SEBHA UNIVERSITY CONFERENCE PROCEEDINGS, VOL.03 NO. 2 2024
DOI: 10.51984/SUCP.V3I2.3304

وقائع مؤتمرات جامعة سبها
Sebha University Conference Proceedings

Confrence Proceeeding homepage: http://www.sebhau.edu.ly/journal/CAS

# تقييم تأثيرنوع وحجم الركام المحلي على نفاذية الخرسانة العادية للماء

*نورالدين محمد الطوير و أشرف محمد الكيلاني و الأمين صالح سريح و مفتاح محمد سريح

كلية الهندسة بالخمس، جامعة المرقب، الخمس، ليبيا

**الملخص**

ليبيا بلد غنية بالحجر الجيري وصخور البازلت، وهناك احتياطيات تقدر بعدة مليارات من الأطنان وفقا للتحقيقات الجيولوجية الأخيرة. لذا فإن دراسة الخواص الانتقالية لهذه الصخور عند استخدامها كركام خشن في صناعة الخرسانة سيكون في غاية الأهمية. هذه الدراسة تناولت مدى تأثير مصدر الركام المحلي وحجمه على مقاومة الخرسانة لنفاذ الماء. تسع خلطات خرسانية عادية ذات مقاومة 30MPa احتوت على ثلاثة انواع من الركام الخشن، ركام البازلت وركام الحجر الجيري الابيض وركام الحجر الجيري البُني بأحجم 10 مم و14 مم و20 مم خضعت الى اختبار نفاذية وفق المواصفات البريطانية BS EN 12390-8:2019. أظهرت النتائج المتحصل عليها أنه عند ثبات حجم الركام، العينات الخرسانة المحتوية على ركام البازلت سجلت أقل عمق لاختراق الماء، تليها عينات الخرسانة المحتوية على ركام الحجر الجيري. من ناحية أخرى، تبين أن عمق اختراق الماء قل بشكل ملحوظ عند استخدام حجم ركام أصغر. بنفس التأثير على عمق اختراق الماء، كلما قل حجم الركام في الخلطة الخرسانية رافقه انخفاض في معامل النفاذية. إضافة الى ذلك، الخلطات الخرسانية التي احتوت على ركام البازلت أظهرت اقل معامل نفاذية عند كل أحجام الركام المدروسة، يليه ركام الحجر الجيري الابيض. أي ان دور ركام البازلت كان فعال في الحد من اختراق الماء بسبب قلة المسامية ونسبة الفراغات وتركيبه المعدني والخمول الكيميائي لسطحه.

**الكلمات المفتاحية:**

نفاذية الخرسانة للماء
ركام البازلت
ركام الحجر الجيري
حجم الركام

# Evaluating the effect of local aggregate type and size on the water permeability of plain concrete

*Nurdeen Mohamed Altwair, Ashraf Mohamed Al-Kilani, Lamen Saleh Sryh, Muftah Mohamed Sreh

Faculty of Engineering, Al-Khums, El-Mergib University, Al-Khums, Libya

**ABSTRACT**

Libya, being rich in Limestone and basalt rocks, has substantial reserves estimated at several billion tonnes according to recent geological investigations. Therefore, studying the transport properties of these aggregates when used as coarse aggregates in concrete production is of paramount importance. This study examines the influence of local aggregate source and size on the water permeability resistance of 30 MPa plain strength concrete. Nine concrete mixes were prepared, incorporating three types of coarse aggregates: basalt, white limestone, and brown limestone, with sizes of 10 mm, 14 mm, and 20 mm. The concrete specimens were subjected to water penetration testing in accordance with the British standard (BS EN 12390-8:2019). The results reveal that, at a constant aggregate size, concrete samples containing basalt aggregate exhibited the lowest water penetration depth, followed by those with limestone aggregates. It was observed that the water penetration depth decreased significantly when smaller aggregate sizes were used. Correspondingly, the permeability coefficient also decreased as the aggregate size in the concrete mix was reduced. The concrete mixes with basalt aggregates demonstrated the lowest permeability coefficients across all the studied aggregate sizes, followed by the white limestone aggregates. This indicates that the basalt aggregates

**Keywords:**

Concrete water permeability
Basalt aggregate
Limestone aggregate
Aggregate size

*Corresponding author:
E-mail addresses: nmaltwair@elmergib.edu.ly, (Al-Kilani) aalkelani664@gmail.com, (Sryh) lssryh@elmergib.edu.ly , (Sreh) s_sreh@elmergib.edu.ly

*Article History : Received 06 June 2024 - Received in revised form 04 August 2024 - Accepted 06 October 2024*

were more effective in limiting water penetration due to their lower porosity, less void content, and lack of chemical reactivity at the aggregate-paste interface.

**1. المقدمة**

الركام الخشن يشكل الجزء الأكبر من حجم الخرسانة، لذلك خصائصه تؤثر بشكل كبير على خصائص الخرسانة بشكل عام. ويحدد مصدر وحجم وشكل وكثافة وملمس وخواص الركام الخشن الأخرى أغلب خواص الخرسانة المنتجة. المصدر الذي يتم جمع الركام الخشن منه يؤثر بشكل كبير على الخصائص الجيولوجية والمعدنية والفيزيائية والميكانيكية للركام. تتأثر قوة الخرسانة وقابليتها للتشغيل ومتانتها بتغيرات في خصائص الركام، سواء كانت ميكانيكية أو فيزيائية[1] . وتؤثر أنواع الركام المختلفة بشكل كبير على قوة ضغط الخرسانة وديمومة الخرسانة، حيث تعمل أنواع الركام على تحسين قوة الخرسانة الإجمالية كما يتأثر الانفصال الحبيبي وقابلية التشغيل وقدرة الضخ للخرسانة الطازجة والمتانة والصلابة والقوة والزحف والانكماش والكثافة والنفاذية للخرسانة المتصلبة بالخصائص الإجمالية للركام مثل التدرج والشكل والملمس السطحي للركام. إن خصائص الصخور الأم، مثل الوزن النوعي، والصلابة، والتركيب الكيميائي والمعدني، والمقاومة والتصنيف الصخري الفيزيائي والاستقرار الكيميائي وبنية المسام لها تأثير مهم على الخرسانة الطازجة والمتصلبة [1]. إضافة الى ذلك، تمت دراسة تأثير محتوى الركام الخشن وتدرج حجم الركام على قوة الضغط للخرسانة، وتبين أن خصائص الركام الخشن مثل توزيع حجم الحبيبات ونسبة الركام الخشن الى الناعم لها علاقة وثيقة بقوة الضغط [2,1].

