مجلة بحوث البناء
المجلد (٩) العدد (١) ٢٠٢٤

# تحسين خصائص الخرسانة المسامية

*[١]سعد جميل ابراهيم، [٢] سهير كاظم الحبوبي، [٣] نداء طه عيدان، [٣] حسين عبد علي،
[٣] فاطمة مقداد محمد،[٣] هدى حميد ناصر

[١] قسم مواد البناء، دائرة بحوث البناء، العراق
[٢] دائرة المباني، العراق
[٣]قسم الانشاءات، دائرة بحوث البناء، العراق

**الخلاصة**

تعتبر خرسانة الرصف المسامية أحد أنواع الخرسانة عالية الأداء في تصريف ونفاذ الماء من خلالها بحكم الفراغات المنتشرة فيها داخليا وخارجيا مما يتطلب اجراء بحوث لتطوير خصائصها في مقاومة الاحمال الخارجية والحفاظ على خاصيتها في تصريف الماء. يهدف البحث الى دراسة تأثير المضافات المعدنية والكيميائية ونوعين من الالياف على خصائص خرسانة الرصف المسامية الميكانيكية والهيدروليكية.

تم دراسة الخصائص الميكانيكة والهيدروليكية لخمس خلطات من خرسانة الرصف المسامية ,حيث تم تحضير الخلطة المرجعية من السمنت والركام الخشن والماء فقط اما في الخلطة الثانية تم إضافة الملدن الفائق والمقلل للماء لدرجة عالية مع تقليل في كمية الماء ,وفي الخلطة الثالثة تم إضافة مادة غبار السليكا و الركام الناعم ولنسب (٣,٤و٣ )%على التوالي من وزن الركام الخشن إضافة الى المضاف الملدن , اما الخلطتين الرابعة والخامسة فقد تم إضافة نوعين من الالياف الزجاجية كل على حدة نوع ( PPM-12,PPF-300 ) وبنسبة (٠,٤٣) % من وزن الركام الخشن إضافة لباقي المكونات المذكورة في الخلطة الثالثة .

اجريت الفحوص الميكانيكية والهيدروليكية لهذه الخلطات الخرسانية وبينت نتائج الفحوص امكانية تحسين خصائص مقاومة الانضغاط عند إضافة غبار السليكا والركام الناعم وبنسبة زيادة بلغت (١٥٨و١١٠) % للأعمار(٧و٢٨) يوم على التوالي الا انه ساهمت في تقليل من حجم الفراغات الموجودة بنسبة (١٣،٥) % مما ادى لنقصان في كمية نفاذية الماء بنسبة (١٨،٦).% واتضح ايضا ان استخدام الالياف الزجاجية له أثر ايجابي واضح في تحسين مقاومة الانثناء وبنسبة بنسبة (223) % وتحسن في مقاومة الانضغاط وبنسبة زيادة بلغت (١٨٣و١٦٠) % للأعمار(٧و٢٨) يوم على التوالي مع نقصان بسيط في حجم الفراغات الموجودة (١٤،٩) % وفي كمية نفاذية الماء بنسبة (٢٥،٦) % مقارنة بالخلطة المرجعية.

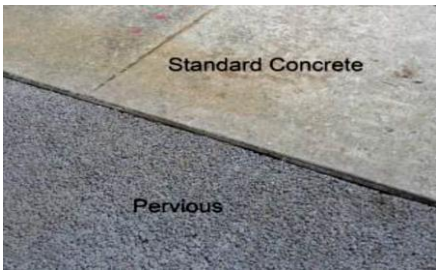
**الكلمات الرئيسية:** خرسانة، رصف، مسامية، هيدروليكية.



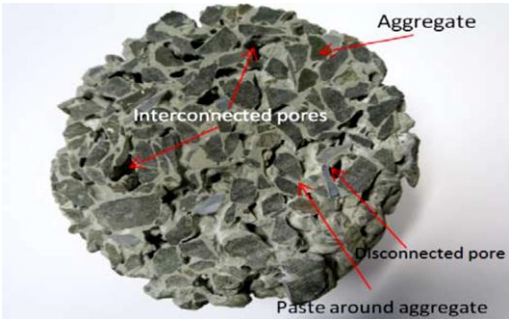
*المؤلف المراسل: سعد جميل ابراهيم
Saadjmeal@gmail.com

