Wadi AlShatti University Journal for Pure and Applied Science

مجلة جامعة وادي الشاطئ للعلوم البحتة والتطبيقية

Volume 2, No. 1, January-June 2024 Online ISSN: 3006-0877 المجلد 2، الاصدار 1، يناير- يونيو 2024

CIVIL ENGINEEING

Resistance of Geopolymer Mortar to Sulphates Attack (Using Local Pozzolana in Southern Libya)

Ebrahem Alajwad [1,*], Abdelsalam Akasha [1]

[1] Civil Engineering Dept. Engineering Faculty, Wadi Alshatti University, Brack, Libya

ARTICLE HISTORY

Received 14 March 2024
Revised 16 May 2024
Accepted 24 May 2024
Online 27 May 2024

KEYWORDS

Geopolymer mortar;
Local pozzolana;
Sulfate attack;
Compressive strength resistance.

ABSTRACT

Sulfate attack is one of the causes that lead to deterioration and damage of concrete structures worldwide. Therefore, resistance to sulfate attack is an important concern for the durability and quality of construction materials. Various samples of geopolymer cement and ordinary Portland cement (OPC) were manufactured to evaluate their resistance to sodium sulfate attack. This paper studied the extent of resistance achieved by geopolymer mortar using locally sourced pozzolana from the Sabha region against sodium sulfate attack and compared it with ordinary Portland cement. The specimens were immersed in a 10% sodium sulfate solution for a duration of up to 120 days. The evaluation was based on measuring the effect of the sulfate solution on the compressive strength of the geopolymer mortar cubes and comparing them with ordinary cement mortar. The results indicated that the geopolymer cement samples exhibited higher resistance to sulfates compared to ordinary cement samples under the same conditions and concentration. Overall, the geopolymer cement materials performed better in the sodium sulfate solution compared to ordinary Portland cement (OPC).

دراسة مقاومة المونة الجيوبوليميرية لهجوم الكبريتات (باستخدام البوزولانا المحلية)

إبراهيم الأجواد [1]، عبدالسلام عكاشة [1]

الكلمات المفتاحية

المونة الجيوبوليميرية
البوزولانا المحلية
هجوم الكبريتات
مقاومة ضغط

الملخص

هجوم الكبريتات هو أحد الأسباب التي تتسبب في تدهور وتلف الهياكل الخرسانية في جميع أنحاء العالم. وبالتالي، فإن مقاومة هجوم الكبريتات هي مسألة مهمة للمتانة و جودة المواد المستخدمة في البناء. تم تصنيع عينات مختلفة من الأسمنت الجيوبوليمري والأسمنت العادي لتقييم مقاومة كبريتات الصوديوم. درست هذه الورقة مدى مقاومة المونة الجيوبوليميرية المتحصل عليها بأستخدام البوزولانا المحلية من منطقة سبها لهجوم كبريتات اللصوديوم وقامت بمقارنة بين الأسمنت العادي ومواد الأسمنت الجيوبوليمري . تمت غمر العينات في محلول كبريتات الصوديوم بتركيز 10٪ لمدة تصل إلى 120 يوماً. وقد تم التقييم من خلال قياس تأثير محلول الكبريتات على مقاومة الضغط لمكعبات المونة الجيوبوليميرية ومقارنتها بالمونة الأسمنتية العادية . أشارت النتائج إلى أن عينات الأسمنت الجيوبوليمري أكثر مقاومة للكبريتات من عينات الأسمنت العادي عند نفس الظروف ونفس التركيز . بشكل عام، حققت مواد الأسمنت الجيوبوليمري أداءً أفضل في محلول كبريتات الصوديوم مقارنة بالأسمنت العادي.

المقدمة

نمت صناعة الخرسانة بشكل كبير في السنوات الأخيرة. وستستمر في النمو نتيجة للتنمية الحضرية المستمرة. وبذلك تعتبر الخرسانة هي المادة الرئيسية لبناء المباني. تتكون من الإسمنت كتكوين رئيسي لها. ومع ذلك، تسببت صناعات الإسمنت في مشكلة بيئية بسبب انبعاث ثاني أكسيد الكربون الهائل. في عام 1995، بلغ الإنتاج العالمي لأسمنت بورتلاند العادي حوالي 1,4 مليار طن، مما أدى إلى انبعاث حوالي 1,4 مليار طن من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي حيث شكل هذا الرقم ما يصل إلى 7٪ من غازات الاحتباس الحراري المنبعثة إلى الغلاف الجوي .

