SEBHA UNIVERSITY JOURNAL VOL.03 NO. 1 2024
DOI: 10.51984/SUCP.V3I1.3565

مجلة جامعة سبها
Sebha University Journal

Journal homepage: https://sebhau.edu.ly/journal/index.php/CAS

تأثير الاستبدال الجزئي للإسمنت بالبوزولانا الصناعية على خواص الخرسانة (دراسة مرجعية)

*أحمد محمد بقي و محمد الكيلاني يحيى

قسم الهندسة المدنية والبيئية، كلية الهندسة، جامعة سبها، ليبيا

الملخص

تعتبر يصدر الهاتف المحمول طاقة كهرومغناطيسية بترددات الراديو ويتم قياس مقدار هذه الطاقة التي يمتصها رأس الانسان بمعدل الامتصاص النوعي (SAR) حيث يجب أن تكون ضمن الحدود المسموح بها دوليا والذي يبلغ 1.6w/kg بمتوسط 1جرام من الأنسجة، و 2w/kg بمتوسط 10جرام من الأنسجة. تقترح هذه الدراسة التقليل من معدل الامتصاص النوعي (SAR) باستخدام درع من مادة (سيراميك الفريت المحذر بالأنابيب النانوية الكربونية ((CNT)-$Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$) بسمك (0.2cm)، بسبب خصائصها الكهربية والمغناطيسية فهي ذات موصليه وكثافه منخفضتين. تمت محاكاة توزيع (SAR) في نموذج ثلاثي الأبعاد لرأس الانسان يتعرض للمجال المشع من الهاتف المحمول الذي يتكون من هوائي الرقعة (Microstrip Patch) عند تردد (1.8GHz)، واستخدام معادلات ماكسويل بشروط حدية مناسبة لإيجاد توزيعات (SAR) في الدماغ، تم حساب الحد الأقصى لمعدل الامتصاص النوعي (SAR) في الدماغ بقيمة (2.47w/kg) بدون استخدام الدرع، و بقيمة (1.22w/kg) عند استخدام مادة الدرع، تم مقارنة نتائج هذا الدرع مع بعض الدروع الأخرى و تبين أن درع (CNT) هو الأفضل الذي خفض من (SAR) في الدماغ.

الكلمات المفتاحية:

البوزولانا الصناعية
الرماد المتطاير
دخان السيليكا
مسحوق زجاجي
خبث الفرن العالي
الميتاكوالين

The Effect of the Partial Replacement of Cement by Industrial Pozzolana on the Concrete Properties (Review Paper)

*Ahmed Bagi , Mohamed Yahya

Department of Physics, Faculty of Science, University of Sabha, Libya

Keyword:

Industrial pozzolana
Fly ash
Silica fume
Glass powder
Blast furnace slag

ABSTRACT

Pozzolana (volcanic slag) is a substance used to make cement and is extracted from the mountains. It is of two types: natural, renewable pozzolana resulting from volcanic ash, industrial pozzolana resulting from recycling factory waste such as FLY ASH, coal ash resulting from the waste of burning coal for electricity production stations, and from iron slag resulting from Slag Blast Furnace Ground Through previous studies, many results have been reached that can be summarized as follows:
Replacing cement with fly ash in large quantities (more than 30%) leads to an increase in compressive strength over time, with FA showing the highest strength at 90 days, and to an increase in the chloride resistance of concrete, especially when used with silica fume. Fly ash and silica particles improve the mechanical properties of concrete when used together to replace cement. Silica fume (SF) increases the early strength of concrete when used with fly ash (FA), which improves long-term strength. The triple mixture of cement (PC), silica fume (SF) and fly ash (FA) provides the highest compressive strength at all ages. Replacing silica fume with 5% of the cement content increases the compressive strength of concrete by 17-28% depending on the age of curing. Silica improves density and reduces the porosity of concrete due to smaller particle size, resulting in higher strength. However, silica fume Silica reduces the workability of concrete due to its high surface area. Rice husk ash (RHA) can be used together with biochar or superplasticizers to improve the mechanical properties and permeability as well as the strength of concrete exposed to high temperatures. Replacing 10-15% of cement with glass powder greatly improves the performance and strength of concrete. Glass powder releases alkaline ions that maintain a high pH in the pores and increase the reaction rates of other pozzolanics such as silica fume. Replacing 15% of cement with blast furnace slag can increase the compressive

*Corresponding author:
E-mail addresses: ahmedbaggei780@gmail.com ,(M. Yahya) moh.yahya@sebhau.edu.ly

Article History : Received 19 February 2024 - Received in revised form 08 May 2024 - Accepted 25 May 2024

strength and sulfate resistance of concrete, especially at later ages due to its pozzolanic reaction. Higher replacement levels of blast furnace slag (>30%) are also beneficial for durability in a sulphate environment. Metaqualene (MK) promotes early and long-term strength development more than SF, replacing MK by 5% with other materials improves the properties compared to the normal reference. Materials like RHA, SF, FA, MK and ISSA (Incinerator Sewage Sludge Ash) show high pozzolanic activity in tests like slurry strip test and strength activity index test which indicates their reactivity.

1. المقدمة

يعتبر الأسمنت عنصرا أساسيا في الهياكل الخرسانية، وهو مصدر لكميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون ويمثل عبئا ثقيلا على البيئة، ويستمر البحث عن حلول مبتكرة ومع الوعي العالمي بأهمية حماية البيئة والتحول إلى ممارسات أكثر استدامة يزيد من الحاجة الملحة لإعادة التفكير في المواد والتقنيات المستخدمة في قطاع البناء. تعتبر الخرسانة، إحدى المواد الأكثر استخدامًا في العالم، وتعتبر عنصرًا أساسيًا في السعي لتحقيق التنمية المستدامة. الهدف من هذه الدراسة هو مواصلة البحث عن البدائل المستدامة في صناعة الخرسانة. ولذلك فإن هذه الدراسة مهمة لأنها تسهل البحث في إمكانية استخدام هذه المواد كبديل جزئي للأسمنت لتحسين الخواص الإنشائية مع حماية البيئة. يأتي هذا البحث ليسلط الضوء ، وعلى إمكانية الاستبدال الجزئي للأسمنت بهذه المواد المستبدلة مثل دخان السيليكا، خبث الافران ، الرماد المتطاير، ورماد الأرز ،ومسحوق الزجاج ، وهذه البدائل تحمل في طياتها وعدًا بمستقبل أكثر خضرة واقتصادًا وأكثر إرشادًا، ومن خلال تحليل دقيق وتجارب معملية ، ويهدف هذا البحث إلى تقديم رؤية جديدة للخرسانة، تلك الرؤية التي تجمع بين القوة والمتانة والاستدامة. ، لنرى كيف يمكن لهذه المواد أن تحسن من التشغيلية والقوة والمتانة، بالإضافة إلى المساهمة في نشاط البوزولاني وأن تحل محل الأجزاء جزئيًا دون التضحية بالجودة أو الأداء. وليس مجرد تقليل التكلفة، بل هو بمثابة تحول جذري للممارسات التي تؤدي إلى تقليل الأضرار البيئية وتقليل الضرر. إن النتائج التي توصلنا إليها من هذا البحث لا تعد مجرد إضافة إلى المكتبة العلمية، بل هي خطوة نحو مستقبل يحترم طبيعة الإنسان مع بناء عالم أفضل.

2. الدراسات السابقة :

اظهرت دراسة الباحث (A S Santhi،A R Hariharan) [1] وأخرون ان إضافة دخان السيليكا يعطي خاصية اكتساب القوة مبكرا، بينما يظُهر الرماد المتطاير قوة طويلة المدى. تم العثور على النظام الثلاثي وهو الخرسانة ذات الرماد المتطاير ودخان السيليكا لزيادة قوة الضغط للخرسانة في جميع الأعمار بالمقارنة مع الخرسانة المصنوعة من الرماد المتطاير ودخان السيليكا وحدهما .

من الواضح أن الخلطات الأسمنتية الثلاثية من الأسمنت البورتلاندي، ودخان السيليكا، والرماد المتطاير توفر مزايا كبيرة مقارنة بالخلطات الثنائية وتحسينات أكبر على الأسمنت البورتلاندي العادي. يعتبر مزيج دخان السيليكا والرماد المتطاير عالي الكالسيوم مكملاً: يعمل دخان السيليكا على تحسين الأداء المبكر للخرسانة مع الرماد المتطاير الذي يعمل بشكل مستمر على تحسين خصائص الخرسانة المتصلبة أثناء نضجها. من حيث المتانة، فإن هذه الخلطات تتفوق بشكل كبير على الخرسانة الأسمنتية البورتلاندية العادية .

يعوض الرماد المتطاير زيادة الطلب على المياه من دخان السيليكا ، ويمكن الحصول على مقاومة عالية جداً لاختراق أيونات الكلوريد باستخدام الخلطات الثلاثية .

يمكن الحصول على الخرسانة المثالية والعالية القوة باستخدام 6% SF و 40% FA.

التكلفة المنخفضة نسبياً للرماد المتطاير تعوض التكلفة المتزايدة لدخان السيليكا.

لاحظ (Mr.P.Sanyasinaidu , Mr.P.Harish) [2] من هذه الدراسة ان هناك انخفاض بنسبة 6.08% فقط في التكلفة الأولية للخرسانة للاستبدال الأمثل لـ 15% من الرماد المتطاير، وكانت الزيادة النسبية في القوة من 5% إلى 6% زيادة في خصائص الضغط والانقسام والانثناء.

كانت هناك زيادة بنسبة 34% في التكلفة الأولية للخرسانة للاستبدال الأمثل لـ 7% من دخان السيليكا، وكانت الزيادة النسبية في القوة من 6% إلى 8% في خصائص الضغط والانقسام والثني .

أثبتت عمليات استبدال مادة الربط بنسبة 7% باستخدام أبخرة السيليكا في الخرسانة أنها تحقق أقصى قدر من قوة الضغط و الشد المنفصلة و قوة الانثناء مقارنة بجميع عمليات الاستبدال في نطاق استبدال أبخرة السيليكا للحصول على قوة.

أثبت استبدال مادة الربط بنسبة 15% بالرماد المتطاير أنه يحقق أقصى قدر من القوة الضغط و قوة الشد المنفصلة و قوة الانثناء في الخرسانة .

تبين للباحثين (Paramveer Singh , Tarunbir Singh) [3] وأخرون ان وجود رماد قش الارز بنسبة 10% كبديل للإسمنت هو المستوى الأمثل حيث يظهر زيادة كبيرة في قوة الضغط عند 28 يوما بالمقارنة مع الخلطة المرجعية . تميل قوة الشد و قوة الانثناء المنقسمة أيضا إلى الزيادة مع زيادة النسب الاستبدال للرماد حتى 5 ٪ من نسبة الاستبدال ولكن تقل مع زيادة نسبة الاستبدال لذلك 5 ٪ من نسبة الاستبدال هو الأمثل لقوة الشد ، و قوة الانثناء .

