DOI: https://doi.org/10.36602/jsba.2026.22.20

دراسة الخصائص الميكانيكية لغبار الإسمنت المعاد تدويره مع الرمل كمنشط قلوي في تصنيع ملاط خبث أفران الصهر المحبب المعالج حرارياً

سليمة مفتاح المقيرحي
قسم الكيمياء/ كلية التربية/ جامعة سرت/ ليبيا
Email: Salima.M.H@su.edu.ly

تاريخ التقديم:14-5-2026 تاريخ القبول: 30-7-2026 تاريخ النشر: 11-9-2026

المخلص: تمت دراسة إعادة تدوير غبار الأسمنت واستخدامه كمادة منشطة لخبث الأفران العالية المحبب (مع الرمل) لإنتاج مواد بناء مستدامة؛ حيث استُخدم غبار الأسمنت لتنشيط خليط خبث الأفران العالية المحبب والرمل، وذلك عبر استبدال جزئي لكل من غبار الأسمنت والرمل بالخبث بنسب متفاوتة. وجرى فحص العينات بعد تصلدها ومعالجتها باستخدام جهاز الأوتوكلاف، وحضرت ثلاث عينات الاولي بنسبة 50%لكل من غبار الاسمنت والرمل والعينة الثانية كانت بنسبة 40%غبار الاسمنت و20%الرمل و40% خبث الأفران العالية المحبب والعينة الثالثة بنسبة 40%غبار الاسمنت و40%الرمل و20% خبث الأفران العالية المحبب كما حُدّدت العينة ذات الأداء الأفضل من خلال دراسة خصائصها الميكانيكية وتحديد مقاومتها للقوة الانضغاط. وأظهرت النتائج أن العينة الثانية تمتلك التركيبة النسبية الأمثل لمنتجات مواد البناء؛ ويُعزى ذلك إلى ارتفاع نسبة الخبث مقارنة بالرمل وغبار الأسمنت، فضلاً عن زيادة كمية هيدرات سيليكات الكالسيوم التي تتمتع بخصائص هيدروليكية قوية. في المقابل، سجلت العينة الثالثة أدنى القيم نتيجة لانخفاض محتوى الخبث وتكوّن كميات كبيرة من هيدرات ألومينوسيليكات الكالسيوم والكوارتز. وقد أكد تحليل حيود الأشعة السينية (XRD) للتركيب الطوري للمواد الناتجة صحة النتائج المتعلقة بمقاومة الانضغاط.

الكلمات المفتاحية: التهدرت الحراري، الخواص الميكانيكية، الرمل، خبث افران الصهر المحبب، غبار الاسمنت.

المقدمة

من الصناعات الحيوية التي تساهم في التنمية العمرانية صناعة الإسمنت ، و صناعة الحديد لكنها في الوقت نفسه تُنتج كميات كبيرة المخلفات التي تُشكل تحديات بيئية واقتصادية من أبرز هذه المخلفات: غبار الإسمنت (Cement Kiln Dust)،وخبث أفران الصهر المحبب (Granulated Blast-Furnace Slag)للاستفادة من المخلفات الصناعية، و لتقليل النفايات وانتاج مواد بناء مستدامة تحقق فوائد بيئية واقتصادية في تطبيقات بناء مستدامة في آن واحد .ان إعادة تدوير غبار الإسمنت واستخدامه في تنشيط تفاعل خبث أفران الصهر المحبب مع الرمل فكرة مبتكرَة توفر حل بيئي واقتصادي في ان واحد[1-2].