أجبرت عيوب الخرسانة المذكورة سابقاً الباحثين على إيجاد روابط جديدة كبديل للخرسانة الإسمنت التقليدية بحيث يمكن الحصول على أفضل وأقل طاقة ومواد خام تستهلك مع انبعاثات أقل من غازات الاحتباس الحراري.

الآن، أحد أهم مواد الربط الجديدة هو الأسمنت الجيوبوليمري.

خرسانة الجيوبوليمر هي مادة بناء مبتكرة وَصديقة للبيئة وَبديل لِخرسانة الأسمنت البورتلاندي. يقلّل استخدام الجيوبوليمر من الطلب على الأسمنت البورتلاندي المسؤول عن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالية. الجيوبوليمر هو الاسم الذي أطلقه المهندس (Daidovits) في عام 1978 على المواد التي تتميز بالسلاسل أو الشبكات أو الجزيئات غير العضوية. تصنع خرسانة الجيوبوليمرية من استخدام مصادر طبيعية مثل الطين المحروق (الكولين) او مواد النفايات مثل الرماد المتطاير وخبث أفران الصهر المحبب[4]..

*Corresponding author: ib.alajwad@wau.edu.ly

الكاولين هو مادة خام بيضاء تتكون بشكل أساسي من طين أبيض ناعم الحبيبات. يتكون الكاولين من معدن الطين المسمى الكاولينيت، والذي يتكون من طبقات من وحدات السيليكون والألومنيوم والأكسجين. الكاولين مادة غير عضوية، وتتميز بسهولة الاستخلاص والتكرير، مما يجعلها مثالية لمجموعة متنوعة من التطبيقات الصناعية. الميتاكاولين هو مادة صلبة بلورية تتكون من أكسيد السيليكون (SiO2) وأكسيد الألومنيوم (Al2O3). ينتج الميتاكاولين [8]. عندما يتم حرق الكاولين في درجات حرارة عالية. يؤدي الحرق إلى تحويل الكاولين إلى ميتاكاولين، والذي له خصائص رابطة أقوى من الكاولين وهو المستخدم في هذه الدراسة .

يسبب هجوم الكبريتات خسائر بمليارات الدولارات في الأضرار المتسببة للخرسانة، مثل منشآت جمع ومعالجة المياه العادمة في جميع أنحاء العالم [3]. وبالتالي فإن دراسة آلية حدوث هذه الظاهرة وتخفيفها وحماية الهياكل خلال فترة عمرها ضرورية بشكل حاسم. هجوم الكبريتات هو عملية تحلل تقوم فيها أيونات الكبريتات بتأثير علي مكونات معجون الأسمنت. تسبب الأملاح المحتوية على الكبريتات القابلة للذوبان في الماء مثل التربة القلوية (الكالسيوم والمغنيسيوم) والكبريتات القلوية (الصوديوم والبوتاسيوم)، والتي تتفاعل كيميائياً مع المكونات الخرسانية، يمكن أن يتخذ هجوم الكبريتات على الخرسانة عدة أشكال، اعتمادًا على النوع الكيميائي للكبريتات وتعرض الخرسانة للبيئة [2].

أهمية البحث

تدخل هذه الدراسة من ضمن مجموعة من الأبحاث التي يجريها فريق تطوير الخرسانة بأستخدام البوزولانا المحلية بقسم الهندسة المدنية كلية الهندسة جامعة وادي الشاطئ والتي تهدف لدارسة أمكانية أستخدام المواد الخام المحلية كبدائل أو مضافات للخرسانة العادية حيث تهتم هذه الورقة بدارسة مدى مقاومة الخرسانة الجيوبوليمرية بأستخدام بوزولانا من منطقة سبها لهجوم الكبريتات عن طريق تعريضها لمحلول كبريتات الصوديوم معملياً.

المواد المستخدمة

• البوزولانا: (الطين) المستخرج من منطقة سبها بالجنوب الليبي بعد الحرق والتي تلبي متطلبات البوزولانا الطبيعية وفقاً للمواصفة (ASTM (C618.

