

تأثير استخدام خبث الفولاذ كحسويات ناعمة على خواص المونة الاسمنتية

محمود محمد اسماعيل*¹

*¹. دكتور، مهندس، مدرس في قسم هندسة النقل والمواد البناء، كلية الهندسة المدنية- جامعة دمشق.

Mahmoud.ismail@damascusunivetsity.deu.sy

<https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0009-0012-2781&justRefistered=true>

الملخص:

يُعتبر خبث الفولاذ كأحد المنتجات الثانوية لصناعة الفولاذ، يمكن استخدامه في العديد من مجالات الهندسة المدنية، فعلى سبيل المثال يمكن استخدامه كحسويات ضمن الخلطات الخرسانية والاسفلتية. يهدف هذا البحث الى دراسة تأثير استخدام خبث الفولاذ كبديل جزئي للرمال على خواص المونة الاسمنتية.

دُرست الخواص الميكانيكية ومتطلبات الماء اللازم للقوام النظامي لأربعة خلطات من المونة الاسمنتية. الخلطة الأولى لا تحوي على خبث الفولاذ و تمثل العينة المرجعية، اما الخلطات الثلاثة الأخرى فتحتوي على الخبث بنسب استبدال وزنية % (10, 20, 30). أظهرت النتائج أن الخلطة الحاوية على 10% من الخبث، قد أعطت أفضل الخواص الميكانيكية على عمر 28 يوماً. فمقاومة الشد بالانعطاف كانت 6.91MPa ومقاومة الضغط كانت 38.51MPa بنسبة زيادة تعادل 1% و 4.4% على الترتيب مقارنة بالعينة المرجعية. كما بينت النتائج تزايد متطلبات الماء مع تزايد نسبة الاستبدال.

الكلمات المفتاحية: خبث الفولاذ- المونة الاسمنتية- الخواص الميكانيكية - القوام النظامي.

تاريخ الإيداع: 2022/11/17

تاريخ القبول: 2023/2/ 12



حقوق النشر: جامعة دمشق - سورية،
يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب

CC BY-NC-SA

The effect of using steel slag as fine aggregate on properties of mortar

Mahmoud Mohammed Ismail*¹

*¹. Dr, Eng, Lecturer, Department of transportation and building materials engineering, Faculty of civil engineering- Damascus University.

Mahmoud.ismail@damascusunivetsity.deu.sy

<https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0009-0012-2781&justRefistered=true>

Abstract:

Steel slag is a by-product of steel manufacturing. It can be used in various fields of civil engineering, e.g. as aggregate in concrete and asphalt mixtures. The aim of this research is to investigate the effect of partially replacing sand by steel slag on the properties of mortar.

Four mixtures were investigated in terms of mechanical properties, and water requirements of normal consistency. The first mixture was prepared without steel slag. The rest of other mixtures were prepared with different ratio of steel slag (10wt%, 20wt% and 30wt%) respectively as partial replacement of sand. It was found that the sample containing 10% of steel slag gave the best mechanical properties at age of 28 days. The flexural strength for this sample was 6.91MPa and 38.51MPa with percentage of increase equal to 1% and 4.4% respectively in comparison with the control sample (sample without steel slag). In addition, it was found that the water requirement increases when the ratio of replacement was increased.

Key words: steel slag, mortar, mechanical properties, normal consistency.

Received: 17/11/2022

Accepted: 12/2/2023



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

تأثير استخدام خبث الفولاذ كحصىيات ناعمة على خواص.....

المقدمة:

يستهلك قطاع الانشاء والتعمير كميات كبيرة من المواد الطبيعية مما ينعكس سلبي على مفهوم التنمية المستدامة. تشكل النفايات كتلك الناتجة عن هدم الأبنية أو تلك التي تشكل منتجات ثانوية لصناعات رئيسية (مثل خبث الفولاذ) احدى الحلول التي تساهم في الحد من الاستهلاك الجائر للموارد الطبيعية.

يُعتبر الخبث الحديدي (ferrous slag) منتجاً ثانوياً لصناعة الحديد والفولاذ، حيث ينقسم حسب طريقة الإنتاج الى خبث الأفران العالية (blast furnace slag) وخبث الفولاذ (steel slag). ينتج خبث الافران العالية في اثناء صهر وارجاع فلزات الحديد في الفرن العالي بغية انتاج الحديد الخنزيري (Pig iron)، بينما ينتج خبث الفولاذ في أثناء إعادة صهر الحديد الخنزيري أو خردة الحديد في افران القوس الكهربائي بهدف انتاج الفولاذ.