صناعة غبار الإسمنت Cement Kiln Dust (CKD) هو منتج ثانوي لعملية تصنيع الإسمنت البورتلاندي، و تُقدر كمية الغبار المتولدة بحوالي 15-20% من إجمالي إنتاج الإسمنت في بعض الأفران القديمة، مما يُشكل تحدي بيئيًا واقتصاديًا كبيرًا . [3]. يتميز غبار الإسمنت بخصائصه الكيميائية التي تتأثر بنوع الوقود والمواد الخام، ويتكون من جزيئات دقيقة من المواد الخام المحروقة جزئيًا وغير المحروقة، بالإضافة إلى مكونات الكلينكر ويحتوي بشكل أساسي على أكاسيد الكالسيوم والسليكون والألمنيوم، بالإضافة إلى كميات من القلويات مثل أكاسيد البوتاسيوم والصوديوم. [4].

خبث أفران الصهر المحبب Granulated Blast-Furnace Slag (GBFS) يعتبر المنتج ثانوي في مصانع الحديد والصلب يتميز بتركيبته الغنية بمركبات الكالسيوم والسليكون والألمنيوم وينتج عن عملية صهر الحديد الخام، وتبريده السريع في الماء . مما يكسبه خصائص زجاجية تجعله مادة بوزولانية كامنة عالية الفعالية، ويمنحه القدرة على التفاعل كيميائيًا عند تنشيطه ليُشكل مركبات إسمنتية [5]. **الرمل (S)** تُعدّ **الرمال** من أكثر الموارد الطبيعية استنزافًا [6] فهي مادة أساسية في صناعة البناء ، والتشييد. يُمكن استخدام خبث أفران الصهر المحبب ، والرمل **(S)** معًا كركام بديل أو مكون أساسي في الخرسانة والمنتجات الأسمنتية.

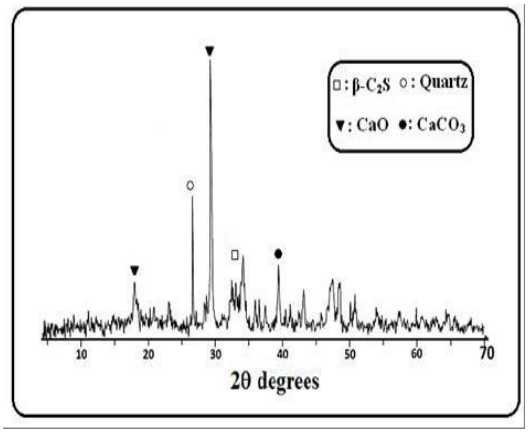
غبار الإسمنت (CKD) كمنشط لخبث أفران الصهر المحبب (GBFS) مع الرمل (S)

تُشير الدراسات إلى أن تفاعل التهدرت بين غبار الاسمنت وخبث افران الصهر المحبب، والرمل يُمكن أن يُنتج مواد رابطة ذات خصائص ميكانيكية قوية حيث يُمكن الاستفادة من قلوية غبار الإسمنت (CKD)في استخدامه كمنشط قلوي للخبث افران الصهر المحبب (GBFS)، حيث توفر قلوياته العالية (أكاسيد الصوديوم والبوتاسيوم) البيئة المناسبة لتنشيط الخصائص البوزولانية في خبث افران الصهر المجبب (GBFS). مما يُمكن استخدامه في إنتاج: خرسانة صديقة للبيئة، وانتاج مواد بناء مستدامة باقل تكلفة مثل الطوب ، والبلاط ، وبالتالي تقلل الحاجة إلى استهلاك كميات كبيرة من الإسمنت البورتلاندي الذي تُشكل صناعته نسبة تلوث عالي كونه مصدرًا رئيسيًا لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون ، مما يُساهم في تقليل التكاليف ، واستنزاف الموارد الطبيعية. وتُعدّ هذه الفكرة محور العديد من الأبحاث الحديثة التي تهدف إلى توفير حلول اقتصادية وبيئية في مجال مواد البناء. تؤكد العديد من الدراسات العلمية المنشورة في دوريات محكمة على الفوائد الجمة لإضافة البوزولانا إلى مواد البناء مثل غبار الإسمنت، خبث افران الصهر المحبب، والرمل. تُظهر هذه الأبحاث أن البوزولانا لا تُساهم فقط في تحسين الخصائص الميكانيكية لهذه المواد، بل تُقلل أيضاً من تأثيرها البيئي السلبي [7] **تأثير البوزولانا على غبار افران الإسمنت** أظهرت الأبحاث أن استخدام البوزولانا الطبيعية او الصناعية كبديل جزئي للإسمنت البورتلاندي يُمكن أن يُعالج مشكلة غبار الإسمنت الذي يُعد من النفايات الصناعية.و تُشير بعض الدراسات إلى أن إضافة الرماد المتطاير (نوع من البوزولانا) إلى غبار الإسمنت تُحسن من مقاومته للكبريتات والكلوريدات، مما يزيد من متانة الخرسانة. أن إضافة البوزولانا تُقلل من انكماش غبار الإسمنت، مما يُساهم في تجنب التشققات في الهياكل الخرسانية. اما تأثير البوزولانا على الرمل فقد تم استخدامها لتحسين خصائص التربة الرملية في التطبيقات الهندسية، خاصة في أعمال التثبيت والأساسات. [1]. يُعدّ إعادة تدوير غبار افران الإسمنت كمنشط لخبث أفران الصهر المحبب مع الرمل، ذا أهمية كبيرة. يهدف هذا البحث إلى تحقيق عدة غايات استراتيجية في قطاع البناء تكمن الأهمية من أهمية موضوع البحث في كونه يقدم حلولًا مبتكرة ومستدامة لمشاكل صناعة مواد البناء التقليدية والحد من