جدول (1) يبين نتيجة التحليل الكيميائي للبوزولانا

SO_3	P_2O_5	TiO_2	Na_2O	K_2O	MgO	CaO	Fe2O3	Al_2O_3	SiO_2	Oxide (%)
0.971	-	5.2	-	0.533	<0.0001	1.08	2.87	29.4	58.3	البوزولانا (سبها)

جدول (2) يبين المتطلبات الكيميائية وفق المواصفة ASTM C618 ومقارنتها مع البوزولان المستخدم

(SiO2) +(Al2O3) + (Fe2O3) min, %	70.0	87.7
(SO3), max, %	4.0	0.971
Moisture content, max, %	3.0	1.94
Loss on ignition, max, %	10.0	4.98

• الركام الناعم: الرمل الطبيعي من منطقة زلاف كركام ناعم حسب المواصفات كركام ناعم في خلاطات المونة [2].

• ماء الخلط: ماء الشرب العادي في جميع خلطات المونة وكماء إضافي في خلطات المونة الجيوبوليميرية للمعالجة بعد ذلك بالنسبة للمونة الاسمنتية [3].

جدول (3) يبين التركيب الكيميائي للماء

الاملاح الذائبة (mg/l)	الكلوريدات (mg/l)	الكبريتات (mg/l)	مجموع الكربونات والبيكربونات (mg/l)	ايون الهيدروجين
120	21.4	12.9	32.3	7

• المنشطات القلوية: تم استخدام المنشطات المطلوبة لإكمال عملية البلمرة وهو محلول سيليكات الصوديوم (SiO2/Na2O) وهيدروكسيد الصوديوم (NaOH) مع ماء مقطر بنسبة 2.5 من وزن البوزولانا بتركيز 20 مولارية.

• اسمنت العادي: أسمنت زليتن المصنع في ليبيا (شركة الاتحاد العربي للمقاولات) لصناعة الخلطة المرجعية للمقارنة [1].

جدول (4) يبين نتيجة التحليل الكيميائي للإسمنت

SO_3	P_2O_5	TiO_2	Na_2O	K_2O	MgO	CaO	Fe2O3	Al_2O_3	SiO_2	Oxide (%)
4.41	0.136	0.392	-	0.459	-	64.4	4.78	5.4	18.9	الاسمنت

• كبريتات الصوديوم :تم استخدام كبريتات الصوديوم المجففة بخسارة الاحتراق ≤ 0.5٪ والتحليل الحمضي ≤ 99.0٪. ووفقًا لمعيار ASTM C 1012 لتحديد محتوى الماء في كبريتات الصوديوم , حيث كان محتوى الماء في كبريتات الصوديوم (بالنسبة المئوية) يتراوح من 1.0٪ إلى 6.0٪ .

الشكل 1: أمثلة التدهور بعض العناصر الخرسانية بسبب الكبريتات

البرنامج العملي

أولا: مرحلة جلب عينة (البوزلانا تمت عملية جلب العينة من موقع في مدينة سبها.

ثانيا: مرحلة حرق العينات (البوزلانا) تم حرق العينة بواسطة الفرن الكهربائي في معمل تكنولوجيا الخرسانة بقسم الهندسة المدنية بدرجة حرارة تصل إلى 800 مئوية لمدة ساعتين.

ثالثاً: مرحلة طحن العينة (البوزلانا) تم طحن العينة وتمريرها من منخل رقم 170 (90 ميكرو متر) وبعد ذلك يتم تعبئة العينة في أكياس بلاستيكية ويتم إغلاقها جيدا وحفظها بعيدا عن الرطوبة.

رابعا: مرحلة اعتماد الخلطات (البوزلانا). تم عمل عدد من الخلطات التجريبية وتم أعتماد خلطة بنسبة 1:3 رمل الي بوزولانا بنسبة محلول قلوي 0.6 من وزن البوزولانا مع 10% ماء أضافي ، وتم أعتماد خلطة المرجعية المكونة من 1:3 رمل الي اسمنت و بنسبة 0.4 ماء خلط من وزن الأسمنت.

خامساً: غمر مكعبات المونة في محلول كبريتات الصوديوم لأزمة مختلفة.

سادساً: تكسير المكعبات المونة (عينة الجيوبوليمر سبها) المغمورة والغير مغمورة في الكبريتات لأزمنة مختلفة ومقارنتها بالعينة المرجعية (الأسمنت) لنفس الأزمنة .

يوضح الشكل (2) صورة للعينات المستخدمه في التجربة مع جهاز أختبار مقاومة الضغط.