المحتوى الأمثل لقوة الضغط وقوة الانثناء هو استبدال 10 ٪ من الاسمنت مع رماد قشر الأرز بعدها تبدأ القوة تتناقص ، قوة الشد المحتوى الأمثل هو 5 ٪ وبعد ذلك تبدأ في التناقص مع زيادة محتوى الرماد .

كشف الباحثون (Franco Muleya , Natasha Muwila) [4]وأخرون عن إجراء العديد من الدراسات على الاستبدال الجزئي للأسمنت بنسبة تصل إلى 30% من RHA لإنتاج خرسانة جيدة وعملية. بالإضافة إلى ذلك ، تشير الدراسة إلى أن الاستبدال الأمثل للأسمنت بـ RHA كان 20% و ،30% مما أدى إلى قوة ضغط خرسانة تبلغ 14 ميجا باسكال و18 ميجا باسكال عند نسبة 0.5 واط/ج على التوالي.

تتوافق هذه النتيجة مع كون مقاومة الضغط أعلى في المزيج الرطب من المزيج الجاف عند مستوى نسبة مئوية عالية من استبدال الأسمنت .

عمل الباحثون (Ozlem Celik Sola , Murat Yayla) [5] وأخرون على تقييم تأثير الأنواع المختلفة من الرماد المتطاير على خصائص قوة الضغط للقوالب الملبدة بالحرارة, أشارت نتائج اختبار قوة الضغط لعينات القوالب إلى أن

القوالب ذات قوة ضغط تبلغ47.45 نيوتن/مم2 يمكن إنتاجها . النتائج التي تم الحصول عليها تتجاوز متطلبات المعيار التركي (TS EN 1-771) (9.8-23.54 ن/مم)2 .(أظهرت نتائج EDS-SEM أن عينات القوالب المصنوعة من الرماد المتطاير (Tunçbilek) T تحتوي على نسبة أعلى من الطور الزجاجي مقارنة بعينات القوالب الأخرى. بسبب هذه البنية المجهرية، فإنه يؤدي إلى قيمة قوة ضغط أعلى.

القوالب ملبدة عند درجة حرارة 950°C كان لـ نتائج قوة ضغط أفضل من تلك الملبدة عند درجة حرارة 900 و 850°.

عندما تمت زيادة كمية الرماد المتطاير المضافة من 5% إلى،10% انخفضت قوة الضغط، لكن قوة الضغط لجميع القوالب كانت أعلى من 9.8 نيوتن/مم.2

تتمتع القوالب التي تم إنشاؤها باستخدام 5% من الرماد المتطاير بقوة ميكانيكية أفضل من تلك التي تم إعدادها باستخدام مواد أخرى. كانت القوة الميكانيكية لهذه القوالب عالية جداً (47.45 نيوتن / مم2) ، وعند مقارنتها بالقيمة القياسية(23.54-9.8 نيوتن / مم2)، إنه أمر لافت للنظر لذلك ، يمكن تصميم بناء أقوى باستخدام هذه القوالب.

لا يوفر الرماد المتطاير قوة ميكانيكية أفضل لمواد البناء فحسب ، بل يساهم أيضاً في تقليل التلوث البيئي وتكاليف الإنتاج واستخدام الموارد الطبيعية

تظهر دراسة الباحثين (Naraindas Bheel , Paul Awoyera) [6]وأخرون إن قابلية تشغيل الخرسانة الخضراء تنخفض مع زيادة كمية TCM في الخليط. بالإضافة إلى ذلك، يتم تعزيز قوة الضغط وقوة الشد والانحناء بنسبة 12.65% و9.40% و9.46% عند RHA5% (رماد قش الأرز) و (رماد القش القمح) 5% WSA من (TCM 10%) لمدة 28 يوماً بشكل متواصل .علاوة على ذلك، يتم تقليل كثافة الخرسانة وامتصاصها للماء مع زيادة جرعات TCM على 28 يوماً على التوالي. بالإضافة إلى ذلك، يتم تقليل انكماش التجفيف مع زيادة كمية TCM في الخرسانة

ويرجع الانخفاض في الهبوط إلى ارتفاع مساحة السطح النوعي لجزيئات RHA و WSA مقارنة بجزيئات PC والتي تمتص كمية أكبر من الماء مقارنة بـ PC بينما تزيد نسب RHAو WSA في الخليط الخرساني. علاوة على ذلك، فإن الهبوط الذي يبلغ 24-20 ملم يعد صغيراً بالنسبة للتطبيق العملي ، لذلك تقترح الدراسة استخدام الملدنات لتحسين قابلية تشغيل الخليط ؛ وبالتالي، كان لمزيج التحكم هبوط قدره 62 مم، وكان أدنى انخفاض 24 مم لـ 10% من WSA و10% من RHA وبالمثل.

بشكل عام، بالنسبة لجميع الخلطات، زادت قوة الضغط وقوة الشد وخصائص قوة الانثناء مع زيادة أنظمة المعالجة وأظهرت الدراسة أن تطور القوة في الخرسانة المعدلة يفوق نظيره في الخلطة الضابطة. أعطى المزيج مع10% مادة أسمنتية تكميلية أعلى قوة. ومع ذلك، تنخفض القوة قليلاً عندما يتجاوز محتوى TCM 10%.

تقليل الانكماش الجاف لعينات الخرسانة مع زيادة استبدال PC بـ RHA و WSA بشكل عام، أظهر المزيج الخرساني الذي يحتوي على 5% RHA و5% WSA أفضل أداء من حيث خصائص الحالة الطازجة والمتصلبة

لقد تبين من هذه الدراسة التجريبية [7] التي قام بها الباحثين (Abdulhalim KaraGin and Murat DoLruyol) ، لوحظ أن استخدام 20٪ من الرماد المتطاير، وهو مادة بديلة بدلا من الأسمنت، ليس له تأثير كبير على قوة الضغط للخرسانة مع مرور الوقت.

تظهر المواد المركبة خصائص قوة ضعيفة فيما يتعلق بتلك الخاصة بالخرسانة العادية. ومع ذلك بما أن الرماد المتطاير يربط الجير الحر مما يؤدي إلى تقليل نزف الفراغات، فإنه يؤدي إلى انخفاض كبير في نفاذية الماء والكبريتات كمواد كيميائية عدوانية. علاوة على ذلك، في حالة الهجوم بالكبريتات أظهرت النتائج التجريبية أن استخدام 20٪ (FA الرماد المتطاير) كبديل للإسمنت البورتلاندي يسبب اختلافاطفيفافي خواص القوة للعينات الخرسانية. يمكن تحقيق فائدة اقتصادية باستخدام الرماد المتطاير كإضافة بوزولانية في الخلطة الخرسانية.

أظهرت نتائج الاختبارات التي قام بها الباحثون (Mahdi Bameri , Soroush Rashidi) وأخرون [8] ان قوة الضغط والشد والثني ونفاذية أيونات الكلوريد وامتصاص الماء أن إضافة 5% من (SF) غبار السيليكا إلى المخاليط التي تحتوي على 10 % (WGP) مسحوق نفايات الزجاج أو 10%(GGBFS) من خبث الافران يحسن أداء الخرسانة بشكل ملحوظ بسبب كثافة التعبئة والتأثير التآزري ؛ ومع ذلك، فإن إضافة 5٪ من SF إلى الخلطات الخرسانية يقلل من مقاومتها لهجوم كبريتات المغنيسيوم وحمض الكبريتيك. أظهر الخليط الثنائي بنسبة 15%من مسحوق نفايات الزجاج WGP أداءمناسباً ضد هجوم كبريتات المغنيسيوم وحامض الكبريتيك، والذي قد يكون بسبب الطبيعة السطحية لـ .WGP بالإضافة إلى ذلك، أدت الخلائط الثنائية المكونة من 15% من WGP و15% من GGBFS إلى تقليل عمق تغلغل المياه بنسبة .45% أظهر تحليل البنية المجهرية الذي أجرته SEM أن وجودSF ، إلى جانب WGPوGGBFS، يحسن كثافة التعبئة. وأخيرا، يقترح إضافة 5٪ من SF لتحسين خصائص الخلطات الخرسانية التي تحتوي على WGP و.GGBFS استناداإلى المقاومة السطحية ونتائج اختبار الاختراق السريع للكلوريد (RCPT) ، أظهرت جميع الخلطات الخرسانية الثنائية والثلاثية زيادة في المقاومة الكهربائية وانخفاض في التوصيل الكهربائي مقارنة بالخرسانة العادية عند عمر 120 يو ماً. كانت قابلية اختراق أيون الكلوريد للخلطات الخرسانية الثلاثية في نطاق منخفض جداً، مما أظهر أفضل أداء. بالإضافة إلى ذلك، فإن الخلطات الخرسانية الثلاثية تكون خرسانة ذات مقاومة عالية ، ولا يوجد أي خطر لتآكل التسليح.

تبين دراسة الباحثين (by Medgar L. Marceau,) [9] واخرون إن استخدام الرماد المتطاير في الخرسانة يمكن أن يقلل من التأثير البيئي للخرسانة ويمكن أن يؤدي في الواقع إلى تحسين جودة الخرسانة ، ويستخدم الرماد المتطاير بشكل شائع في الخرسانة بنسب تتراوح من 15إلى 25% من المواد الأسمنتية. يتم استخدامه لأسباب اقتصادية ولتعزيز خصائص الخرسانة ، يجب أن يتوافق الرماد المتطاير مع معايير كيميائية وفيزيائية معينة ليكون مناسباً للاستخدام في الخرسانة.

لا حظ الباحثون (Azmat Ali Phul a, Muhammad Jaffar Memon) [10]واخرون ان قوة الضغط حصلت على تحسن بنسبة 26.30% عند نسبة 30% مقارنة بال 0% ، وأشارت النتائج إلى أن إضافة خبث الفرن العالي GGBS والرماد المتطاير يعزز قابلية التشغيل وقوة الضغط مما يؤدي في النهاية إلى تحسين الخواص الميكانيكية للخرسانة.

وبينت نتائج قوة الضغط التي تم الحصول عليها عن طريق استبدال نسبة جزئية متنوعة من GGBS و الرماد المتطاير على ،5٪ 15٪ و .30٪ أظهرت

النتائج زيادة القوة مع الزمن بشكل متماسك مع النسبة المئوية الجزئية كلها مقارنة بالسيطرة. ويرجع ذلك إلى سببين رئيسيين وراء التطوير الى GGBS وAsh Fly .

أظهرت دراسة الباحث (Mst. Mahbuba Mimi, Al-Mamun-Or-Roshid Shakil) واخرون [11] ان نتيجة اختبار بعد 28 يوم أن الخرسانة التقليدية تظهر القوة القصوى، وهي MPa.38.6 ، من ناحية أخرى بلغت قوة الضغط باستبدال الإسمنت بالرماد المتطاير بنسبة 20% الى 33.78 ميجا باسكال بدون منشط وزادت قليلابعد استخدام المنشط CaO ، والعينة الأخرى المصنوعة عن طريق استبدال ، 40% ،50% ،60% ،70% و80% من الأسمنت تظهر انخفاضاً تدريجياً في قوة الضغط.