النفايات الصناعية وتقليل انبعاثات الكربون حيث تُعدّ صناعة الإسمنت البورتلاندي التقليدية مسؤولة عن حوالي 8% من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية. إن استخدام بدائل مثل الخبث المحبب المنشط بغبار افران الإسمنت يقلل من الحاجة إلى الإسمنت البورتلاندي، وبالتالي يُساهم في خفض هذه الانبعاثات بشكل كبير. يعتبر غبار افران الاسمنت والخبث من النفايات الصناعية الضخمة حيث يتم إعادة استخدامها وتدويرها لإنتاج منتجات بناء مستدامه ذات قيمة. الي جانب الحفاظ على الموارد الطبيعية تُعدّ الرمال من الموارد الطبيعية المستنزفة، حيث يُستخدم جزء كبير منها في صناعة الخرسانة. يُمكن لهذا المزيج البديل أن يقلل بشكل كبير من الاعتماد على الرمال الطبيعية، مما يحمي الموارد البيئية. وجاء هذا البحث لتحقيق مجموعة من الأهداف العلمية والتطبيقية التي تُسهم في تطوير مواد بناء مستدامة حيث الهدف الأساسي هو إنتاج مواد بناء مستدامة باستخدام مواد مُعاد تدويرها , و بخصائص ميكانيكية وفيزيائية مماثلة أو أفضل من المواد التقليدية، و ذلك بتحديد النسب والخلطات المثلى لكل من غبار الإسمنت، والخبث المحبب، والرمل لتحقيق أفضل أداء ممكن للمنتج النهائي. ومن تم دراسة الخصائص الكيميائية والميكانيكية النهائية للمنتج من حيث القوة والمتانة ومقاومة العوامل البيئية. فهم تفاعلات التنشيط القلوي بين غبار الإسمنت وخبث افران الصهر المحبب غبار الإسمنت، والخبث المحبب، والرمل لتحقيق أفضل أداء ممكن للمنتج النهائي. ومن تم دراسة الخصائص الكيميائية والميكانيكية النهائية للمنتج من حيث القوة والمتانة ومقاومة العوامل البيئية. وفهم تفاعلات التنشيط القلوي بين غبار الإسمنت وخبث افران الصهر المحبب.