تعتبر نفاذية للخرسانة للماء هي الخاصية الرئيسية المتعلقة بصلاحية ومتانة المنشآت الخرسانية المعرضة لبيئات عدوانية، حيث يعمل الماء إما كعامل رئيسي مسؤول عن تدهور الخرسانة أو كوسيلة نقل للأنواع العدوانية مثل أيونات الكلوريد أو الكبريتات [3]. هناك عدة عوامل ممكن أن تؤثر بشكل كبير على متانة ونفاذية الخرسانة. هذه العوامل، مثل نسبة الماء إلى الأسمنت، ومقاومة الضغط للخرسانة، وطرق المعالجة، وعمر الخرسانة، ومكونات الخرسانة خصوصا الركام التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار أثناء تصميم الخلطة ومراحل بناء المنشآت الخرسانية [4]. إن نفاذية العجينة الصلبة الناضجة تتراوح من $0.1\times10^{-12}$ إلى $120\times10^{-12}$ سم/ث عند نسبة ماء الى الاسمنت من 0.3 الى 0.7. وتتراوح نفاذية الركام الشائع الاستخدام من حوالي $1.7\times10^{-9}$ إلى $3.5\times10^{-13}$ سم/ث [5]. يعتبر الركام أقل نفاذية مقارنة بالعجينة الاسمنتية المتصلبة، وهذا اعتمادا على نوع الركام وتركيبه المعدني. ولكن هذا لا يعني أنه ليس له دور في نفاذية الخرسانة. فالركام المصنع من الصخور البركانية تعتبر اقل نفاذية إذا ما قورنت بباقي الانواع الأخرى من الصخور [5]. وفق الاعتقاد السائد، كلما زاد حجم الركام زادت النفاذية لنسبة معينة من الماء الى الاسمنت ويلزم ان يكون الركام متدرجا للحصول على خرسانة قليلة النفاذية [6]. فعندما يكون حجم الركام كبيرًا، يكون هناك مسافات كبيرة بين الحبيبات، مما يخلق مساحات فجوية كبيرة. وهذا يسمح للماء والمواد الأخرى بالتسرب بسهولة عبر العجينة الاسمنتية. أما عند استخدام ركام صغير الحجم، فإن المسافات بين الجسيمات تصبح أصغر، وبالتالي يقل حجم المساحات الفجوية. وهذا يؤدي إلى تقليل نفاذية الماء والمواد الأخرى [7]. ومن ناحية أخرى يعتقد أن استخدام حجم أكبر للركام في الخرسانة، يقلل من عدد المسام في الخرسانة، مما يقلل من نسبة المساحة السطحية المتاحة لمرور الماء. وبالتالي، يزيد حجم الركام من مقاومة الخرسانة لنفاذية الماء. وعلى العكس من ذلك، عند استخدام حجم أصغر للركام، يزيد عدد المسام في الخرسانة والمساحة السطحية المتاحة لمرور الماء، مما يزيد من نفاذية الما [5]. على كل حال هذا يعتمد على عديد من العوامل مثل خواص الاسمنت ونسبة الماء الى الاسمنت وخواص الركام ونسبة الركام الى الاسمنت والاضافات [7]. يبلغ حجم المسام في الركام عادة حوالي 10% من حجم العجينة الإسمنتية. ومع ذلك، يعتبر هذا الحجم أكبر بكثير. وبالتالي فإن حجم وتدرج الركام في الخرسانة يمكن أن يكون له تأثير مهم في النفاذية [8]. علاوة على ذلك، إن المنطقة البنية (ITZ) بين الركام والعجينة الاسمنتية هي نقطة ضعف في الخرسانة وتؤدي إلى ظهور تشققات صغيرة وزيادة النفاذية، أي أن الشقوق حول الركام التي تحدث بواسطة التغيرات الحجمية للعجينة الإسمنتية تزيد من نفاذية الماء [10, 9]. ونتيجة لذلك، فإن نفاذية الخرسانة عادة ما تكون أكبر بكثير من نفاذية المونة الإسمنت.

تتوفر دراسات محدودة حول تأثير حجم ومصدر الركام على مقاومة الخرسانة لنفاذ الماء. ومن هنا يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير حجم ومصدر الركام المتوفر في دولة ليبيا على نفاذية الماء خلال الخرسانة العادية.

**2. البرنامج العملي**

**1.2 المواد المستخدمة ومواصفاتها**

استُخدام أسمنت بورتلاندي عادي من إنتاج مصنع المرقب بمدينة الخمس وخواصه الفيزيائية مطابقة للمواصفات البريطانية BS EN 197-1 . الجدول (1) يوضح التركيب الكيميائي وخواص الإسمنت البورتلاندي المستخدم.

**الجدول 1: الخواص الكيميائية والفيزيائية للإسمنت المستخدم في الدراسة.**

| الخواص الكيميائية | | الخواص الفيزيائية | |
|---|---|---|---|
| التركيب الكيميائي | النسبة المئوية | الاختبار | النتائج |
| الفاقد عند الحرق | 1.68 | نسبة الماء القياسية | 0.3 |
| $SiO_2$ | 21.15 | زمن الشك الابتدائي(hrs:minutes) | 2:17 |
| $Fe_2O_3$ | 2.99 | زمن الشك النهائي (hr: minutes) | 3:40 |
| $Al_2O_3$ | 4.9 | ثبات الحجم (mm) | 1.37 |
| CaO | 62.9 | مقاومة الضغط بعد 3 أيام (MPa) | 27 |
| MgO | 1.48 | مقاومة الضغط بعد 28 يوم (MPa) | 43 |
| $SO_3$ | 2.08 | الوزن النوعي | 3.12 |
| $Na_2O$ | 0.17 | المساحة السطحية ($g/cm^2$) | 2610 |
| $K_2O$ | 0.96 | - | - |
| أكسيد الكالسيوم الحر | 2.50 | - | - |

أستخدم في إعداد الخلطات الخرسانية ماء صالح للشرب، حيث كانت نسبة المواد الصلبة الذائبة اقل من 2000 ppm. الرمل المستخدم في اعداد خلاطات المونة الاسمنتية تم توريده من مدينة مصراتة وهو رمل طبيعي خالٍ من الشوائب، وخواصه الفيزيائية مطابقة للمواصفات البريطانية BS812-2000، وزنه النوعي 2.61 ونسبة امتصاصه للماء 2.8%.

