The Effect of Using Recycled Aggregates on Concrete Durability Indicators (Acid Attack and Salt Immersion)

Dr. Ali KHEIRBEK*
Dr. Bassam HASSAN**
Basel ASLAN***

(Received 5 / 1 / 2023. Accepted 20 / 3 / 2023)

□ ABSTRACT □

The issue of recycling is of great importance globally, as a result of the increase in waste of all kinds, and most countries have worked on recycling industrial and natural waste in order to benefit from it again and reduce the large financial burdens resulting from the transportation and disposal operations, in addition to the cost of manufacturing these products themselves, and in recent years the reason for the size of The large rubble resulting from the demolition of buildings is the largest area for thinking about recycling these rubble with the aim of re-using them again and starting to use them in road paving works.
Preliminary results of the use of recycled aggregates gave encouraging values that made it possible to use them in concrete. The greatest concern of researchers was the ability of these recycled aggregates to perform for a long time in concrete. Previous studies indicate a decrease in the resistance values when the replacement rates are increased. As for the durability studies, they are relatively few, as they require a long time and advanced techniques to probe the structure of concrete after exposure to destructive conditions in order to determine its lifespan. From here it was necessary to study the change of the properties of this concrete with time and to study its durability under the influence of many factors such as the effect of destructive materials (acids and salts) and to measure the extent of the effect of replacing natural stones with recycled stones on the durability properties. The results of the research show good values for durability indicators of concrete manufactured using recycled aggregates compared to concrete manufactured from natural aggregates only. Durability indicators improve up to 50% replacement rate with regard to immersion in acids and chlorides solution.

Keywords: recycled aggregate**,** durability of concrete, concrete proprieties, Acid attack, Salt immersion.

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

***Professor, Department Of Management Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. E-mail : alikheirbek@ tishreen.edu.sy**
****Professor, Department Of Construction Engineering and Management – Tishreen University – Lattakia- Syria.**
***** PhD student- Department Of Construction Engineering and Management – Tishreen University – Lattakia- Syria. E-mail : basel.aslan@tishreen.edu.sy**

تأثير استخدام الحصويات المعاد تدويرها على مؤشرات ديمومة البيتون (هجوم الأحماض والغمر بالأملاح)

د. علي خيربك*

د. بسام حسن**

باسل أصلان***

(تاريخ الإيداع 5 / 1 / 2023. قُبِل للنشر في 20/ 3 / 2023)

□ ملخّص □

يتصدر موضوع إعادة التدوير أهمية كبرى عالمياً وذلك نتيجة ازدياد المخلفات بجميع أنواعها وعملت معظم الدول على إعادة التدوير للمخلفات الصناعية والطبيعية بهدف الاستفادة منها من جديد وتخفيف الأعباء المادية الكبيرة الناتجة عن عمليات الترحيل والتخلص منها وبالإضافة إلى كلفة تصنيع هذه المنتجات نفسها، وفي الأعوام الأخيرة سبب حجم الأنقاض الكبير والناتج عن عمليات الهدم للأبنية المجال الأكبر للتفكير بإعادة تدوير هذه الأنقاض بهدف إعادة الاستفادة منها من جديد وبدأ استخدامها في أعمال الرصف الطرقي.

أعطت النتائج الأولية لاستخدام الحصويات المعاد تدويرها قيماً مشجعة جعلت من إمكانية استخدامها في البيتون أمراً ممكناً وكان الهاجس الأكبر عند الباحثين قدرة هذه الحصويات المعاد تدويرها على الأداء لفترة طويلة في البيتون. تشير الدراسات السابقة إلى تدني قيم المقاومة عند زيادة نسب الاستبدال، أما دراسات الديمومة فهي قليلة نسبياً كونها تحتاج لوقت طويل و تقنيات متقدمة لسبر بنية البيتون بعد تعرضه للظروف المخربة بهدف تحديد العمر الافتراضي له. من هنا كان لا بد من دراسة تغير خصائص هذا البيتون مع الزمن و دراسة ديمومته تحت تأثير العديد من العوامل كتأثير المواد المخربة (الأحماض و الأملاح) و قياس مدى تأثير استبدال الحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها على خصائص الديمومة. تظهر نتائج البحث قيماً جيدة لمؤشرات ديمومة البيتون المصنع باستخدام حصويات معاد تدويرها مقارنة مع البيتون المصنع من الحصويات الطبيعية فقط. إذ تتحسن مؤشرات الديمومة حتى نسبة الاستبدال 50% و ذلك فيما يخص الغمر بالأحماض و محلول الكلوريدات.

الكلمات المفتاحية: الحصويات المعاد تدويرها، ديمومة البيتون، خصائص البيتون، هجوم الأحماض، الغمر بالأملاح.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

*أستاذ – قسم هندسة و إدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.alikheirbek@ tishreen.edu.sy

**أستاذ – قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين – سورية.

***طالب دكتوراه – قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين – سورية.basel.aslan@tishreen.edu.sy

مقدمة:

مع التطور العمراني المتلاحق والمتسارع وإشادة أبنية جديدة وبمتطلبات حديثة ظهرت مشكلة التخلص من الأنقاض الناتجة عن عمليات الهدم ، وبنظرة سريعة على بعض المكبات (مكب البصة مثلا) ، لوحظ وجود نسبة كبيرة من أنقاض المباني (البيتون والبلوك والبلاط المنزلي وغيرها) و التي لا تتحلل بالمقارنة مع النفايات العضوية التي تنحل بالماء أو بالهواء. كل هذا يجعل التفكير بمنهجية معينة للتخلص من هذه الأنقاض بحيث تكون صالحة للاستخدام في الأعمال الهندسية أمراً في غاية الأهمية ومجالاً مساعداً للحفاظ على بيئة نظيفة ، مما دفع الكثير من دول العالم للبحث عن آليات معينة للاستفادة من هذه الأنقاض وتحويلها إلى مواد يمكن الاستفادة منها بدلاً من أن تكون السبب في العديد من المشاكل على مختلف الأصعدة.

ولمواكبة الأبحاث العالمية في هذا المجال قام الباحث بدراسة إمكانية استخدام الحصويات المعاد تدويرها لفترة طويلة في البيتون ودراسة مؤشرات ديمومة البيتون تحت تأثير هجوم الأحماض والغمر بالأملاح، وتم الحصول على المواد الأولية المستخدمة في هذا البحث من إحدى رخص الهدم الممنوحة من قبل مجلس مدينة اللاذقية. وتم نقلها إلى مخبر تجريب المواد في جامعة تشرين تمت معالجتها يدوياً وآلياً وتحويلها إلى حصويات بأحجام مناسبة تستخدم لصنع عينات بيتونية بنسب استبدال مختلفة ومن ثم إجراء اختبارات الديمومة على هذه العينات.