المواد وطرق العمل ويشمل هذا الجزء على المواد الأولية، والأجهزة المستخدمة، والطرق العملية وتعتمد المنهجية لهذا البحث على المنهج التجريبي

المواد الخام المستخدمة في البحث وخصائصها الأساسية غبار افران الإسمنت غبارافران الأسمنت (CKD) هو منتج ثانوي لتصنيع الأسمنت. يتكون من جزيئات دقيقة الحجم يتم جمعها من المرسبات الكهروستاتيكية أثناء إنتاج كلنكر الأسمنت باستخدام العملية الجافة. تعتمد خصائص CKD على نوع المواد الخام , والوقود المستخدم في العملية الجافة, وطرق الإنتاج , ونوع الفرن. غبار افران الأسمنت المستخدم في هذا البحث من شركة الشرق الأوسط(ليبيا). اوضحت الخصائص الفيزيائية انه يتميز بحجم جزيئات دقيقة يبلغ حجمها حوالي 0.3×10^{-3} ومساحة سطح تبلغ حوالي 250 كجم/م^2,والوزن النوعي يساوي 2600-2800 كجم ^{3} . خليط غبار فرن الأسمنت والماء يكون قلوي قوي لاحتوائه على قلويات كبيرة حيث يبلغ الرقم الهيدروجيني pH =12 ويكون تركيب الاطوار المكونة لغبار افران الاسمنت . المستخدم في الدراسة موضح في نمط حيود الاشعة السينية في الشكل (1).



الشكل (1) المنهجية التي تم إتباعها في هذا البحث
المصدر : عمل الباحث

الرمل الناعم من الرمال المحلية من شركة الشرق الأوسط(ليبيا) مساحة تبلغ 3450 سم^2/جم.
خبث افران الصهر الحبيبي (GBFS) يُعد خبث فرن الصهر الحبيبي مادة هيدروليكية كامنة؛ إذ يمتلك خصائص هيدروليكية عند تنشيطه بشكل مناسب. وهو ناتج ثانوي لتصنيع الحديد، وينتج عن اندماج الحجر الجيري مع فحم الكوك والبقايا المتبقية بعد اختزال الحديد وفصله عن الخام. تم توفير خبث فرن الصهرالحبيبي المستخدم في هذا البحث من الشركة الأهليّة لمواد البناء (ليبيا)، ويوضح الجدول الأول يوضح النسبة المئوية بالوزن للأكاسيد في التركيب الكيميائي لكلا من خبث افران الصهر المحبب وغبار افران الاسمنت. ويوضح الجدول الأول يوضح النسبة المئوية بالوزن للأكاسيد في التركيب الكيميائي لكلا من خبث افران الصهر المحبب وغبار افران الاسمنت.

الجدول (1): النسبة المئوية بالوزن للأكاسيد في التركيب الكيميائي لكلا من خبث افران الصهر المحبب وغبار افران الاسمنت.

CKD	GBFS	الاكاسيد (%)
14.50	35.38	SiO_2
3.76	8.22	Al_2O_3
2.69	1.79	Fe_2O_3
49.60	42.59	CaO
1.95	6.17	MgO
5.23	-	SO_3
2.68	0.58	Na_2O
2.19	0.49	K_2O
5.84	-	Free Cl^-
2.58	-	Free CaO
-	0.43%	TiO_2
-	0.76	MnO
-	0.01	P_2O_5
-	0.001-	Cr_2O_3
5.60	0.84	LOI
96.62	96.56	TOL

تحضير العينات : تم تحضير عينات مختلفة بناءً على نسب وزنية متغيرة من المواد الأولية وهي

ع1 - (العينة القياسية) 50%غبار افران الإسمنت + 50 % الرمل

ع2 - 40% غبار افران الإسمنت + 20 % الرمل+ 40% خبث الأفران الصهر المحبب ع3 - 40% غبار افران الإسمنت + 40 % الرمل+ 20% خبث الأفران الصهر المحبب . العينة القياسية : العينة القياسية في هذا البحث تتكون من 50%غبار الاسمنت و50%الرمل لتقييم ومقارنة أداء العينات الأخرى.