**١-المقدمة**

يستطيع سطح الأرض في المناطق الزراعية والمناطق غير المأهولة أن يمتص ما يصل إلى ٨٠-٩٠ % من مياه الأمطار، أما في أراضي المدن المغطاة بالأسفلت والخرسانة غير المنفذة للماء، فإن هذه النسبة تنخفض بشكل هائل لتصل إلى١٠ % فقط، وهي المشكلة التي تظهر بشكل أوضح كلما زاد عدد الناس المهاجرين من الريف إلى الحضر وازداد الرصف بالمقابل، طريقة إصلاح البشر لهذا الخلل كان في بناء نظام بنية تحتية متماسك وقادر على صرف مياه الأمطار العاصفة، لكن الأمر تفاقم بعد أن أصبحت معظم شبكات الصرف قديمة وغير قادرة على مواكبة الزيادة في زيادة هطول الأمطار المرتبطة بالتغير المناخي، فعندما يتجاوز هطول الأمطار قدرة نظام الصرف والبنية التحتية، تتكون فيضانات وطفح لمياه الصرف الصحي الخطيرة على الفورالتي تؤثر تأثيرا مباشرا على سكان وطرق المدن وجعلت أغراض المنازل تسبح في الشوارع مما يهدد الصحة العامة اولا وسلامة الابنية ثانيا، ففي بلدنا يتأثر بمنخفضات جوية هائلة قادمة من البحر المتوسط والبحر الاحمر مما يسبب هطول كميات كبيرة جدا من الامطارلفترات زمنية قصيرة مخلفة فيضانات في اغلب شوارع العاصمة وباقي المدن لعدم قدرة البنى التحتية لمجاري تصريف مياه الامطار وعدم تهيأتها وتنظيفها مسبقا , مما يتطلب بالتفكير الجاد لحل هذه المشكلة المتكررة سنويا من خلال تنفيذ الشوارع الفرعية والثانوية ذات الحجم المروري المتوسط باعمال تنفيذ وصب الطرق والارصفة بالخرسانة المسامية النافذة للماء وفق تصاميم متكاملة لتصريف المياه ونقلها من خلال قنوات تصريف سطحية عميقة الى المحطات الرئيسية بذلك. وتعتبرخرسانة الرصف المسامية (Pervious Concrete) هي احدى انواع الخرسانات عالية الاداء في تصريف مياه المطار وتسمح بمرور الماء من خلالها كما موضحة في الشكل (١) المظهر العام للخرسانة الاعتيادية وخرسانة الرصف المسامية وتسمى أيضا الخرسانة النافذة للماء(Permeable Concrete) او الخرسانة العطشى ( Thirsty ) Concrete او يطلق عليها ايضا الخرسانة خالية المواد الناعمة الرمل ( No- Fines concrete) وقد تحتوي على نسبة قليلة جدا من الرمل او اي مادة ناعمة اخرى. الخرسانة متدرجة الفجوات (Gap-Graded concrete) [١]. كما موضحة في الشكل (٢).

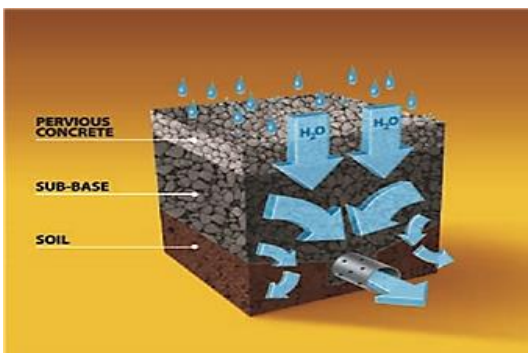



شكل (١): نماذج خرسانة عادية والاخر خرسانة مسامية




شكل (٢): مقطع من نموذج الخرسانة المسامية

ان مبدأ الية عمل خرسانة الرصف المسامية يتمثل عندما يسقط المطر على سطحها، فإنها تقوم بتصريف المياه من خلالها وبالامكان استخدام خرسانة الرصف المسامية كنظام متكامل لتصريف مياه الامطار من خلال زرع انابيب مثقبة تحت الخرسانة المسامية والتي تقوم بدورها بسحب المياه ونقلها الى الخطوط الرئيسية مما يسهل بذلك تجاوز مرحلة الفيضانات الخطرة نتيجة عدم انسداد الانابيب المثقبة وخلوها من الانقاض المترسبة كما موضح في الشكل (٣)



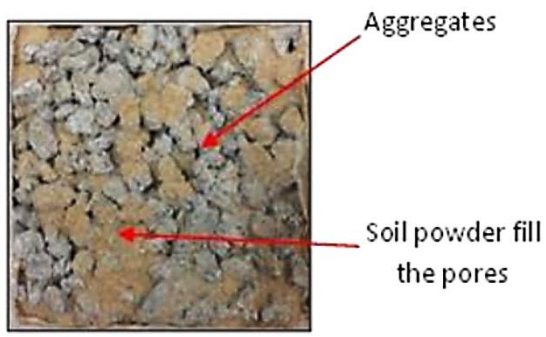

شكل (٣): نظام التصريف لخرسانة الرصف المسامية مع الانبوب المثقب [٢]

تمتاز خرسانة الرصف المسامية بالعديد من المميزات ومن اهمها [٣]:

١- يمكن أن تشكل جزءً فعالاً من نظام تكلفة صرف مياه الأمطار إذ يمنع تجمعها ويقلل من تكاليف الشبكة المطرية كما ويخفف من تلوث السطح.
٢- تعتبر تطبيقا مهما لموضوع الأبنية المستدامة في دورها بالحفاظ على نوعية المياه الممكن إعادة تدوير استخدامه فهو الأسلوب الأمثل لتجميع مياه الإمطار وتنقيته من خلال طبقة المرشح التي يمر من خلالها.
٣- تقلل الحاجة إلى برك الترسيب والمناهل وأنظمة إدارة مياه الأمطار ومراقبة الفيضان.
٤- تقلل من وهج وبريق الأرصفة المبللة بالأمطار بسبب نفاذ الماء وتقلل من تأثير الجزر الحرارية وانعكاس الضوء.
٥- تغذية المياه الجوفية لزيادة فترات استخدام المخزونات المائية الجوفية.
٦- يقلل من الضوضاء الناتجة عن الاطارات بسبب الفتحات الموجودة فيه مما يجعل جزء من الصوت ينفذ داخل الخراسانة.
٧- يستفاد منه في تلطيف حرارة الجو بسبب التبخر من خلال الطبقة النفاذة.

وللميزات الكثيرة لخرسانة الرصف المسامية التي ذكر قسم منها الا انها لا تخلى من العيوب [٤] ومن اهم عيوبها.

١- تمتلك مقاومة انضغاط وانثناء قليلة لسبب حجم الفراغات العالي وبذلك يكون استخدامها محدد للأحمال ولا يمكن استخدامها في الطرق ذات الاحمال المرورية العالية.
٢- انغلاق الفجوات بسبب الغبار والاتربة كما موضحة في الشكل (٤) مما تحتاج لمتطلبات صيانة دورية.
٣- يتطلب تنفيذها جودة عالية من الاتقان لأعمال الخلط والصب.




شكل (٤): انغلاق الفجوات بالأتربة [٥]

وللفوائد الكبيرة التي تمتاز بها خرسانة الرصف المسامية مكنها من تطبيقها في العديد من المشاريع الانشائية ومن اهمها [٢] في الشوارع ذات الاحمال المرورية المتوسطة, مماشي الحدائق العامة وحدائق الحيوانات ,مواقف المركبات, معابر المياه المنخفض ,ملاعب التنس ,الباحات ,المنحدرات الجانبية , ,ممرات الألعاب المائية ,المنشاءات المائية , اسطح حمامات السباحة , حافات التصاريف ,الأرصفة البحرية ,الجدران الشوارع والازقة السكنية و ميادين التدريب والالعاب.

**٣- الدراسات السابقة**

الخرسانة المسامية عالية الأداء في تصريف مياه الامطار بفضل وجود فراغات منتشرة في هيكلها والتي تقدر (١٥-٢٥)% مما يجعلها خفيفة الوزن اذ يتراوح وزنها (٢٢٠٠ – ١٥٠٠) كغم/م$^{٣}$ [٦] و وضحت المواصفة الامريكية ان نسبة الفراغات الموجودة في خرسانة الرصف المسامية تتراوح (١٨-٣٥) % وان ثابت النفاذية اكبر او يساوي cm/s (٠،١) [٧] ولخلوها من المواد الناعمة مما يجعل التلاصق بحبيبات الركام الخشن اقل من الخرسانة التقليدية مما يقلل من مقاومة الانضغاط اذ تتراوح بين (٥-٣٠ ) ميكاباسكال ومقاومة الانثناء تقدر (٢،٨-١٠) ميكاباسكال ولتحسين هذه الخاصية حيث يتم استخدام الركام الناعم بكميات قليلة من وزن الاسمنت واستخدام المواد البوزلانية مثل غبار السليكا وخبث الافران العالي والرماد المتطاير. ولوجود الفجوات المفتوحة في الخرسانة المسامية حيث تساهم في تصريف المياه وبنفس الوقت كلما زادت نسبة الفجوات قلت المقاومة الميكانيكية للخرسانة المسامية [٦].

ومن اجل تحسين المقاومة الميكانيكية والحفاظ على كمية تصريف المياه من خلال استخدام خرسانة مسامية ليفية باستخدام احد أنواع الالياف المعتاد استخدامها في الاعمال الخرسانية والتي بدورها تزيد من قوة ربط مونة السمنت مع حبيبات الركام الخشن وتساهم أيضا في منع توسع الشقوق المايكروية والعادية في بنية الخرسانة المسامية مما سينتج عنها تحسن في خاصية مقاومة الشد و يزيد من قوة تحمل الخرسانة[٨] إضافة لذلك لا تقلل من كمية تصريف المياه وتعطي مرونة جيدة ومقاومة جيدة وحماية من الفشل خاصة للمساحات المعرضة للاحمال المتكررة لذلك فان الالياف تزيد من ديمومة الخرسانة المسامية [٩] بسبب الترابط الجيد بين عجينة السمنت وحبيبات الركام الخشن [١٠].