1. آليات وأسباب تآكل وتخرب البيتون:

1-2 أسباب داخلية:

وهى الناتجة عن المواد الداخلة في عملية تصنيع البيتون أو وجود مواد ملوثة بها مثل السيليكا النشطة أو الطين أو وجود أملاح ضارة بهذه المكونات كل ذلك يؤدي الى تفاعلات تعمل على تخرب البيتون.

2-2: أسباب خارجية:

وهي الناتجة عن الوسط المحيط بالبيتون مثل:

a) تعرض البيتون لهجوم كيميائي كالتعرض للكبريتات و الكلوريدات.
b) تخرب البيتون الناتج عن تعرضه لماء البحر مياه المجاري.
c) التأثر بالمخلفات الصناعية والتي تحتوي على مواد تخرب بنية البيتون.

3-2: أسباب أخرى:

a) درجة حرارة المياه الجوفية.
b) تذبذب منسوب المياه الجوفية.
c) التبخر على سطح البيتون.
d) التأكسد و الكربنة.[6]

2. هجوم الأملاح والكبريتات:

1-3 الأملاح:

إن مهاجمة أملاح الكبريتات للبيتون تعد من أخطر المشاكل التي تؤثر على ديمومة البيتون حيث تعمل الأملاح على تخريب البيتون وتآكله ومصدرها إما خارجي من المياه السطحية أو من التربة المحيطة بالبيتون أو داخليه مصدرها المواد الداخلة في صناعة البيتون من اسمنت وماء وإضافات وهذه الأملاح إما أملاح كبريتات الكالسيوم أو أملاح

كبريتات المغنيزيوم أو كبريتات الصوديوم حيث تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الموجود في العجينة الإسمنتية و الومينات ثلاثي الكالسيوم المائية مكونة الجبس وسيلفو-الومينات الكالسيوم وفق المعادلات التالية[2]:

$$Ca(OH)_2+Na_2SO_4\ 1OH_2O\rightarrow CaSO_4\ 2H_2O+2NaOH\ 8H_2O$$

وتتفاعل كبريتات الكالسيوم مع الومينات الكالسيوم الكبريتية المائية وفق المعادلة:

$$4CaO\ AL2O3\ 19H2O+3(CaSO4\ 2H2O)+16H2O\rightarrow 3CaO\ AL2O3\ 3CaSO4\ 32H2O+Ca(OH)2$$

وتكون هذه المركبات بحجم أكبر من حجمها قبل التفاعل لذلك فإن التفاعلات مع الكبريتات تولد إجهادات شد في العجينة الاسمنتية المترابطة لذلك يظهر البيتون المتعرض لهجوم من قبل الكبريتات باللون المائل للبياض ويبدأ عادة بالحواف ويتبعه تشققات متزايدة في البيتون تؤدي إلى هشاشته حيث يتعرض البيتون إلى عوامل خارجية وخصوصاً في المناطق الساحلية والتي تعمل على تغلغل الأملاح بشكل أسرع للعناصر البيتونية وذلك من خلال الرطوبة والتي تتفاعل مع مكونات البيتون مكونة مواداً جديدة أكبر حجماً من الأصلية والتي لا تملك الصفة الالتصاقية توجد علاقة قوية بين مقاومة البيتون للكبريتات ومحتواه من الومينات ثلاثي الكالسيوم C3A مما يجعلها أكثر عرضة لهجوم الكبريتات كما توجد علاقة من حيث تصميم خلطة تكون أكثر اكتنازاً وأقل نفوذية وهذا يخفف من تغلغل الكبريتات إلى البيتون ويبين الشكل التالي البيتون المتعرض لهجوم الكبريتات.

ويبين الشكل (1) هجوم الأملاح على البيتون والذي يظهر باللون الأبيض:

الشكل (1) هجوم الأملاح على البيتون

3-2 الأحماض:

إذا تواجد ثاني أكسيد الكربون أو ثاني أكسيد الكبريت في ظروف جوية رطبة أو أية أبخرة حامضية أخرى فإنها تهاجم البيتون تزيل جزءاً من الإسمنت وتكون طبقة لينة تسهل إزالتها من سطح البيتون وعموماً فإن الأحماض غير العضوية تؤثر تأثيراً شديداً على البيتون حيث تتفاعل مع الجير الحر مكونة كلوريدات وكبريتات ونترات وتتوقف شدة التأثير على مدى ذوبان تلك المركبات في الماء وعلى تركيز تلك الأحماض وعلى سرعة التفاعل التي تزداد إذا كانت الأحماض ساخنة وتعتبر الكلوريدات أكثر المواد التي تدمر طبقة الحماية لحديد التسليح وهذه الكلوريدات ممكن أن تكون موجودة في البيتون من لحظة تشكيل الخلطة ومصدرها ماء الخلط أو الركام وغيرها إما أن تكون من مصدر خارجي (مياه البحر _ المياه الجوفية) حيث تقوم الجزيئات الحرة من الكلوريدات الموجودة في الماء بمهاجمة حديد التسليح مسببة

الصدأ له إن التفاعلات الكيميائية في هذه الحالة تكون معقدة جداً ولوحظ في معظم المواصفات العالمية تقليل القيم المسموح بها لتركيز الكلوريدات في البيتون ومنع تغلغل الكلوريدات في البيتون يعتمد أساساً على عدم نفاذية البيتون وعلى سماكة الغطاء لحديد التسليح.[8]

قام الباحثون Layachi Berredjem ,Nourredine Arabi ببحث علمي بعنوان " **الخواص الميكانيكية وديمومة البيتون المصنع من حصويات البيتون المعاد تدويرها**" وتقوم الطريقة التجريبية على مقارنة المقاومات الميكانيكية على المدى البعيد وذلك لعينات البيتون المحفوظ في ثلاثة انواع من المحاليل (ماء الشرب – مياه خاليه من المعادن – مياه شديدة الملوحة) وذلك لحساب مؤشرات الديمومة وهي المسامية و النفاذية و رشح نترات الامونيوم بتركيزين ضعيف وقوي.