العينات التجريبية: يتم استبدال جزء من غبار الإسمنت بنسب مختلفة من الخبث المحبب والرمل. لتقييم تأثيره على الأداء. وقد تم تحضير عجائن الأسمنت المخلوط من المخاليط الجافة المختلفة وذلك بخلط كل مخلوط صلب جاف بالماء بنسبة (0.26-0.27) من الماء الي المخلوط الصلب الجاف وتشكيل العجائن الناتجة بضغطها في قالب إسطواني تحت ضغط 50كجم /سم^2. على شكل أسطواني 2سم × 2سم ويتم وضع العينات المتحصل عليها من كل مخلوط بعد الكبس عند 25درجة مئوية و100 % رطوبة نسبية لمدة 24ساعة ومن ثم معالجتها باستخدام جهاز الأوتوكلاف تحت ضغط 8جو من بخار الماء المشبع لإجراء عملية التهدرت الحراري للعينات عند فترات زمنية مختلفة (0.5، 2،6، 9، 24ساعة). وبعد كل فترة زمنية يتم إخراج العينات وتجفيفها عند درجة 110درجة مئوية لليوم التالي للتخلص من المياه الحرة والبدء في اجراء الاختبارات المعملية المطلوبة للدراسة.

الاختبارات: دراسة الخواص الميكانيكية بعد ان تصلبت العينات وجففت يتم إخضاعها للاختبارات لتقييم أدائها: وذلك بتعين قيم قوة تحمل الانضغاط لكل عينة لوحده وبعد كل فترة زمنية من تفاعل التهدرت. يتم تجميع جميع البيانات من الاختبارات المختلفة، وتحليلها، ومقارنتها بالعينة القياسية. تُستخدم هذه النتائج للوصول إلى استنتاجات حول: النسب المثلى للمكونات التي تُحقق أفضل أداء. وفعالية غبار الإسمنت كمنشط قلوي للخبث المحبب.

تحديد قوة تحمل مقاومة الانضغاط: قياس قدرة العينات على تحمل الأحمال لتقييم القوة النهائية للمادة .بعد كل زمن لتفاعل التهدرت الحراري في جهاز الاوتوكلاف نخرج العينات من الجهاز، ونجري اختبار قوة تحمل مقاومة الانضغاط على عينات الأسمنت المتصلبة باستخدام جهاز يُعرف باسم اختبار تحمل قوة مقاومة الانضغاط (Compressive Strength Testing Machine)وهو جهاز هيدروليكي (أوتوماتيكي) يُستخدم لقياس قوة تحمل العينات الخرسانية أو الإسمنتية تحت الضغط المحوري، بأقصى حمل يبلغ حوالي 60طنًا. ويتم القياس باستخدام ثلاث عينات أسطوانية لكل زمن من ازمنه التفاعل توضع العينة المتصلبة بين فكي الجهاز بحيث يتم الضغط من الأسفل والاعلى ويبدأ الجهاز في زيادة الحمل حتى تنكسر العينة ويتم تسجيل أقصى تحمل تحملته العينة لتنكسر من شاشة الجهاز وتكرر نفس الخطوات على العينات الأخرى بحيث يأخذ المتوسط للقراءات ونسُجل القيمة المتوسطة بالميجا بسكال ونجري هذا الاختبار بتكرر الخطوات على باقي العينات واخذ متوسط القراءات لقوة تحمل الانضغاط لكل العينات ولكل زمن من ازمنة التفاعل

تقنية حيود الأشعة السينية XRD

تستخدم تقنية حيود الأشعة السينية على بعض العينات المجففة المختارة لمعرفة التركيب الصنفي لأطوار نواتج التهدرت الحراري بحيث يتم تجهيز العينة بالطحن في هاون إلى ان تصبح بحجم 10-15 ميكروميتر. ثم توضع في حامل العينة. اما مولد الأشعة السينية المستقر هو Brukur. D8 Advance Cu Kα نانوي ثانوي، ومُجهز بأنبوب أشعة سينية ، وهو أنبوب جايجر مولر.

