 0 | 39.3 | 58.9 |

**3-3- تحضير عينات الاختبار:**

تم وضع حصويات السكوريا المجففة باستخدام الفرن(oven-dry) مع الماء الذي تمتصه الحصويات في خلاط آلي لمدة ربع ساعة، ثم أضيف الرمل الجاف والاسمنت والألياف الفولاذية (في حال وجودها)واستمر الخلط لمدة دقيقتين، بعدها أضيف ماء الخلط والملدن واستمر الخلط لمدة ثلاث إلى خمس دقائق أخرى لضمان الحصول على خلطة بيتونية متجانسة وتوزع جيد للألياف ضمنها. وضع البيتون الطري داخل قوالب الصب الفولاذية على طبقات بسماكة 5cm تقريباً واستخدمت الطاولة الرجاجة لرج العينات وضمان خروج الهواء منها ثم تمت تسوية سطحها. فكت القوالب بعد 24 ساعة ووضعت في الماء حتى وقت الاختبار كما يبيّن الشكل(1). وللحصول علىكلٍّ من المقاومة على الضغط ومعامل المرونة وإيجاد العلاقة بين الإجهاد والتشوه في عمر 28 يوماً حضرت ثلاث اسطوانات بأبعاد(300X150)mm، كماحضرتثلاث اسطوانات بأبعاد (300X150)mm لتحديد المقاومة على الشد بالانفلاق. ولتحديد المقاومة على الشد بالانعطافتم تحضير موشورين بأبعاد (500×100×100)mm، وذلك من أجل كل خلطة من الخلطات المدروسة.

**الشكل(1)بعض العينات المدروسة المحفوظة ضمن حوض الماء**

**3-4-برنامج اختبار العينات البيتونية:**

تم تقييم الخصائص الميكانيكية للخلطات البيتونية المقترحة في هذه الدراسة بالاعتماد على نتائج الاختبارات التالية:

- **المقاومة على الضغط**Compressive strength**ومعامل المرونة**Modulus of elasticity**وعلاقة اجهاد-تشوه في حالة الضغط**stress-strain response in compression:

تم إجراء اختبار المقاومة على الضغط على عينات إسطوانية أبعادها (150×300)mm بعمر 28 يوماًبسرعة تحميل ثابتة مقدارها 4KN/sec حتى الانهيار تبعاً للمواصفة الأمريكية ASTM C469-02[7].

يبيّن الشكل(2) العينة الإسطوانية المزودة بطبقتين على شكل مستوي من الكبريت والموصولة إلى أدوات قياس الانتقالات ضمن جهاز الكسر (MATEST S.P.A) المتوفر في مخبر تجريب المواد في كلية الهندسة المدنية. سجلت

قيم الحمولات والانتقالات أثناء الاختبار ومن ثم تم حساب الإجهاد والتشوه الموافقين لكل حمولة مطبقة وتنظيمها في جداول Excelومن ثم إيجاد العلاقة(إجهاد– تشوه) لكل عينة اختبار.

**الشكل(2) عينة الاختبار ضمن جهاز الكسر**

- **المقاومة على الشد بالانفلاق** Splitting tensile strength: أجري اختبار الشد بالانفلاق على عينات اسطوانية أبعادها mm(150×300) وعمرها 28 يوماً.
- **مقاومة الشد بالانعطاف**flexural strength:

أجري اختبار الشد بالانعطاف على عينات موشورية أبعادها mm(100×100×500)بعمر 28 يوماً وباستخدام جهاز كسر الجوائز المتوفر في مخبر تجريب المواد في كلية الهندسة المدنية تحت تأثير حمولة مركزة في المنتصف (under a load in a three–point bending setup).

**4–النتائج والمناقشة:**

- **المقاومة على الضغطومعامل المرونة وعلاقة اجهاد– تشوه في حالة الضغط:**

يبيّن الجدول(3) نتائج اختبارالخلطات البيتونية المدروسة:

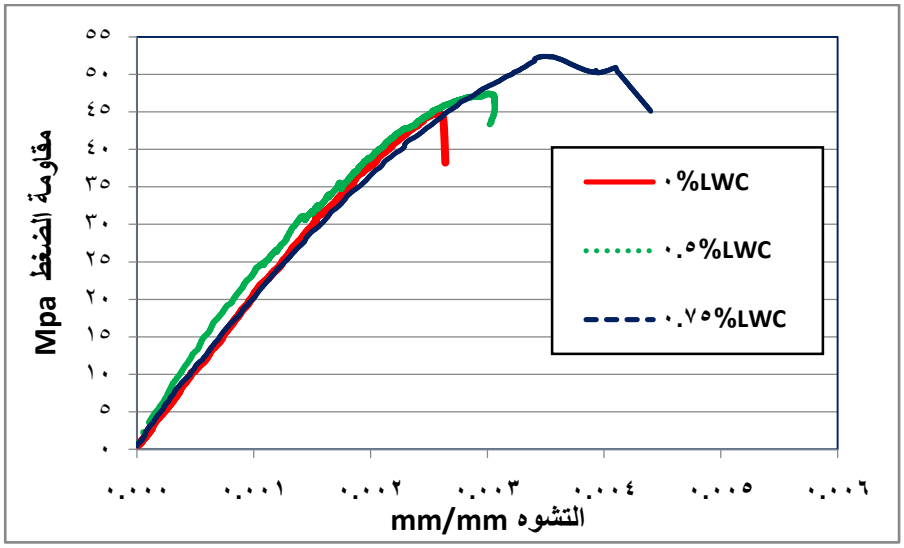
**الجدول(3) نتائج اختبار الخلطات البيتونية المدروسة مقدرة بالـ Mpa**

| اسم الخلطة | المقاومة على الضغط | معامل المرونة | المقاومة على الشد بالانفلاق | المقاومة على الشدب الانعطاف |
|---|---|---|---|---|
| LWC–%0 | 44.8 | 19600 | 3.9 | 6.9 |
| LWC–0.5% | 47.4 | 20799 | 4.3 | 9.4 |
| LWC–0.75% | 52.4 | 22427 | 4.9 | 10.6 |

بينت النتائج أن الخلطة LWC–0%(ذات الكثافة $1883kg/m^3$ والمقاومة على الضغط 44.8Mpa) تحقق متطلبات الكثافة والمقاومة للبيتون الخفيف الإنشائي حسب الكود ACI 213R–03[1].

بإجراء مقارنة بين نتائج اختبار خلطات البيتون المسلح بالألياف مع الخلطة المرجعية نجد أنّ المقاومة على الضغطازدادت بنسبة5.8 % عند استخدام الألياف بنسبة0.5%، في حين ازدادت بنسبة 16.9% عند استخدام النسبة 0.75% كما هو مبيّن في الجدول (3)،وهذا يعود للدور الذي تلعبه الألياف في منع تطور الشقوق وبالتالي زيادة المقاومة كما هي حال البيتون العادي المسلح بالألياف.أيضاً يظهر الجدول (3) أن قيمة معامل المرونة ازدادتبنسبة 6.1%عند استخدام النسبة 0.5% من الألياف في حين ازدادت بنسبة 14.4% عند استخدام النسبة 0.75%.

أظهرت خلطات البيتون المسلح بالألياف (LWC–0.5%, LWC–0.75%)قدرة على التشوه أفضل منها في حال الخلطة المرجعية LWC–0% كما هو مبين في مخطط (إجهاد –تشوه)الشكل (3)، إذ نلاحظ ازدياد واضح لقيمة التشوه الموافقة لقيمة الاجهاد الأعظمي كلما ازدادت النسبة المستخدمة من الألياف. أيضاً نلاحظ أن الألياف تؤثر بشكل بسيط على الجزء الصاعد في مخطط إجهاد–تشوه في حين يكون تأثيرها أكبر على الجزء الهابطالذي يتناقص ميلهكلما ازدادت النسبة المستخدمة من الألياف. تعمل الألياف على رفع المقاومة على الضغط ولكن الدور الأساسي الذي تلعبه هو تحويل السلوك الهش للبيتون الخفيف (حال الخلطة LWC–0%) ليصبح سلوكاً أكثر مطاوعةً كما هي حال البيتون المسلح بالألياف LWC–0.75%.




**الشكل(3) مخطط علاقة (إجهاد – تشوه) للخلطات المدروسة**

يظهر الشكل (4) نماذج الانهيار على الضغط لبعض العينات المختبرة إذ تنهار أجزاء من عينات البيتون الخفيف تحت تأثير الضغط في حين أنّ تأثير المنع الميكانيكي الذي تلعبه ألياف الفولاذ يقلل من خطر انهيار عينات البيتون المسلح بالألياف ويجعل العينة المختبرة أكثر تماسكاً.