حيث قام (W.Jain 2023) باستخدام أنواع متعددة من الالياف وبنسب مختلفة واثبت ان نسبة ( 6) كغم/م$^{٣}$أعطت نتائج جيدة مما ساهم في تحسين مقاومة الانثناء [١١] وأوضح ( S. Hesami 2014) عند استخدام رماد قشور الرز كمادة بوزلانية ولنسب معينة إضافة الى استخدام 0.3% من الياف بولي فانيلين PPS مع إضافة 0.5% الالياف الحديدية من وزن السمنت قد احدث تحسنا في الخواص الميكانيكية للخرسانة المسامية [١٢] واثبت النتيجة هذه عندما درس (M.Lee 2023) اثر إضافة الالياف الزجاجية لنسب (٠،٠٥و٠،٢٥)% مع الياف حديدية لنسب (١،٢) % من وزن السمنت قد اسهم في تحسين المقاومة الميكانيكية [١٣].

أوضح ( S.Ozel 2023) ان التوزيع المنتظم لحبيبات الركام الخشن مع استخدام الالياف الحديدية في الخرسانة المسامية قد حسن من مقاومة الانضغاط بمقدار (٨،٨) ميكاباسكال وعند استخدام الياف البولي بوريلين قد حسن مقاومة الانثناء بمقدار (٣) ميكاباسكال وساهم ايضا في تحسين مقاومة الشد بمقدار(٢،٢) ميكاباسكال [١٤].

وبينت (R.Fawzi 2023) في بحثها تاثير استخدام الالياف الزجاجية بولي بروبلين مع غبار السليكا في الخرسانة خالية المواد الناعمة مع الركام المعاد تدويرها حيث أوضحت ان استخدام نسبة ٠،٥٪ من الالياف الزجاجية مع استبدال ١٠٪ من السمنت بغبار السليكا واستبدال ١٠٪ من الركام المعاد تدويره من تكسيرقطع الخرسانة القديمة بدلا من الركام الطبيعي ساهم في تحسين الخواص الميكانيكية للخرسانة المسامية (٢١)% لمقاومة الانضغاط و (٢٢،٢)% لمقاومة الانثناء [١٥] . وهذا ما تم اثباته من قبل (A. Nasser2022) في بحثه اذ اثبت ان استخدام الالياف الزجاجية المصنعة من تدوير المواد ساهم في تحسين مقاومة الانضغاط بنسبة (١٥-٢٠) % وساهم في تحسين مقاومة الانثناء (٢٠-٢٥) % مقارنة مع الخلطة المرجعية [١٦] و اوضحت (S.Abeer 2024) في بحثها لتحسين سلوك الخرسانة المسامية باستخدام الياف البروبلين والياف مصنعة من مخلفات البلاستك بان إضافة كلا الالياف 0.5% من حجم الخرسانة ساهم في تحسين خصائص الخرسانة الميكانيكة [١٧].

## ٤- الجانب العملي

### ٤-١ المواد المستخدمة في البحث

أ- السمنت

تم استخدام السمنت البورتلاندي المقاوم للأملاح نوع الماس وتم مقارنته وفق المواصفة العراقية القياسية رقم ٢٠١٩/٥ والجدول (١) و (٢) يوضحان التحليل الكيميائي والفيزيائي للاسمنت المستخدم في الدراسة.

جدول (١): التحليل الكيميائي للسمنت

| Compound composition | Abbreviation | Percent by weight | Limits of IQS No. 5/2019 |
|---|---|---|---|
| Lime | CaO | 61.2 | - |
| Silica | $SiO_2$ | 20.9 | - |
| Alumina | $Al_2O_3$ | 3.75 | - |
| Iron oxide | $Fe_2O_3$ | 5.27 | - |
| Magnesia | MgO | 3.4 | $\leq 5\%$ |
| Sulfate | $SO_3$ | 2.13 | $\leq 2.85\%$ |
| Loss on ignition | L.O. I | 3.9 | $\leq 4\%$ |

جدول (١): تابع

| | | | |
|---|---|---|---|
| Insoluble residue | I.R | 1.47 | ≤ 1.5 |
| Lime saturation factor | L.S.F | 0.84 | 0.66-1.02 |
| Main compounds % by weight | | | |
| Name of compounds | Abbreviation | Percent by weight | |
| Tri calcium silicate | $C_3S$ | 47.1 | |
| Di calcium silicate | $C_2S$ | 22.35 | |
| Tri calcium laminate | $C_3A$ | 1.24 | |
| Tetra calcium alumino ferrite | $C_4AF$ | 15.89 | |