النتائج والمناقشة

نتائج تحمل قوة مقاومة الانضغاط للعينات

أوضحت النتائج في الجدول (2) قيم تحمل مقاومة الانضغاط لكل العينات بالميجا باسكال (MPa) مقابل زمن التفاعل بالساعة(h). وجد اعلى القيم سجلت في العينة الثانية وهي العينة التي تملك خصائص ميكانيكية قوية حيث انها أعطت اعلى القيم لمقاومة الانضغاط عند كل ازمنة التفاعل ويرجع السبب في القيم المرتفعة لقوة تحمل مقاومة الانضغاط للعينة الثانية هو ارتفاع نسبة كمية خبث الصهر المحبب على حساب كمية الرمل وغبار افران الاسمنت وزيادة النشاط في تفاعل التهدرت من خلال استخدام غبار الاسمنت كمنشط أدى الي زيادة كمية (هيدرات سيليكات الكالسيوم) نواتج التهدرت ذات الخصائص الهيدروليكية القوية التي تمنح قوة صلابه للعينة كلما تقدم زمن التفاعل على حساب النواتج الأخرى هيدرات ألومينوسيليكات الكالسيوم والكوارتز . بينما أظهرت النتائج ان القيم المنخفضة لقوة تحمل مقاومة الانضغاط كانت في العينة الثالثة ويعزى السبب لانخفاض كمية خبث افران الصهر المحبب وزيادة كمية الرمل على حساب كمية الخبث وكمية غبار افران الاسمنت أدى الي انخفاض حاد في كميات (هيدرات سيليكات الكالسيوم).و انتاج كميات كبيرة من هيدرات ألومينوسيليكات الكالسيوم والكوارتز ذات الخصائص الهيدروليكية الضعيفة جدا مقارنه بنتائج العينات الأخرى وتم تحديد العينة الثانية هي ذات الأداء الأفضل لمنتجات مواد البناء في الظروف المعجلة من خلال دراسة الخواص الميكانيكية لكل العينات عند كل الأزمنة لتفاعل التهدرت الحرارى.

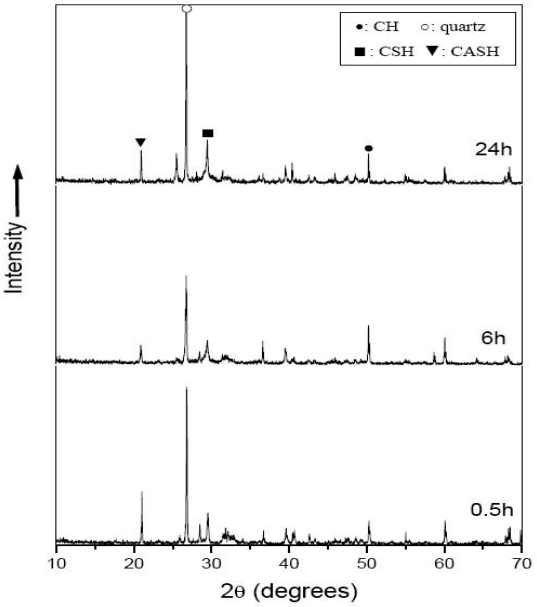
الجدول (2) يوضح قيم تحمل قوة مقاومة الانضغاط للعينات بالميجا باسكال (MPa)مقابل زمن التفاعل بالساعة(h).