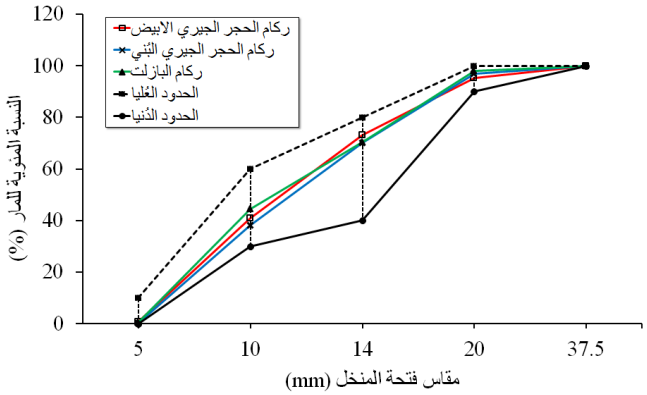
استُخدم ثلاثة انواع من الركام الخشن وهي ركام البازلت وركام الحجر الجيري الابيض النقي وركام الحجر الجيري البُني (الشكل 1).

**الشكل 1:** أنواع الركام المستخدم في الدراسة.

إن اللون البني لركام الحجر الجيري البُني يعزى الى وجود بعض الشوائب مثل الطين او الشوائب المعدنية كأكسيد الحديد إذا زاد عن 1% [11]. قد تم ترميز كل نوع من الركام الخشن وفق ما يلي: ركام البازلت (B)، ركام الحجر الجيري الابيض (WLS)، ركام الحجر الجيري البُني (BLS). الخواص الفيزيائية للأنواع الثلاثة للركام الخشن موضحة في الجدول 2. في هذه الدراسة أُختير الحجم الاسمي للركام الخشن المحصور بين 20 مم و5 مم. تبعا لمتطلبات هذه الدراسة، قُسم الحجم الاسمي للركام الخشن الى ثلاثة أحجام (تدرجات) وهي 10مم (5- 10) و14 مم (10- 14) و20 مم (14- 20) (الشكل 2).

**الجدول 2: الخواص الفيزيائية لأنواع الركام المستخدم في الدراسة.**

| الخاصية | البازلت (B) | WLS | BLS |
|---|---|---|---|
| الوزن النوعي | 2.83 | 2.72 | 2.69 |
| الامتصاص (%) | 0.58 | 1.12 | 1.28 |
| وزن وحدة الحجوم ($kg/m^3$) | 1631 | 1530 | 1420 |
| معامل التهشيم (%) | 18.9 | 23.95 | 29.31 |
| معامل البري (%) | 20.4 | 22.36 | 28.21 |




**الشكل 2:** التدرج الحبيبي لأنواع الركام المستخدم فب الدراسة.

### 2.2 تصميم الخلطات الخرسانية

تم اعتماد الخلطة الخرسانية المرجعية الموضحة في الجدول 3، بمقاومة تصميمية مقدراها MPa30 . حيث تم استبدال نوع الركام الخشن المتمثل في ركام البازلت (B) ركام الحجر الجيري الابيض (WLS) وركام الحجر الجيري البُني (BLS)، وحجم الركام المتمثل في ثلاثة أحجام (10 مم، 14 مم، 20 مم)، بحث كان أجمالي الخلطات الخرسانية 9 خلطات.

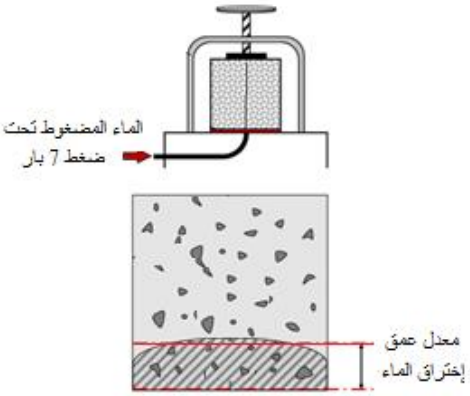
**الجدول 3: مكونات الخلطة الخرسانية المرجعية.**

| الركام الناعم ($Kg/m^3$) | الركام الخشن ($Kg/m^3$) | الماء ($Kg/m^3$) | الاسمنت ($Kg/m^3$) |
|---|---|---|---|
| 425 | 1344 | 185 | 396 |

أربع مكعبات خرسانية (15 cm) تم صبها لكل خلطة. بحيث كان عدد المكعبات الخرسانية المستهدفة لإجراء اختبار النفاذية 36 مكعب. صُبت جميع العينات الخرسانية في ثلاث طبقات، وتم دمكها باستخدام طاولة اهتزازية. بعد الصب، تم تغطية العينات بقطعة من الخيش وتُركت في غرفة الصب. بعد 24 ساعة، أُزيلت العينات وغُمرت في الماء عند درجة حرارة 3±23 درجة لمدة 28 يوم. بعد ذلك تم إجراء اختبار النفاذية.

### 3.2 الاختبارات

بعد المعالجة في الماء لمدة 28 يوم، خضعت العينات الخرسانية الى اختبار نفاذية وفق المواصفات البريطانية BS EN 12390-8:2019. يوضح الشكل 3 مخطط توضيحي والاعدادات لتجربة اختبار النفاذية. حيث تم البدء بوضع عينات الاختبار داخل خلايا جهاز النفاذية المُصممة لهذا الغرض. ثم تم ضغط الماء على الوجه السفلي للعينة، بضغط رأسي ثابت قدره 7 بار لمدة 72 ساعة متواصلة. بعد انتهاء فترة الاختبار، تم شطر العينة إلى نصفين بشكل عمودي على اتجاه ضغط الماء المُطبق على الوجه السفلي للعينة. وقِيس معدل اختراق الماء بدقة تصل إلى أقرب ملليمتر. استنادًا إلى نتائج هذا الاختبار، تم حساب معامل نفاذية الماء ($k_w$)، باستخدام المعادلة (1) [12].