**الشكل(4) نماذج انهيار العينات الاسطوانية على الضغط**

- **<u>مقاومة الشد بالانفلاق:</u>**

يبين الجدول(3)أنّقيمة مقاومة الشد بالانفلاق ازدادت بنسبة 10.3%عند استخدام الألياف بنسبة 0.5% من في حين ازدادت بنسبة 25.6% عند استخدام النسبة 0.75%. وتعتبر هذه الزيادة مؤشراً للتماسك الجيد بين الألياف والملاط الاسمنتي الرابط.

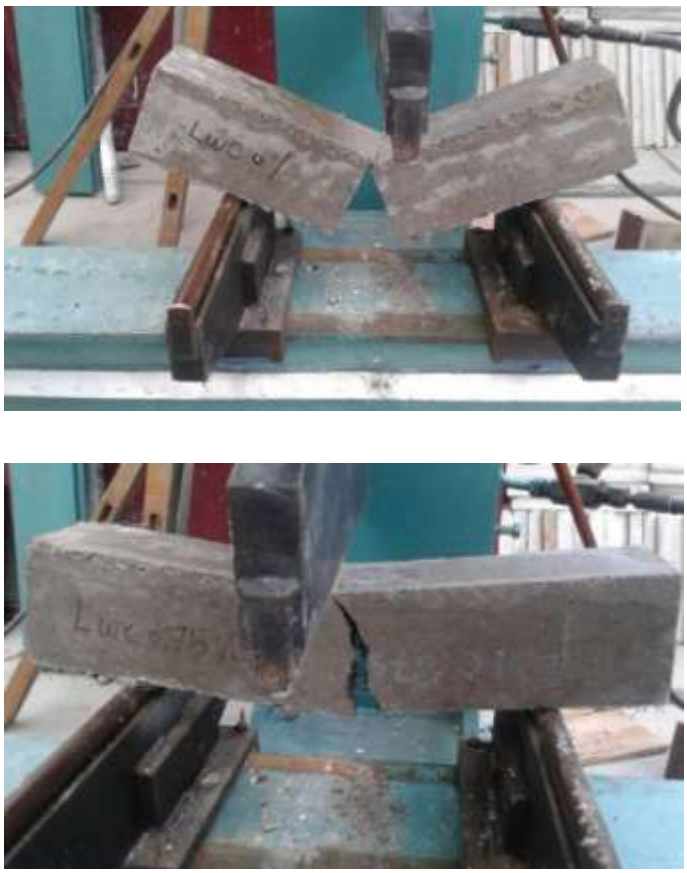
على الرغم من كون البيتون الخفيف أقل قدرة على تحمل هذا النوع من التحميل مقارنة بالبيتون العادي، إلا أنه يمكن تحسين مقاومته باستخدام الألياف التي تشكل رابطاً إضافياً يساهم في زيادة التماسك ومقاومة التشقق بالتالي زيادة المقاومة للعينات المدروسة.

- **<u>مقاومة الشد بالانعطاف:</u>**

بيّنت النتائج الواردة في الجدول (3) أنّ مقاومة الشد بالانعطاف ازدادت بنسبة 36.2% عند استخدام الألياف بنسبة 0.5%، في حين ازدادت المقاومة بنسبة 53.6%عند استخدام النسبة 0.75%.نلاحظ ازدياد واضح للمقاومة نتيجة للدور الذي تقوم بهالألياف في زيادة التماسك وتجسير شقوق الانعطاف وإعاقةتطورها.

يبيّن الشكل(5) نمط الانهيار وتشكل الشقوق في العينات الموشورية تحت تأثير الانعطاف، إذ تبديعيناتالخلطة المرجعية0%LWC–مطاوعة قليلة (little ductility)، إذحدث انهيار فجائي عند الوصول لقيمة إجهاد الشد الأعظمي، لكنّ استخدام الألياف غيّر طبيعة الانهيار بشكل كلي إذ لم يحدث الانهيار فجاة بعد تشكل الشق الأوليفي عينات

البيتون الخفيف المسلح بالألياف الفولاذيةنتيجة وجود الألياف الموزعة عشوائياً في المقطع المتشقق والتي تعمل على زيادة القدرة على تحمل القوى المطبقة.



