مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد41 العدد (3) – 2025: 186-200

Damascus University Journal for engineering sciences
Vo 41 number (3) -2025: 186-200

تأثير استخدام خبث الفولاذ كحصويات خشنة بديلة عن حصويات المقالع على الخواص الميكانيكية للخرسانة

مناف علي الخضر[*1] محمود اسماعيل[2] ماجد أسعد[3]

[*1]. طالب دكتوراه في، مهندس، قسم هندسة النقل ومواد البناء – كلية الهندسة المدنية –جامعة دمشق.
munaf.alkhedr@damascusuniversity.edu.sy

[2]. مدرس، دكتور، مهندس في قسم هندسة النقل ومواد البناء – كلية الهندسة المدنية – جامعة دمشق.
MahmoudIsmail@damascusuniversity.edu.sy

[3]. أستاذ، دكتور، مهندس في قسم هندسة النقل ومواد البناء – كلية الهندسة المدنية – جامعة دمشق.
majedAsaad@damscusuniversity.edu.sy

تاريخ الايداع: 2023/2/8
تاريخ القبول: 2023/3/13

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب **CC BY-NC-SA**

الملخص:

يعتبر خبث الفولاذ من المنتجات الثانوية في صناعة الفولاذ، ويمكن استخدامه لأغراض مختلفة (الصناعة، الزراعة، الأغراض الهندسية). يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير استخدام خبث الفولاذ (الناتج عن صناعة الفولاذ السوري) على الخصائص الميكانيكية للخرسانة. تم تحضير ثلاث خلطات خرسانية M1, M2, M3 باستخدام خبث الفولاذ الناتج عن معمل حديد سوريا (الواقع في مدينة عدرا الصناعية) كبديل جزئي وكلي لحصويات المقالع الخشنة. كانت نسب الاستبدال المدروسة (0 – 50 – 100) ٪ من وزن الحصويات الخشنة، فقد تم في البداية دراسة الخواص الفيزيائية، والتركيب الكيميائي لخبث الفولاذ، ومن ثم تمت دراسة الخواص الفيزيائية، والميكانيكية للخلطات الثلاثة، ومقارنة النتائج فيما بينها. أظهرت النتائج أن استخدام حصويات خبث الفولاذ في الخرسانة قد حسّن المقاومة على الضغط والشد غير المباشر بمقدار 20% مقارنة بالخلطة المرجعية، وكانت نسبة الاستبدال 50% أفضل من النسبة 100%، حيث بلغت المقاومة على الضغط 34.06 MPa، والمقاومة على الشد غير المباشر 3.13 MPa.

الكلمات المفتاحية: خبث الفولاذ، الحصويات الخشنة، الخرسانة، الخواص الفيزيائية، الخواص الميكانيكية.

ISSN (online): 2789-6854
http://journal.damascusuniversity.edu.sy/index.php/index/index

The effect of using steel slag as coarse aggregates instead of natural aggregates on the mechanical characteristics of concrete.

Munaf Ali ALkhedr*[1] Mahmoud Ismail[2] Majed Asaad[3]

*[1]. PhD student – Eng, Department of transportation and structural materials –Faculty of Civil Engineering- Damascus University.
munaf.alkhedr@damascusuniversity.edu.sy

[2]. Assistant professor – Dr, Department of transportation and structural materials –Faculty of Civil Engineering- Damascus University.
MahmoudIsmail@damascusuniversity.edu.sy

[3]. Professor –Dr, Department of transportation and structural materials – Faculty of Civil Engineering- Damascus University.
majedAsaad@damscusuniversity.edu.sy

Received: 8/2/2023
Accepted: 13/3/2023

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

Abstract:

Steel slags are by-products in the steel production industry and can be used for different purposes (industry, agriculture, engineering). This research aims to study the effect of using steel slag produced by the Syrian steel factories on the mechanical properties of concrete. Three concrete mixtures M1, M2, and M3 were prepared using steel slag from the Syrian Steel Factory (located in Adra Industrial City) as a partial and total replacement for coarse natural aggregates. The replacement percentages were as follows (0 - 50 - 100)%, The studied replacement percentages were (0 - 50 - 100)% of the weight of the coarse aggregates. The physical properties and chemical composition of steel slag were first studied, and then the physical and mechanical properties of the three mixtures were studied. The results showed that the use of steel slag in concrete improved the strength on compression and tensile by 20% compared to the reference mixture, and the replacement rate was 50% better than 100%, as the compressive strength reached 34.06 MPa, and the tensile strength reached 3.13 MPa.

Keywords: steel slag, coarse aggregates, concrete, physical properties, mechanical properties.

المقدمة:

أصبح تحقيق التنمية المستدامة هدف لكافة دول العالم والتي مثلت مجموعة من المبادئ الواضحة والصريحة التي تقوم على ايجاد توازنات مناسبة بين التنمية الاقتصادية من جهة والحفاظ على البيئة من جهة أخرى.

تعتبر الخرسانة من أكثر الصناعات أهمية وتأثيراً على التنمية المستدامة لأنها الأكثر استخداماً في التطبيقات الهندسية حول العالم.

يتم انتاج ما يقارب عشرة مليارات طن سنوياً من الخرسانة حول العالم، حيث تتطلب هذه الاحتياجات من الخرسانة إلى كميات كبيرة من المواد الطبيعية وغير المتجددة.[1]

تشير هذه الأرقام بأن الخرسانة أصبحت ضحية نجاحها، وبالتالي يواجه العالم تحديات كبيرة لإيجاد حلول مناسبة للحفاظ على البيئة.