ويوضح الشكل (2) بأن المقاومة على الضغط البسيط لبيتون الحصويات المعاد تدويرها هي اقل من مقاومة البيتون الطبيعي، وهي تتعلق بشدة الاستطاعة الميكانيكية للبحص ويبلغ انخفاض المقاومة 6.5% للبيتون B3 (رمل طبيعي وحصويات معاد تدويرها) و 12% للبيتون B4 (رمل معاد تدويره وحصويات معاد تدويرها) .

حيث:

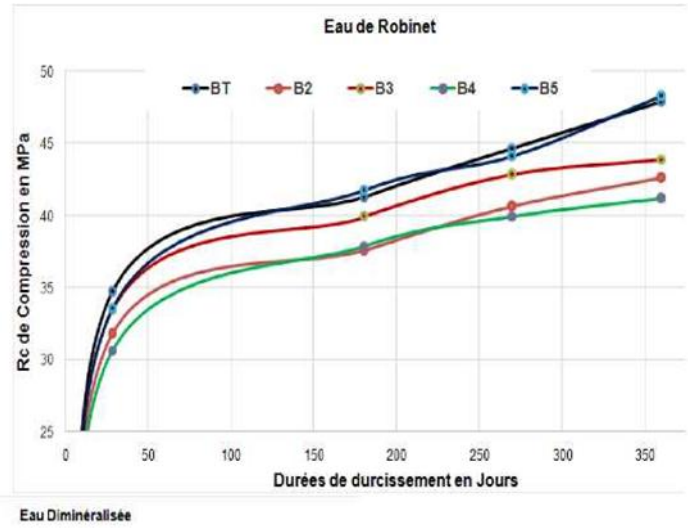
BT: البيتون الشاهد رمل طبيعي وحصويات طبيعية.

B2: يتكون من رمل معاد تدويره وحصويات طبيعية.

B3: يتكون من رمل طبيعي وحصويات معاد تدويرها.

B4: يتكون من رمل معاد تدويره وحصويات معاد تدويرها.

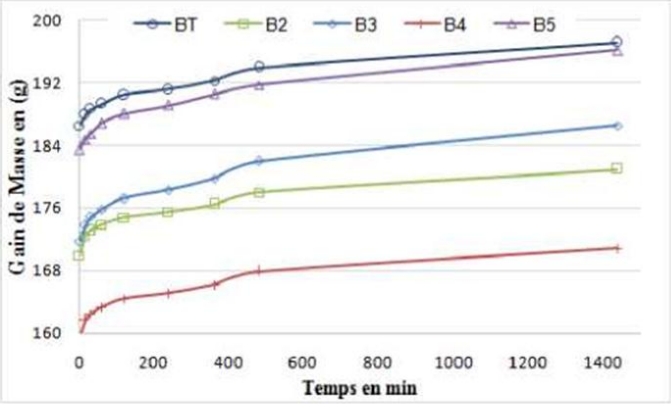
B5: يتكون من رمل طبيعي و75 % حصويات طبيعية و25 %حصويات معاد تدويرها.



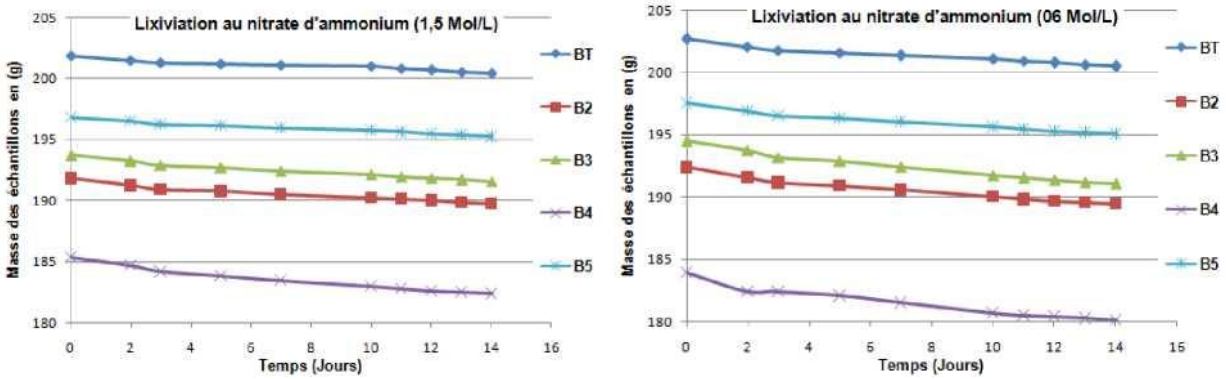
الشكل (2) العلاقة بين المقاومة على الضغط البسيط ونسب الاستبدال بالمحاليل المختلفة

ويبين الشكل (3) بأن الامتصاص الشعري للماء لجميع عينات البيتون متشابه وأن الشكل (4) يبين تغير الكتلة منذ الساعة الاولى وخاصة بالنسبة لبيتون الرمل المعاد تدويره بيتون (B2 و B4) . وهذا يعود لنوعية الرمل المعاد تدويره الذي يحتوي على خلطة اسمنتية ذات مسامات والتي تضم جزء كبير من الاشكال الناعمة على اثر استخدام كسارة فكية وأن الامتصاص بالنسبة لعينات البيتون الشاهد او النموذجي BT هو مشابه لامتصاص البيتون B5 وإن أعلى

قيم لوحظت عند منحني B3 المكون من الحصويات المعاد تدويرها والرمل الطبيعي يعود ربما للنسبة العالية للحبيبات الناعمة في الرمل.



الشكل (3) الامتصاص الشعري للماء بحسب الزمن



الشكل (4) مقارنة بين فقدان كتلة البيتون بحسب الزمن بتركيزين للحمض

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير استبدال الحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها على مؤشرات ديمومة البيتون، ومن أهم مؤشرات الديمومة تأثير الأحماض والأملاح.

أما الأهمية فتكمن في النقاط الرئيسية التالية :

- دراسة إمكانية استخدام الحصويات المعاد تدويرها لفترة طويلة في صناعة البيتون.
- دراسة مؤشرات ديمومة البيتون المصنع من الحصويات المعاد تدويرها تحت تأثير الهجوم الحامضي والغمر بالأملاح.

طرائق البحث ومواده:

اعتمد البحث المنهجية التجريبية فيما يتعلق بدراسة الأنقاض و عينات البيتون المصنعة من الحصويات المعاد تدويرها، و المنهجية التحليلية و الرياضية لدراسة تغير مؤشرات الديمومة مع نسب استبدال الحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها.