الشكل(5)نمط الانهيار وتشكل الشقوق في العينات الموشورية تحت تأثير الانعطاف

## الاستنتاجات والتوصيات:

1) بيّنت الدراسة إمكانية استخدام حصويات السكوريا المتوفرة محلياًللحصول على بيتون خفيف إنشائي بكثافة $1883kg/m^3$ ومقاومة على الضغط44.8Mpa.

2) ازدادت المقاومة الاسطوانية على الضغطبنسبة 5.8 % ومعامل المرونة بنسبة 6.1% عند استخدام الألياف بنسبة 0.5%، في حين ازدادت المقاومة على الضغط بنسبة 16.9%ومعامل المرونة بنسبة 14.4% عند استخدام النسبة 0.75%.وتعود هذه الزيادة للدور الذي تلعبه الألياف في منع تطور الشقوق مما سبب زيادة لقيم المقاومة.

3) بينت النتائج تأثيراً أكبر للألياف على مقاومة الشد والانعطاف مقارنة بمقاومة الضغط، إذ ازدادت المقاومة الشد بالانفلاق بنسبة 10.3%والمقاومة على الانعطاف بنسبة 36.2% عند استخدام الألياف بنسبة 0.5%، في حين ازدادت المقاومة على الشد بنسبة 25.6% والمقاومة على الانعطاف بنسبة 53.6% عند استخدام النسبة 0.75%. وتعود هذه الزيادة للتماسك الجيد بين الألياف والملاط الاسمنتي، وإعاقة تطور الشقوق مما يساهم في زيادة

المقاومة. كما تغيّرت طبيعة الانهيار بشكل كلي إذ لم يحدث انهيار فجائي بعد تشكل الشق الأوليفي العينات الموشورية المسلحة بالألياف نتيجة وجود الألياف الموزعة عشوائياً في المقطع المتشقق.

4) النتائج التي تم التوصل إليها في هذا البحث بينت مساهمة الألياف الفولاذية في إكساب البيتون الخفيف المصنع باستخدام السكوريا مطاوعة (ازدياد القدرة على التشوه كلما ازدادت نسبة الألياف المستخدمة)، وبالتالي يمكن الحصول على حلول أكثر فعالية من خلال استخدام البيتون الخفيف المسلح بالألياففالذي يتميز بالسلوك المطاوع وتخفيض الأحمال الميتة المؤثرة على المنشأ.

5) إن التنوع الواسع لمصادر الحصويات الخفيفة وخصائصها يفتح المجال لإجراء المزيد من الأبحاث لدراسة تأثير هذا التنوع على البيتون.

6) إن تعدد أنواع الألياف (فولاذية، زجاجية، بولي بروبلين،...) وخصائصها الهندسية يتيح إجراء دراسات أخرى لمعرفة تأثيراتها المختلفة على البيتون.

**المراجع:**


1. ACI Committee 213R-03, "*Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete*",American Concrete Institute, 2003, 38.

2. Libre, N, A; Shekarchi, M; Mahoutian, M; Soroushian, P. "*Mechanical properties of hybrid fiber reinforced lightweight aggregate concrete made with natural pumice* ",Construction and Building Materials, Vol. 25, 2011, 2458–2464.

3. أصلان، طارق؛ ناصر، عصام؛ الجبيلي، نسرين. " *إنتاج بيتون خفيف باستخدام حصويات السكوريا المتوافرة في سورية ودراسة خصائصه الفيزيائية والميكانيكية* ". مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية، سلسلة العلوم الهندسية، 2016.

4. Duzgun, O,A; Gul, R; Aydin, A,C. "*Effect of steel fibers on the mechanical properties of natural lightweight aggregate concrete* " Materials Letters, Vol. 59, 2005, 3357 – 3363.

5. Mahoutian, M; Shekarchi, M; Libre, N. " *Aplication Of Steel Fiber Reinforced Lightweight Aggregate Concrete In Underground Mining* ",journal of mining science, Vol. 47, No. 5, 2011, 606–617.

6. Widodo,S; Satyarno,I; Tudjono,S. "*Effects of hybrid polypropylene-steel fiber addition on some hardened properties of lightweight concrete with pumice breccia aggregate"*ISRN Civil Engineering, Vol. 2012, 8.

7. ASTM C469. "*Standard test method for static modulus of elasticity andPoisson's ratio of concrete in compression"*. 2002, 5.