تظهر نتيجة الاختبار طويل المدى اختبار بعد 56 يوماً أن الخرسانة ذات الرماد المتطاير بنسبة 20% تعطي قوة ضغط أكبر من الخرسانة الأسمنتية التقليدية وكانت الأمثل بين نسب الاستبدال وبعد ذلك تنخفض القوة مع زيادة نسبة الاستبدال الأسمنت بالرماد المتطاير بنسبة 40% و50% و60% و70% و.80% ، وتعطي الخرسانة قوة مرضية بعد استخدام CaO .

تظهر تجارب الباحث (Xiaofei Wang and HuaQiao Pu2) واخرون [12] أن المعاجين التي تحتوي على 5%-3 من السيليكا (SF) تتمتع بقوة انحناء أفضل (15%تحسن بنسبة 17%) وقوة الضغط (7%تحسن 9%) ، لقد تم تحسين قوة رابطة القص والشد أكثر من 4 مرات عندما تكون جرعة SF أكثر من 3٪ مقارنة بالخلطة المرجعية ، نوصي باستخدام 5% SF كأفضل خليط والأمثل ويمكن استخدامه لإصلاح الشقوق.

تؤدي كمية معقولة من SF إلى تفاعل بوزولاني ثانوي جيد ونتائج تعبئة جسيمات فعالة، مما يحسن البنية المجهرية للسمنتيت ويزيد من القوة الميكانيكية .

تشير دراسة الباحث (Jayanta Chakraborty, Sulagno Banerjee) [13] أن قوة الضغط للخلطات الخرسانية تقل مع زيادة وجود الرماد المتطاير، ويجب الأخذ في الاعتبار أن الحد الأمثل لخلط الرماد المتطاير هو 45% وأكثر من ذلك قد لا يكون آمناللخلطات الخرسانية المختلفة.

بشكل عام مع زيادة الرماد المتطاير هناك زيادة حادة في القوة من 7 إلى 28 يوماً مما يدل على أن القوة المبكرة للخرسانة تقل مع زيادة نسبة الرماد المتطاير. قبل كل شيء، فإن التباين في القوة المبكرة هو أكثر من التباين في القوة اللاحقة. ومن ثم تبقى الحقيقة أن الرماد المتطاير له تأثير سلبي على القوة المبكرة للخرسانة.

استنتاج الباحث (Suhail Rashid Dar1, Ankit Mahajan2) [14] أن استبدال الأسمنت بأبخرة السيليكا يصل إلى 15٪ يزيد من قوة الضغط، وقوة الشد، وقوة الانحناء، وقوة القص للخرسانة

أظهرت النتائج الباحث (Noor Md. Sadiqul Hasan , Md. Habibur Rahman) [15] أن استبدال الاسمنت جزئيا ب(RHA) رماد قش الأرز يقلل من قابلية تشغيل الخلطات الطازجة، مع تعزيز قوة الضغط والانقسام والانحناء بنسبة تصل إلى 7.16% و7.03% و3.82% على التوالي. علاوة على ذلك، فإن دمج 10% من RHA يوفر أعلى قوة ضغط، وشد الانقسام، وقوة الانحناء ، ومع زيادة تركيزRHA ، انخفضت كثافة الخلطات الخرسانية المتصلبة؛ وبالمثل، أشارت نتائج ISAT إلى أن نفاذية الخرسانة تنخفض مع زيادة تركيز RHA .

استنتج الباحث (Solomon Asrat Endale , Woubishet Zewdu Taffese) واخرون [16] ان تزداد قوة الضغط حتى 10% من RHA وتبدأ في الانخفاض مع زيادة نسبة الاستبدال بنسبة 12.5% بالمقارنة مع خرسانة المرجعية ، وأظهرت نسبة الاستبدال الأمثل للأسمنت البورتلاندي العادي بنسبة 5% من RHA زيادة عن خرسانة المرجعية حيث زادت القوة بنسبة 15% .

وفقا للنتائج الباحث (Özer Zeybek , Yasin Onuralp Özkılıç) واخرون [17] ، يمكن اعتبار استبدال٪20 من WGP كأسمنت الجرعة المثلى. من ناحية أخرى، بالنسبة للخرسانة المنتجة باستخدام WGP وجزيئات الزجاج المتحطمة، زادت الخواص الميكانيكية إلى حد معين ثم انخفضت بسبب ضعف قابلية التشغيل. وبالتالي، يمكن اعتبار10% مستوى الاستبدال الأمثل، حيث يظُهر زجاج النفايات المدمج قوة أعلى بكثير وخصائص قابلية تشغيل أفضل ، علاوة على ذلك، تم إجراء تحليل المجهر الإلكتروني الماسح (SEMلفحص البنية المجهرية للتركيبة ، وقد لوحظ التصاق جيد بين بقايا الزجاج والخرسانة الأسمنتية .

وجد الباحث (Guanlei Li , Chengke Zhou) [18] واخرون أن تأثير دمج FAعلى قابلية تشغيل الخرسانة الطازجة غير متناسق. ذكرت بعض الدراسات زيادة في قابلية التشغيل بسبب الشكل الكروي FA ، وزيادة حجم المزيج بسبب انخفاض كثافةFA ، وتطوير أبطأ لمنتجات الترطيب بسبب إضافة FA ؛ ومع ذلك، وجدت بعض الدراسات انخفاضاً في قابلية تشغيل المزيج الطازج نظراً لصغر حجم FA ومساحة سطحه الأكبر.

تزداد مقاومة المواد المركبة لاختراق الكلوريد مع إضافة FA خاصة في الأعمار المتأخرة. يقلل حجم الجسيمات الدقيقة FA من الفراغات المترابطة في المصفوفة، كما يعمل عمل البوزولان على تحسين البنية المجهرية ، مما يؤدي إلى زيادة المقاومة لاختراق الكلوريد ، و يعد التطور البطيء للقوة أحد العوائق الرئيسية لاستخدام FA في المركبات الأسمنتية؛ ومع ذلك ، يمكن التغلب على ذلك عن طريق التنشيط الكيميائي (القلويات/الكبريتات) و/أو إضافة مواد نانوية .

أظهرت نتائج دراسة الباحث (Lallotra, Balwinder) [19] أن استبدال الأسمنت البورتلاندي جزئياً بالرماد المتطاير بنسبة 15% واستبدال الرمل جزئياً بمسحوق الزجاج بنسبة 15% في الخرسانة يؤدي إلى تحسين طفيف في القوة ، وأظهرت النتائج التجريبية أيضاً أنه بشكل عام، يتم تعزيز نقاط القوة عند إضافة 1.5% كحد أقصى من الجسيمات Al2O3 النانوية ، ومع ذلك، بدأت قوة المعجون تعاني عند إضافة 2% من الجسيمات النانوية ، وكذلك ان إضافة النانو Al2O3 يقلل من امتصاص الماء .

يبن الباحث (Magdalena Dobiszewska , Waldemar Pichór) [20] واخرون ، انه يمكن استخدام نفايات الزجاج المطحونة كبديل لحوالي 10% من الأسمنت. في هذه الحالة، يتم ملاحظة زيادة طفيفة في قوة ضغط الملاط وعدم وجود تدهور كبير في المسامية. ومن أجل استخدام هذه النفايات بشكل أكثر فعالية، من الضروري طحنها بشكل ناعم إلى سطح محدد ليس أصغر من سطح الأسمنت بعد ذلك، لن يتم تعزيز النشاط البوزولاني للزجاج فحسب، بل سيكون التأثير الإضافي للحشو مهماً أيضاً.

في هذه الدراسة التي قام بها الباحث (Grzegorz Ludwik Golewski) [21] ، تم تحقيق التحسن الأمثل عندما كان تركيز الإضافات ٪5 (النانو سيليكا)nS و ٪15 (الرماد المتطاير) FA ، كما تم زيادة مقاومة الضغط بعد 28 يوما

ومقاومة الشد الانشطار بنسبة 37.68% و 36.21% على التوالي مقارنة بالخرسانة المرجعية ، يمكن للأسمنت المخلوط المصمم خصيصاً والذي يتكون من محتوى nS و FA مستوى استبدال يصل إلى 30% و أن يحسن بشكل كبير خواص المركبات الخرسانية ، فضلاعن تقليل البصمة الكربونية للمواد القائمة على الأسمنت مما يشكل خطوة نحو إنتاج خرسانة صديقة للبيئة .

وبسبب تنشيط حبيبات FA بواسطة جزيئات nS الدقيقة جداً والنشطة للغاية، يتم ملء الفراغات والمسام والشقوق الصغيرة الأولية في بنية مصفوفة الأسمنت ، يؤدي تجانس مصفوفة الأسمنت إلى تحسين الخواص الميكانيكية وترتيب البنية المجهرية للمركبات التي تتضمن CFA و nS بشكل فعال.

استنتج الباحث (Ola T. kader*, Eethar T. Dawood) [22] ان نتائج مقاومة الانضغاط زادت بنسبة 50.6% بعد استبدال 10% ميتاكاولين عند 7 أيام و 17.35% بعد استبدال الخلطات الثلاثية بـ 15% خبث و 15% رماد متطايرو 10% ميتاكاولين، بينما زادت مقاومة الانثناء بنسبة 26.47% بعد الاستبدال. نفس النسبة من الميتاكاولين وبنسبة 10.4% بعد استبدال الخلطة الثلاثية بنفس النسبة من المواد .أظهرت النتائج أن استخدام الميتاكاولين 10% قلل من امتصاص الماء بنسبة 28.75% بينما زيادة الخبث أدت إلى زيادة امتصاص الماء في الخلطات الثلاثية ، وإن استخدام الرماد المتطاير كمادة أسمنتية تكميلية يعزز من سيولة الملاط الأخضر، كما أن دمج الخبث والميتاكاولين يقلل التدفق بنسبة 5% وتتحسن قوة الضغط في سن مبكرة عند استخدام الميتاكاولين كبديل جزئي للأسمنت بنسبة تقل عن 20 % .

وان نسب المزيج الموصى بها من المزيج الثلاثي هي استخدام 15% من الرماد المتطاير، و15% من الخبث مع 10% من الميتاكاولين مما يعطي خواص ميكانيكية مناسبة.

تبين من الباحث (Ambreen u Nisa) [23] ان قوة الضغط أكبر في الخرسانة المصنوعة من دخان السيليكا مقارنة بالرماد المتطاير أو خبث الفرن العالي في جميع الأعمار التي تم اختبارها.

قام الباحث (Mufti Amir Sultan , Raudha Hakim) واخرون [24] بغمر مكعبات الاختبار في محلول حمضي بتركيز ،2% وتكون مدة الغمر 30 و60 و90 يوما ، ولاحظوا أنه يؤدي إضافة الرماد المتطاير بنسبة 20% إلى خليط الملاط إلى زيادة قوة الضغط بنسبة 23.32% وكلما زاد التلامس مع المحلول الحمضي، كلما قللت من قوة الضغط وزادت من امتصاص الملاط.