الشكل 2: مكعبات المونة مع جهاز أختبار مقاومة الضغط

النتائج ومناقشتها

تم إجراء اختبارات مقاومة الكبريتات وفقًا لمعيار ASTM C 1012. قبل غمر العينات في محلول الكبريتات، تم معالجة العينات في ظروف قياسية حتى تصل إلى مقاومة ضغط تبلغ 20 ميجا باسكال. تم غمر العينات التي بلغت مقاومة ضغطها 20 ميجا باسكال في محلول كبريتات الصوديوم بتركيز 50 جم/لتر، تُستخدم نتائج مقاومة الضغط لـ مكعبات الخرسانة عند عمر (120,90,60) يومًا من الغمر لتحديد نسبة انخفاض مقاومة الضغط (CSR) للمكعبات المغمورة في محلول كبريتات مقارنة بالغير مغمور عن طريق المعادلة التالية :

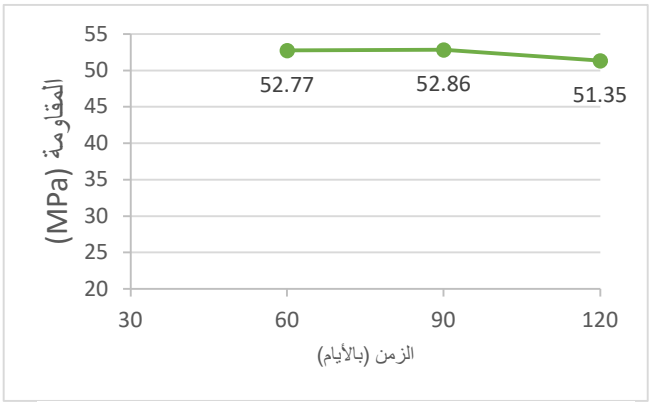
$$CSR = \frac{\sigma_m - \sigma_s}{\sigma_m} \times 100$$

حيث:

σ_m: متوسط مقاومة الضغط (بالميجا باسكال) لثلاثة مكعبات المونة الغير مغموره.

σ_s : متوسط مقاومة الضغط (بالميجا باسكال) لثلاثة مكعبات المونة مغمورة في محلول كبريتات الصوديوم 10٪.

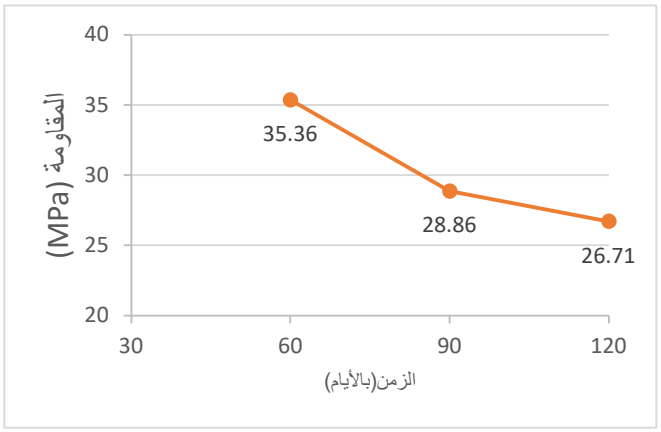
يمثل الشكل (3) مقاومة الضغط لعينة الجيوبوليمر (سبها) بعد الغمر في محلول الكبريتات لزمن يصل الي 120 يوم .



شكل (3): مقاومة الضغط لمونة الجيوبوليمر (سبها) بعد الغمر في محلول الكبريتات

من الشكل (3) نلاحظ أن المقاومة لعينة جيوبوليمر سبها استمرت بالزيادة بشكل بسيط لايكاد يذكر في الفترة بين 60 ألي 90 يوم ومن ثم قلت بمقدار 1.5 ميقاباسكال عند عمر 120 يوم ويرجع ذالك للتفاعل الناتج عن تأثير الكبريتات .

يمثل الشكل (4) مقاومة الضغط لعينة الأسمنت بعد الغمر في محلول الكبريتات لزمن يصل الي 120 يوم .