بلغت كمية خبث الفولاذ المنتجة في العالم في عام 2020 أكثر من 200 مليون طن، ناتجة من تصنيع حوالي 2000 مليون طن من الفولاذ الخام وفقاً لمنظمة الفولاذ العالمية [1] ، يحتاج التخلص منها بواسطة المطامر الى مساحات واسعة من الأراضي وما يرافق ذلك من آثار سلبية بيئياً وصحياً، لذلك كان لا بد من البحث عن مجالات استخدام نافعة لهذه المادة. يُعتبر مجال الهندسة المدنية أحد اهم المجالات التي تناولتها الأبحاث العديدة بهدف إعادة استخدام الخبث ضمنها.

يتصف خبث الفولاذ بعدم الثبات الحجمي بالإضافة لكثافته العالية مقارنة بالحصىيات الطبيعية، وهو ما شكل محوراً مهما للنقاش في الدراسات البحثية المختلفة. تعود المحاولات الأولى لإعادة استخدام خبث الفولاذ الى عام 1880 كمحسن للتربة [3] ، [2] ثم تعددت وتتنوعت مجالات الاستخدام من مادة خام لصناعة الكلنكر الى حصىيات ضمن المونة الاسمنتية والخلطات الخرسانية والخلطات الاسفلتية،

اسماعيل

بالإضافة الى مجال الاستخدام الرئيسي ضمن طبقات الرصف الطرقي.

يوجد في سوريا سبعة معامل لإنتاج الفولاذ، يُقدّر انتاجها بحوالي 2.5 طن سنوياً، اثنان منهما يقومان بصهر خردة الحديد ويقدر انتاجهما بحوالي 700 ألف طن من الفولاذ، وحوالي 150 طن من الخبث كمنتج ثانوي. يتم تخزين هذا الخبث على مساحات واسعة من الأراضي مما يترك آثاراً سلبية صحية وبيئية.

يهدف هذا البحث الى دراسة تأثير خبث الفولاذ على الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمونة الاسمنتية عند استخدامه كبديل جزئي للرمل.

1 - الدراسة المرجعية:

يختلف التركيب الكيميائي للخبث وفقاً لنوع ونسب المواد المصهورة بالإضافة لنوع الفرن المستخدم، ولكن بشكل عام، يمتاز هذا الخبث بأنه يحتوي على نسبة عالية من أكسيد الحديد وقلّة من السيلييس الهلامي مما يقلل من فعاليته البوزلوانية، بالإضافة الى ذلك فانه يمتلك قساوة كبيرة [4]. هذه الخواص وجهت الأبحاث لدراسة إمكانية استخدامه كبديل جزئي للحصىيات في الخلطات الخرسانية. في دراسة أجراها Qasrawi et al. [5] لخواص الخرسانة الطرية والمتصلبة الحاوية على خبث الفولاذ كبديل جزئي للحصىيات الناعمة بنسب استبدال وزنية % (15, 30, 50)، وجد أن زيادة نسبة الاستبدال قد أدت الى زيادة كثافة الخلطة الطرية بنسبة تتراوح بين % (5-20)، بالمقابل فقد انخفض القوام بزيادة نسبة الاستبدال. أما فيما يتعلق بالخواص الميكانيكية ولا سيما مقاومة الضغط، فقد أظهرت النتائج انه وحتى نسبة الاستبدال % 50 فان المقاومة على عمر 28 يوماً كانت معادلة أو اعلى بقليل من مقاومة العينة المرجعية (غير الحاوية على الخبث)، في حين ان العينة الحاوية على الخبث بنسبة % 100 قد سجلت انخفاضاً في

اسماعيل

المرجعية، على عكس مقاومة الشد التي سجلت انخفاضا مقارنة بالعينة المرجعية. ولفهم آلية تأثير خبث الفولاذ على الخواص الميكانيكية للخرسانة، قام [8] Arribas et al. بدراسة بنية منطقة التحول (ITZ Interfacial Transition Zone) حيث وجد أن البنية المورفولوجية لمنطقة التحول المحيطة بحصويات الخبث مختلفة عن تلك المحيطة بالحصويات الطبيعية، فهي أصغر من حيث الأبعاد وفراغاتها اقل وبالتالي فهي أقوى وهذه ما انعكس تحسناً في الخواص الميكانيكية للخرسانة.

تأثير حبيبات الخبث على مقاومة الضغط للمونة الاسمنتية، شكّل محور الدراسة التي أجراها [9] Faraone et al.، في البداية، تُرك الخبث معرضاً للهواء لمدة خمس أشهر ومن ثم تمت المحافظة عليه رطبا لمدة 15 يوماً في المخبر قبل الاختبار بهدف التقليل من إمكانية تمدده ضمن المونة. لقد أظهرت النتائج التأثير الكبير للتدرج.