**الشكل 3:** المخطط التوضيحي والاعدادات لتجربة اختبار النفاذية.

$$k_w = \frac{d^2 v}{2ht} \qquad (1)$$

حيث:

$k_w$ = معامل النفاذية (m/s)، d = معدل عمق اختراق الماء (m)، v = مسامية الخرسانة، h = ارتفاع الماء الهيدروليكي (m)، t = مدة الاختبار (sec.).

$$v = \frac{m}{Ad\rho} \qquad (2)$$

$m$ = الزيادة في وزن العينة (Kg)، A = مساحة المقطع العرضي للعينة ($m^2$)، $\rho$ = كثافة الماء.

## 3. تحليل ومناقشة النتائج

### 1.3 عمق اختراق الماء

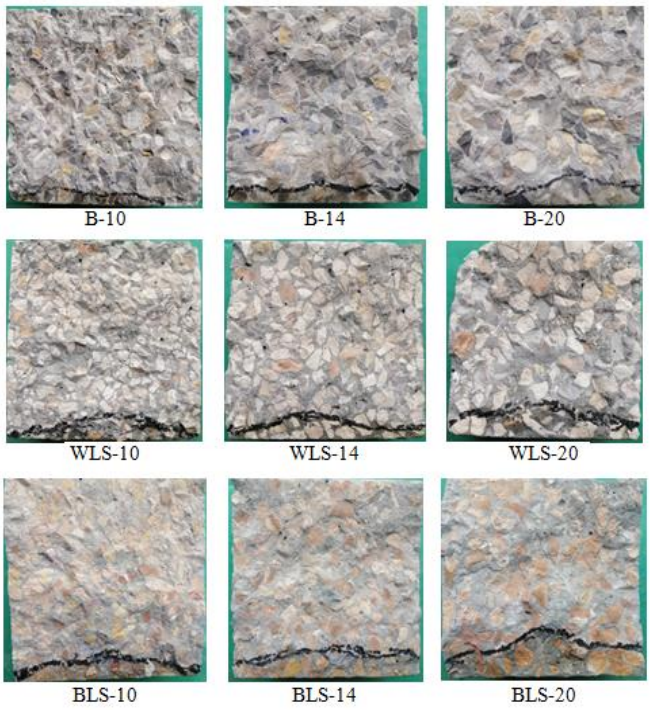
عمق اختراق الماء في الخرسانة هو مؤشر على مدى نفاذيتها أو عدم نفاذيتها. فإذا كان عمق اختراق الماء أقل من 50 مم، فيتم تصنيف الخرسانة على أنها غير نفاذة، وإذا كان عمق الاختراق أقل من 30 مم، فيتم تصنيفها على أنها غير

نفاذة تحت الظروف العدوانية [6]. الجدول 4 يوضح عمق اختراق الماء اثناء إجراء اختبار تحديد نفاذية عينات الخرسانة المحتوية على الركام المدروس.

**الجدول 4. عمق اختراق الماء للعينات الخرسانية المحتوية على الركام المدروس.**

| الحجم (مم) / نوع الركام | 20 | 14 | 10 |
|---|---|---|---|
| البازلت | 25 ± 3 | 15 ± 2 | 10 ± 2 |
| الحجر الجيري الابيض | 29 ± 3 | 16 ± 3 | 11 ± 3 |
| الحجر الجيري البُني | 30 ± 3 | 21 ± 3 | 15 ± 2 |

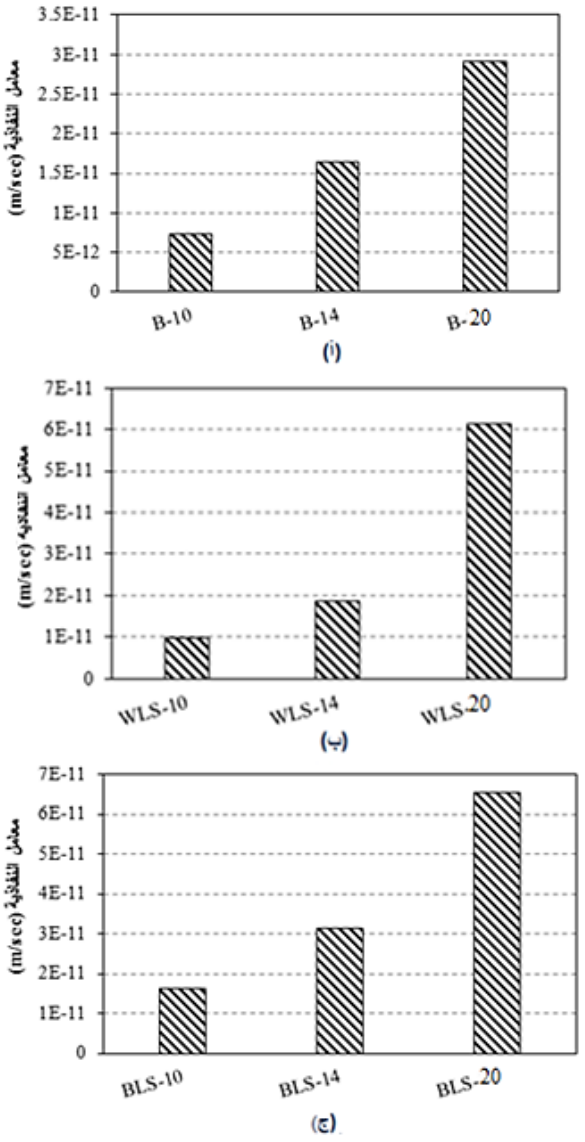
من الجدول يمكن ان نُسجل أن لنوع الركام وتدرجه تأثيرا واضحا على عمق اختراق الماء. فعند ثابت حجم الركام، لوحظ أن عينات الخرسانة المحتوية على ركام البازلت اظهرت قدرة على منع نفاذ الماء، مقارنة بباقي الانواع الاخرى من الركام. يلي ذلك تأتي عينات الخرسانة المحتوية على ركام الحجر الجيري الابيض. وقد لوحظ أيضا أن لتدرج الركام دورا مهما في الحد من اختراق الماء داخل عينات الخرسانة. فعند ثبات نوع الركام، لوحظ أن عمق اختراق الماء قل بشكل ملحوظ في حالة حجم الركام الاقل. ووفق النتائج المبينة في الجدول 4 يمكن اعتبار ان جميع عينات الخرسانة المدروسة غير نفاذة للماء. وكذلك لها قدرة على تحمل الظروف العدوانية التي تتعرض لها الخرسانة المتعلقة بعوامل النفاذية، ما عدا عينات الخرسانة التي تحتوي على ركام الحجر الجيري البُني ذا حجم 20 مم، التي ربما تكون اقل تحملا لنفاذ المواد والمحاليل الضارة بالخرسانة، بسبب كون عمق اختراق يتراوح بين 27 مم و33 مم. يمكن ملاحظة ما ذكر بوضوح في الشكل 4، الذي يوضح تفاوت عمق اختراق الماء خلال العينات المدروسة وفق نوع وحجم الركام.