شكل (4): مقاومة الضغط للمونة الاسمنتية بعد الغمر في محلول الكبريتات

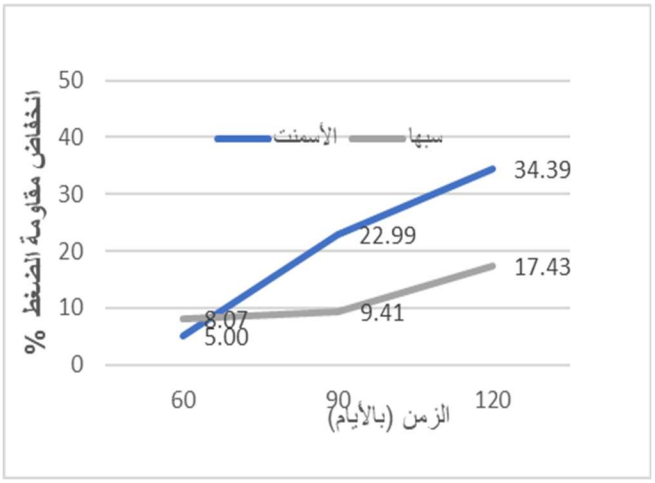
من الشكل (4) نلاحظ الأنخفاض الكبير في مقاومة الضغط بين 60 و90 يوم بالنسبة للعينة المرجعية (الأسمنت) حيث بلغ الفاقد 6.5 ميقاباسكال عند عمر 90 يوم وتستمر في الأنخفاض حتى تصل 26.71 ميقاباسكل بفارق 8.65 ميقاباسكال عن عمر 60 يوم غمر .

جدول (5) يبين نتيجة مقاومة الضغط لعينات الأختبار قبل وبعد الغمر عند نفس الزمن

S+	S	C+	C	الزمن(بالأيام)
52.77	57.40	35.36	37.22	**60**
52.86	58.35	28.86	37.48	**90**
51.35	62.19	26.71	40.71	**120**

الجدول السابق يطرح نتائج مقاومة الضغط لعينة الأسمنت (المرجعية) في الظروف العادية والموضحه بالرمز (C) والأسمنت المعرضه للكبريتات والموضحه بالرمز (C+) , ومقاومة عينة جيوبوليمر (سبها) كذالك في الظروف العادية موضحه بالرمز (S) والمعرضه للكبريتات منها موضحه بالرمز (S+).

يمثل الشكل (5) المقارنة في نسبة أنخفاض مقاومة الضغط لعينات الأختبار



شكل (5) : مقارنة نسبة انخفاض مقاومة الضغط بين خلطات المونة

من الشكل (5) نجد أن عينة جيوبوليمر سبها عانت من فقدان قوة أكثر من عينة التحكم حيث بلغت نسبة الانخفاض في مقاومة الضغط 8% لعينة سبها مقارنة ب 5% لعينة المرجعية (الأسمنت) عند عمر 60 يوم , بينما كانت نسبة الانخفاض في مقاومة الضغط عند عمر 90 يوم أكبر للعينة المرجعة مقارنة بعينة الجيوبوليمر سبها حيث كانت النسبة 23 % للعينة المرجعية و عينة سبها بنسبة 9.5% , وعند 120 يوم نلاحظ أستمرار الأنخفاض في مقاومة الضغط للعينة المرجعية حيث بلغة نسبة 34.5% وكانت بنسبة 17% لعينة سبها .

نلاحظ في العينة المرجعية تزداد نسبة الانخفاض في مقاومة الضغط مع زيادة فترة التعرض لمحلول الكبريتات نتيجة للتشقق الناتج عن التوسع في مكعب المونة بسبب تكوين الجبس والإترينجيت و/أو فقدان C-S-H, وعلى الرغم من أن الانخفاض في قوة الضغط مستمر مع زيادة مدة الغمر للعينة في محلول الكبريتات، ولكن نجد أنه أقل وبنسبة كبيرة في عينة الجيوبوليمر وبالتالي فإن عينة الجيوبوليمر كانت لديها قوة ضغط أعلى من قوة العينة المرجعية سواء مغمورة في الكبريتات أو غير مغمورة و ممايدل علي تفوق المونة الجيوبوليمرية علي مونة الأسمنت العادي .

الخلاصـــة

الهدف الأساسي من هذه الدراسة هو دراسة مقاومة هجوم الكبريتات علي المونة الجيوبوليمرية بأستخدام البوزولانا المحلية من منطقة سبها وفي ضوء النتائج التي تم التوصل إليها من هذه الدراسة يمكن استخلاص الأتي:

1-كانت مقاومة الضغط لعينات الجيوبوليمر بعد التعرض لمحلول الكبريتات أكبر بكثير مقارنتاً بالعينة المرجعية.

2-كانت نسبة الأنخفاض في مقاومة الضغط بعد التعرض لمحلول الكبريتات أعلى بمعدل الضعف تقريباً في العينة المرجعية مقارنة بعينات الجيوبوليمر.

3-لم تظهر أي علامات للتدهور الكميائي علي عينات المونة الجيوبوليمرية حتى عمر 4 أشهر.

4-بشكل عام المونة الجيوبوليمرية المتحصل عليها بأستخدام البوزولانا المحلية مقاومة بشكل ممتاز لهجوم لكبريتات الصوديوم.