4 المواد المستخدمة:

4-1 خبث الفولاذ:

تم الحصول على الخبث من مكب بجانب معمل حديد-مدينة عدرا الصناعية، حيث لوحظ احتواء العينة على بعض الاتربة وبقايا النباتات (الشكل (1))، لذلك أُجريت عملية فرز أولية للحصول على قطع الخبث فقط باستخدام المغناطيس والتي تميزت بنسبة فراغات عالية. بعد ذلك تم طحن العينة بجهاز لوس انجلس للحصول على حبيبات ابعادها متوافقة مع ابعاد حبات الرمل (الشكل (2)). تلا هذه المرحلة، عملية غسل للعينة على المنخل رقم 200 للتخلص من الغيار والمواد العالقة بحبيبات الخبث. ومن ثم جُففت بالفرن لمدة 24 ساعة لتصبح جاهزة للاختبارات.

تأثير استخدام خبث الفولاذ كحصويات ناعمة على خواص..... المقاومة تم تفسيره بزيادة نسبة النواعم التي تتطلب زيادة كمية الاسمنت لتأمين الربط بين الحصويات وزيادة كمية الماء. فيما يتعلق بمقاومة الشد فقد تشابهت النتائج مع مقاومة الضغط بالرغم من ان التحسن في المقاومة للعينات الحاوية على الخبث كان أكثر وضوحا ولا سيما عند نسبة الاستبدال المنخفضة % (15). تم تأكيد النتائج السابقة من خلال الدراسة الي قام بها Baalamurugan et al. بالإضافة الى ذلك فقد بينت النتائج فعالية الخرسانة الحاوية على نسبة 50% من حصويات خبث الفولاذ الخشنة في الحماية من اشعة غاما [6].

تأثير استخدام الخبث كبديل جزئي للحصويات الخشنة، كان محور الدراسة التي قام بها [7] M. Masehuddin et al. حيث بلغت نسب الاستبدال الوزنية (45, 50, 55, 60, 65) % . لقد أظهرت النتائج ان العينات الحاوية على الخبث قد أعطت مقاومات على الضغط أعلى بقليل من العينة الحبي على مقاومة الضغط وعلى امتصاص الماء، فمع زيادة الأبعاد، يقل السطح النوعي وتقل كمية الماء المطلوبة وبالتالي تتحسن المقاومة

3- البرنامج التجريبي:

أنجز هذا العمل التجريبي على أربع خلطات من المونة الاسمنتية، الأولى تمثل خلطة مرجعية (لا تحوي على خبث الفولاذ)، والثلاثة الباقية تحتوي على الخبث كبديل جزئي للرمال بنسب وزنية تعادل % (10, 20, 30). في البداية تم توصيف الخبث، ومن ثم حُددت كمية الماء اللازمة للخلطات الحاوية على الخبث للوصول الى نفس لدونة الخلطة المرجعية. تضمنت المرحلة الأخيرة، تحديد الخواص الميكانيكية للخلطات الأربعة (مقاومة الشد بالانعطاف، مقاومة الضغط) بأعمار 7 و28 يوماً وأجراء المقارنة بينها. يجب الإشارة الى أن جميع العينات قد تم تجهيزها من قبل نفس الشخص (الباحث)، كما أن ظروف إنضاج العينات كانت متماثلة من حيث درجة الحرارة والرطوبة.



5- الاختبارات :

1-5 مواصفات الخبث :

1-1-5 التحليل الكيميائي:

يبين الجدول (1) نتائج التحليل الكيميائي للخبث.

2-1-5 الخواص الفيزيائية :

يبين الجدول رقم (2) الخواص الفيزيائية للخبث

2-4 الاسمنت:

تم استخدام الاسمنت البورتلندي العادي CEM I 42.5N ،
انتاج معمل اسمنت البادية.

3-4 الرمل:

استخدم رمل سليسي تشرهه 1.01% ، وزنه النوعي 2.86 ،
مكافئه الرمي 67% ، تدرجه الحبي مبيين بالشكل (3) .