تعتبر صناعة الحديد والفولاذ الرديف الرئيسي للخرسانة في مشاريع البناء والإعمار ومختلف تطبيقات الهندسة المدنية، والتي تتجه صناعته بدورها نحو تحقيق التنمية المستدامة من خلال التحكم بانبعاثات الغازات الناتجة عن تلك الصناعة وإدارة المخلفات الصناعية الناتجة عنها.

يحتل الفولاذ المرتبة الثالثة عالمياً من حيث كمية الانتاج بمعدل 1.9 مليار طن سنوياً، حيث يأتي بعد صناعة الخرسانة والخشب، ويدخل في عمليات صناعة الحديد والفولاذ عنصران أساسيان هما خام الحديد وخردة الفولاذ، حيث ينال خام الحديد الحصة الأكبر في عمليات صناعة الفولاذ بنسبة 70% بينما تنال خردة الفولاذ الحصة الصغيرة بنسبة 30%.[2]

يعتبر الخبث من النفايات الناتجة عن عملية صناعة الفولاذ والحديد، و يستخدم في طيف كبير من التطبيقات الصناعية والزراعية وأعمال الهندسة المدنية حول العالم.

يتمتع الخبث بخصائص فيزيائية وكيميائية و ميكانيكية جعلته محط اهتمام الباحثين حول العالم بغرض تطويعه واستخدامه في العديد من المجالات و التطبيقات الهندسية المختلفة، والحد من تأثيره السلبي على البيئة وعرقلته لعمليات الانتاج، حيث أنه في دول العالم المتقدمة يتم استخدامه بنسبة 100% في مجالات واسعة.

تشكل الحصويات القسم الأكبر من حجم الخرسانة بما يقارب 70 % من مكونات الخرسانة، وبالتالي تختلف خصائص الخرسانة الميكانيكية والفيزيائية بشكل كبير مع اختلاف نوع الحصويات المستخدمة في إنتاج تلك الخرسانة.

نبين في هذه الدراسة انعكاس تأثير استخدام حصويات خبث الفولاذ الخشنة الناتجة عن معامل الحديد في سوريا على الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للخرسانة كبديل جزئي او كلي لحصويات المقالع الجديدة .

1- تعريف الخبث:

هو المنتج الثانوي الرئيسي في عمليات صناعة الفولاذ والحديد، والذي يتشكل من الشوائب الموجودة في الحديد الخام المصهور والفولاذ المصهور.

تقدر كمية الخبث الناتج عن صهر 1 طن من الحديد الخام بـ 300 كغ.[3]

تقدر كمية خبث الفولاذ الناتج عن صهر 1 طن من خردة الفولاذ بـ 100 – 150 كغ.[3]

2- أنواع الخبث حسب طريقة الانتاج:

3-1- خبث الفرن العالي BFS:

ينتج خبث الفرن العالي عن عمليات الصهر التي تحصل في الفرن العالي، حيث يضاف الحديد الخام والحجر الكلسي والفحم ليشكل مصهور الحديد المختزل وأول أكسيد الكربون والخبث المصهور، وتتراوح درجة الانصهار من 1500 – 1600، حيث يتم تجميع الحديد المصهور في أسفل الفرن بينما يطفو مصهور الخبث في الأعلى، ويتكون هذا النوع

من الخبث بشكل أساسي من أكاسيد السيليكون والألمنيوم والكالسيوم والمغنزيوم.[4]

3-2- خبث الأكسجين القاعدي BOS:

ينتج خبث الأكسجين القاعدي عن صهر الحديد الناتج من الفرن العالي مع ادخال نسبة من خردة الفولاذ تقدر 10 – 20 % من الوزن الكلي للمواد الداخلة في عملية الصهر، وتلعب خردة الفولاذ المضافة دوراً هاماً في ضبط حرارة الفرن والحفاظ على درجة حرارة 1600- 1650، ويتم اضافة الحجر الكلسي أو الدولوميتي اللذين تتحد مركباتهما مع الشوائب الموجودة في الحديد المصهور مشكلة الخبث، الذي يطفو فوق الفولاذ المصهور، والتقنية الأساسية في هذا النوع من الأفران هي ضخ الأكسجين النقي بسرعات عالية مما يساهم في عمليات الأكسدة وإزالة الشوائب.[5]

3-3- خبث القوس الكهربائي EAF:

ينتج خبث القوس الكهربائي عن صهر خردة الفولاذ و تحويلها إلى فولاذ عالي الجودة، ويتم استخدام الكهرباء بديلاً عن الوقود في هذا النوع من الأفران، ويتم عن طريق ضخ الأكسجين إلى الفرن مع إضافة الحجر الكلسي أو الدولوميتي لتحصل عمليات الأكسدة ويتم نزع الشوائب الموجودة مشكلة الخبث الذي يحوي على أكسيد الحديد بنسبة عالية مع أكاسيد الكالسيوم والسيليكون والمغنزيوم والألمنيوم،

يظهر الجدول (1) التشابه الكبير بين خبث الأكسجين القاعدي وخبث القوس الكهربائي من حيث التركيب الكيميائي، وأيضاً يظهر الاختلاف الكبير بينهما وبين خبث الفرن العالي الذي يحوي على نسبة عالية من أكسيد السيلكون ونسبة منخفضة من أكاسيد الحديد مقارنة بالنوعين الآخرين.

ويتم سحب الخبث الناتج عن طريق إمالة الفرن إلى مغارف منفصلة ليتم نقله و تبريده بطرق مختلفة حول المعامل.[5]

3- التركيب الكيميائي للخبث:

يختلف التركيب الكيميائي للخبث باختلاف الفرن المستخدم في إنتاج الحديد والفولاذ وباختلاف طريقة التبريد.