التوصيات

1-بناءً على هذا البحث، تتمتع الجيوبوليمرات المتحصل عليها بأستخدام البوزولانا المحليه علي خواص ميكانيكية ومتانة ممتازة. بشكل عام، الجيوبوليمر يمتلك قوة عالية ويوفر حماية كافية ضد هجوم الكبريتات.

2-على الرغم من أن عينات الجيوبوليمر في هذه الدراسة قاومة بشكل كبير التأثير الناتج عن هجوم الكبريتات، إلا أنه من المرغوب إجراء المزيد من الاختبارات طويلة المدى لجوانب أخرى من المتانة والنفاذية لفهم مدى المقاومة الكيميائية التي يمكن أن يقدمها الجيوبوليمر بشكل كامل.

3-دراسة المزيد من أنواع البوزولانا المحلية المتوفرة بالجنوب الليبي على المونة الجيوبوليمرية ودراسة تأثير كل نوع على مقاومة الكبريتات.

4-نوصي بدراسة تأثير أنواع أخر من الكبريتات علي المونة الجيوبوليمرية مثل كبريتات المغنيسيوم وكبريتات الكلسيوم.

5-نوصي بالبدء بمعالجة المونة الجيوبوليمرية عند بعد فك القوالب مباشرة وذلك بوضعها في فرن بدرجة حرارة 90° لمدة 48 ساعة .

CRediT author statement: "Conceptualization, Akasha; methodology, formal analysis, Curated data, writing—original draft preparation, Alajwad; writing—review and editing, Akasha. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript ".
Funding: "This research received no external funding ".
Data Availability Statement: "No data were used to support this study".
Conflicts of Interest: "The authors declare that they have no conflict of interest".

المراجع

[1] عبد السلام المبروك عكاشة، الطبعة الاولى، تكنولوجيا الخرسانة، سنة النشر 2013 ، منشورات جامعة سبها-ليبيا.

[2] Jamal .M .Abdullah Ibrahim Supervisor Prof. Abdusalam M. Akasha (2017) Durability of pozzolanic mortar to sulfate attack Using Metakaolin in south of Libya.

[3] Davidovits, J. (2013). Geopolymer cement. A review. Geopolymer Institute, Technical papers, 21, 1-11.

[4] Davidovits, J. (2020). Geopolymer Chemistry and Applications. 5-th edition. J. Davidovits.–Saint-Quentin, France, 5.

[5] Albidah, A., Alghannam, M., Abbas, H., Almusallam, T., & Al-Salloum, Y. (2021). Characteristics of metakaolin-based geopolymer concrete for different mix design parameters. Journal of Materials Research and Technology, 10, 84-98.

[6] Shilar, F. A., Ganachari, S. V., Patil, V. B., & Nisar, K. S. (2022). Evaluation of structural performances of metakaolin based geopolymer concrete. Journal of Materials Research and Technology, 20, 3208-3228.

[7] Akasha, A. M., & Abdullah, J. M. (2018). Sulfate Resistance of Cement Mortar Containing Metakaolin. In Calcined Clays for Sustainable Concrete: Proceedings of the 2nd International Conference on Calcined Clays for Sustainable Concrete (pp. 8-14). Springer Netherlands.

[8] Khalil, W. I., Frayyeh, Q. J., & Abed, H. T. (2019, May). Properties of Metakaolin Based Pervious Geopolymer Concrete. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 518, No. 2, p. 022056). IOP Publishing.

[9] Pelisser, F., Silva, B. V., Menger, M. H., Frasson, B. J., Keller, T. A., Torii, A. J., & Lopez, R. H. (2018). Structural analysis of composite metakaolin-based geopolymer concrete. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, 11, 535-543.

[10] Jiao, Z., Li, X., Yu, Q., Yao, Q., & Hu, P. (2023). Sulfate resistance of class C/class F fly ash geopolymers. Journal of Materials Research and Technology, 23, 1767-1780.

[11] Kuri, J. C., Nuruzzaman, M., & Sarker, P. K. (2023). Sodium sulphate resistance of geopolymer mortar produced using ground ferronickel slag with fly ash. Ceramics International, 49(2), 2765-2773.

[12] Ghanem, G., Yehia, S., Mohamed, N., & Helmy, M. (2022). Effect of Sulphate Attack on Compressive Strength of Geopolymer Concrete. Int. J. Sci. Eng. Res, 13, 63-70.