بين الباحث (Akhnoukh, Amin) [25] ان الرماد المتطاير يؤدي إلى تحسين ترتيب التعبئة لمكونات الخلطة الحبيبية الخرسانية، وتقليل الفراغات، وزيادة كثافة المزيج، والقوة الإجمالية، وينتج عنه مقاومة أعلى لهجمات الكلوريد، وهجمات الكبريتات، وتفاعل السيليكا القلوية الضارة. يعتمد النشاط البوزولاني للرماد المتطاير ومدى تأثيره على الخواص المذكورة أعلاه بشكل كبير على مصدر الرماد المتطاير والتركيب الكيميائي وحجم الجسيمات.

توصل الباحث (Pawar , Magdum) [26] الى نتائج ومقارنتها مع الخرسانة الرملية الطبيعية ، لقد وجد أن استخدام خبث الفرن العالي GBS لن يقلل من قوة الخرسانة ، وإن استبدال الرمل بنسبة 50% بخبث الفرن العالي GBSيعطي نتائج أفضل في الضغط ويعطي نتيجة أفضل للثني وكذلك يعطي قوة شد جيدة .

توصل الباحث (Rajesh Kr. Pandey , Abhishek Kumar) واخرون [27] فإن GGBFS خبث الفرن العالي له تأثيرات إيجابية على قابلية التشغيل ، وفي معظم الحالات، تتناقص قوة الضغط و قوة الشد وقوة الانحناء مع زيادة نسبة GGBFS في سن مبكرة ولكنها تزيد مع زيادة نسبة GGBFS في الأعمار اللاحقة ، و تصل الزيادة في القوة إلى حد معين من الإحلال، وبعد ذلك تبدأ في التناقص ، وتزداد قوة العمر المتأخرة بسبب تباطؤ تفاعل (CaOH2) مع GGBFS، و تزداد كذلك مقاومة الخرسانة للكلوريد والكبريتات مع زيادة نسبة GGBFS .

اجرى الباحث (K. Kathiresan, A.R. Krishnaraja) [28] دراسة لاستبدال خبث الفرن العالي GGBS بنسبة تصل إلى 50٪ مقابل الأسمنت ، و يظُهر وجود GGBS في الخلطة الخرسانية إنجازاً ملحوظاً في قوة الضغط للخرسانة، إلا أن وجود GGBS يقلل من أداء الخرسانة في إجهاد الشد المنفصل وإجهاد الانحناء بسبب زيادة هشاشة المادة ، و يظُهر معامل مرونة خرسانة GGBS أداءبارزاً مقارنةبالخرسانة التقليدية من الخلطات المذكورة أعلا ه، و مع استبدال 45٪ مقابل الأسمنت في الخرسانة يظهر أداء أفضل.

تشير نتائج الباحث (Mohamed Amina, Bassam A. Tayehb) واخرون [29] إلى كفاءة RSA (رماد قش الأرز) و PLA (رماد سعف النخيل كبديل جزئي) (أي 20% من وزن الأسمنت)، مع خواص ميكانيكية ومتانة أفضل من تلك الخاصة بالخليط المرجعي. يظُهر تحليل البنية المجهرية أن 20% من RSA أو PLA ينتج خرسانة أكثر كثافة من خليط التحكم. تحقق عينات الخرسانة فائقة الاداء (UHPC) التي تحتوي على 20% RSA و20% PLA أفضل النتائج البالغة 188.5 ميجا باسكال و185 ميجا باسكال عن طريق زيادة قوة الضغط بحوالي 13.2% و11.1% على التوالي، مقارنة بخليط التحكم عند عمر اختبار يبلغ 28 يوما ، وتظُهر الخواص الميكانيكية المهمة، مثل قوة الشد الانقسامية وقوة الانثناء ومعامل المرونة، اتجاهاً مشابهاً لاتجاه نتائج قوة الضغط لجميع مخاليط UHPC ويبلغ متوسط قيم قوة الشد وقوة الانثناء عند 28 يوماً حوالي 11% و14% من قوة الضغط لنفس مخاليط UHPC ، على التوالي ، و كان لإضافة RSA و PLA إلى UHPC تأثير إيجابي على محتوى الهواء حيث انخفض محتوى الهواء مع انخفاض مستوى الإحلال .

أدى تنفيذ RSA و PLA متناهية الصغر إلى تقليل تدفق الركود بشكل ملحوظ مقارنة بخليط التحكم بنفس نسبة الماء / الأسمنت و جرعة SP . بالإضافة إلى ذلك، انخفض الانخفاض في قابلية التشغيل بشكل ملحوظ عن طريق زيادة مستوى الاستبدال. ومع ذلك، قدم PLA كفاءة أكبر في قابلية التشغيل من RSA عند نفس مستوى الاستبدال .

توصل الباحث (NITIN CHOUDHARY, MURTAZA SAFDARI) واخرون [30] الى انه عندما يتم استبدال 25% من الأسمنت بـ 15% مسحوق زجاج و10% رماد قشر الأرز فإن قوة الضغط للخرسانة المعدلة تزيد بنسبة 1.04% ، و إن قوة الانحناء للخرسانة المعدلة تزداد 1.01% عن الخرسانة التقليدية ، و يكون معدل اكتساب القوة منخفضاً قليلاولكن في 28 يوماً يفي بالقوة التصميمية المطلوبة .

توصل الباحث (Harianto Hardjasaputra , Ivan Fernando) واخرون [31] الى إن استخدام رماد قشرة نواة النخيل ورماد قشر الأرز في خليط الخرسانة الجيوبوليمرية لم يعط زيادة كبيرة في قوة الضغط ، و إن نسبة الزيادة في

مقاومة الضغط بسبب استخدام الرماد البديل في هذا البحث هي 0.3 – 9.48%، وهي أقل من نسبة الزيادة في مقاومة الضغط لاستخدام رماد قشرة نواة النخيل و رماد قشر الأرز في الخرسانة الأسمنتية البورتلاندية التي يمكن أن تصل إلى 35%. ، و أظهرت الخرسانة الجيوبوليمرية مع استخدام الرماد البديل نسبة زيادة في قوة الانحناء من 6.41٪ يصلإلى15.26% حتى الانخفاض في قوة الانثناء يحدث فعلياً في الخرسانة الجيوبوليمرية بتركيز محلول M12 NaOH باستخدام رماد قشرة نواة النخيل- .كانت التغييرات في تركيز محلول NaOH أكثر فعالية بكثير من استخدام رماد قشرة نواة النخيل ورماد قشر الأرز لزيادة قوة الخرسانة الجيوبوليمرية .

وقد تبين من الباحث (Prof. Vishal S. Ghutke , Prof. Pranita S.Bhandari) [32] انه يمكن تحقيق القيمة المثلى لقوة الضغط في استبدال 10% من دخان السيليكا حيث أن قوة استبدال الأسمنت بنسبة 15% ببخار السيليكا تزيد عن الخرسانة العادية و تتراوح النسبة المثلى لاستبدال أبخرة السيليكا من 10% إلى 15% ، و تقل قابلية تشغيل الخرسانة بزيادة نسبة دخان السيليكا و تقل قوة الضغط عندما يكون استبدال الأسمنت أعلى من 15% من دخان السيليكا.

أظهرت النتائج التجريبية للباحث (L. Turanli*, B. Uzal, F. Bektas) واخرون [33] أن صلابة المادة البوزولانية أثرت بشكل كبير على توزيع حجم الجسيمات والخواص المرتبطة بها للأسمنت المخلوط من خلال التأثير على نقاوة مكونات المنتج المخلوط. تأثرت القوة المبكرة للملاط بشدة بتوزيع حجم الجسيمات للأسمنت المخلوط، في حين كان أداء تطوير قوة الملاط أكثر ارتباطاً بالنشاط البوزولاني للبوزولان الطبيعي الموجود في الأسمنت المخلوط .

تشير بيانات الباحث (B.W. Langana, K. Wengb) واخرون [34] إلى أن دخان السيليكا يسرع عملية ترطيب الأسمنت عند نسب الماء/الأسمنت العالية ويؤخر الترطيب عند نسب الماء/الأسمنت المنخفضة. من ناحية أخرى، يؤخر الرماد المتطاير ترطيب الأسمنت بشكل ملحوظ عند نسب الماء/الأسمنت العالية. عندما يتم إضافة دخان السيليكا والرماد المتطاير مع الأسمنت، يتم إعاقة تفاعل دخان السيليكا وتأخر ترطيب النظام الأسمنتي بشكل كبير.

لقد بين الباحث (Metin Arikana, Konstantin Sobolev) واخرون [35] فإن تطبيق الكاولين المنشط حرارياء (TAK) يوفر تحسيناً بنسبة 15% في قوة الضغط. لقد تبين أن TAK ذو الجودة المثلى يمكن تصنيعه عن طريق المعالجة الحرارية للكاولين الخام بنسبة 74٪ من الكاولينيت عند 750 درجة مئوية دون مرحلة الإغناء الوسيطة .إن تطبيق النهج المتطور يمكن أن يقلل بشكل كبير من نفقات الإنتاج ويجعل تطبيق هذه المادة المضافة ممكناً حتى في الأسمنت والخرسانة العادية.

أظهرت النتائج الباحث (N. Kaida, M. Cyrb) واخرون [36] أن مؤشرات المتانة العامة كانت متكافئة تقريباًلجميع أنواع الخرسانة التي تم اختبارها، مما أبرز أهمية استخدام مؤشرات محددة لكل نوع من أنواع التعرض . أظهرت نتائج المؤشرات النوعية للتآكل والهجمات الحمضية أن زيادة محتوى البوزولاني أدى إلى زيادة مقاومة الخرسانة. وبالتالي، من الممكن تحسين متانة الخرسانة النموذجية المصنوعة حاليا في الجزائر باستخدام المواد المحلية.

تشير نتائج الباحث (G. Mertensa,*, R. Snellings) واخرون [37] إلى أن مساحة السطح الخارجية تؤثر فقط على التفاعل قصير المدى، في حين أن محتوى الكاتيون له تأثير على التفاعل طويل وقصير المدى. يمكن تفسير التفاعل المبكر للعينات غير المتبادلة من خلال هاتين المعلمتين، ولكن تفاعلها على المدى الطويل يرتبط بشكل رئيسي بنسبة Al/Si للزيوليتات. تتفاعل العينات التي تحتوي على الزيوليتات الغنية Si بشكل أسرع من نظيراتها الغنية بالسيوليت.

أظهرت مقارنات الباحث (C.D. Atis-,F.Ozcan) واخرون [38] أن قوة الضغط لخرسانة دخان السيليكا المعالجة عند 65% رطوبة نسبية تأثرت أكثر من قوة الضغط للخرسانة الأسمنتية البورتلاندية . لقد وجد أن قوة الضغط لخرسانة دخان السيليكا المعالجة عند 65% رطوبة نسبية كانت، في المتوسط، أقل بنسبة 13% من قوة الضغط لخرسانة دخان السيليكا المعالجة عند 100% رطوبة نسبية. إن زيادة نسبة الماء إلى المادة الأسمنتية تجعل الخرسانة أكثر حساسية لظروف المعالجة الجافة. تم ملاحظة تأثير ظروف المعالجة الجافة على خرسانة دخان السيليكا مع زيادة نسبة استبدال دخان السيليكا .