ويبين الجدول (1) التركيب الكيميائي للأنواع الرئيسية من الخبث وفق طريقة الانتاج.[6]

الجدول(1) الخواص الفيزيائية و الميكانيكية للخبث [4]

Constituents as Oxides	Symbol	BFS Slag (%)	BOS Slag (%)	EAF Slag (%)
Calcium Oxide	(CaO)	41	40	35
% Free Lime	–	0	0–2	0–1
Silicon Oxide	(SiO_2)	35	12	14
Iron Oxide	(Fe_2O_3)	0.7	20	29
Magnesium Oxide	(MgO)	6.5	9	7.7
Manganese Oxide	(MnO)	0.45	5	5.7
Aluminium Oxide	(Al_2O_3)	14	3	5.5
Titanium Oxide	(TiO_2)	1	1	0.5
Potassium Oxide	(K_20)	0.3	0.02	0.1
Chromium Oxide	(Cr_2O_3)	<0.005	0.1	1
Vanadium Oxide	(V2O5)	<0.05	1.4	0.3
Sulphur	(S)	0.6	0.07	0.1

4- الخواص الفيزيائية والميكانيكية:

تختلف الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخبث باختلاف الفرن المستخدم في إنتاج الحديد و الفولاذ وباختلاف طريقة التبريد.

يبين الجدول (2) الخواص الفيزيائية والميكانيكية للأنواع الرئيسية من الخبث وفق طريقة الانتاج.[4]

الجدول(2) الخواص الفيزيائية و الميكانيكية للخبث [4].

الخواص	خبث الفرن العاليBFS	خبث الفولاذBOS-EAF
الوزن النوعي	2.5 -2	3.6- 3.2
الوزن الحجمي kg/m^3	1360 - 1120	1920 - 1600
الامتصاص%	6 - 1	3<
الاهتراء%	45 - 35	25 - 20
زاوية الاحتكاك	45 - 40°	50 - 40°
نسبة تحمل كاليفورنيا%	100<	300<

5- استخدامات خبث الفولاذ:

يستخدم خبث الفولاذ في طيف واسع من التطبيقات الصناعية والزراعية والهندسية والتي تختلف باختلاف خواص الخبث.

يبين الجدول رقم (3) احصائيات دراسة يابانية لكميات الخبث المنتجة في عام 2012 واستخداماتها المتنوعة.[3]

الجدول (3) استخدامات الخبث. [3]

خبث الفرن العاليBSF		خبث الفولاذBOS – EAF
25.885 kton/y		13.821 kton/y
محبب 81%	مبرد بالهواء 19%	مبرد بالهواء % 100
أعمال مدنية 4 %	طبقة قاعدة الطرق 12 %	طبقة قاعدة الطرق 29%
حصويات للخرسانة 7%	حصويات للخرسانة 1%	أعمال مدنية 28 %
اسمنت 69%	اسمنت 1%	إسمنت 4 %
استخدامات أخرى 2 %	أعمال مدنية 1 %	إعادة صهر 31 %
-	استخدامات أخرى 3 %	تحسين التربة 3 %

6- الدراسات السابقة:

ناقشت العديد من الدراسات حول العالم تأثير استخدام خبث الفولاذ على الخواص الميكانيكية والفيزيائية للخرسانة، نذكر منها:

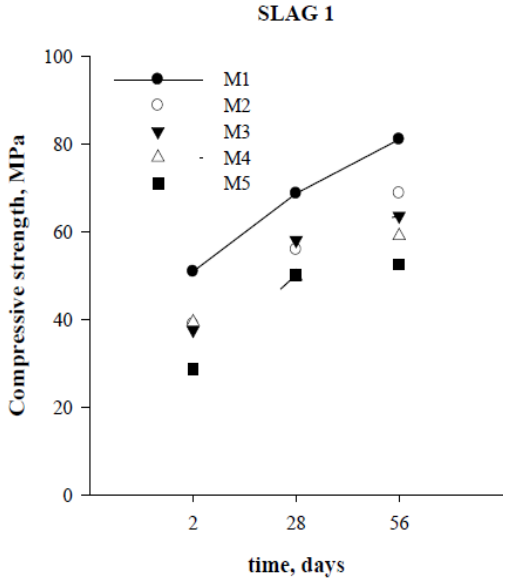
قامت I.Netinger وآخرون في كرواتيا عام 2014 باستخدام نوعين من خبث الفولاذ الناتج عن مصانع الفولاذ الكرواتية ليكون بديل كلي لحصويات المقالع الخشنة في الخلطات الخرسانية، وتم دراسة تأثير إضافة أليـاف البـولي بـروبلين والرمـاد المتطـاير كنسـبة مـن وزن الإسمنت.

يبين الجدول(4) نسب الخلط لنوعي الخبث المستخدم في الدراسة:

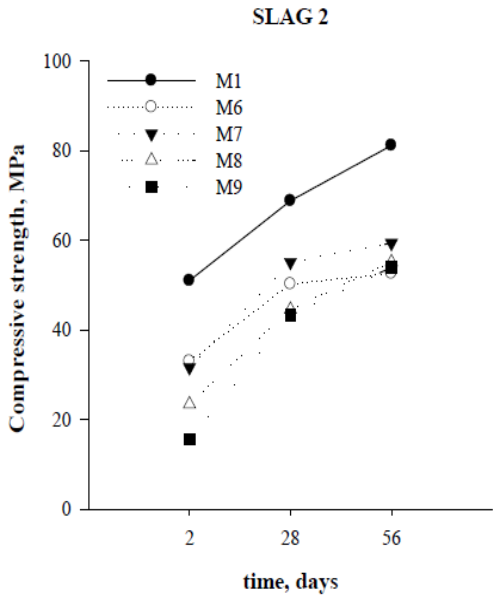
الجدول (4) نسب خلط نوعي الفولاذ والتدرجات الحبية. [7]