زمن التفاعل بالساعة	ع1	ع2	ع3
0.5	22.83	29.00	22.63
2	31.00	33.77	27.62
6	45.43	45.54	33.87
9	48.25	48.51	41.52
24	49.39	56.10	45.66

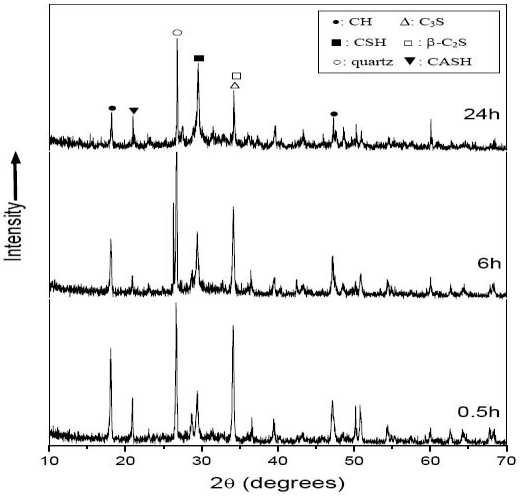
نتائج تحليل حيود الأشعة السينية XRD

من تقنيات حيود الاشعة السينية تم التوصل الي نتائج تركيب الأطوار للنواتج والتي توافقت تماما مع نتائج قوة تحمل مقاومة الانضغاط وتمثلت الأطوار التي تم التعرف عليها في هيدراتات سيليكات الكالسيوم وهيدروكسيد الكالسيوم وهيدرات ألومنيوسيليكات الكالسيوم والكوارتز لعينة القياسية ويتضح ذلك في الشكل (2). بينما يوضح الشكل (3) نتائج تحليل حيود اشعة اكس للعينة الثانية والتي اكدت فيها نتائج تقنيات حيود الاشعة السينية ان الأطوار الرئيسية للعينة (3) كانت عبارة عن هيدراتات سيليكات الكالسيوم وهيدروكسيد الكالسيوم وقد وجد ان محتوى هيدراتات سيليكات الكالسيوم يزداد بينما يقل محتوى الكوارتز وهيدروكسيد الكالسيوم وهيدرات ألومنيوسيليكات الكالسيوم بزيادة زمن تفاعل التهدرت الحراري في حين ظهرت نتائج العينة الثالثة في الشكل (4) ذات الاطوار المتحصل عليها في العينات الأخرى ولكن المحتوى الكمي مختلف حيث أوضحت ان محتوى هيدرات ألومنيوسيليكات الكالسيوم والكوارتز وهيدروكسيد الكالسيوم اكبر بكثير من محتوى

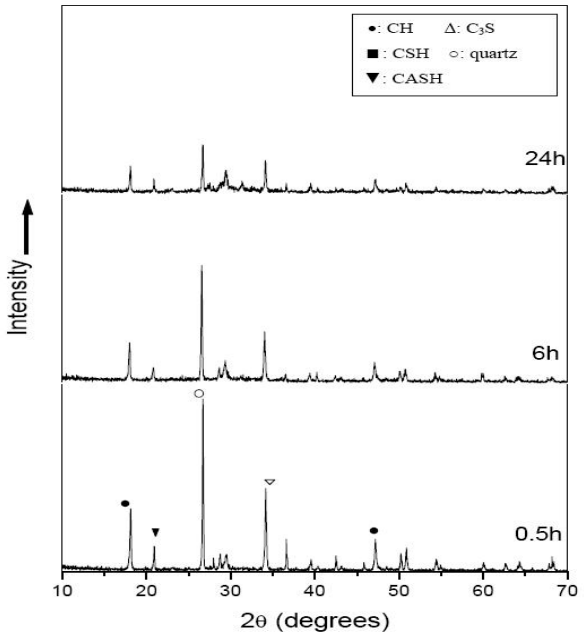
هيدراتات سيليكات الكالسيوم .وهذه النتائج تؤكد ما تم الوصول له من قياس الخواص الميكانيكية للعينات عند مختلف الفترات الزمنية التي مر بها التفاعل .