أظهرت النتائج الباحث (Antonia Moropoulou , Asterios Bakolas) واخرون [39] التي تم الحصول عليها أن معاجين الجير/ البوزولان المختلفة أظهرت حركية تفاعل مختلفة، وبالتالي فإن البوزولان المختلفة أظهرت تفاعلية مختلفة، بما يتناسب مع خصائصها المعدنية والفيزيائية والكيميائية.

بينت دراسة الباحث (M. Moulia, , H. Khelafib) [40] إن زيادة محتوى البوزولان في الخرسانة ستؤدي إلى زيادة محتوى الماء وانخفاض طفيف في كثافة الخرسانة ، و أدت الإضافة البوزولانية إلى تقليل قوة الخرسانة المبكرة و أظهرت نتائج هذا البحث أن الخرسانة المحتوية على 20% بوزولان تتمتع بمقاومة ضغط وانشقاق وانثناء أعلى من خرسانة التحكم في جميع الأعمار بعد 7 أيام حتى 365 يوماً و تكتسب الخرسانة التي تحتوي على 30% بوزولان قوة أعلى من خرسانة التحكم عند عمر 90 يوماً وأكثر. بينما الخرسانة المخلوطة بـ 40%و50% من الإسمنت المستبدل بالبوزولان تعطي مقاومة ضغط أقل في جميع الأعمار حتى 365 يوماً.

قام الباحث (Bu¨lent Yılmaz , Nezahat Ediz) [41] بإضافة الدياتوميت الخام إلى الأسمنت بنسبة تصل إلى 10% نتائج إيجابية. بعد إضافة ، 10% انخفضت قيم القوة بشكل رئيسي بسبب زيادة امتصاص الدياتوميت للماء و هذه النتيجة لها قاعدة مشتركة مع نتائج البحوث الأخرى حول استخدام الدياتوميت كمادة مضافة للأسمنت. ومع ذلك، فقد ثبت أن معالجة التكليس هي بديل جيد لتقليل امتصاص الماء للدياتوميت وبالتالي تحسين الخواص الميكانيكية لمخاليط الأسمنت الممزوجة بالدياتوميت.

أظهرت دراسة الباحث (Chi-Sun Poon, Salman Azhar) واخرون [42] ان أداء خرسانة الميتاكاولين (MK) نمطاً مميزاً من اكتساب وخسارة القوة عند درجات الحرارة المرتفعة ، بعد حصوله على زيادة في قوة الضغط عند 200 درجة مئوية، حافظ على قوة أعلى مقارنة بالخرسانة SF و FA و OPC نقية ، تصل درجة حرارتها إلى 400 درجة مئوية. وقد لوحظ انخفاض حاد في قوة الضغط لجميع الخلطات بعد400 درجة مئوية يليه تشقق شديد وتشظي انفجاري. في نطاق800-400C- ، عانت خرسانة MK من خسارة أكبر وكانت لها قوة متبقية أقل من الخرسانة الأخرى.

البنية الدقيقة الكثيفة والمسامية المنخفضة هي الأسباب الرئيسية لضعف أداء الخرسانة MK في درجات الحرارة المرتفعة وأظهرت الخرسانة MK مع

استبدال الأسمنت بنسبة 5٪ أداءً أفضل من الخرسانة النقية OPC و SF المقابلة في جميع درجات الحرارة المختبرة. ولم يلاحظ أي تشظي في هذه الخرسانة.

وبناءعلى النتائج الباحث (C. Vizcayno and, R.M. de Gutiérrez) واخرون [43] ، يسمح كلا النوعين من المعالجة بالحصول على البوزولان التفاعلي من طين الكاولينيت. تبين أن البوزولان الذي تم الحصول عليه عن طريق المعالجة الكيميائية الميكانيكية للكاولين الخام الذي يحتوي على نسبة عالية من الكوارتز يؤدي أداءًجيداً ، مع كمية قليلة من الكاولينيت ، كان من الممكن الحصول على البوزولان النشط عن طريق المعالجة الميكانيكية ولكن ليس عن طريق المعالجة الحرارية. وكان مؤشر البوزولان والمقاومات الميكانيكية التي تم الحصول عليها عن طريق الطحن مماثلة للمعالجة الحرارية. تعتمد نتيجة العملية الميكانيكية و الكيميائية على نوع الكاولين المستخدم وتركيبته المعدنية، وكذلك على زمن طحنه.

بين الباحث (Xincheng Pu) [44] ان مع إضافة الرماد المتطاير إلى الأسمنت، فإن التأثير البوزولاني سيختلف باختلاف العمر وجرعة الرماد المتطاير. يزداد تأثير البوزولان مع تقدم العمر، وفي النطاق الذي تمت دراسته يزداد تأثير البوزولان مع زيادة الجرعة. أما بالنسبة للرماد المتطاير، فإن التأثير البوزولاني يظهر بشكل رئيسي في عمر التصلب المتأخر. عند عمر سنة واحدة، تزداد قوة الضغط لأسمنت الرماد المتطاير بمقدار 3-2 درجات , و نظراً لأن دخان السيليكا هو مادة مضافة معدنية نشطة للغاية عند إضافته إلى الخرسانة، سيكون هناك تأثير بوزولاني عند عمر 3 أيام ويكون معدل التفاعل البوزولاني حتى 28 يوماً مرتفعاً إلى حد ما، ثم يتبع ذلك انخفاض .

بين الباحث (B. Uzal, L. Turanli) [45] ان بالمقارنة مع كلنكر الأسمنت البورتلاندي المرجعي، فإن الأسمنت المخلوط الذي يحتوي على 55% من البوزولان الطبيعي ينتج درجة نعومة بلين أعلى لنفس وقت الطحن. ونظراً للاختلاف في قابلية طحن الكلنكر والبوزولان و كانت مقاومة الضغط للأسمنت المخلوط في جميع أعمار الاختبار حتى 91 يوماً أقل من الأسمنت البورتلاندي المرجعي المطحون لنفس الفترة الزمنية و أظهرت النتائج ان الأسمنت المخلوط المحتوي على 55% بوزولان له قدرة ممتازة على تقليل تمدد القلويات والسيليكا .

تناولت دراسة الباحث (S,. Targana, A. Olgunb) [46] تأثير زيادة مستوى البوزولان الطبيعي (NP) في وجود 4% نفايات خام الكوليمانيت (CW) هو توفير تأخير أكبر في زمن تماسك الأسمنت , و بالمقارنة مع خرسانة التحكم، فإن باستبدال NP بنسبة تصل إلى 15% يزيد من قوة ضغط العينات بعد 28 يوماً من المعالجة .وعلى الرغم من أن قوة الضغط المبكرة للعينات التي تحتوي على FA + NP و BA + NP كانت أقل، إلا أنها زادت تدريجيا لجميع العينات طوال 90 يوما من التجربة ، و يؤدي دمج NP مع CW إلى زيادة كبيرة في قوة الضغط بعد 28 يوماًمن عمر المعالجة.

(رماد الفحم السفلي) BA

قام الباحث (S.K.Agarwal) [47] بتحديد النشاط البوزولاني المتسارع لمختلف المواد وقد لوحظ الحد الأقصى من النشاط البوزولاني في حالة (RHA) ، يليه دخان الكوارتز والسيليكا و أعطى الرماد المتطاير المطحون الناعم نشاطاً بوزولانياً يعادل دخان السيليكا . وأظهر استبدال الأسمنت بنسبة 10% بالرمل مؤشر بوزولاني متسارع بنسبة 92% مقارنة بـ 85% المطلوبة في ASTM لأبخرة السيليكا كخليط معدني.

لقد وجد الباحث (G. Fajardo*, P. Valdez) [48] انه يؤدي استبدال الأسمنت بنسبة 20% بالبوزولان إلى زيادة كبيرة في وقت الحث ويقلل معدل التآكل بمقدار درجة واحدة، كما تم التحقق منه من خلال الفحص البصري لحالة سطح حديد التسليح الفولاذي المدمج ويعتبر انخفاض قوة الضغط الملحوظ للعينات التي تحتوي على 20% من البوزولان الطبيعي مقبولاً مع الأخذ في الاعتبار تقليل دخول الكلوريد وتحسين خصائص الحماية , ويمكن تحسين قوة الضغط لهذه الخرسانة إذا تم استخدام الملدن الفائق لتحضير الملاط .

لقد استنتج الباحث (Gemma Rodrı´guez de Sensale) [49] أن RHA المتبقي من صناعة طحن الأرز في أوروغواي يوفر تأثيراً إيجابياً على مقاومة الضغط في الأعمار المبكرة ، ولكن السلوك طويل المدى للخرسانة مع RHA من الولايات المتحدة الأمريكية الناتجة عن الحرق المتحكم فيه كان أكثر أهمية ، و تكشف نتائج الشد ونفاذية الهواء عن أهمية تأثير البوزولاني للخرسانة مع بقايا RHA و RHA الناتجة عن الحرق المتحكم فيه

اظهرت نتائج الباحث (Thanongsak Nochaiya, Watcharapong Wongkeo) [50] أن متطلبات الماء للحصول على القوام الطبيعي تزداد مع زيادة محتوى SFبينما وجد انخفاض في زمن التماسك الأولي ، وتم العثور على أن قابلية التشغيل، التي تم قياسها من حيث الركود، تنخفض مع محتوى دخان السيليكا (مقارنة بالمزائج التي لا تحتوي على دخان السيليكا). ومع ذلك، يجب الإشارة إلى أنه على الرغم من انخفاض قيم الهبوط ، إلا أن قابلية تشغيل الخرسانة البورتلاندية - الرماد المتطاير- دخان السيليكا ظلت في معظم الحالات أعلى من خرسانة التحكم في الأسمنت البورتلاندي ، علاوة على ذلك، وجد أن استخدام دخان السيليكا مع الرماد المتطاير يزيد من قوة ضغط الخرسانة في الأعمار المبكرة (قبل 28 يوماً) بنسبة تصل إلى 145% مع أعلى قوة تم الحصول عليها عند استخدام دخان السيليكا بنسبة 10% بالوزن. علاوة على ذلك، تظهر الصور المجهرية الإلكترونية المسح أن استخدام الرماد المتطاير مع دخان السيليكا أدى إلى بنية مجهرية أكثر كثافة، مما أدى إلى زيادة في قوة الضغط .