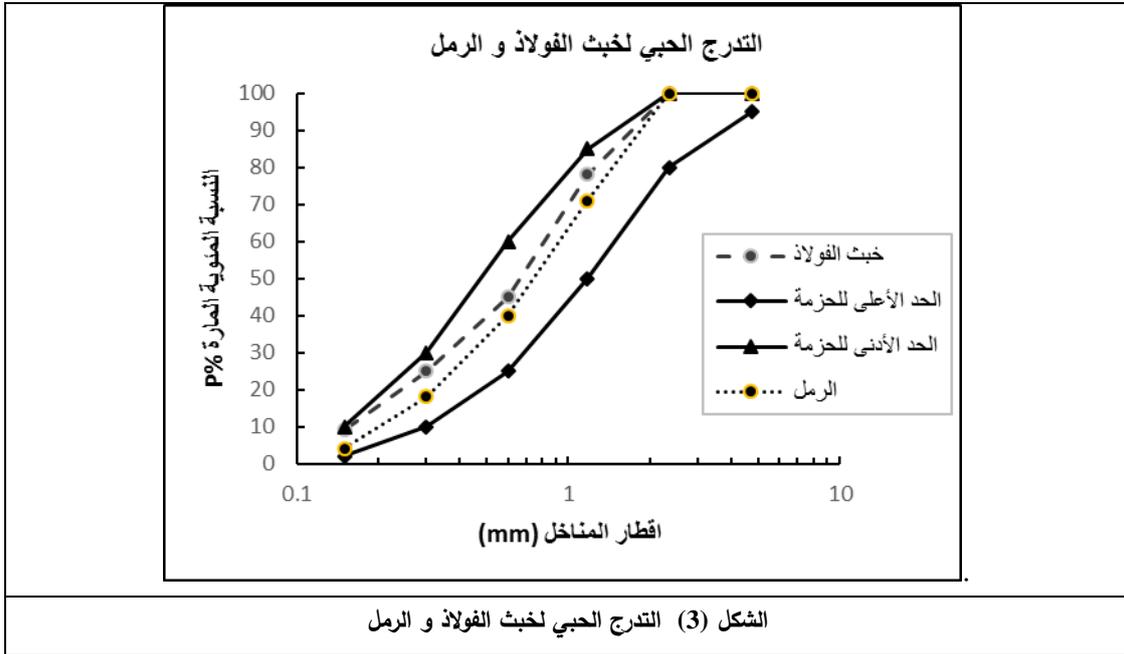
الجدول (1) التحليل الكيميائي لخبث الفولاذ							
ZnO	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	المركب
0.76	2.89	3.32	8.53	14.10	39.23	31.12	النسبة المئوية %

الجدول رقم (2) الخواص الفيزيائية للخبث	
الخاصية	القيمة
الوزن النوعي	3.323
الامتصاص	2.7%

2-5 التدرج الحبي:

تم تجفيف الرمل لمدة 24h في فرن درجة حرارته 105°C
قبل استخدامه في الخلطات التجريبية.

بعد تجفيف العينة تم نخلها على المنخلين رقم 4 ورقم 200،
حيث تم استبعاد الحصويات التي ابعادها أكبر من
4.75mm وأصغر من 75µm.
أجريت عملية تنسيب للحصويات المتبقية للحصول على
المنحني المبيين بالشكل (3).

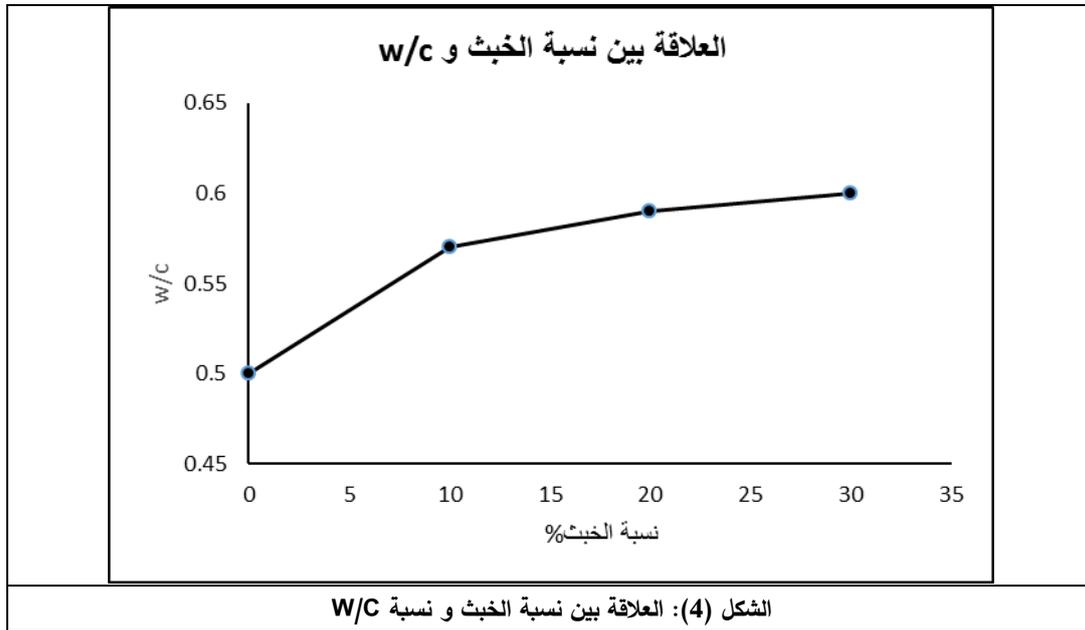


3-5 تحديد كمية الماء القياسية:

كمية الماء المترافقة مع زيادة نسبة الاستبدال. يُظهر الشكل (4) تزايد النسبة w/c مع تزايد نسبة الاستبدال وهذا يمكن تفسيره بنسبة الفراغات الكبيرة المتواجدة في حبيبات الخبث مما يجعل امتصاصها كبير بالإضافة الى سطحها النوعي الكبير.

في البداية تم تحديد لدونة العينة المرجعية من المونة الاسمنتية المكونة من 450g من الاسمنت البورتلندي، 1350g من الرمل، 225g من الماء، باستخدام طاولة الانسياب، تلا ذلك تحديد كمية الماء اللازمة لعينات المونة الاسمنتية الحاوية على خبث الفولاذ كبديل جزئي للرمل. يبين الجدول رقم (3) كمية الماء القياسية لجميع العينات والزيادة في

الجدول رقم (3) كمية الماء القياسية للعينات المختلفة		
نسبة الزيادة %	كمية الماء القياسية (g)	العينة
0	225	المرجعية
14.2	257	العينة الحاوية على 10% خبث
17.8	265	العينة الحاوية على 20% خبث
20.0	270	العينة الحاوية على 30% خبث



4-5 الخواص الميكانيكية:

1-4-5: تحضير العينات:

بنسب وزنية تعادل % (10, 20, 30) يبين الجدول (4) كميات المواد المستخدمة في الخلطات الأربعة.

تم تحضير أربعة خلطات من المونة الاسمنتية، الأولى هي العينة المرجعية غير الحاوية على الخبث والثلاث عينات الأخرى هي التي تحتوي على الخبث كبديل جزئي للرمل

الجدول رقم (4) : كميات المواد في الخلطات الربعة				
كمية الماء (g)	كتلة الخبث (g)	كتلة الرمل (g)	كتلة الاسمنت (g)	الخلطة
225	-	1350	450	العينة المرجعية
257	135	1215	450	العينة الحاوية 10% خبث
265	270	1215	450	العينة الحاوية 20% خبث
270	405	1080	450	العينة الحاوية 30% خبث

3-3-2 مقاومة الشد بالانعطاف:

يبين الشكل رقم (5) مقاومة الشد بالانعطاف لجميع العينات بعمر 7 أيام، حيث يتبين انخفاض المقاومة مع زيادة نسبة الاستبدال للرمل بالخبث مقارنة بالعينة المرجعية، حيث بلغت نسبة الانخفاض 3.1% عند نسبة الاستبدال 10%،

تم تحضير عينات الاختبار الموشورية بأبعاد 4x4x16cm وفقاً للمواصفة السورية 1674 المتوافقة مع المواصفة الأوروبية EN 196-1 [10, 11]. تم إنضاج العينات بالماء وأجريت عليها مقاومة الشد بالانعطاف وكذلك مقاومة الضغط بأعمار 7 و28 يوماً.