Mixture	w/b	Superplasticizer (kg)	Cement (kg)	Fly ash (kg)	Polypro. fibres (kg)	Aggregate (kg)						
						dolomite, fraction 0 ÷ 4 mm	dolomite, fraction 4 ÷ 8 mm	dolomite, fraction 8 ÷ 16 mm	slag 1, fraction 4 ÷ 8 mm	slag 1, fraction 8 ÷ 16 mm	slag 2, fraction 4 ÷ 8 mm	slag 2, fraction 8 ÷ 16 mm
M1	0,43	3,20	400	-	-	807	367	661	-	-	-	-
M2		3,20	400	-	-	864	-	-	422	723	-	-
M3		3,20	400	-	0,910	864	-	-	422	723	-	-
M4		3,00	320	80	-	864	-	-	422	723	-	-
M5		3,00	320	80	0,910	864	-	-	422	723	-	-
M6		3,20	400	-	-	841	-	-	-	-	411	704
M7		3,20	400	-	0,910	841	-	-	-	-	411	704
M8		3,00	320	80	-	841	-	-	-	-	411	704
M9		3,00	320	80	0,910	841	-	-	-	-	411	704

يبـين الشـكلين البيـانيين (1) و(2) نتـائج المقاومـة علـى الضـغط لكـل الخلطـات الخرسـانية الـواردة فـي الجـدول (4) على التوالي:[7]



الشكل (1) تغير المقاومة على الضغط مع الزمن لخلطات خبث الفولاذ الأول[7].



الشكل (2) تغير المقاومة على الضغط مع الزمن لخلطات خبث الفولاذ الثاني [7].

أعطت عينات الخرسانة المستخدم فيها نوع الخبث الأول مقاومة على الضغط أقل من الخليط المرجعي بمقدار 23 % لزمن انضاج 2 يوم، و17% لزمن انضاج 28 يوم، و15% لزمن انضاج 56 يوم.

أعطت عينات الخرسانة المستخدم فيها نوع الخبث الثاني مقاومة على الضغط أقل من الخليط المرجعي بمقدار 36 % لزمن انضاج 2 يوم، و30% لزمن انضاج 28 يوم، و19 % لزمن انضاج 56 يوم.

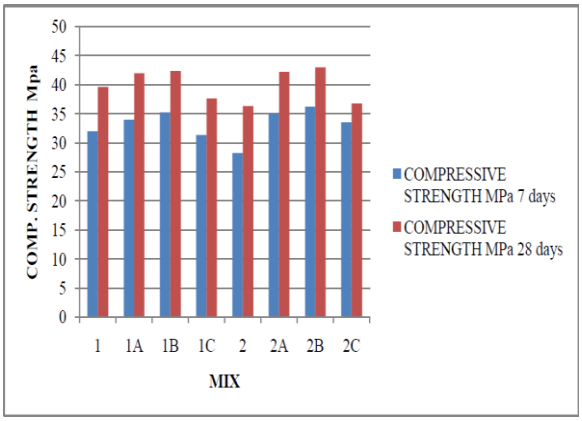
حققت جميع العينات الحاوية على الخبث مقاومة على الضغط أقل من الخليط المرجعي، والتي يمكن تفسيرها بانخفاض جودة الخبث كحصويات مقارنة بالدولوميت.

لم تؤثر إضافة أليـاف البولي بروبلين بشكل كبير على مقاومة الضغط للعينات في أي عمر.

أدى الجمع بين الرماد المتطاير وألياف البولي بروبلين إلى تحسين مقاومة قوة الضغط عند زمن انضاج 56 يوماً في حالة العينات الحاوية على نوع الخبث الثاني.[7]

قام N.Suganya & J. Saravanan في الهند عام 2015 بدراسة تأثير استخدام حصويات خبث الفولاذ كبديل كلي لحصويات المقالع في الخلطات الخرسانية، وذلك وفق تدرجات حبية مختلفة، حيث تم صب الخلطات الثلاث الأولى باستخدام حصويات مقالع ويدل عليها الرقم 1، بينما الخلطات المتبقية لحصويات خبث الفولاذ ويدل عليها الرقم 2، يعبر الحرف A عن استخدام حصويات خشنة أكبر من 12.5 مم، يعبر الحرف Bعن استخدام مقاس واحد للحصويات الخشنة مع رمل فقط، بينما يعبر الحرف C عن استخدام حصويات بتدرج نظامي من 4.75 حتى 20 مم.

يبين الشكل (3) نتائج المقاومة على الضغط:



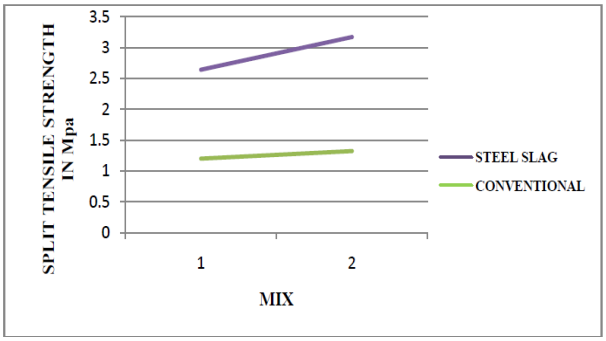
الشكل (3) تغير المقاومة على الضغط بتغير الخليط[8].

أعطى كلا الخليطين 1A، 1B للحصويات الخشنة التقليدية مقاومة على الضغط أعلى بنسبة 6٪ من الخليط المرجعي، بينما كان الخليط 1C أقل بمقدار 5% من الخليط المرجعي.