لقد وجد الباحث (C.S. Poon , S.C. Kou) [51] أن الخرسانة الميتاكاولين (MK) تتمتع بقدرة فائقة على تطوير القوة متفوقاًعلى خرسانة دخان السيليكا (SF) من حيث تطوير قوة الخرسانة ومقاومة مماثلة للكلوريد للخرسانة SF ، والخرسانة MK ، لها مسامية أقل وأحجام مسام أصغر من الخرسانة العادية ، ترتبط مقاومة الخرسانة لاختراق أيون الكلوريد بشكل أفضل مع مسامية الخرسانة المقاسة مقارنة بمسامية العجينة ، و تكون الاختلافات بين مسامية الخرسانة المقاسة والمحسوبة أصغر بالنسبة للخرسانة المدمجة MK و SF مقارنةًبالخرسانة الخاضعة للتحكم، مما يشير إلى تحسن في البنية المجهرية السطحية مع دمج البوزولانا ، وجد أن هذا الاختلاف مرتبط بقوة الخرسانة ونفاذية الكلوريد إلى حد ما .

أظهرت نتائج الباحث (M. Ghrici a, S. Kenai) [52] أن استخدام الأسمنت المخلوط الثلاثي بحشو الحجر الجيري (LF) والبوزولانا الطبيعية (NP) كبديل جزئي للأسمنت البورتلاندي يحسن العمر المبكر وقوة الانضغاط والانثناء على المدى الطويل. كما تم تعزيز المتانة أيضاً حيث تم إثبات مقاومة أفضل لاختراق أيونات الكبريتات والأحماض والكلوريد.

لقد تبين من دراسة الباحث (Qingge Feng, H. Yamamichi) [53] أنه بالمقارنة مع رماد قشر الأرز المسخن غير المعالج، يتم تقليل حساسية النشاط البوزولاني لقشر الأرز المعالج بحمض الهيدروكلوريك المسخن لقشر الأرز لظروف الاحتراق .لايتم تثبيت النشاط البوزولاني لرماد قشر الأرز عن طريق المعالجة المسبقة فحسب، بل يتم تعزيزه أيضاً بشكل واضح. تتوافق حركية تفاعل رماد قشر الأرز مع الجير مع التحكم في الانتشار ويمكن تمثيلها بمعادلة انتشار جاندر. لوحظت زيادة كبيرة في قوة عينة رماد قشر الأرز (المعالجة مسبقاً). تشير نتائج التطور الحراري إلى أن رماد قشور الأرز بالمعالجة المسبقة يظهر سلوكه في زيادة تميه الأسمنت. تحتوي الملاط الأسمنتي المضاف مع رماد قشر الأرز عن طريق المعالجة المسبقة على نسبة أقل منCa(OH)2 يظُهر المحتوى بعد 7 أيام وتوزيع حجم المسام للملاط مع رماد قشر الأرز مع المعالجة المسبقة ميلاً للتحول نحو حجم المسام الأصغر .

بينت دراسة الباحث (Nasser Y. Mostafa , Q. Mohsen) واخرون [54] بانه يزيد كلا البوزولان دخان السيليكا (SF) والكاولين منزوع الألمنيوم (DK) من إجمالي المسامية عند استخدامه بدون مخفضات الماء أو الملدنات الفائقة ، و كلاهما قلل أيضاً من قوة الضغط في الأعمار المبكرة. ومع ذلك، فإن نقاط القوة المستردة مع مرور الوقت تتجاوز تلك الخاصة بمعجون الأسمنت البورتلاندي المرجعي، و كان اكتساب القوة أسرع في خلطات DK منه في خلطات SF ، و يختلف المحتوى الأمثل لكل بوزولان باختلاف نسب الماء / المواد الصلبة للخلطات ، وتسبب دخان السيليكا غير المتفاعل، في المزيج عالي الاستبدال (30٪)، في انخفاض الخواص الميكانيكية من خلال توفير نقاط ضعف لانتشار الشقوق .

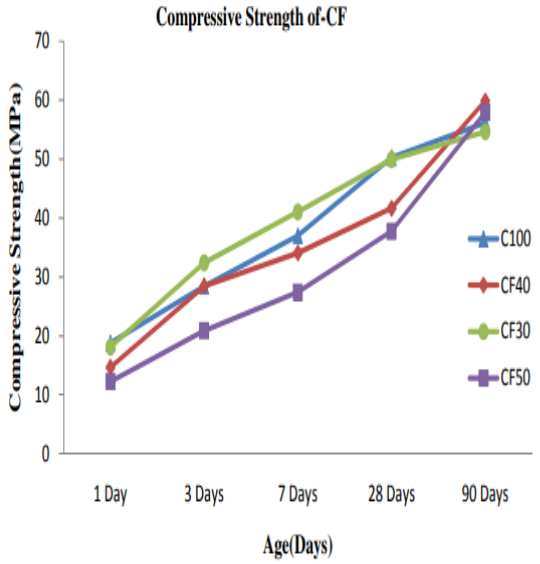
بين الباحث (Rosario García , Raquel Vigil de la Villa) واخرون [55] في هذه الدراسة بانه يتم خلط ميتاكاولينيت من حمأة الورق المكلس (التكليس عند 700 درجة مئوية لمدة ساعتين) مع إذابة الجير المشبع ويتم الحصول على منتجات ترطيب مختلفة: جل H-S-C و توبرموريت، و ستراتلينغيت، ومركبات شبيهة بالهيدروتالسيت ، و الشابازيت من نوع الزيوليت، وألومينات الكالسيوم المائية . يوجد هلام CSH في جميع أوقات التفاعل البوزولاني، باستثناء سنة واحدة من التفاعل . في الأعمار الصغيرة، يكون جل CSH من النوعtobermoritic ، وآخر تغيير عند النوع (II)، وأخيراً يكون جل CSH من النوع (I) . توجد مركبات شبيهة بالهيدروتالسيت من عمر 7 أيام حتى عمر سنة واحدة . الشابازيتمن نوع الزيوليت هو المعدن الذي يتم تصنيعه في الأعمار الصغيرة (يوم واحد فقط). على العكس من ذلك، فإن الستراتلينجيت هو المادة الجديدة عند الشيخوخة (سنة واحدة). تظهر ألومينات رباعي الكالسيوم المائية بطريقة متقطعة، في أعمار التفاعل البوزولاني القصيرة والمتوسطة .

قام الباحث (S. Donatello, M. Tyrer) واخرون [56] بتقييم النشاط البوزولاني للمواد البديلة للأسمنت وكان ISSA (رماد حمأة مياه الصرف الصحي في المحارق) و SF أكثر أنواع البوزولان تفاعلاكما هو موضح في اختبار SL لمدة يوم واحد، و كانت كل من MK و SF و ISSA و FA جميعها شديدة البوزولان بعد 7 أيام وفقاً لاختبارSL .

ترتبط نتائج اختبار فراتيني واختبار مؤشر نشاط القوة ببعضها البعض ويتم التحكم فيها عن كثب. و اختبار الجير المشبع له عيبان رئيسيان ، نسبة المنشط إلى البوزولان أقل بكثير مما هي عليه في الطرق الأخرى .

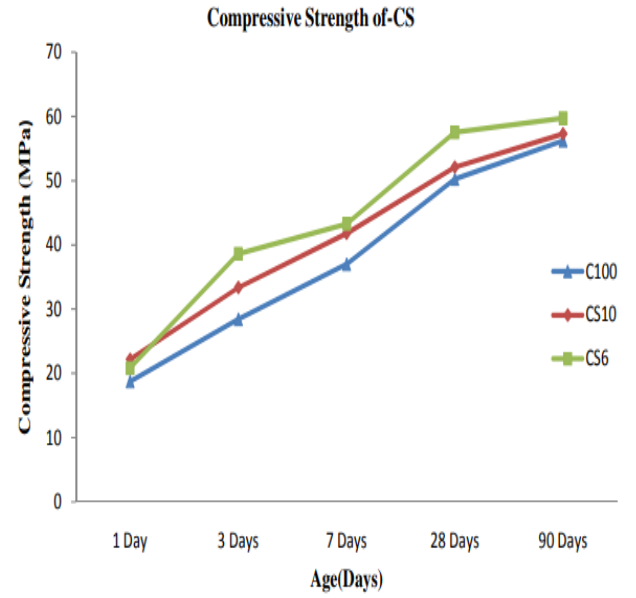
3. مناقشة النتائج :

الشكل (1) نلاحظ أن تتساوى قوة الضغط عند الاستبدال 30% من الاسمنت ب FA مع الخلطة المرجعة و تظهر جميع الخلطات زيادة في القوة بعد 90 يوماً مقارنة بخليط التحكم. كلما زاد استبدال الأسمنت بـ FA زادت قوته مع مرور الوقت ، وأظهر المزيج الذي يحتوي على 40% من FA قوة قصوى تبلغ 60.2 ميجا باسكال مقارنة بجميع بدائل FA الأخرى . [1]



الشكل (1) يوضح اختبار مقاومة الضغط العينات لاستبدال الاسمنت ب . FA) [1]

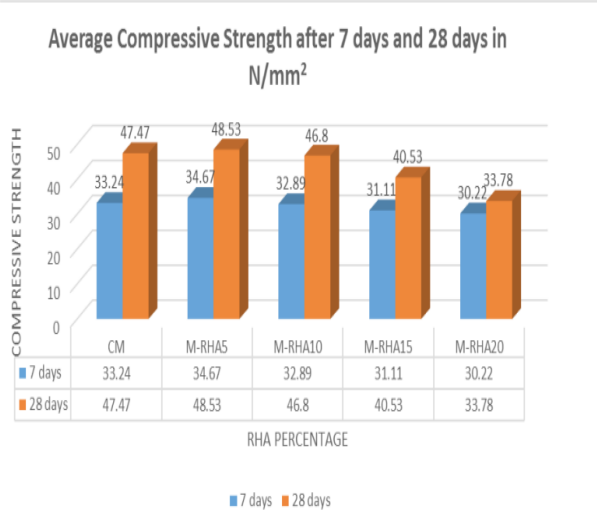
الشكل (2) يوضح إن قوة الضغط لخرسانة غبار السيليكا في جميع الأعمار الأولية لها قوة أعلى من خرسانة التحكم. اتبعت قوة التحكم (0٪)SF ، و 6٪ SF و 10٪ SF زيادة تدريجية في القوة في جميع الأعمار. [1]



الشكل (2) يوضح اختبار مقاومة الضغط العينات الاستبدال الاسمنت ب . SF) [1]

الشكل (3) يوضح انه بعد إضافة 15% و20% من استبدال قوة RHA تنخفض فجأة. لذا فإن نطاق5-10% من RHA هو المحتوى الأمثل للخلطة الخرسانية لقوة ضغط الخرسانة لأنه عند استبدال 5% هناك ارتفاع طفيف

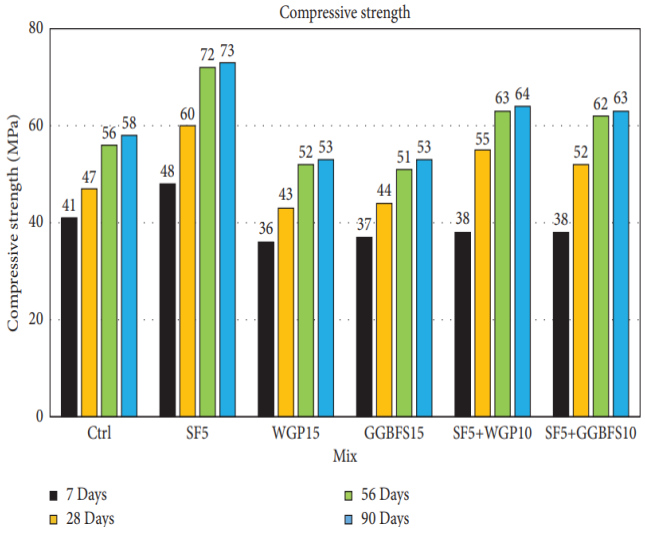
في قوة الضغط بعد 28 يوماً وعند استبدال 10% انخفاض طفيف في القوة مقارنة بخلطة التحكم . [3]



الشكل (3) يوضح اختبار مقاومة الضغط العينات لستبدال الاسمنت ب (RHA) [3]

الشكل (4) يوضح ان العينات التي تحتوي على (SF) تكون ذات قوة الضغط اعلى مقارنة بعينةCtrl ، ترجع الزيادة في قوة الضغط إلى الجزيئات شديدة التفاعل من (SF). [8]

ونلاحظ كذلك انخفاض قليل في مقاومة الضغط عند استبدال 15% من الاسمنت ب (WGP , GGBFS) .