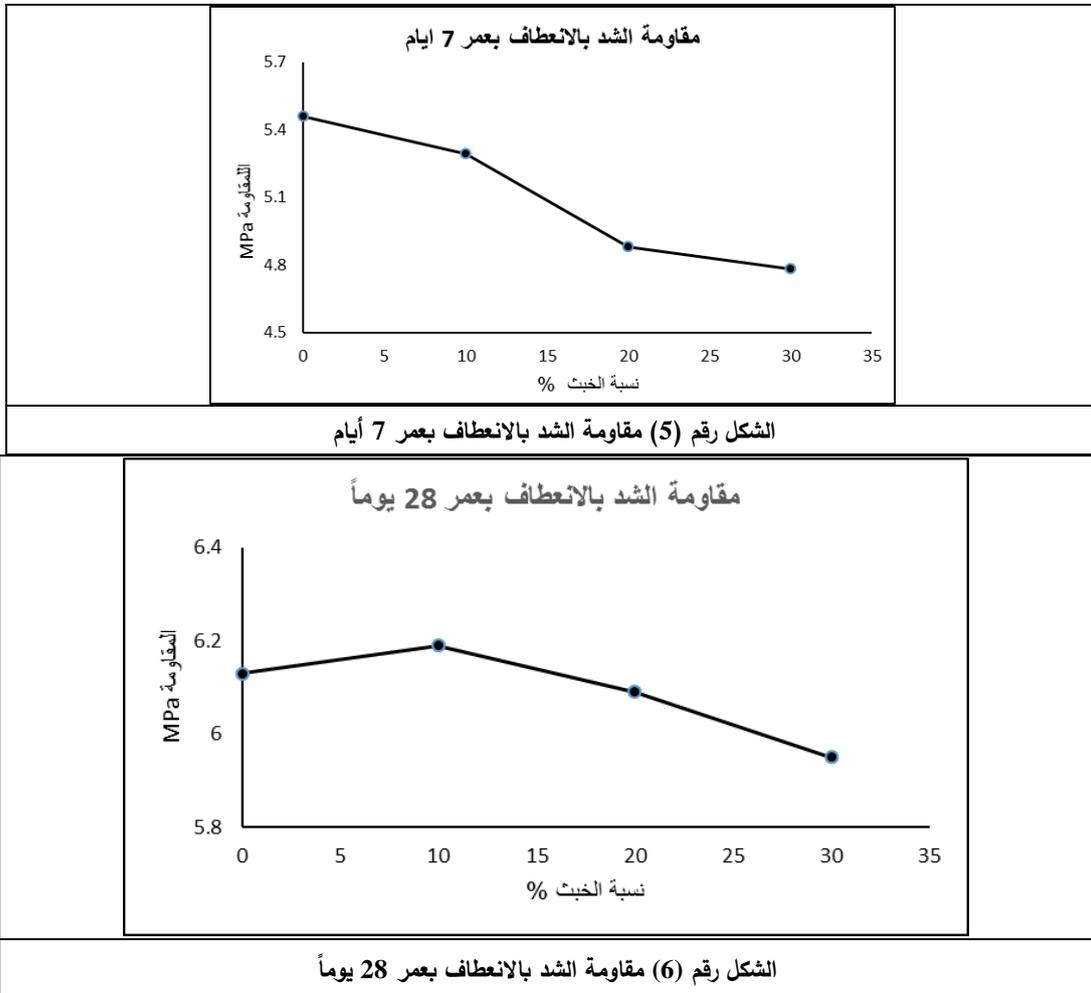
اسماعيل

المقاومة بنسبة 0.7% و 2.8% عند نسبتي الاستبدال 20% و 30% على الترتيب. ربما يعود التحسن البسيط عند نسبة الاستبدال 10% الى اظهار بعض حبيبات الخبث لخواص هيدروليكية مما مكن من تقليل نسبة الفراغات وحسن الالتصاق مع العجينة الاسمنتية بالمقابل فان هذه الآلية لم يكن لها نفس التأثير عند زيادة نسبة الاستبدال أكثر من 20% وبقيت نسبة الماء الكبيرة هي العامل الحاسم في المقاومة.

تأثير استخدام خبث الفولاذ كحصىيات ناعمة على خواص.....

ووصلت الى 12.5% عند نسبة الاستبدال 30% وهي قريبة من نسبة الانخفاض عند نسبة الاستبدال 20%. ربما يمكن تفسير هذه النتيجة بزيادة نسبة الماء المستخدمة مع زيادة نسبة الاستبدال بالإضافة. نسبة الفراغات المرتفعة ضمن الخبث وعدم اظهاره لأي خواص هيدروليكية.