الشكل 4. عمق اختراق الماء خلال العينات المدروسة وفق نوع وحجم الركام.

**2.3 معامل النفاذية**

الشكل 5 يوضح تأثير حجم الركام على معامل النفاذية لكل نوع ركام على حِدى. لكل أنواع الركام المدروس، يمكن ملاحظة أن انخفاض حجم الركام في الخلطة الخرسانية رافقه انخفاض في معامل النفاذية. بالنسبة للخلطات المحتوية على ركام البازلت، كانت النسبة المئوية للنقصان في معامل النفاذية عند انخفاض حجم الركام من 20 مم الى 10 مم حوالي 75%. هذه النسبة كانت حوالي 85% بالنسبة للخلطات المحتوية على ركام الحجر الجيري الابيض، بينما الخلطات المحتوية على ركام الحجر الجيري البُني كانت النسبة المئوية للنقصان تقريبا 76%.



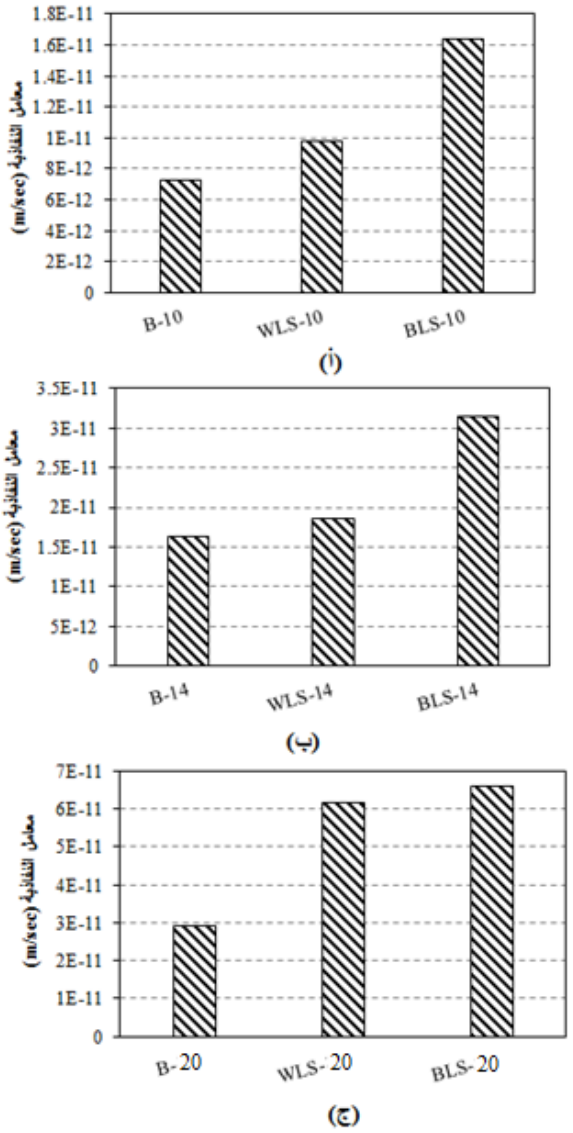

**الشكل 5.** معامل النفاذية عند تغير حجم الركام للخلطات المحتوية على: (أ) ركام البازلت، (ب) WLS، (ج) BLS.

كما هو معروف، أن الخرسانة المصنوعة باستخدام ركام جيد التدرج تميل إلى أن تكون أكثر كثافة من الخرسانة المصنوعة من ركام رديء التدرج. وكما ذكر سابقاً، في حالة التدرج الاقل من حيث حجم الركام، تكون فيه حبيبات الركام قريبة من بعضها مما يوفر مساحة سطحية أكبر وتوزيعا متجانسا للمونة الاسمنتية بين حبيبات الركام وهذا بدورة يوفر كثافة أفضل. كما أن الحبيبات الاصغر تملأ الفراغات الموجودة بين الحبيبات الأكبر. ونتيجة لذلك، يزداد الاتصال بين حبيبات الركام، وتقل المسامية الفعالة [13]. وعلى العكس، عند الاحجام الاكبر للركام تزداد الفراغات والهواء المحبوس ايضا سوف يزداد، مما سيزيد من نفاذية الهواء من تم زيادة نفاذية الماء [14]. هذه الحقيقة هي نتيجة لزيادة المسام في منطقة الانتقال البيني بين المونة وحبيبات الركام، ويمكن أن يُفسر ذلك بسبب وجود انخفاض في تعرج مسار التدفق، والذي يميل إلى زيادة نفاذية الهواء والماء، وكذلك زيادة احتمال تجمع الماء النزف أسفل الركام الخشن [15]. إجمالا، وعلى اعتبار دور حجم الركام فقط في