جدول (٢): التحليل الفيزيائي للسمنت

| Physical properties | Limits of cement | Limits of IQS No. 5/2019 |
|---|---|---|
| Fineness $m^2/kg$ | 326.1 | ≥ 230 |
| Initial setting time (min) | 108 | ≥45 |
| Final setting time (h:min) | 4:27 | ≤ 10:00 |
| Compressive strength (Mpa)<br>2 days<br>28 days | <br>22<br>45.3 | <br>≥ 20<br>≥ 42.5 |

ب-الركام الناعم

تم استخدام الرمل الأحمر كركام ناعم وبنسبة (١٣) % من وزن الاسمنت وتم مقارنته مع المواصفة العراقية القياسية ١٩٨٤/٤٥ المنطقة الثانية وكما موضح في الجدول (٣).

جدول (٣ ): التحليل الفيزيائي وفحص الكبريتات للرمل

| Sieve size (mm) | Percentage passing % | Limit of IQS No.45/1980, Zone (2) |
|---|---|---|
| 10 | 100 | 100 |
| 4.75 | 95 | 90-100 |
| 2.36 | 85 | 75-100 |
| 1.18 | 69 | 55-90 |
| 0.6 | 45.6 | 35-59 |
| 0.3 | 16.1 | 8-30 |
| 0.15 | 2.32 | 0-10 |
| Sulfite % ($SO_3$) | 0.13 | ≤ 0.5% |

ت-الركام الخشن
تم استخدام الحصى المكسر من مقالع بلد وبتدرج واحد وتم مقارنته مع المواصفة العراقية القياسية رقم ١٩٨٤/٤٥كما موضح التحليل الفيزيائي وفحص الكبريتات في الجدول (٤) والموضح في الشكل (٥).

جدول (٤): التحليل الفيزيائي وفحص الكبريتات للركام الخشن

| sieve | Passing % | Limit of IQS No.45/1980 |
|---|---|---|
| 10 | 99.4 | 100 |
| 4.75 | 5.3 | 97 |
| 2.36 | 0.2 | 0 |
| pan | 0 | 0 |
| Sulfate content (%) | 0.03 | 0.01 |

شكل (٥ ): الركام الخشن المستخدم في البحث

ث- ماء الخلط Mixing Water
تم استخدام الماء الصالح للشرب للخلط والمعالجة ومطابق للمواصفة العراقية القياسية ١٩٩٢/١٧٠٣ .

ج- المضاف الملدن الفائق المقلل للماء لدرجة عالية HRWR
تم استخدام المضاف Super plasticizer (SP)الملدن الفائق والمقلل للماء لدرجة عالية High Range Water Reducing Admixture المعرف تجاريا (-BETONAC® 1030) والمصنف نوع G حسب المواصفة الامريكية ( C ٤٩٤) والذي يستخدم غالبا في الخرسانة ذاتية الرص SCC والذي يمتاز بقابلية تشغيل جيدة من غير حدوث انعزال في مكونات الخلطة وكما مبينة مواصفاته في الجدول (٥).

جدول (٥): مواصفات المضاف الملدن HRWR

| | |
|---|---|
| Chemical content | Polycarboxylate based |
| Color, appearance | Transparence |
| pH | 7.5 at 20◦c |
| Density | 1.108 g/ml |

ح-غبار السليكا Silica fume

وهي احدى المضافات المعدنية التي تمتلك خواص بوزلانية وتمتاز بنعومتها الفائقة كما موضح في الشكل (٦) وتم مقارنتها مع المواصفة الامريكية (١٢٤٠) ويبين الجدولين (٦و٧) الخواص الفيزيائية والكيميائية

شكل :(6) غبار السليكا

جدول (٦): الخواص الكيميائية لغبار السليكا

| Compound composition | Percent by weight | Limit of ASTM C1240 |
|---|---|---|
| Loss on ignition | 2.1 | ≤6 |
| $SiO_2$ | 93.5 | ≥85 |
| $Al_2O_3$ | 2.25 | |
| $Fe_2O_3$ | 0.63 | |
| $SO_3$ | Nil | |
| Total | 99.76 | |

جدول (٧) : الخواص الكيميائية لغبار السليكا

| Physical properties | results | Requirement of ASTM C1240 |
|---|---|---|
| Retaining on sieve 45μm, % | 5.8 | ≤10 |
| strength activity index | 127 | ≥105 |

**خ-** الالياف الزجاجيةFiberglass

الالياف الزجاجية وتسمى أيضا الزجاج الليفي وهو زجاج على شكل الياف (خيوط) دقيقة يكون قطرها أجزاء من المليمتر ذات ملمس ناعم جدا وخفيفة الوزن وتمتاز بالمرونة وعدم التمدد والصدأ تم استخدام نوعين من الالياف الزجاجية وهما PPF-300 و PPM-12 الموضحة في الشكل (٧) والجداول (٩) و(١٠) توضح مواصفات الالياف الزجاجية المستخدمة.