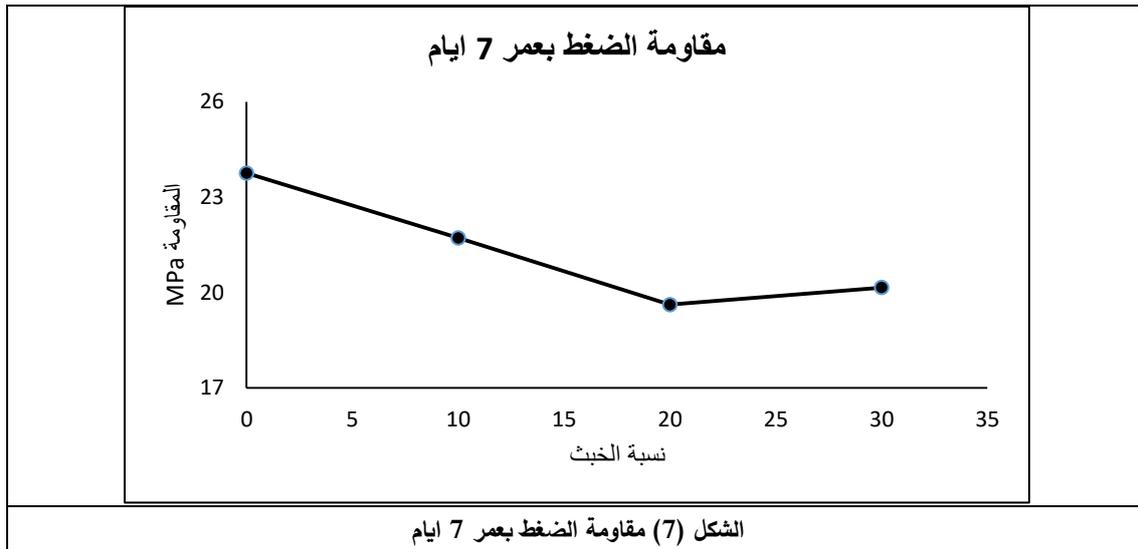
يبين الشكل رقم (6) نتائج مقاومة الشد بالانعطاف للعينات المدروسة بعمر 28 يوماً، حيث يُلاحظ تحسن مقاومة الضغط بنسبة 1% مقارنة بالعينة المرجعية، بالمقابل انخفضت هذه

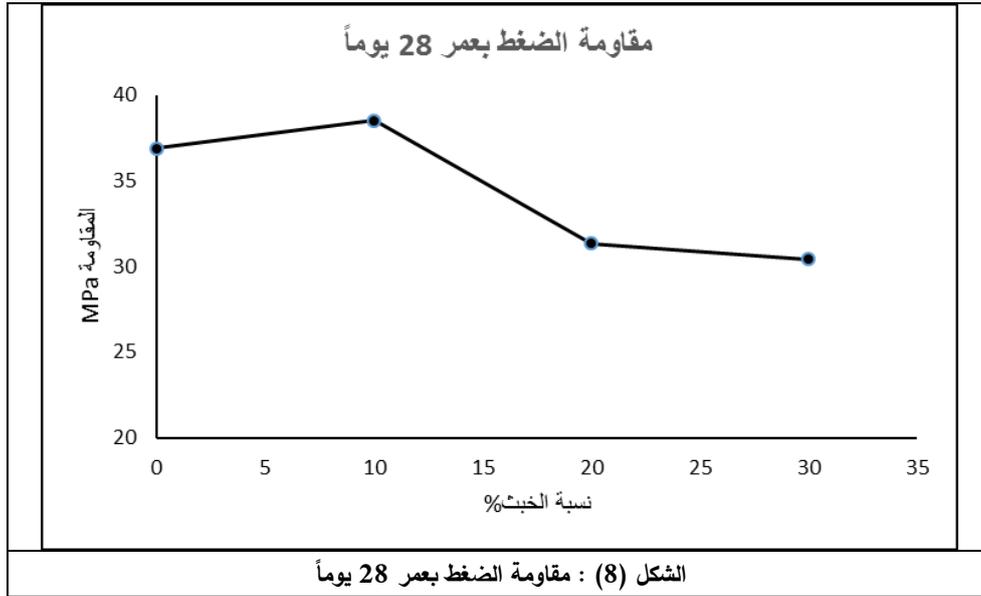


3-3-3 مقاومة الضغط:

اما مقاومة الضغط بعمر 28 يوماً، فنلاحظ تحسنها بنسبة 4.4% عند نسبة الاستبدال 10% ، بالمقابل سجلت المقاومة انخفاضاً بنسبة 14.3% و 17.5% عند نسبتي الاستبدال 20% و 30% على الترتيب. يمكن تفسير هذه النتائج بشكل مشابه لما تم ذكره في حالة مقاومة الشد بالانعطاف. اما اختلاف نسب الانخفاض او الزيادة في حالتي الضغط والشد فيعود الى اختلاف تطور مقاومتها الشد والضغط مع الزمن.

يلاحظ من الشكلين 7 و 8 ان العينة في مقاومة الضغط قد سلكت سلوكاً مشابهاً لمقاومة الشد بالانعطاف. فبعمر سبعة أيام انخفضت مقاومة الضغط بنسبة 0.9% مقارنة بمقاومة العينة المرجعية عند نسبة الاستبدال 10% وصلت الى 15% عند نسبة الاستبدال 30% وهي نسبة انخفاض قريبة مما تم تسجيله عند نسبة الاستبدال 20% .





4- مناقشة النتائج:

الخط الممثل للنتائج بين هاتين النسبتين اقرب الى الخط المستقيم في اغلب الحالات باستثناء مقاومة الشد بعمر (28) يوماً. ربما يمكن تفسير هذه النتيجة بتشابه بنية منطقة التحول في كلا الحالتين من حيث نسبة وحجم الفراغات المتواجدة فيهما.