الشكل (4) يوضح اختبار مقاومة الضغط العينات لستبدال الاسمنت ب . [8] (SF – WPG - GGBF)

اظهرت هذه النتائج في جدول (1) ان الميتاكولين المستخدمة في هذه الدراسة يتفوق على دخان السيليكا من حيث تعزيز قوة الخرسانة وكان الاستخدام الأمثل للميتاكولين عند نسبة الاستبدال 10% مما أدى الى اعلى زيادة في القوة على خرسانة المرجعية في جميع الاعمار الاختبار وخاصة عند عمر 3 ايام ، و ان دمج دخان السيليكا لم ينتج عنه أي زيادة في القوة الخرسانة عند 3 أيام ، و على الرغم من انه زاد في القوة عند عمر 7 أيام او بعدها . [51]

الجدول(1) يوضح اختبار مقاومة الضغط للخرسانة كبديل للاسمنت : [51] (Control-MK-SF)

Compressive strength of control and blended concretes

Series	w/b	Mix	Compressive strength (MPa)			
			3 days	7 days	28 days	90 days
1	0.3	Control	68.5	81.1	96.5	102.5
		5% MK	73.0	88.2	103.6	112.9
		10% MK	85.9	99.8	116.8	120.3
		20% MK	70.8	87.6	99.6	113.8
		5% SF	67.0	79.3	106.5	110.2
		10% SF	63.2	76.9	107.9	115.6
2	0.5	Control	28.6	41.2	52.1	60.4
		5% MK	32.6	45.9	57.1	66.5
		10% MK	40.4	55.2	66.2	71.6
		20% MK	30.0	43.2	58.4	69.1
		5% SF	27.4	47.0	54.3	67.5
		10% SF	25.8	47.4	58.4	69.1

4. الاستنتاجات :

(1) تقلل المواد الإسمنتية الإضافية من نفاذية الخرسانة وتحسن الهيكل الدقيق، مما يؤدي إلى مقاومة أفضل للعوامل العدوانية مثل الكلوريدات والكبريتات.

(2) العوامل مثل حجم الجسيمات، مساحة السطح، التركيب الكيميائي، شروط التصليد، إلخ، للمواد الإسمنتية الإضافية تؤثر على نشاطها البوزولاني وخصائص الخرسانة.

(3) يعوض دخان السيليكا القوة المبكرة المنخفضة للخرسانة باستخدام الرماد المتطاير عالي الكالسيوم .

(4) يزيد الرماد المتطاير من تطوير القوة على المدى الطويل لخرسانة دخان السيليكا.

(5) تقليل الانكماش الجاف لعينات الخرسانة مع زيادة استبدال ويرجع امتصاص الماء من الخلطة المستبدلة برماد قش الأرز (RHA) ورماد قش القمح (WSA) الى ارتفاع مساحة السطح النوعي للجزيئات .

(6) يؤدي استبدال الاسمنت بالرماد المتطاير إلى انخفاض كبير في نفاذية الماء والكبريتات كمواد كيميائية عدوانية في حالة الهجوم الكبريتات .

(7) أظهر نتائج الاستبدال بنسبة 15%من مسحوق نفايات الزجاج(WGP) أداءمناسباً ضد هجوم كبريتات المغنيسيوم وحمض الكبريتيك .

(8) نتج عن استبدال الخلائط الثنائية المكونة من 15% من مسحوق نفايات الزجاج (WGP) و15% من خبث الفرن العالي (GGBFS) إلى تقليل عمق تغلغل المياه بنسبة 45% .

(9) أظهرت الخلطات الخرسانية الثنائية المحتوية على 15% (WGP) مسحوق نفايات الزجاج أو 15% خبث الفرن العالي (GGBFS) أفضل أداء ضد هجوم كبريتات المغنيسيوم ، وعلى الرغم من ملاحظة التأثير الإيجابي لإضافة السيليكا فيوم (SF) 5% إلى الخلطات الخرسانية الاخرى الذي أدى إلى زيادة قوة الضغط والشد والثني مقارنة بالخرسانة عادي ، إلا أن إضافة SF أدى إلى انخفاض أداء الخرسانة ضد هجوم كبريتات المغنيسيوم .

(10) يُظهر الميتاكولين MK تطورًا فائقًا في القوة مقارنةً بدخان السيليكا (SF) ، وجد أن الاستبدال الأمثل للأسمنت بـ MK هو 10%، مما أدى إلى أعلى زيادة في مقاومة الضغط على خرسانة التحكم، خاصة في عمر مبكر قدره 3 أيام و تتميز الخرسانة MK بنفاذية أقل ومقاومة أفضل لاختراق أيونات الكلوريد مقارنة بالخرسانة ، يُظهر MK نشاطًا بوزولانيًا متفوقًا مقارنةً بـ SF .

(11) يؤدي استبدال الأسمنت بـ 5% MK إلى جانب مواد أسمنتية تكميلية أخرى مثل WGP وGGBFS إلى تحسين الخواص الميكانيكية ومتانة الخرسانة بشكل كبير بسبب تكثيف التعبئة والتأثير التآزري

(12) الأقصى من النشاط البوزولاني في حالة (RHA) ، يليه دخان الكوارتز والسيليكا و أعطى الرماد المتطاير المطحون الناعم نشاطاً بوزولانياً يعادل دخان السيليكا .

في الختام، فإن استخدام مثل هذه مواد النفايات ، يوفر هياكل خرسانية متينة واقتصادية وتوازناً بيئياً.

الخلاصة :

بشكل عام، تبين أن استبدال الأسمنت جزئيًا بمواد إسمنتية إضافية حتى مستوى مثالي يحسن من قوة الضغط، قوة الشد، قوة الانحناء، مقاومة الكلوريدات، ومقاومة الكبريتات للخرسانة، خاصة في الأعمار المتأخرة.

التوصيات :

(1) يجب استكشاف استخدام الملدنات الفائقة في العديد من مستويات إنتاج الخرسانة .

(2) دراسة درجة حرارة الحرق التي تصل فيها بعض هذه المواد الي التركيبة الكيميائية المثالية .

(3) يجب التركيز على تحسين الأداء طويل الأمد للخرسانة من خلال اختيار المواد الإسمنتية الإضافية التي تحسن من تطور القوة على المدى الطويل.

5. قائمة المراجع :

[1]- A R Hariharan‹, A S Santhi, & G Mohan Ganesh. (2011). Study on Strength Development of High Strength Concrete Containing Fly ash and Silica fume. International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST).

[2]- Sanyasinaidu, M. P., & Harish, M. P. (2017). Comparison Of Compressive Strength Of Concrete By Partial Replacement Of CEMENT WITH SILICA FUME & FLY ASH. In International Journal For Technological Research In Engineering (Vol. 4). www.ijtre.com

[3]- Paramveer Singh, T. S. and G. S. (2016). To Study Strength Characteristics of Concrete with Rice Husk Ash. Indian Journal of Science and Technology, 9(1), 1–5. https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i47/105272

[4]- Muleya, F., Muwila, N., Tembo, C. K., & Lungu, A. (2021). Partial replacement of cement with rice husk ash in concrete production: An exploratory cost-benefit analysis for low-income communities. Engineering Management in Production and Services, 13(3), 127–141. https://doi.org/10.2478/emj-2021-0026

[5]- Sola, Ö. Ç., Yayla, M., Sayn, B., & Duran Atiş, C. (2011). The effects of different types of fly ash on the compressive strength properties of briquettes. Advances in Materials Science and Engineering, 2011. https://doi.org/10.1155/2011/430604

[6]- Bheel, N., Awoyera, P., Shar, I. A., Sohu, S., Abbasi, S. A., & Krishna Prakash, A. (2021). Mechanical Properties of Concrete Incorporating Rice Husk Ash and Wheat Straw Ash as Ternary Cementitious Material. Advances in Civil Engineering, 2021. https://doi.org/10.1155/2021/2977428

[7]- Karaşin, A., & Doıruyol, M. (2014). An experimental study on strength and durability for utilization of fly ash in concrete mix. Advances in Materials Science and Engineering, 2014. https://doi.org/10.1155/2014/417514

[8]- Bameri, M., Rashidi, S., Mohammadhasani, M., Maghsoudi, M., Madani, H., & Rahmani, F. (2022). Evaluation of Mechanical and Durability Properties of Eco-Friendly Concrete Containing Silica Fume, Waste Glass Powder, and Ground Granulated Blast Furnace Slag. Advances in Materials Science and Engineering, 2022. https://doi.org/10.1155/2022/2730391

[9]- Marceau, M. L., Gajda, J., & Vangeem, M. (2002). Use of Fly Ash in Concrete: Normal and High Volume Ranges. www.CTLgroup.com

[10]-Phul, A. A., Memon, M. J., Shah, S. N. R., & Sandhu, A. R. (2019). GGBS And Fly Ash Effects on Compressive Strength by Partial Replacement of Cement Concrete. Civil Engineering Journal (Iran), 5(4), 913–921. https://doi.org/10.28991/cej-2019-03091299

[11]-Mst. Mahbuba Mimi1, Al-Mamun-Or-Roshid Shakil1, & Md. Rashedul Haque1* and Md. Rafi Hasan1. (2023). Effect of addition of CaO on compressive strength of high volume fly ash concrete. International Journal of Earth Sciences and Engineering, 14(1), 2614–2619. https://doi.org/10.33736/jcest.5081.2023

[12]-Wang, X., Yao, J., Li, X., Guo, Y., Shen, A., & Pu, H. Q. (2018). Mechanical properties improvement mechanism of silica fume-modified ultrafine cement used to repair pavement microcracks. Advances in Materials Science and Engineering, 2018. https://doi.org/10.1155/2018/4898230