أما خطوات العمل فيمكن تقسيمها إلى المراحل التالية:

- الحصول على الأنقاض ومعالجتها مخبرياً.
- توصيف الحصويات الطبيعية والحصويات المعاد تدويرها .
- صناعة النماذج المخبرية من البيتون.
- إجراء اختبارات الديمومة على عينات البيتون لقياس تأثر ديمومة البيتون بتغير نسبة الاستبدال.
- تحليل و مناقشة النتائج.

قمنا لهذا الغرض بإخضاع العينات البيتونية من جميع الخلطات لاختبار ديمومة مسرع عن طريق غمر العينات المتصلبة بعد بلوغها العمر 28 يوم بمحلول ملحي تركيزه 15% وذلك لمدة 90 يوم، لنقوم بعدها بإخراج العينات من المحلول ودراسة خصائصها الميكانيكية (المقاومة على الضغط البسيط – فقدان الكتلة) ومقارنة ذلك مع العينات السليمة. وبالإضافة لذلك قمنا بغمر عينات بعد بلوغها العمر 28 يوم بمحلول من حمض الكبريت الممدد بالماء بنسبة 3% وذلك لمدة 90 يوم ولنقوم بعدها بإخراج العينات من المحلول ودراسة خصائصها الميكانيكية (المقاومة على الضغط البسيط – فقدان الكتلة) ومقارنة ذلك مع العينات السليمة.

1-5 الإحضارات:

تم الحصول على الأنقاض من إحدى رخص الهدم الممنوحة من قبل مجلس مدينة اللاذقية في حي السجن والتي اشتملت على بقايا هدم بيتونية وسيراميك إضافة إلى البلاط المنزلي و البلوك. يبين الجدول رقم (1) نتائج قياس الأوزان الحجمية الصلبة و الظاهرية و قيم معامل الاهتراء لوس أنجلوس و قيم التشرب الأقصى بالماء للحصويات الطبيعية والحصويات المعاد تدويرها المستخدمة في صناعة نماذج مكعبات البيتون[1] :

الجدول 1: نتائج قياس الكتلة الحجمية الظاهرية والصلبة والاهتراء و التشرب الأقصى بالماء لمختلف الحصويات

العينة	الوزن الحجمي الظاهري kg/l	الوزن الحجمي الصلب kg/l	لوس أنجلس %	التشرب%
نواتج هدم البيتون	1.20	2.33	29.32	7.80
نواتج هدم السراميك	1.02	2.25	39.28	11
نواتج هدم البلاط	1.15	2.29	43.40	12.40
نواتج هدم البلوك	1.05	2.27	43.20	9.28
مزيج نواتج الهدم	1.30	2.47	41.60	9
البحص الطبيعي	1.41	2.73	21	3.30
الرمل الناعم	1.49	2.73		
الرمل الخشن	1.34	2.44		

أما قيم المكافئ الرملي لنوعي الرمل المستخدمين فكانت 88% للرمل الناعم ومصدره من النبك و 77% للرمل الخشن ومصدره مجرى نهر الكبير الشمالي.

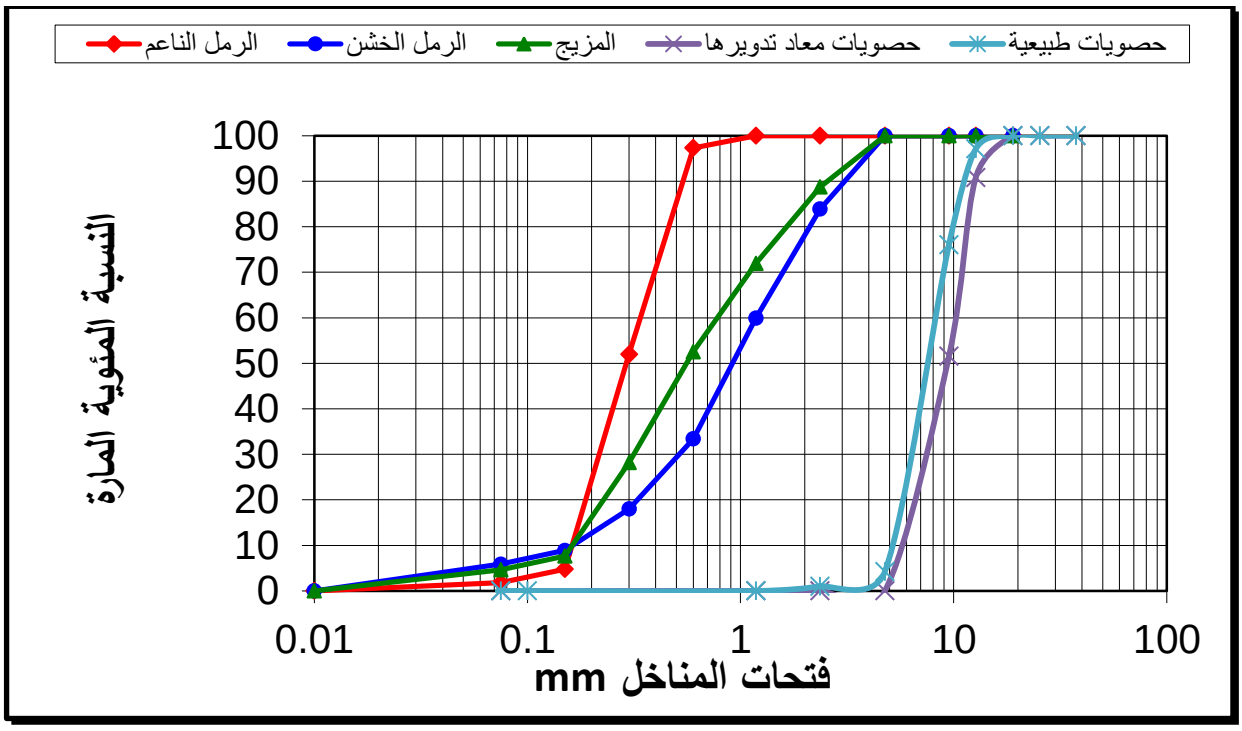
استخدم في صب البيتون إسمنت بورتلاندي عادي من النوع 1 و الصنف 32.5 من معمل طرطوس.

وتم استخدام ملح كلوريد الصوديوم الممدد بالماء بنسبة 15% واستخدام حمض الكبريت الممدد بالماء بنسبة 3%.