أعطى الخليطين 2A، 2B لحصويات خبث الفولاذ الخشنة مقاومة على الضغط أعلى بنسبة 16٪ و 18% على التوالي من الخليط المرجعي، بينما كان الخليط 2C أقل بمقدار 10 % من الخليط المرجعي.

وجد أن مزيج A - B كان ينتج قوة لمقاومة الضغط أعلى في كلا من الخرسانة التقليدية و خرسانة خبث الفولاذ.

يبين الشكل البياني (4) نتائج المقاومة على الشد بالفلق:



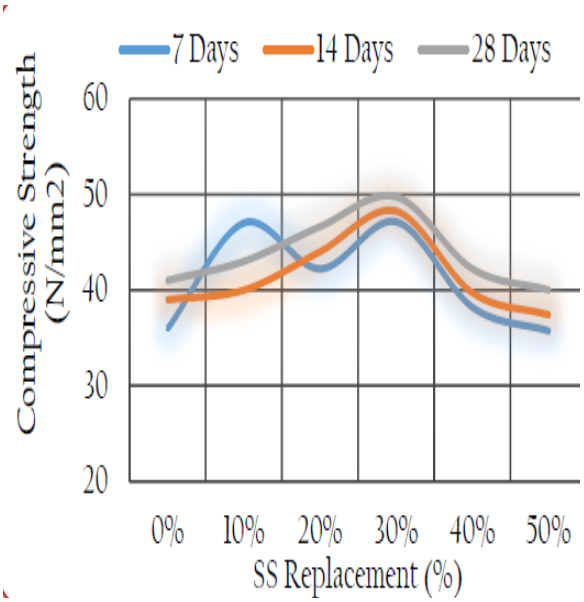
الشكل (4) تغير المقاومة على الشد بالفلق بتغير الحصويات[8].

أعطى الخليط 1B للحصويات الخشنة التقليدية مقاومة على الشد بالفلق أعلى بنسبة 20٪ من المرجعي.

أعطى الخليط 2B لحصويات خبث الفولاذ الخشنة مقاومة على الشد بالفلق أعلى بنسبة 40٪ من الخليط المرجعي [8].

قام Raza و آخرون في الهند عام 2014 بدراسة تأثير استخدام خبث الفولاذ كبديل جزئي للحصويات الخشنة على مقاومة قوة الضغط للخرسانة.

تم الاستبدال جزئياً بحصويات خبث الفولاذ الخشن بنسب مختلفة (0 – 10 – 20 –30 – 40 – 50)٪. يوضح الشكل البياني (5) نتائج المقاومة على الضغط لكل نسبة: [9]

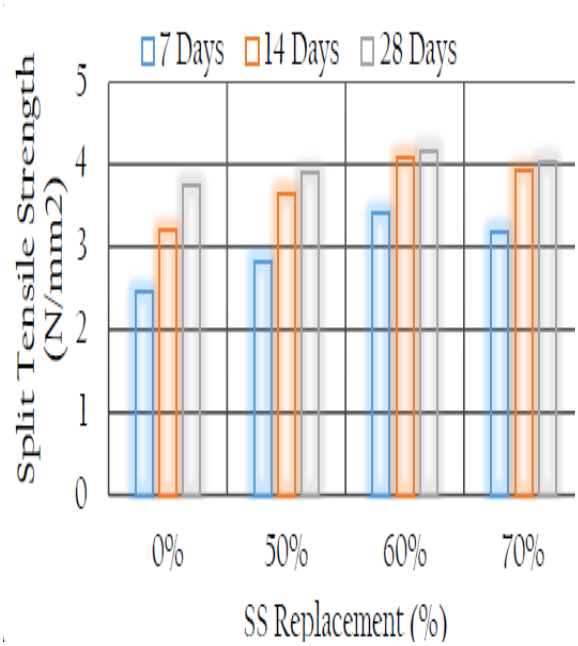


الشكل(5) تغير المقاومة على الضغط بتغير نسب الخلط.[9]

نلاحظ أن نسبة الاستبدال 30 % أعطت أفضل نتيجة، وبالمجمل كان استخدام حصويات خبث الفولاذ ينعكس بشكل ايجابي على النتائج [9].

قام Subramani & Ravi في ايران عام 2015 باستبدال حصويات المقالع الخشنة بحصويات خبث الفولاذ بعدة نسب (0 – 50 – 60–70)% وتم اختبارها على الشد بالفلق.

ويبين الشكل البياني (6) نتائج تلك الاختبارات[10]:



الشكل (6) نتائج تغير المقاومة على الشد بالفلق مع تغير نسب الخلط.[10]

يوضح الشكل أن الزيادة في نسبة الاستبدال تتناسب طردا مع مقاومة الشد حتى نسبة الاستبدال 60 % وبعد تلك النسبة تؤثر الزيادة في نسبة الاستبدال بشكل سلبي وبالتالي تكون نسبة الاستبدال المثلى لمقاومة الشد بالفلق هي 60 %.

تبين الدراسات السابقة امكانية استخدام خبث الفولاذ كحصويات بديلة لحصويات المقالع في انتاج الخرسانة، وقد تحسن حصويات خبث الفولاذ من الخواص الميكانيكية للخرسانة اذا تم ضبط النسب الخلط بشكل مدروس، حيث يمكن الاستفادة من خواص حصويات خبث الفولاذ المتنوعة وتحسين الخرسانة باستخدام تلك الحصويات.