التقليل من النفاذية دون النظر الى دور المونة الاسمنتية، تؤدي إضافة الركام الأصغر في الخرسانة إلى تحسين توزيع حجم المسام الداخلي. مع زيادة الركام الأصغر في الخرسانة، تنخفض نسبة المسام كبيرة الحجم، وفي الوقت نفسه، ينخفض أيضًا حجم المسام الفعال الذي يساهم بشكل كبير في نفاذ الماء وخلافه، بالتالي انخفاض نفاذية الخرسانة بشكل عام [16]. إن نتائج هذه الدراسة تتوافق ما تم استخلاصه من الدراسة التي قام بها يوغيش واخرون (Yogesh, et al.) [17] حين بينوا أن نفاذية الخرسانة كانت أفضل بكثير عند استخدام تدرج (4.75 -22.5 مم) مقارنة مع التدرج (16-22.5 مم). وهذه النتائج توافقت أيضاً مع ما استخلصه هونغلو يانغ وآخرون (Yang et al.) [18] حيث أوضحوا أن كلما زاد حجم الركام في النسيج الاسمنتي كان له تأثير كبير على معامل النفاذية، وله أيضًا نفس التأثير على المسامية. فكلما زاد الحجم الركام، كلما زادت الفراغات في البنية الداخلية للعينة، وبالتالي زيادة النفاذية.

تأثير نوع الركام على نفاذية الخرسانة المحتوية على احجام مختلفة من الركام الخشن موضح في الشكل 6. الملاحظ أن الخلطات الخرسانية التي احتوت على ركام البازلت أظهرت اقل معامل نفاذية عند كل أحجام الركام المدروسة (10مم، 14 مم، 20 مم)، يليه ركام الحجر الجيري الابيض. فقد كانت النسبة المئوية للانخفاض في معامل النفاذية للخلطات المحتوية على ركام البازلت حوالي 55% و75% مقارنة بـ WSL وBLS على التوالي عند حجم 10 مم، و47% و84% عند حجم 14 مم، و48% و75% عند حجم 20 مم. اما نسبة النقصان في معامل النفاذية لخلطات ركام الحجر الجيري الابيض (WLS) مقارنة بخلطات ركام الحجر الجيري البُني (BLS) فقد كانت 43 % عند حجم ركام 10 مم، و70% عند حجم 14 مم، و52% عند حجم 20مم. هذا النتائج تثبت أن لنوع الركام وتركيبه المعدني دور كبير في التأثير على نفاذية الخرسانة للماء. عموما، يعتمد نفاذ الماء في خرسانة على عدد من العوامل مثل نسبة الماء الى الاسمنت وعدد وحجم المسام الموجود في المونة الاسمنتية المحيطة بالركام [19]، إضافة الى تدرج الركام ونسبة امتصاصه للماء ومحتوى الفراغات فيه وقلة اتصال المسام في البنية المجهرية للركام[20, 21] . فقد بين توبليك-كورسيتش وآخرون (Toplicic-Curcic et al.) [19] أن تأثير نوع الركام يعتمد بشكل كبير على نسبة الماء الى الاسمنت. فتأثير ركام البازلت على عمق اختراق الماء للعينات الخرسانية كان متفوقا عند نسبة ماء الى الاسمنت 0.45 مقارنة مع الخلطات الاخرى التي تحتوي على ركام الحجر الجيري والدياباز والأندسيت. في حين ينعكس هذا التفوق لركام البازلت عند نسبة ماء الى الاسمنت 0.65. أي ان دور ركام البازلت يكون فعال في الحد من اختراق الماء عندما يكون المسام في المونة الاسمنتية الناتج من ارتفاع نسبة الماء في الخلطة اقل ما يمكن.

إن النفاذية تتأثر كثير بمسامية ونسبة الفراغات في الركام إضاقة الى نسبة الامتصاص[22] . تعتبر المسامية وامتصاص الماء مؤشراً على وجود مسامات أو فراغات في الخرسانة يتغلغل الماء من خلالها. وبالتالي، فإن الزيادة في هذه المتغيرات تؤدي إلى زيادة مقابلة في نفاذية الماء [23]. بملاحظة الخصائص الميكانيكية للركام المدروس، نجد أن ركام البازلت له نسبة امتصاص اقل من ركام الحجر الجيري. حيث كانت نسبة الامتصاص 0.58% و1.12% و1.28% لركام البازلت وWLS وBLS على التوالي. لذا يمكن أن يعزى سبب انخفاض معامل النفاذية لخلطات ركام البازلت بالمقارنة مع الخلطات المحتوية على ركام الحجر الجيري الى انخفاض نسبة الامتصاص وكذلك محتوى الفراغات بركام البازلت بسبب المسامية المنخفضة التي تميز هذا النوع من الركام [24].

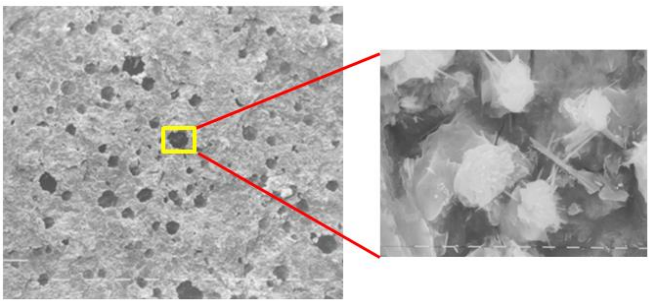



**الشكل 6.** العلاقة بين معامل النفاذية ونوع الركام عند تغير حجم الركام الخشن.

إن نتائج هذه الدراسة مماثلة لما توصل إليه حمد الله البياجات (Al-Baijat) [25]، حيث بين أن متوسط عمق اختراق الماء لثلاثة اختبارات على عينات الخرسانة المحتوية على ركام الحجر الجيري ركام البازلت كان 25 مم و18 مم على التوالي. هذه النتائج تظهر أن النفاذية تتناسب عكسيا مع محتوى البازلت في الخلطة الخرسانية. لأن البازلت أثقل من الحجر الجيري. ولذلك فإن استبدال الحجر الجيري بالبازلت في الخلطة سيزيد من كثافة الخلطة وبالتالي يقلل من نفاذيتها. على كل حال، إن قيم معامل النفاذية لكل الخلطات المتناولة في هذه الدراسة لا تزال تقع ضمن النطاق المسموح به بالنسبة للخرسانة العادية، أي ($10^{-11} – 10^{-12}$ m/s) [26].