2-5 تصميم الخلطة البيتونية:

تم تصميم الخلطة البيتونية بالاعتماد على الطريقة الفرنسية DREUX-GORISSE، بالخلطات التي تم صبها مع الإشارة إلى أن الرمز R100 يرمز إلى الخلطة التي استخدمت فيها الحصويات المعاد تدويرها بنسبة 100% و دون حصويات طبيعية، أما الرمز R0 فيدل على خلطة استخدمت فيها الحصويات الطبيعية بنسبة 100% و دون حصويات معاد تدويرها.

تم صب خمس خلطات بيتونية بنسب استبدال مختلفة للحصويات الطبيعية (R0,R30,R50,R100) ويبين الشكل(5) منحنيات التدرج الحبي للحصويات المستخدمة في الخلطات البيتونية.



الشكل (5) منحني التدرج الحبي الخاص بالحصويات المختبرة

ويبين الجدول (2) نتائج تصميم الخلطات البيتونية:

الجدول 2: نتائج تصميم الخاصة بالخلطات التي تم صبها

مكونات الخلطات الحصوية				
الخلـــــــطة	R100	R50	R30	R0
البحص الخشن الطبيعي (kg/m^3)	0	635	902.7	1301
الرمل الناعم (kg/m^3)	226	222	220	184
الرمل الخشن العدسي (kg/m^3)	523	513	509	427

الإسمنت (kg/m^3)	350	350	350	350
الماء (kg/m^3)	129.1	146.9	154.2	166
الحصويات المعاد تدويرها (kg/m^3)	1047	514	306	0
الملدنات SP90 (kg/m^3)	0	0	0	0

النتائج والمناقشة:

نستعرض فيما يلي أهم النتائج التي تم التوصل إليها بعد إجراء اختبارات الديمومة وهي قياس المقاومة المتوسطة لمكعبات البيتون وذلك وفق نسب الاستبدال المختلفة وبالإضافة لقياس المقاومة المتوسطة للعينات بعد غمرها بالأحماض لمدة 90 يوم بنسبة 3% وقياس المقاومة المتوسطة لمكعبات البيتون وذلك بعد غمرها بمحلول كلوريد الصوديوم بنسبة 15% . تمثلت عينات البيتون المتصلب بمكعبات أبعادها 10*10*10cm.

ويوضح الشكل (6) عينات البيتون المصنعة من الحصويات المعاد تدويرها بنسب استبدال مختلفة قبل الغمر بالأحماض وبعد الغمر:

الشكل (6) عينات البيتون قبل الغمر وبعد الغمر بالأحماض

بلغ عدد العينات المصبوبة من كل خلطة خمسة عشر عينة و اعتمدت في جداول النتائج التالية القيم المتوسطة لنتائج الاختبارات.

الجدول 3: نتائج اختبار الضغط البسيط للعينات البيتونية (10*10*10cm)

الخلطة	المقاومة المتوسطة (kg/cm^2)	المقاومة المتوسطة بعد الغمر بالأملاح (kg/cm^2)	المقاومة المتوسطة بعد الغمر بالأحماض (kg/cm^2)	انخفاض المقاومة % بعد الغمر بالأملاح	انخفاض المقاومة% بعد الغمر بالأحماض
Ra0	408.3	283	290	30.69	28.98
Ra30	470	410	305	12.77	35.11
Ra50	556.7	448	378	19.52	32.10
Ra100	376.7	340	278	9.73	26.19

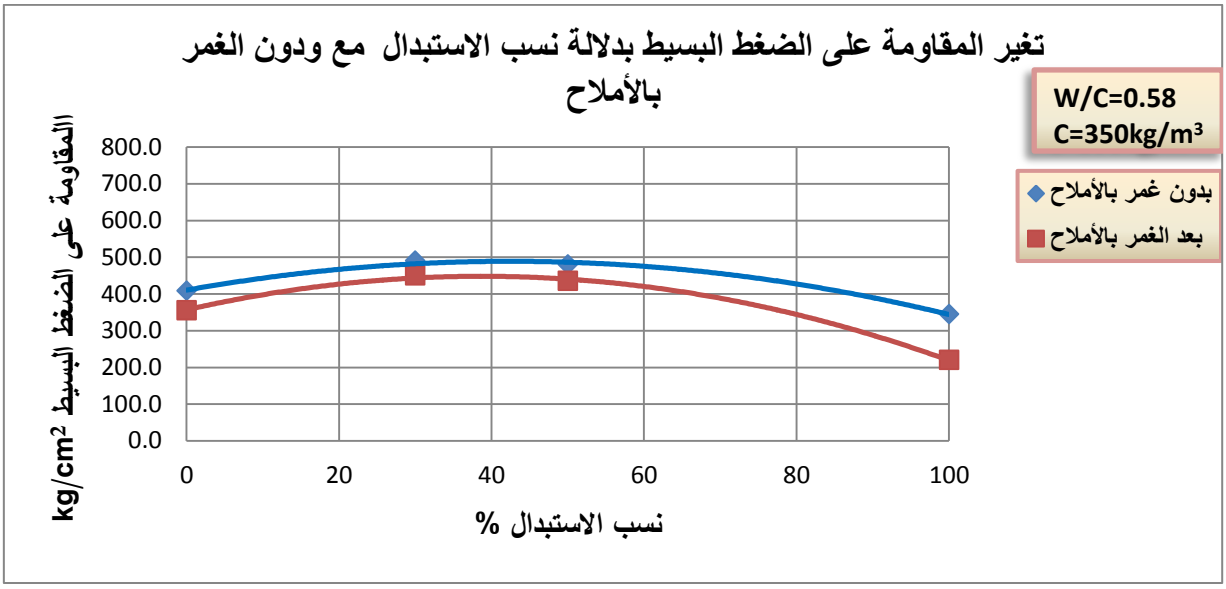
كما يبين الجدول رقم (4) المقارنة بين انخفاض الكتلة عند الغمر بالأملاح وعند الغمر بالأحماض وذلك لعينات البيتون وبنسب الاستبدال المختلفة:

الجدول4: نتائج اختبار انخفاض الكتلة للعينات البيتونية وذلك بعد غمرها بالأملاح والأحماض (10*10*10cm)

الخلطة	فاقد الكتلة بعد الغمر بالأملاح%	فاقد الكتلة بعد الغمر بالأحماض%
Ra0	0.988	1.21
Ra30	0.319	0.28
Ra50	0.369	0.37
Ra100	0.331	3.11