**a PPM-12 b PPF-300**

الشكل (٧): الالياف الزجاجية المستخدمة

الجدول (٩): مواصفات الالياف الزجاجية نوع PPM-12

| | |
|---|---|
| SikaFiber® PPM-12 EN 14889-2 | CE Marking and Declaration of Performance to |
| Shelf life | 24 months from date of production |
| Density | 0.91 g/cm3 |
| Dimensions | Diameter 32 µm<br>Length 12 mm |
| Product Declaration | Class 1a: long Mono-filamented polypropylene |
| Specific tensile strength | 285 Mpa |
| Melting point | ~160 °C |
| Recommended dosage - | 600 g or 900 g per m3 concrete.To reduce spalling at high temperatures 1000–2000 g per m3 concrete |

الجدول (١٠): مواصفات الالياف الزجاجية نوع PPF-300

| | |
|---|---|
| SikaFiber® PPF-300 meets the requirements of ASTM C-1116, Type III fiber | |
| Shelf Life If stored in dry conditions | 5 years. |
| Density | 0.91 |
| Dimensions | multi-length, 12.7 mm and 19.05 mm |
| Product Declaration | Fibrillated polypropylene |
| Tensile Strength | 275–413 Mpa |
| Tensile Modulus of Elasticity | 4137 Mpa |
| Resistance to Alkalinity | Excellent |

**٤-٢ تصميم خلطات الرصف المسامية**

تم تصميم خلطة مرجعية Mix 1 باستخدام المواد الاولية من السمنت ,الركام الخشن والماء وبنسبة ركام الى السمنت (٤،٥٧) وبنسبة ماء الى السمنت تقدر (٠،٤٣) والانطلاق لتصميم خلطات مشتقة من الخلطة المرجعية , ففي الخلطة Mix 2 تم اضافة المضاف الملدن HRWR لتقليل كمية الماء لجعل نسبة الماء الى السمنت تقدر( ٠،٢٧) مع الاحتفاظ لنفس كميات السمنت والركام الخشن , وفي الخلطة Mix 3 تم اضافة مادتي غبار السليكا والركام الناعم (الرمل) ولنسب ( ٣،٤و٣)% من وزن الركام الخشن الى مكونات الخلطة Mix 2 واصبحت نسبة الركام الخشن الى السمنت (٣,٩) مع الاحتفاظ بنسبة الماء للسمنت عند (٠،٢٧) بالرغم من زيادة كمية الماء لسبب اضافة غبار السليكا ,وفي الخلطة Mix 4 تم اضافة الالياف الزجاجية نوع PPM-12 وبنسبة (٠،٤٣)% من وزن الركام الخشن مع الاحتفاظ بنفس الكميات في الخلطةMix 3 السابقة ,اما في الخلطة Mix 5 تم اضافة الالياف الزجاجية نوع PPF-300 وبنسبة (٠،٤٣)% من وزن الركام الخشن والاحتفاظ ايضا لنفس مكونات الخلطة Mix 3 والجدول (١١) يبين كميات المواد المستخدمة في الخلطات الخمس.

**٤- ٣ قوالب خلطات الرصف المسامية**

تم تهيئة العديد من القوالب الفولاذية وبلاستيكية والخشبية وتزييتها للصب فيها لكل خلطة وكما يلي

- قوالب مكعبة بلاستيكية ابعاد (١٠٠ ×١٠٠× ١٠٠ ) ملم عدد ١٢ لاجراء فحص مقاومة الانضغاط وحساب نسبة الفجوات.
- قوالب اسطوانية فولاذية بقطر ١٠٠ملم وارتفاع ٢٠٠ملم عدد ٣ لإجراء فحص سرعة تصريف ونفاذية نماذج خرسانة الرصف المسامية.
- قوالب مواشير فولاذية ابعاد (٧٥ ×٧٥× ٣٠٠ ) ملم عدد 3 لاجراء فحص مقاومة الانثناء.

- قوالب بلاطات خشبية ابعاد (١٠٠ ×٣٠٠× ٣٠٠ ) ملم عدد 1 لاجراء فحص تنظيف الفجوات والمسام.
- قوالب بلاطات خشبية ابعاد (١٠٠ ×٢٠٠× ٣٠٠ ) ملم عدد 1 لاجراء فحص تنظيف الفجوات والمسام.