5- الخاتمة:

- هدف هذا البحث الى دراسة إمكانية استخدام خبث الفولاذ الناتج عن صناعة الفولاذ في افران القوس الكهربائي في معمل حديد المدينة الصناعية بعدار، كبديل جزئي للرمال المستخدمة في عينات المونة الاسمنتية.
- أظهرت النتائج ان بنية ونعومة الخبث لهما تأثيراً كبيراً على حاجة المونة للماء لتأمين متطلبات اللدونة النظامية، كما أن لهما تأثيراً واضحاً على الخواص الميكانيكية للمونة الاسمنتية.
- عند استخدام الخبث بنسبة منخفضة، فانه يعمل على ملئ الفراغات بفعالية أفضل وربما يُظهر بعض الفعالية الهيدروليكية الضعيفة ب عمر 28 يوماً، مما يساهم في الحصول على مقاومات للشد بالانعطاف والضغط قريبة أو أكبر بقليل من تلك التي تُسجلها العينة المرجعية.

- لقد ظهر تأثير نسبة الفراغات في الخبث وسطحه النوعي في زيادة حاجة العجينة الاسمنتية الحاوية عليه للماء للوصول الى الطراوة القياسية للعجينة المرجعية. حيث زادت هذه الحاجة بزيادة نسبة استبدال الرمل بالخبث نتيجة زيادة السطح النوعي للخبث ونسبة الفراغات العالية فيه.
- لقد أعطت نسبة الاستبدال 10% أفضل النتائج في الاعمار المتأخرة (28) يوماً سواء بالنسبة لمقاومة الضغط التي سجلت 38.51MPa ومقاومة الشد بالانعطاف التي سجلت 6.19MPa، وهاتان النتيجتان اعلى مما تم تسجيله للعينة المرجعية في كلتا الحالتين (الشد والضغط). أما في الاعمار المبكرة (7) أيام وعلى عكس ما سبق، فقد سجلت مقاومة الضغط 21.72MPa، ومقاومة الشد 5.29MPa وهما قيمتان أقل مما تم تسجيله للعينة المرجعية في كلتا الحالتين. يمكن تفسير هذه النتيجة بالتأثير الإيجابي للنعومة التي أمنت ملء جيد للفراغات، بالإضافة الى إمكانية اظهار الخبث لبعض الخواص الهيدروليكية القليلة والتي ساهمت بتحسين المقاومة بعمر 28 يوماً.
- لم يُلاحظ فرق كبير في النتائج عند نسبتي الاستبدال 20% و 30% سواء بالنسبة لمقاومتي الضغط والشد فمن خلال الاشكال (5, 6, 7, 8) نرى تقارب النتائج و

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل(501100020595).

5-References:

1. World steel association, 2021, annual report.
2. Motz. H. 2002, "production and use of air-cooled blast furnace and steel slags", 3rd European Slag Conference: proceeding Manufacturing and Processing of Iron and Steel slag, UK, pp7-20.
3. Arribas I., et al., 2010, "Application of steel slag concrete in the foundation slab and basement wall of the TECNALIA Kubik building". 6th European Slag Conference: Ferrous Slag-Resource Development for an environmentally Sustainable World. Madrid, Spain, pp. 251-264.
4. Netinger grubesa, I., Barisic, I., Fucic, A. and Bansade, S. S., 2016, "Characteristics and uses of steel slage in building construction". Elsevier, pp. 68-70.
5. Qasraw, H. i, Shalabi, F., Asi, I., 2009, "use of low CaO unprocessed steel slag in concrete as fine aggregate", Const. Bldg. Mat. 23 (2), pp. 1118-1125.
6. Baalamurugan, J. et al., 2019, "utilization of induction furnace steel slag in concrete as coarse aggregate for gamma radiation shielding". Journal of hazardous materials, 362, pp. 561-568.
7. Maslehuddin, M. et al. 2003, "Comparison of properties of steel slag and crushed limestone aggregate concretes", Const. Bldg. Mat. 17, pp 105-112.
8. Arribal. s, et al., 2015, "Electric arc furnace slag and its use in hydraulic concrete". Const. Bldg. Mat. 90, pp 68-79.
9. Faraone, N. et al., 2009, "steelmaking slag as aggregate for mortars: Effects of particle dimension on compression strength", Chemosphere 77, pp. 1152-1156.
10. EN 196-1, 2015: determination of strength.

11. 1674 هيئة المواصفات و المقاييس العربية السورية، تحديد المقاومة.