6-1 تأثير نسب الاستبدال على تغير المقاومة على الضغط البسيط مع و دون الغمر بالأملاح:

قمنا بتمثيل العلاقة بين المقاومة المكعبية للعينات المصبوبة (10*10*10cm) على الضغط البسيط ونسب الاستبدال وذلك على الشكل(7):

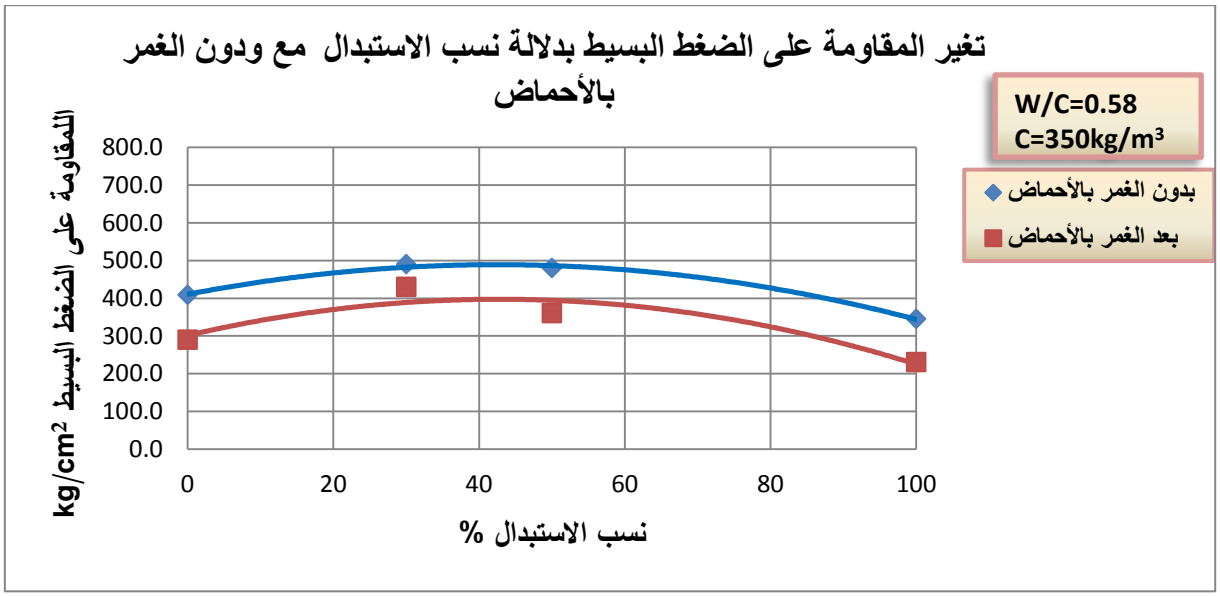


الشكل7: يمثل العلاقة بين المقاومة على الضغط البسيط ونسب الاستبدال

يبين الشكل (7) أنه عند الغمر بالأملاح كانت قيمة انخفاض المقاومة على الضغط البسيط طفيفة فعند نسبة الاستبدال 30% انخفضت من القيمة 500كغ /سم^2 إلى القيمة 450 كغ/سم^2 وعند نسبة الاستبدال 50% انخفضت من القيمة 480كغ /سم^2 إلى القيمة 430 كغ/سم^2 مما يدل ان الاستبدال قد ساهم في تحسين مؤشرات الديمومة الخاصة بمقاومة أملاح الكلوريدات باستخدام نسب الاستبدال بين 0 و 50%.

2-6 تأثير نسب الاستبدال على تغير المقاومة على الضغط البسيط مع ودون الغمر بالأحماض:

يبين الشكل(8) تأثير استبدال الحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها على مقاومة العينات على الضغط البسيط بعد غمرها بحمض الكبريت:

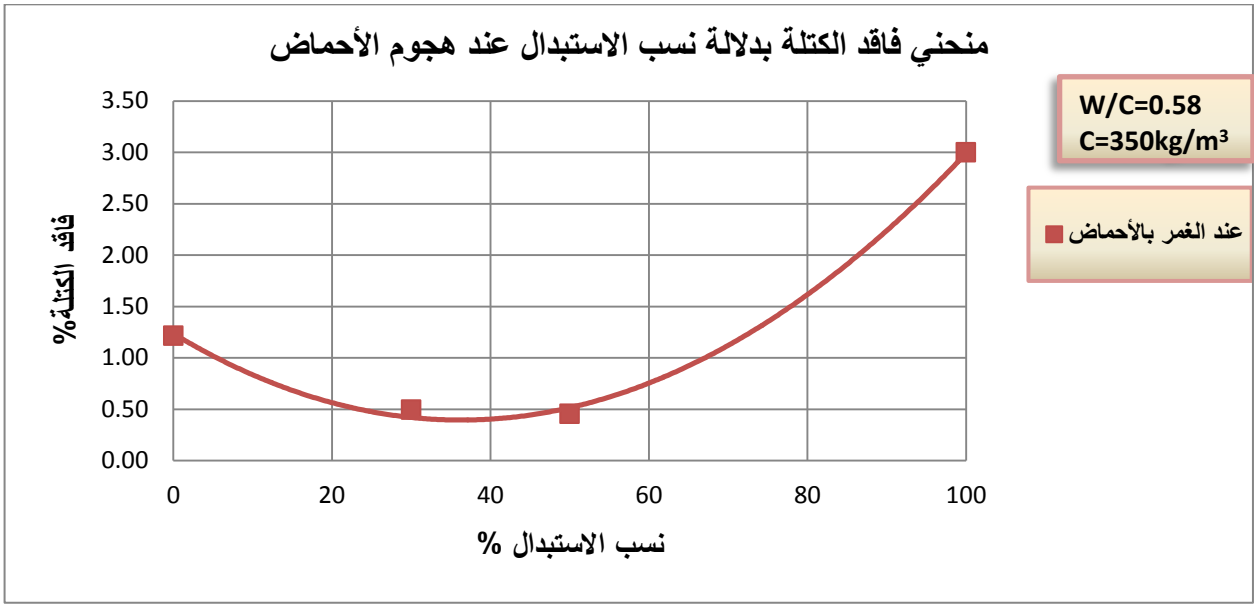


الشكل 8:العلاقة بين مقاومة العينات بعد غمرها بحمض الكبريت ونسب الاستبدال

يبين الشكل (8) أنه عند الغمر بالأحماض كان لتأثير الاستبدال على المقاومة على الضغط البسيط طفيفاً فعند نسبة الاستبدال 30% انخفضت من القيمة 500كغ /سم^2 إلى القيمة 400 كغ/سم^2 وعند نسبة الاستبدال 50% انخفضت من القيمة 480كغ /سم^2 إلى القيمة 390 كغ/سم^2 مما يدل ان الاستبدال قد ساهم في تحسين مؤشرات الديمومة الخاصة بمقاومة هجوم الأحماض باستخدام نسب الاستبدال بين 0 و 50%.