الشكل (2) نتائج تحليل حيود اشعة اكس للعينة الأولى (العينة القياسية)



الشكل (3) نتائج تحليل حيود اشعة اكس للعينة الثانية



الشكل (4) نتائج تحليل حيود اشعة اكس للعينة الثالثة

الخلاصة

-العينات المحضرة من كل 40% من غبار افران الاسمنت و40 % من خبث افران الصهر المحبب مع 20% من الرمل الناعم تملك خصائص ميكانيكية قوية نتيجة لإنتاج كميات عالية في هيدرات سيليكات الكالسيوم لزيادة نشاط التفاعل البزولاني في الخبث المحفز من غبار الاسمنت حيث سجلت اعلى قيم لمقاومة الانضغاط مقارنة بالعينات الأخرى عند كل ازمنة التفاعل للحصول على منتجات بناء مستدامة. وأعطت سواء العينة.

العينات المحضرة من 40 % غبار أ فران الاسمنت و20 % خبث افران الصهر المحبب و40% من الرمل الناعم سجلت قيم ضعيفة جدا لمقاومة الانضغاط مقارنة بالعينات الأخرى عند مختلف ازمنة التفاعل بسبب زيادة نسبة الرمل على حساب غبار الاسمنت وخبث الافران مما ادي الي انتاج الكميات العالية من هيدرات ألومنيوسيليكات الكالسيوم والكوارتز المعروفة بخصائصها الهيدروليكية الضعيف .

اوضحت نتائج تقنيات حيود الأشعة توافق تام مع نتائج قياس الخواص الميكانيكية للعينات وتمثلت الأطوار الرئيسية التي تم التعرف عليها من نواتج التهدرت في هيدراتات سيليكات الكالسيوم وهيدروكسيد الكالسيوم وهيدرات ألومنيوسيليكات الكالسيوم والكوارتز وكانت العينة الثانية هي التي أعطت بكميات أكبر النواتج ذات الخصائص الهيدروليكية القوية المتمثلة في هيدراتات سيليكات الكالسيوم.

المراجع:

1. Chen, J., Luo, C., & Hu, M. (2023). Activated slag mortar using cement kiln dust: Hydration, microstructure, and properties. *Construction and Building Materials*, 381, 131238.

2. Akman, Y., & Kandir, B. (2024). Performance of concrete incorporating cement kiln dust and slag. *Journal of Building Engineering*, 81, 108034.

5. Qian, J., & Shi, C. (2019). High-volume applications of slag in sustainable concrete. *Journal of Cleaner Production*, 208, 1007-1018.

6. Naturman,, & O'Sullivan, M. (2021). The role of sand and aggregates in a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 169, 105499.

7. Roussel, N., & Habert, G. (2022). Cement & concrete: Case of real low carbon transition. *Materials & Structures*, 55(4), 114.

3. Al-Jabri, K. S., Al-Saidy, A. H., & Taha, R. (2018). Recycling of cement kiln dust (CKD) in concrete production: A review. *Construction and Building Materials*, 172, 28-46.

4. Abou-Taleb, M. A., Abo-El-Enein, S. A., & Abd El-Fattah, M. (2020). Utilization of cement kiln dust and slag in the production of alkali activated materials. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120235.

Investigation of the mechanical properties of recycled cement dust with sand as an alkaline activator in the production of Heat -Cured Granulated Blast Furnace Slag (GBFS) Mortar

Salima Moftah Elmgirhi
Chemistry Department/ Faculty of Education/ Siret University/Libya

Recycling cement dust and using it as a slag activator for granulated blast furnaces with sand to produce sustainable building materials. Cement dust was used as an activator for granulated blast furnace slag with sand by partially replacing the cement dust and sand with slag in varying proportions. The hardened and cured samples were studied using an autoclave. The best-performing sample was identified by studying its mechanical properties and determining its compressive strength. The results showed that the second sample had the best relative composition for the building material products. This is attributed to the increased proportion of slag compared to sand and cement dust, as well as the increased quantity of calcium silicate hydrate, which possesses strong hydraulic properties. The third sample recorded the lowest values due to the reduced quantity the third sample exhibited the lowest values due to a reduced slag content and the formation of significant amounts of calcium aluminosilicate hydrates and quartz. X-ray diffraction analysis of the phase composition of the resulting materials confirmed the findings regarding compressive strength.