أظهرت الدراسات السابقة أن السطح البيني بين المونة الإسمنتية والركام هو أضعف منطقة في المركب الخرساني [21, 27]. ويعد التركيب المعدني ونسبة أمتصاص الماء للركام من العوامل المهمة التي تؤثر بشكل مباشر في قوة الترابط بين الركام والمونة الاسمنتية. ممكن أن يؤدي التفاعل الكيميائي بين بعض أنواع الصخور ومعجون الإسمنت إلى انخفاض قوة الترابط بين هذه المواد بدلاً من زيادتها. هذا الأمر ينطبق بشكل خاص على تفاعل الحجر الجيري مع العجينة الإسمنتية. عند تفاعل الحجر الجيري مع العجينة الإسمنتية، ينتج

عن ذلك تكوين منطقة انتقال بينية شديدة المسامية بين هذين المكونين بسبب إطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون (الشكل 7). هذه المنطقة المسامية تؤدي إلى انخفاض قوة الترابط بينهما وبالتالي انخفاض المقاومة وزيادة النفاذية [28].



**الشكل 7.** صورة مجهرية (SEM) توضح المسامات في منطقة الاتصال بين ركام الحجر الجيري والمونة الاسمنتية [27].

كونغ ودو (Kong and Du) [29] بينا من خلال دراستهما للتفاعل السطحي بين العجينة الاسمنتية وعدة انواع من الركام أن المحتوى الحجمي للمسامات الكبيرة في (ITZ) لركام البازلت أقل من محتوى المسامات حول ركام الحجر الجيري، خاصة بالنسبة للمسام الكبيرة من 100 نانومتر إلى 1000 نانومتر. على سبيل المثال، بالمقارنة مع حجم المسامات المحيطة بالحجر الجيري، فإن محتوى المسامات الكبيرة للعينة حول البازلت في نطاق 100-1000 نانومتر انخفض بنسبة 27 %. هذا قد يفسر التفاعل الكيميائي بين الركام والعجينة الاسمنتية، مما يزيد من توليد المزيد من الهيدرات، مؤديا الى ملئ المسام وجعل بنية المسام حول ركام البازلت أكثر كثافة وأقل نفاذية [29]. من ناحية اخرى، إن الركام الأكثر امتصاصا للماء يستمر في امتصاص الماء من عجينة الإسمنتية بعد الصب. مع استمرار الامتصاص بسبب الخاصية الشعرية، يتجمع الهواء المستبدل بالماء على شكل فقاعات صغيرة على سطح الفاصل بين العجينة الاسمنتية والركام (ITZ). وتستمر هذه العملية حتى تصلب المونة الاسمنتية. تعتمد كمية الهواء التي يمكن طردها بعد الصب على مدى قدرة الركام على أمتصاص الماء. تميل فقاعات الهواء الموجودة على السطح البيني (ITZ) إلى تقليل مساحة ترابط العجينة وبالتالي تؤدي إلى انخفاض القوة وزيادة النفاذية [30]. وهذا الامر متوقع بالنسبة لركام الحجر الجير الذي اظهر امتصاص للماء يزيد عن نسبة امتصاص ركام البازلت. كما ذكر سابقا، ينفرد ركام البازلت بملمس بلوري أكثر صلابة مقارنة بأنواع الركام الأخرى، وتتميز هذه الصلابة البلورية بعدم وجود مناطق ضعف في تركيبه [28]. هذه الخصائص تؤدي إلى زيادة قوة الترابط بين حبيبات الركام البازلتي والمونة الإسمنتية. ونتيجة لذلك، فإن الخرسانة المصنوعة باستخدام هذا النوع من الركام تتمتع بنفاذية أقل.

## 4. الاستنتاجات و التوصيات

اعتمادا على النتائج المعملية التي تم الحصول عليها من هذه الدراسة، يمكن أن نستخلص الاتي:

- عند ثبات حجم الركام، العينات الخرسانة المحتوية على ركام البازلت أظهرت أقل عمق لاختراق الماء، تليها عينات الخرسانة المحتوية على ركام الحجر الجيري الأبيض. وبما أن عمق اختراق الماء لجميع العينات كان أقل من 50 مم، لذا يمكن اعتبار أن جميع عينات الخرسانة المدروسة في هذا البحث غير نفاذة للماء. من ناحية أخرى، تبين أن عمق اختراق الماء قل بشكل ملحوظ عند استخدام حجم ركام أصغر.
- بنفس تأثير على عمق تغلغل الماء، كلما قل حجم الركام في الخلطة الخرسانية رافقه انخفاض في معامل النفاذية. التدرج الاقل من حيث حجم الركام، تكون فيه حبيبات الركام قريبة من بعضها مما يوفر مساحة سطحية أكبر وتوزيعا متجانسا للمونة الاسمنتية بين حبيبات الركام وهذا بدورة يوفر كثافة أفضل. إضافة الى ذلك، الخلطات الخرسانية التي احتوت على ركام البازلت أظهرت اقل معامل نفاذية عند كل أحجام الركام المدروسة، يليه ركام الحجر الجيري الابيض. أي ان دور ركام البازلت كان فعال في الحد من اختراق الماء بسبب قلة المسامية ونسبة الفراغات وتركيبه المعدني وتفاعل السطح.

وفق حدود هذه الدراسة، يُوصى باستخدام ركام البازلت بشكل أساسي في الخرسانة بجميع انواعها نظرًا لمقاومته العالية لنفاذ الماء مقارنة بأنواع الركام الأخرى المدروسة. كما يُوصى باستخدام أحجام ركام أقل من 20 مم للحصول اقل نفاذية للماء وكذلك لضمان تحسين باقي الخواص الميكانيكية للخرسانة.

## 5. قائمة المراجع


[1]- Patowary, F., & Mahmood, R. A. 2022. Effect of local coarse aggregate type on concrete mechanical properties in bangladesh. International Journal of Engineering and Advanced Technology. 11(4): 104–107.