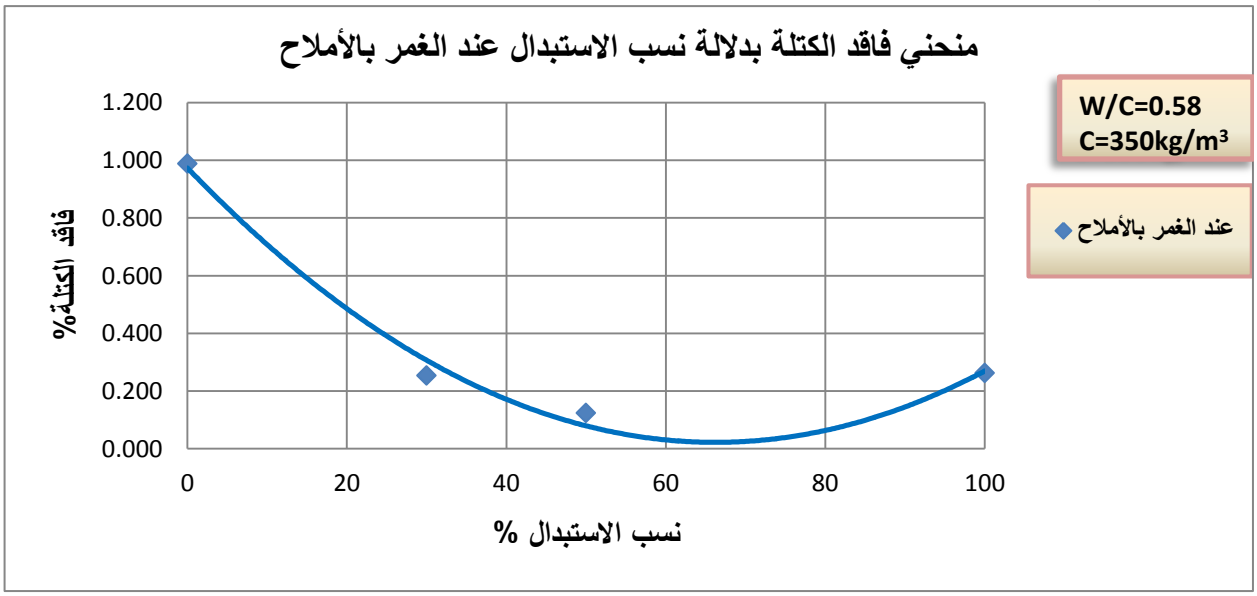
3-6 تأثير نسب الاستبدال على فقدان الكتلة عند هجوم الأحماض والغمر بالأملاح:

يبين الشكل(9) تأثير استبدال الحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها على فقدان الكتلة بعد غمرها بحمض الكبريت:



الشكل9 : العلاقة بين فقدان الكتلة للعينات عند الغمر بالأحماض

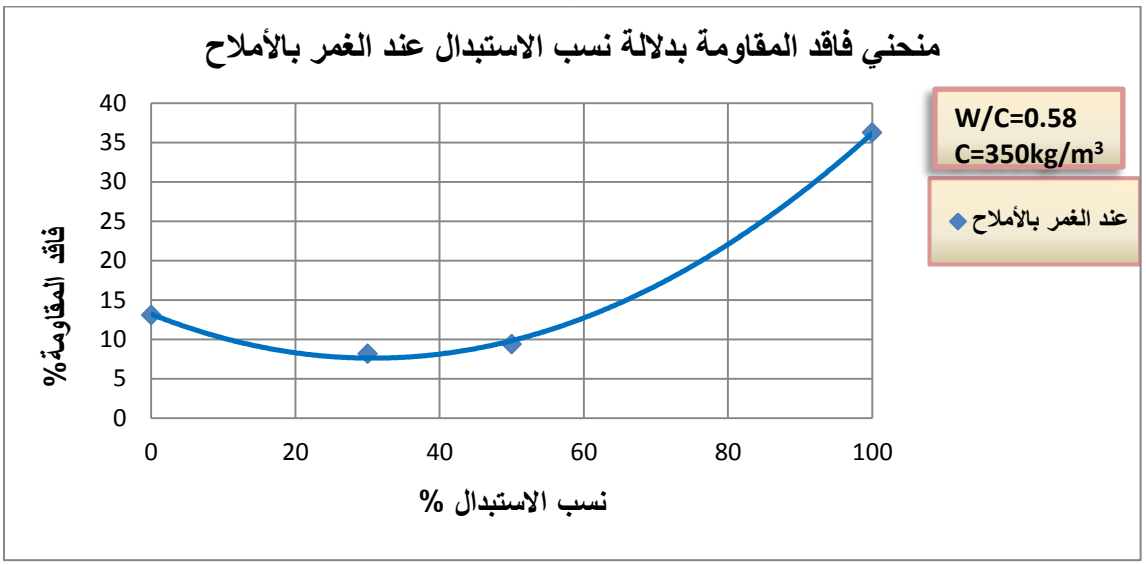
يبين الشكل(10) تأثير استبدال الحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها على فقدان الكتلة بعد غمرها بملح كلوريد الصوديوم:



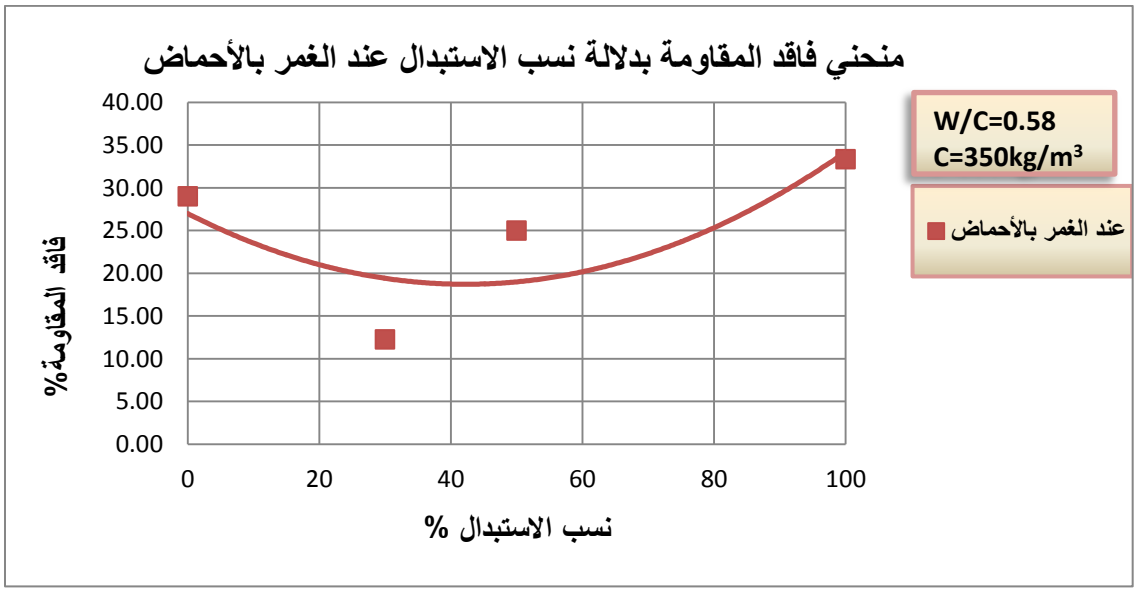
الشكل10 : العلاقة بين فقدان الكتلة للعينات عند الغمر بالأملاح

يظهر منحني الغمر بالأملاح ذو اللون الأزرق انخفاض قيمة فاقد الكتلة من القيمة 0.98% إلى القيمة 0.31% بين نسبتي الاستبدال 0 و 30% وانخفاضها إلى القيمة 0.36% عند نسبة الاستبدال 50% ويبين منحني الغمر بالأحماض ذو اللون الأحمر انخفاض قيمة فاقد الكتلة من القيمة 1.21% إلى القيمة 0.28% عند نسبة الاستبدال 30% وانخفاضها إلى القيمة 0.37% عند نسبة الاستبدال 50% مما يدل على أن الاستبدال قد ساهم في تحسين مؤشرات الديمومة بين النسبتين 0 و 50% مما يعتبر مؤشراً واضحاً على ضعف التأثر بالأملاح والأحماض في هذا المجال لتكبر قيم هذا المعامل خارج المجال وتقل بالتالي ديمومة الخلطات ذات نسب الاستبدال المرتفعة.

4-6 تأثير نسب الاستبدال على فقدان المقاومة عند هجوم الأحماض والغمر بالأملاح:



الشكل11 : العلاقة بين فقدان المقاومة للعينات بدلالة نسب الاستبدال



الشكل12: العلاقة بين فقدان المقاومة للعينات بدلالة نسب الاستبدال

يبين منحني فاقد المقاومة عند الغمر بالأملاح إلى ضعف التأثر بالغمر عند نسب الاستبدال 0و 50% حيث انخفض قيمة فاقد المقاومة من القيمة 13% إلى 10% ويبين منحني فاقد المقاومة عند الغمر بالأحماض إلى انخفاض قيمته من 28% عند نسبة الاستبدال 0% إلى 25% عند نسبة الاستبدال 50% مما يبين أن الاستبدال قد ساهم في تحسين مؤشرات الديمومة الخاصة بمقاومة أملاح الكلوريدات وهجوم الأحماض وهو ما يعتبر مؤشراً واضحاً للتأثير الإيجابي لحصويات الأنقاض على خصائص الديمومة المتعلقة بمقاومة الأملاح والأحماض.

ويمكن تفسير الأداء الإيجابي للحصويات المعاد تدويرها على ديمومة البيتون باحتوائها على جزء من الاسمنت غير المتفاعل والذي دخل جزء منه بالتفاعلات بعد معالجة الحصويات وتكسيرها وتعريض سطح الكسر إلى عملية طحن جزئي عملت على إعادة فاعلية الاسمنت غير المتفاعل جزئياً ومساهمته في رفع مؤشرات الديمومة[6].

الاستنتاجات والتوصيات:

يمكن تسجيل النقاط التالية كاستنتاجات هامة لهذا البحث:

- تساهم الحصويات المعاد تدويرها في تحسين مؤشرات الديمومة الخاصة بمقاومة أملاح الكلوريدات حتى نسبة الاستبدال 50%.
- تؤدي الحصويات المعاد تدويرها الدور ذاته في ما يتعلق بالحد من تأثير الوسط الحامضي وذلك بين نسب الاستبدال 0 و 50%.
- حتى عند نسب الاستبدال المرتفعة، تبقى قيمة فاقد المقاومة وفاقد الكتلة عند الغمر بالأحماض والأملاح محدودة .
- ومن أهم التوصيات إمكانية استخدام البيتون المنتج من الحصويات المعاد تدويرها في المنشآت التي تتعرض لظروف قاسية كالقرب من الأوساط البحرية والمخربة عموماً.

References:

1- **Aslan, Basil.** "Studying the suitability of using local recycled demolition rubble in the manufacture of some building materials", Master's thesis, Tishreen University, Lattakia 2016.

2- **Imam, A. Dr. Mahmoud**, "The Book of Concrete," pp226

3- **Ali Kheirbek ,Ali Ibrahim ,Majed Asaad ,Gorege Wardeh** "Experimental Study on the Physical and Mechanical Characteristics of Roller Compacted Concrete Made with Recycled Aggregates" infrastructures, Syria 2022.

4- **Tomas U. Ganiron Jr,** "Recycling Concrete Debris from Construction and Demolition Waste", International Journal of Advanced Science and Technology Vol.77, (2015) pp.7-24.

5- **Banjad Pecur, N. Stirmer and B. Milovanovic.** "*Durability Properties of Recycled Aggregate Concrete"* , Croatia, 2020.

6- **C.Tomas, J.Setien,J.A.Polanco,P.Alaejos,M.Sanchez de Juan,** "Durability of recycled aggregate concrete", Construction and Building Materials 40(2013) 1054 Spain.

*7- **Ramadevl, R.Chithra.**,* " Concrete Using Recycle Aggregates" *International Journal of Civil Engineering and Technology, India, 2017.*

*8- **Amec Americas, Adjeleian Allen**,* " Durability of recycled aggregate concrete designed with equivalent mortar volume method" *Cement &Concrete Composites, Canada,31(2009) 555-563* .