[13]-Chakraborty, J., & Banerjee, S. (2016). Replacement of Cement by Fly Ash in Concrete. In SSRG International Journal of Civil Engineering (SSRG-IJCE) (Vol. 3). www.internationaljournalssrg.org

[14]-Rashid Dar, S., & Mahajan, A. (2018). Effect of Silica Fume and steel fibre on concrete, A review. In International Journal of Engineering Development and Research (Vol. 6). www.ijedr.org(

[15]-Hasan, N. M. S., Sobuz, M. H. R., Khan, M. M. H., Mim, N. J., Meraz, M. M., Datta, S. D., Rana, M. J., Saha, A., Akid, A. S. M., Mehedi, M. T., Houda, M., & Sutan, N. M. (2022). Integration of Rice Husk Ash as Supplementary Cementitious Material in the Production of Sustainable High-Strength Concrete. Materials, 15(22). https://doi.org/10.3390/ma15228171

[16]-Endale, S. A., Taffese, W. Z., Vo, D. H., & Yehualaw, M. D. (2023). Rice Husk Ash in Concrete. In Sustainability (Switzerland) (Vol. 15, Issue 1). MDPI. https://doi.org/10.3390/su15010137

[17]-Zeybek, Ö., Özkılıç, Y. O., Karalar, M., Çelik, A. İ., Qaidi, S., Ahmad, J., Burduhos-Nergis, D. D., & Burduhos-Nergis, D. P. (2022). Influence of Replacing Cement with Waste Glass on Mechanical Properties of Concrete. Materials, 15(21). https://doi.org/10.3390/ma15217513

[18]-Li, G., Zhou, C., Ahmad, W., Usanova, K. I., Karelina, M., Mohamed, A. M., & Khallaf, R. (2022). Fly Ash Application as Supplementary Cementitious Material: A Review. In Materials (Vol. 15, Issue 7). MDPI. https://doi.org/10.3390/ma15072664

[19]-Lallotra, B. (2023). The impacts of a combination of Al2O3 nanoparticles with glass powder and y ash in concrete. Chandigarh University https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3043025/v1

[20]-Dobiszewska, M., Pichór, W., Tracz, T., Petrella, A., & Notarnicola, M. (2023). Effect of Glass Powder on the Cement Hydration, Microstructure and Mechanical Properties of Mortar. Technical Conference “Building Materials Engineering and Innovative Sustainable Materials”, Cracow, Poland, 40. https://doi.org/10.3390/materproc2023013040

[21]-Golewski, G. L. (2023). Combined Effect of Coal Fly Ash (CFA) and Nanosilica (nS) on the Strength Parameters and Microstructural Properties of Eco-Friendly Concrete. Energies, 16(1). https://doi.org/10.3390/en16010452

[22]-Kader, O. T., & Dawood, E. T. (2023). PERFORMANCE OF TERNARY CEMENT MORTAR USING STEEL SLAG, FLY ASH, AND METAKAOLIN. ASEAN Engineering Journal, 13(2), 125–133. https://doi.org/10.11113/aej.V13.18989

[23]-Nisa, A. U. (2023). Study on Properties of Concrete after Incorporating Waste Materials. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1110(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/1110/1/012064

Building and Environment, 43(1), 31–36. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.11.038

[41]-Yilmaz, B., & Ediz, N. (2008). The use of raw and calcined diatomite in cement production. Cement and Concrete Composites, 30(3), 202–211. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.08.003

[42]-Poon, C.-S., Azhar, S., Anson, M., & Wong, Y.-L. (2003). Performance of metakaolin concrete at elevated temperatures. Cement & Concrete Composites 25 (2003) 83–89 www.elsevier.com/locate/cemconcomp

[43]-Vizcayno, C., de Gutiérrez, R. M., Castello, R., Rodriguez, E., & Guerrero, C. E. (2010). Pozzolan obtained by mechanochemical and thermal treatments of kaolin. Applied Clay Science, 49(4), 405–413. https://doi.org/10.1016/j.clay.2009.09.008

[44]-Pu, X. (1999). Investigation on pozzolanic effect of mineral additives in cement and concrete by specific strength index. In Cement and Concrete Research (Vol. 29).

[45]-Uzal, B., & Turanli, L. (2003). Studies on blended cements containing a high volume of natural pozzolans. Cement and Concrete Research, 33(11), 1777–1781. https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00173-X

[46]-Targan, Ş., Olgun, A., Erdogan, Y., & Sevinc, V. (2003). Influence of natural pozzolan, colemanite ore waste, bottom ash, and fly ash on the properties of Portland cement. Cement and Concrete Research, 33(8), 1175–1182. https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00025-5

[47]-Agarwal, S. K. (2006). Pozzolanic activity of various siliceous materials. Cement and Concrete Research, 36(9), 1735–1739. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.025

[48]-Fajardo, G., Valdez, P., & Pacheco, J. (2009). Corrosion of steel rebar embedded in natural pozzolan based mortars exposed to chlorides. Construction and Building Materials, 23(2), 768–774. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.02.023

[49]-Rodríguez De Sensale, G. (2006). Strength development of concrete with rice-husk ash. Cement and Concrete Composites, 28(2), 158–160. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2005.09.005

[50]-Nochaiya, T., Wongkeo, W., & Chaipanich, A. (2010). Utilization of fly ash with silica fume and properties of Portland cement-fly ash-silica fume concrete. Fuel, 89(3), 768–774. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.10.003

[51]-Poon, C. S., Kou, S. C., & Lam, L. (2006). Compressive strength, chloride diffusivity and pore structure of high performance metakaolin and silica fume concrete. Construction and Building Materials, 20(10), 858–865. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.07.001

[52]-Ghrici, M., Kenai, S., & Said-Mansour, M. (2007). Mechanical properties and durability of mortar and concrete containing natural pozzolana and limestone blended cements. Cement and Concrete Composites, 29(7), 542–549. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.04.009

[53]-Feng, Q., Yamamichi, H., Shoya, M., & Sugita, S. (2004). Study on the pozzolanic properties of rice husk ash by hydrochloric acid pretreatment. Cement and Concrete Research, 34(3), 521–526. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.09.005

[54]-Mostafa, N. Y., Mohsen, Q., El-Hemaly, S. A. S., El-Korashy, S. A., & Brown, P. W. (2010). High replacements of reactive pozzolan in blended cements: Microstructure and mechanical properties. Cement and Concrete Composites, 32(5), 386–391. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.02.003

[55]-García, R., Vigil de la Villa, R., Rodríguez, O., & Frías, M. (2009). Mineral phases formation on the pozzolan/lime/water system. Applied ClayScience, 43(3–4), 331–335. https://doi.org/10.1016/j.clay.2008.09.013

[56]-Donatello, S., Tyrer, M., & Cheeseman, C. R. (2010). Comparison of test methods to assess pozzolanic activity. Cement andConcreteComposites,32(2),121–127. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.10.

[24]-Sultan, M. A., Hakim, R, & Kurniawan, d. (2023). EFEK LARUTAN ASAM TERHADAP KUAT TEKAN DAN PENYERAPAN MORTAR DENGAN BAHAN TAMBAH FLY ASH. REKAYASA SIPIL -ISSN 1978 – 5658 e-ISSN 2502 - 6348, 17.

[25]-Akhnoukh, A. (2023). Role of Fly Ash in Concrete Construction Industry. https://doi.org/10.20944/preprints202301.0429.v1

[26]-Pawar M M Magdum, L. U. (2018). Effect of Granulated Blast Furnace Slag (GBS) Sand on Strength and Durability of Concrete. In IJSTE-International Journal of Science Technology & Engineering | (Vol. 5, Issue 3). www.ijste.org

[27]-Pandey, R. K., Kumar, A., & Khan, M. A. (2016). Effect of Ground Granulated Blast Furnace Slag as Partial Cement Replacement on Strength and Durability of Concrete: A Review. International Research Journal of Engineering and Technology. www.irjet.net

[28]-Kathiresan, K., & Krishnaraja, A. R. (2022). Development of Eco Friendly Cement Concrete Using Ground Granulated Blast Furnace Slag. Polish Journal of Environmental Studies, 31(4), 3627–3632. https://doi.org/10.15244/pjoes/144662

[29]-Amin, M., Tayeh, B. A., Kandil, M. A., Agwa, I. S., & Abdelmagied, M. F. (2022). Effect of rice straw ash and palm leaf ash on the properties of ultrahigh-performance concrete. Case Studies in Construction Materials, 17. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01266

[30]-Choudhary, N., Safdari, M., & Pahwa, S. (2022). EFFECT OF GLASS POWDER AND RICE HUSK ASH ON CONCRETE PROPERTIES. International Research Journal of Engineering and Technology. www.irjet.net

[31]-Hardjasaputra, H., Fernando, I., Indrajaya, J., Cornelia, M., & Rachmansyah. (2018). The Effect of Using Palm Kernel Shell Ash and Rice Husk Ash on Geopolymer Concrete. MATEC Web of Conferences, 251. https://doi.org/10.1051/matecconf/201825101044

[32]-Prof. Vishal S. Ghutke, & Prof. Pranita S.Bhandari. (2014). Influence of silica fume on concrete. International Conference on Advances in Engineering & Technology , 44–47.

[33]-Turanli, L., Uzal, B., & Bektas, F. (2004). Effect of material characteristics on the properties of blended cements containing high volumes of natural pozzolans. Cement and Concrete Research, 34(12), 2277–2282. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.04.011

[34]-Langan, B. W., Weng, K., & Ward, M. A. (2002 C.E.). Effect of silica fume and fly ash on heat of hydration of Portland cement . Cement and Concrete Research 32 (2002) 1045–1051

[35]-Arikan, M., Sobolev, K., Ertün, T., Yeğinobali, A., & Turker, P. (2009). Properties of blended cements with thermally activated kaolin.Construction and Building Materials, 23(1), 62–70. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.02.008

[36]-Kaid, N., Cyr, M., Julien, S., & Khelafi, H. (2009). Durability of concrete containing a natural pozzolan as defined by a performance-based approach. Construction and Building Materials, 23(12), 3457–3467. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.08.002

[37]-Mertens, G., Snellings, R., van Balen, K., Bicer-Simsir, B., Verlooy, P., & Elsen, J. (2009). Pozzolanic reactions of common natural zeolites with lime and parameters affecting their reactivity. Cement and Concrete Research, 39(3), 233–240. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.11.008

[38]-Atiş, C. D., Özcan, F., Kiliç, A., Karahan, O., Bilim, C., & Severcan, M. H. (2005). Influence of dry and wet curing conditions on compressive strength of silica fume concrete. Building and Environment, 40(12), 1678–1683. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.12.005

[39]-Moropoulou, A., Bakolas, A., & Aggelakopoulou, E. (2004). Evaluation of pozzolanic activity of natural and artificial pozzolans by thermal analysis. Thermochimica Acta, 420(1-2 SPEC. ISS.), 135–140. https://doi.org/10.1016/j.tca.2003.11.059

[40]-Mouli, M., & Khelafi, H. (2008). Performance characteristics of lightweight aggregate concrete containing natural pozzolan.