[2]- Albarwary, I. H. M., Aldoski, Z. N. S., & Askar, L. K. 2017. Effect of aggregate maximum size upon compressive strength of concrete. Mağallaẗ Ğāmi'aẗ Duhūk. 20(1): 790–797

[3]- Li, X., Xu, Q., & Chen, S. 2016. An experimental and numerical study on water permeability of concrete. Construction & Building Materials. 105: 503–510.

[4]- Rinker, M.E. 20123. Determination of acceptance permeability characterestics for performance- related specifications for portlant cement concrete, Report Submitted to Florida Department of Transportation, University of Florida. USA.

[5]- Hoseini, M., Bindiganavile, V., & Banthia, N. 2009. The effect of mechanical stress on permeability of concrete: A review. Cement & Concrete Composites. 31(4): 213–220.

[6]- A.M. Neville, A. M. 2011. Properties of Concrete. 5th Edition, Longman, England.

[7]- Ahmad, S., Azad, A. K., & Loughlin, K. F. 2012. Effect of the key mixture parameters on tortuosity and permeability of concrete. Journal of Advanced Concrete Technology. 10(3): 86–94.

[8]- Soongswang, P., Tia, M. Bloomquist, D. 1991. Factors affecting the strength and permeability of oncrete made with porous limestone. ACI Materials Journal. 88(4): 400-405.

[9]- Samaha, H. R., & Hover, K. C. 1992. Influence of micro-cracking on the mass transport properties of concrete. ACI Materials Journal, 89(4): 416-424.

[10]- Mills, R.H. 1987. Gas and water permeability of concrete for reactor building – small specimens. Research Report. INFO-0188-1, Atomic Energy Control Board and University of Toronto.

[11]- Eriksson, M., Sandström, K., Carlborg, M., & Broström, M. 2024. Impact of limestone surface impurities on quicklime product quality. Minerals. 14(3): 244.

[12]- Ahmad, S. I., Rahman, M. S., & Alam, M. S. 2020. Water permeability properties of concrete made from recycled brick concrete as coarse aggregate. IOP Conference Series. Materials Science and Engineering, 809(1): Article No. 012015.

[13]- Huang, J., Luo, Z., & Khan, M. B. E. 2020. Impact of aggregate type and size and mineral admixtures on the properties of pervious concrete: An experimental investigation. Construction & Building Materials. 265: Article No. 120759.

[14]- Argiz, C., Sanjuán, M. A., & Muñoz-Martialay, R. 2014. Effect of the aggregate grading on the concrete air permeability. Materiales De Construcción. 64(315): Article No. 026.

[15]- Basheer, L., Basheer, P., & Long, A. 2005. Influence of coarse aggregate on the permeation, durability and the microstructure characteristics of ordinary Portland cement concrete. Construction & Building Materials. 19(9): 682–690.

[16]- Liu, R., Liu, H., Sha, F., Yang, H., Zhang, Q., Shi, S., & Zheng, Z. (2018). Investigation of the porosity distribution, permeability, and mechanical performance of pervious concretes. Processes, 6(7): Article No. 78.

[17]- Yogesh R. V., Santha Kumar G., Ganesh Kumar S. 2023. Synergistic effect of aggregate gradation band and cement to aggregate ratio on the performance of pervious concrete. Journal of Building Engineering, 73: Article No. 106718.

[18]- Yang, H., Liu, R., Zheng, Z., Liu, H., Gao, Y., & Liu, Y. 2018. Experimental study on permeability of concrete. iop conference series. Earth and Environmental Science, 108: Article No. 022067.

[19]- Toplicic-Curcic, G., Grdić, Z., Ristic, R., Despotović, I., Dordevic, D. and Dordevic, M. 2012. Aggregate type impact on water permeability of concrete. Romanian journal of materials. 42 (2): 134-142

[20]- Warda, B. A., & Munaz, A. N. 2012. Effects of aggregate gradation on water permeability of concrete. Advanced Materials Research, 488: 248–252.

[21]- Naderi, M., & Kaboudan, A. 2021. Experimental study of the effect of aggregate type on concrete strength and permeability. Journal of Building Engineering. 37: Article No.101928.

[22]- Yap, S. P., Chen, P. Z. C., Goh, Y., Ibrahim, H. A., Mo, K. H., & Yuen, C. W. 2018. Characterization of pervious concrete with blended natural aggregate and recycled concrete aggregates. Journal of Cleaner Production. 181: 155–165.

[23]- Ahmad, S. I., & Hossain, M. A. 2017. Water permeability characteristics of normal strength concrete made from crushed clay bricks as coarse aggregate. Advances in Materials Science and Engineering. (4): 1–9.

[24]- Choi, H. B., & Park, J. O. 2022. study on mechanical properties of concrete using basalt-based recycled aggregate and varying curing conditions. Materials. 15(13): Article No.4563.

[25]- Al-Baijat, H. M. (2008). The use of basalt aggregates in concrete mixes in jordan. Jordan Journal of Civil Engineering. 2(1): 63-70.

[26]- Altwair, N. N. M., Yacoub, N. Y. O., Alsharif, N. a. M., & Sryh, N. L. S. 2024. Influence of surface roughness on durability of new-old concrete interface. Advances in Technology Innovation. 9(2): 143–155.

[27]- Jebli, M., Jamin, F., Malachanne, E., Garcia-Diaz, E., & Youssoufi, E. 2017. Experimental characterization of mechanical properties of the cement paste aggregate interface in concrete. European Physical Journal Conferences. 140: Article No.12014.

[28]- Tasong, W. A., Lynsdale, C. J., & Cripps, J. C. 1999. Aggregate-cement paste interface. Cement and Concrete Research. 29(7): 1019–1025.

[29]- Kong, L., & Du, Y. 2015. Interfacial interaction of aggregate-cement paste in concrete. Journal of Wuhan University of Technology.30(1): 117–121.

[30]- Newman, K. 1959. The effect of water absorption by aggregates on the water/cement ratio of concrete. Magazine of Concrete Research. 11(33): 135–142.