### ٤ ـ ٤ صب ومعالجة خلطات الرصف المسامية

لا تختلف خرسانة الرصف المسامية عن غيرها من خلط المكونات الاساسية الجافة في البدء ومن ثم اضافة الماء والمضافات الكيميائية فيما بعد، تم املاء القوالب الفولاذية المزيته مسبقا ولطبقة املاء واحدة فقط وبعدها يتم تسوية سطح القالب دون اجراء اي اعمال رص او اهتزاز على القالب لتلافي فقدان الفراغات والفجوات بين حبيبات الركام الخشن وتترك القوالب لمدة ٢٤ ساعة في الهواء الطلق ومغطاة بطبقة من النايلون ومن ثم تفتح القوالب وتضع في احواض المعالجة بالماء لحين وصول العمر المطلوب للفحص.

الجدول (١١): خلطات خرسانة الرصف المسامية في البحث

| Mix no. | Cement kg/m$^3$ | Gravel kg/m$^3$ | Water kg/m$^3$ | Silica kg/m$^3$ | Sand kg/m$^3$ | SP kg/m$^3$ | PPF kg/m$^3$ | PPM kg/m$^3$ | W/C | G/C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mix 1 | 350 | 1600 | 152 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.43 | 4.57 |
| Mix 2 | 350 | 1600 | 95 | 0 | 0 | 6.2 | 0 | 0 | 0.27 | 4.57 |
| Mix 3 | 350 | 1600 | 110 | 55 | 48 | 6.2 | 0 | 0 | 0.27 | 3.9 |
| Mix 4 | 350 | 1600 | 110 | 55 | 48 | 6.2 | 7 | 0 | 0.27 | 3.9 |
| Mix 5 | 350 | 1600 | 110 | 55 | 48 | 6.2 | 0 | 7 | 0.27 | 3.9 |

C السمنت
G الركام الخشن
W الماء
SP المضاف الملدن المتفوق

PPM-12 الالياف الزجاجية
PPM-300 الالياف الزجاجية

## ٥- الفحوصات المختبرية

### ٥-١ فحص مقاومة الانضغاط Compressive Strength

من اهم الفحوصات الميكانيكة التي تجري على الخرسانة المسامية لتحديد الأداء الجيد لمدى تحمل الخرسانة المسامية للاحمال المسلطة عليها وحسب المواصفة البريطانية ١٨٨١الجزء١١٦لسنة١٩٨٣ وتتم على ثلاث مكعبات خرسانية واخذ المعدل لها لجميع الخلطات وللاعمار ٧ و٢٨ يوم بواسطة الجهاز الموضح في الشكل (٨) وحسب المعادلة التالية

$$fc = \frac{P}{A}$$

مساحة $A(mm^2)$ اعلى حمل المسبب للفشل P (N) مقاومة الانضغاط fc (Mpa )
وجه النموذج المعرض *للحمل*

a مكعبات الخرسانة المسامية b جهاز فحص الانضغاط

الشكل (٨): فحص مقاومة الانضغاط لمكعب من الخرسانة المسامية

### ٥-٢ مقاومة الانحناء Flexural Strength

من الفحوصات الميكانيكية التي تجري على مواشير من الخرسانة المسامية بطريقة ثلاث نقاط وبموجب المواصفة الامريكية C ٧٨ والبريطانية ١٨٨١ الجزء١١٨ :١٩٨٣ ولعمر 28 يوم وتم اخذ معدل فحص لثلاث مواشير لكل خلطة بواسطة الجهاز الموضح في الشكل (٩) بموجب المعادلة

.

$$R = \frac{P\,L}{b\,d^2}$$

طول الموشور L (mm) عرض الموشور b(mm) مقاومة الانحناء R(Mpa)

عمق الموشور d (mm) اعلى حمل مسبب الفشل P(N)

المواشير بعد فحص الانثناء c جهاز فحص الانثناء b قوالب مواشير A

الشكل (٩): فحص الانثناء لمواشير الخرسانة المسامية

### ٥- ٣ فحص النفاذية Permeability test

يقاس فحص النفاذية بطريقة (Constant Head Permeability) بواسطة الجهاز الموضح في الشكل (١٠) الذي تم تصنيعه مختبريا من انابيب البلاستك بقطر ٤ و٢ انج حيث يتم حساب الزمن لتصريف كمية معينة من الماء من خلال نموذج أسطواني من الخرسانة المسامية يتم حساب معامل النفاذية K من خلال (Darcy, law) وفق المعادلة التالية [١٨]، [١٨] واخذ معدل نتائج لثلاث اسطوانات لكل خلطة:

$$K=\frac{Q\,L}{A\,h\,t}$$

حجم الماء المضاف Q ($mm^3$) معامل النفاذية k (mm/s)

ارتفاع الماء h (mm) طول النموذج L (mm)