7- أهمية البحث وأهدافه:

يقوم هذا البحث على دراسة امكانية استخدام حصويات خبث الفولاذ الناتج عن معامل الفولاذ في سوريا كبديل جزئي أو كلي لحصويات المقالع الخشنة في انتاج الخرسانة، وذلك من خلال دراسة خواص حصويات خبث الفولاذ ومقارنتها مع خواص حصويات المقالع، و دراسة الخواص الميكانيكية للخرسانة المنتجة حيث يخزن الخبث على مساحات واسعة حول معامل انتاج الفولاذ مسبباً آثار بيئية وصحية سلبية، بالإضافة لعرقلته لعملية الإنتاج، ويتم تبريده بطرق عشوائية وغير مدروسة.

8- طرائق البحث ومواده:

يعتمد هذا البحث على اجراء سلسلة من التجارب على حصويات المقالع وحصويات خبث الفولاذ المستخدمة، ودراسة الخواص الفيزيائية والميكانيكية لتلك الحصويات، ومن ثم تصميم خلطات خرسانية باستخدام حصويات المقالع الخشنة بنسبة 100% كخلطة مرجعية يرمز لها بالرمز M1، وخلطة بنسبة 50 % حصويات مقالع خشنة مع 50 % حصويات خبث الفولاذ خشنة M2، وخلطة بنسبة 100 % حصويات خبث فولاذ خشنة M3، ومن ثم التحقق من مقاومة العينات الخرسانية على الضغط و الشد غير المباشر.

أنجزت هذه التجارب في مختبرات كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق ومختبرات المعهد العالي للعلوم التطبيقية و التكنولوجيا .

9- المواد المستخدمة:

حصويات المقالع NA: تم احضارها من منطقة المراح في ريف دمشق وهي عبارة عن حصويات دولوميتية.

حصويات خبث الفولاذ SSA: تم الحصول على كتل خبث الفولاذ من معمل حديد سوريا الناتج عن صهر الخردة الواردة الى المعمل في فرن القوس الكهربائيEAF في مدينة عدرا الصناعية، والمبرد تحت الظروف الجوية السائدة حول المعمل، وتم تكسيره الى مقاسات الحصويات المطلوبة في تصميم خلطات البحث.

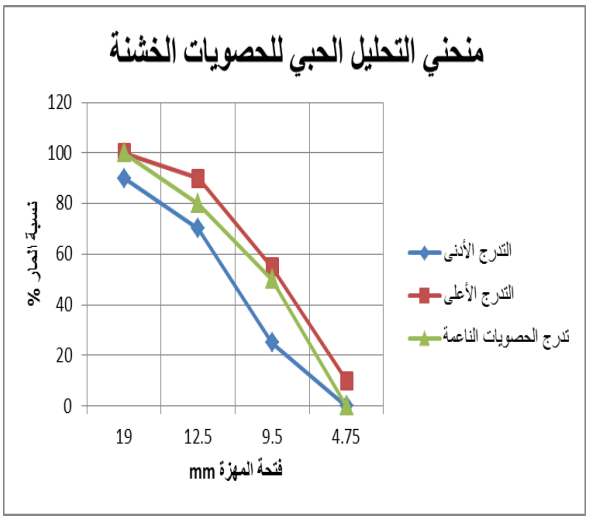
الاسمنت: تم استخدام الاسمنت البورتلاندي العادي صنف 32.5 N وتم الحصول عليه من معمل اسمنت عدرا.

10- التجارب على الحصويات:

تم اجراء سلسلة من التجارب على حصويات المقالع الخشنة والناعمة وحصويات خبث الفولاذ الخشنة، بالإضافة الى اجراء تحليل كيميائي لخبث الفولاذ وذلك بهدف التحقق من الخواص الفيزيائية والكيميائية.

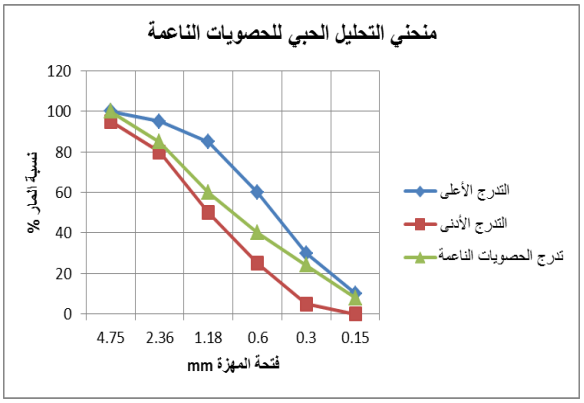
10-1 التدرج الحبي:

تم تنسيب الحصويات الخشنة المستخدمة في البحث وفق المواصفة ASTM C33 / AASHTO M80 للحصويات الخشنة، ويبين الشكل البياني (7) منحني التدرج الحبي المستخدم للحصويات الخشنة.



الشكل (7) منحني التدرج الحبي للحصويات الخشنة.

تم تنسيب الحصويات الناعمة المستخدمة في البحث وفق المواصفة ASTM C33/AASHTO M6 للحصويات الناعمة، ويبين الشكل البياني (8) منحني التدرج الحبي المستخدم للحصويات الناعمة.



الشكل (8) منحني التدرج الحبي للحصويات الناعمة

10-2- خواص الحصويات المستخدمة في الدراسة:

يبين الجدول (5) الخواص الفيزيائية للحصويات الناعمة المدروسة:

الجدول (5) خواص حصويات المقالع الناعمة.

حصويات المقالع الناعمة ASTM C128-01	
Gsb	2.679
Gsa	2.796
Gssd	2.718
نسبة الامتصاص %	1.6
المكافئ الرملي	75

يبين الجدول (6) الخواص الفيزيائية والميكانيكية لحصويات المقالع الخشنة:

الجدول (6) خواص حصويات المقالع الناعمة

الحصويات الخشنة الطبيعية(المقالع) ASTM C127 / C-131	
Gsb	2.664
Gsa	2.802
Gssd	2.713
نسبة الامتصاص %	1.854
الفاقد بالاهتراء %	18.94

يبين الجدول (7) الخواص الفيزيائية والميكانيكية لحصويات خبث الفولاذ الخشنة:

الجدول (7) خواص حصويات خبث الفولاذ الخشنة

حصويات خبث الفولاذ ASTM C127 / C-131	
Gsb	3.289
Gsa	3.592
Gssd	3.374
نسبة الامتصاص %	2.564
الفاقد بالاهتراء %	21.98

نستنتج من الجداول السابقة أن الوزن النوعي لحصويات خبث الفولاذ أكبر بمقدار 22 % من الحصويات الدولوميتية، ويعود ذلك إلى المحتوى العالي من أكاسيد الحديد الموجودة في خبث الفولاذ الناتج عن معمل حديد سوريا.

نسبة الامتصاص لحصويات خبث الفولاذ أكبر بمقدار 27.7 % من حصويات المقالع الدولوميتية، ويعود ذلك إلى البنية المسامية التي يتصف بها خبث الفولاذ.

الفاقد بالاهتراء لحصويات خبث الفولاذ أكبر بمقدار 13.8 % من حصويات المقالع الدلوميتية، ويعود ذلك إلى بنيتها المسامية مما يقلل من مقاومتها للاهتراء عند وضعها في جهاز لوس أنجلوس.

تبين النتائج السابقة امكانية استخدام حصويات خبث الفولاذ في انتاج الخرسانة وذلك وفقاً لمتطلبات الأداء.

التحليل الكيميائي لخبث الفولاذ المدروس:

الجدول (8) التحليل الكيميائي لخبث الفولاذ المدروس

النسبة المئوية للأكاسيد المشكلة لخبث الفولاذ	
CaO	27.82
Fe_2O_3	44.15
SiO_2	13.63
CuO	0.04
AL_2O_3	7.18
MgO	2.75
MnO	2.68
ZnO	0.66
BrO	0.58

11- تصميم الخلطات الخرسانية المدروسة:

تم التصميم وفق طريقة المعهد الأمريكي للخرسانة ACI211.191.

يبين الجدول (9) نسب الخلط لكافة الخلطات المدروسة:

الجدول (9) نسب الخلط للخلطات المدروسة

اوزان مكونات خلطات الدراسة مقدرة بالكيلو غرام			
اسم الخلطة	M1	M2	M3
حصويات مقالع خشنة	960	480	-
حصويات مقالع ناعمة	820	896	966
حصويات خبث فولاذ خشنة	-	507	1014
اسمنت	380	380	380
ماء	218	223	228
الوزن الكلي	2378	2487	2588

M1: خلطة مرجعية بواسطة حصويات مقالع فقط.

M2: خلطة باستخدام 50 % حصويات مقالع خشنة و 50 % حصويات خبث فولاذ خشنة.

M3: خلطة باستخدام 100 % حصويات خبث فولاذ خشنة.

12- النتائج:

12-1- خصائص الخرسانة الطازجة:

يبين الجدول (10) خواص الخرسانة الطازجة للخلطات المدروسة:

الجدول (10) خواص الخرسانة الطازجة للخلطات المدروسة.

الخلطة	الهبوط (mm)	الفراغات الهوائية%	الوزن الحجمي(Kg/m^3)
M1	50	1.6	2505
M2	49	1.5	2700
M3	47	1.5	2753

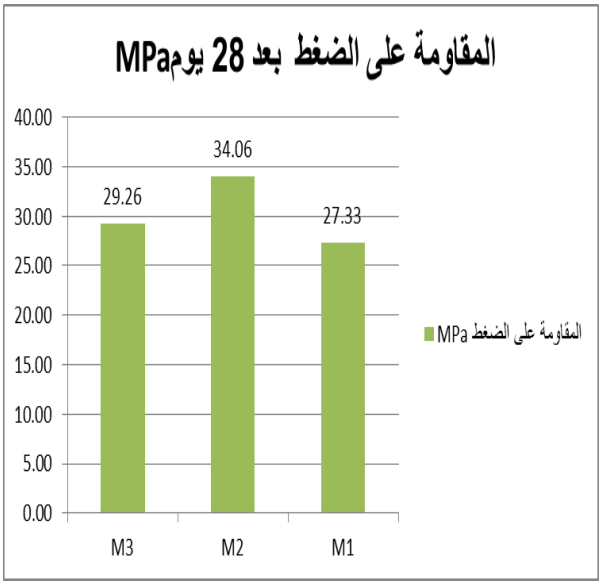
يوضح الجدول 10 ما يلي:

يقل الهبوط عند زيادة نسبة حصويات خبث الفولاذ ويعود ذلك إلى نسبة الامتصاص العالية مقارنة بحصويات المقالع الدولوميتية.

يزيد الوزن الحجمي مع زيادة نسبة حصويات خبث الفولاذ في الخلطة، ويعود ذلك إلى ارتفاع قيمة الوزن النوعي لحصويات خبث الفولاذ مقارنة بحصويات المقالع الدولوميتية.

12-2- مقاومة الخرسانة على الضغط:

تم التحقق من مقاومة العينات على الضغط وذلك بعد زمن انضاج 28 يوم، حيث تم صب 5 عينات لكل حالة مدروسة بأبعاد (10*10*10) سم، يبين الشكل البياني (9) نتائج هذا الاختبار

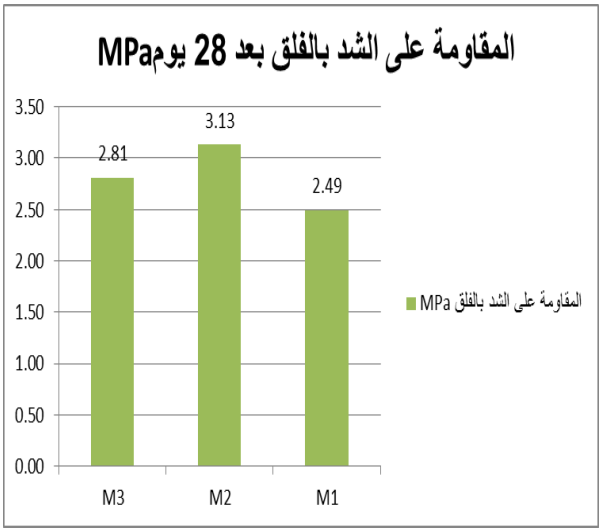


الشكل (9) نتائج المقاومة على الضغط.

يوضح الشكل البياني (9) أن الخلطة المرجعية أعطت أقل قيمة للمقاومة على الضغط وكانت الخلطة M2 أكبر بمقدار 20 % من الخلطة المرجعية، وحققت الخلطة M3 مقاومة على الضغط بمقدار 6.6 % من الخلطة المرجعية.

12-3- مقاومة الخرسانة لقوة الشد غير المباشر:

تم التحقق من مقاومة العينات لقوة الشد غير المباشر وذلك بعد زمن انضاج 28 يوم، حيث تم صب 5 عينات لكل حالة مدروسة بقطر 7.5 سم وارتفاع 15 سم، يبين الشكل البياني (10) نتائج هذا الاختبار



الشكل (10) نتائج المقاومة على الشد غير المباشر.

يوضح الشكل البياني (10) أن الخلطة المرجعية أعطت أقل قيمة لمقاومة الشد غير المباشر وكانت الخلطة M2 أكبر بمقدار 20.4 % من الخلطة المرجعية ، وحققت الخلطة M3 مقاومة على قوة الشد غير المباشر أعلى بمقدار 11.4 % من الخلطة المرجعية .

نستنتج من الاختبارات الميكانيكية للخلطات الثلاثة أن الخلطات الحاوية على خبث الفولاذ أفضل من الخليط المرجعي ويمكن تعليل ذلك من خلال الوزن النوعي المرتفع لخبث الفولاذ، وشكل الحصويات ذات الحواف الحادة للخبث مقارنة بحصويات المقالع، وكانت الخلطة M2 أفضل من الخلطة M3، ويعود ذلك إلى التنوع في تدرجات الحصويات البينية الموجودة في حصويات خبث الفولاذ وحصويات المقالع معاً، مما قد يساهم في إملاء للفراغات بشكل أفضل.

النتائج والتوصيات:

- الوزن النوعي لحصويات خبث الفولاذ أكبر بمقدار 22 % من حصويات الدولوميتية.
- يحتوي خبث الفولاذ السوري على نسبة عالية من أكاسيد الحديد مقارنة بأنواع الخبث المستخدم في الدراسات المرجعية.
- نسبة الامتصاص لحصويات خبث الفولاذ أكبر بمقدار 27.7 % من حصويات المقالع الدولوميتية.
- الفاقد بالاهتراء لحصويات خبث الفولاذ أكبر بمقدار 13.8 % من حصويات المقالع.
- استخدام حصويات خبث الفولاذ حسّن من الخواص المكانيكية للخلطات الخرسانية مقارنة بحصويات المقالع.
- يوصى باستخدام حصويات خبث الفولاذ كبديل لحصويات المقالع وبنسب استبدال جزئية.

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

17-References

[1] Meyer, Christian. (2004). Concrete Materials and Sustainable Development in the United States. Structural Engineering International. Volume 14, 2004 - Issue 3. Pages 203-207.Newyork: USA.

[2] International Energy Agency. (October 2020). Iron and Steel Technology Roadmap.France.P17-187.

[3] Kazuhiro, HORII, Toshiaki, KATO, Keisuke, SUGAHARA, Naoto,TSUTSUMI & Yoshiyuki KITANO. (JULY 2015). Overview of Iron/Steel Slag Application and Development of New Utilization Technologies.

[4] Grubeša, Ivanka Netinger, Barišić, Ivana, Fucic, Aleksandra&S. Bansode, Samitinjay.(2016). Characteristics and Uses of Steel Slag in Building Construction. Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering: Number 67.Croatia.P16-180.

[5] Yildirim, Irem Zeynep&Prezzi, Monica.(27 July 2011). Chemical,Mineralogical, andMorphological Properties of Steel Slag. Advances in Civil Engineering Volume 2011, Article ID 463638, 13 pages.USA.

[6] Australasian Slag Association. (2002). a guide to the use of iron and steel slag in roads. Australia .P12-35.

[7] Netinger, Ivanka, Jelèiæ Rukavina, Marija, Serdar, Marijana& Bjegoviæ, Dubravka.(2014). STEEL SLAG AS A VALUABLE MATERIAL FOR CONCRETE PRODUCTION. Technical Gazette 21, 5(2014).Croatia.P 1081-1088.

[8] J. Saravanan & N.Suganya. (2015). Mechanical Properties of Concrete Using Steel Slag Aggregate. International Journal of Engineering Inventions. Volume 4, Issue 9 [May 2015] PP: 07-16.India.

[9] Raza, K.; Singh, A. and Patel, R.D. (2014). Strength Analysis of Concrete by Using Iron Slag as a Partial Replacement of Normal Aggregate (Coarse) in Concrete. International Journal of Science and Research (IJSR), Volume 3 Issue 10.P: 190-193.

[10] Subramani, T. and Ravi G. (2015) Experimental Investigation of Coarse Aggregate with Steel Slag in Concrete, IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN), Volume 5 Issue 5.P: 64-73.