زمن نفاذ الماء t (sec) مساحة المقطع العرضي النموذج A ($mm^2$)_

الشكل (١٠): جهاز فحص نفاذية الخرسانة المسامية بطريقة Constant head

### ٤-٥ فحص نسبة المسام Porosity test

المسامية هي نسبة حجم الفجوات الى حجم العينة الكلي ويتم حسابها عن طريق حساب كمية الماء المزاح حسب نظرية ارخميدس للأجسام المغمورة والتي تنص ان قوة الطفو مساوية لوزن الماء المزاح. ان نسبة المسام تشمل جميع المسام المفتوحة والمغلقة ان حجم المسام للخرسانة المسامية المتصلبة تحسب من خلال حساب وزن العينة مكعبة (١٠٠×١٠٠×١٠٠) ملم الجافة بالفرن وتعيين وزنها مغمورة في الماء كما موضحة في الشكل (١١) ومن ثم يتم حساب حجم المسامات المئوية من المعادلة [١٩]. واخذ معدل لثلاث مكعبات لكل خلطة.

$$P= [1-(\frac{W2-W1}{\rho w \ V})] \times 100$$

P (%) نسبة الفجوات
V ($gm/cm^3$) حجم النموذج
ρw ($gm/cm^3$) كثافة الماء
W1 (gm) وزن النموذج في الماء
W2 (gm) وزن النموذج الجاف بالفرن

الشكل (١١) : قياس وزن نموذج مغمور من الخرسانة المسامية

### ٥-٥ انسداد المسام Clogging

يعتبر تراكم الغبار والاتربة على سطح الخرسانة المسامية من اهم المشاكل التي تقلل من كفاءة تصريف المياه لأنه يؤدي الى غلق المسام، ويتم تنظيف وفتح المسام بطريقتين وهما بواسطة تسليط ضغط ماء عالي او بواسطة سحب الغبار، وتم استخدام مكانة غسل المركبات المنزلية لدفع الماء يضغط عالي واستخدام مكنسة التنظيف المنزلي لسحب الغبار[٥] كما موضحة بالشكل (١٢)

الشكل (١٢): الأجهزة المنزلية المستخدمة في تنظيف مسامات خرسانة الرصف المسامية

### ٦ - النتائج والمناقشة

بعد إتمام عملية المعالجة لحد العمر المطلوب فحصه تم فحص النماذج واخذ معدل لثلاثة نماذج لكل خلطة والجدول (١٢) يوضح نتائج جميع خلطات الرصف المسامية.

الجدول (١٢): نتائج فحوصات خلطات خرسانة الرصف المسامية

| Mix no. | Density kg/m$^3$ | fc MPa | | R MPa | %P | Kmm/s |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 7 days | 28 days | | | |
| Mix 1 | 1780 | 6 | 10 | 1.3 | 20.8 | 4.3 |
| Mix 2 | 1795 | 9.8 | 14 | 1.6 | 20.2 | 4.23 |
| Mix 3 | 1870 | 15.5 | 21 | 2.9 | 18 | 3.5 |
| Mix 4 | 1920 | 17 | 26 | 4.2 | 17.7 | 3.2 |
| Mix 5 | 1925 | 16.1 | 24 | 3.8 | 17.9 | 3.23 |

من خلال الاطلاع على الجدول أعلاه نلاحظ ان جميع خلطات الرصف المسامية الموجودة أعطت مواصفات وخصائص الخرسانة المسامية ولها كثافة Density اقل بكثير من كثافة **الخرسانة** الاعتيادية التي تبلغ (٢٤٠٠) كغم/م$^3$ وذلك لسبب وجود الفراغات والفجوات المنتشرة في داخلها بين حبيبات الركام الخشن والتي سمحت بنفاذ وتصريف الماء من خلالها.

اظهرت نتائج فحوص الخواص الميكانيكية ان اضافة المضاف الملدن المتفوق HRWR في الخلطة Mix 2 ساهم في تخفيض نسبة W/C من (٠،٤٣) الى (٠،٢٧) لسبب تخفيض كمية ماء الخلط (٣٧،٥) %مما ادى الى تحسن ملحوظ في مقاومتي الانضغاط fc والانثناء R اذ كانت الزيادة في قيمة مقاومة الانضغاط(٤٠و٦٣،٣) % للأعمار (٢٨و٧) يوم على التوالي وزيادة في مقاومة الانثناء بلغت (٢٣) % مقارنة بالخلطة المرجعية Mix 1.

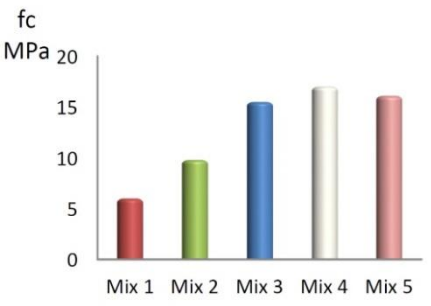
اما عند إضافة غبار السليكا والركام الناعم ولنسب (4,3و٤) % من وزن الركام الخشن إضافة الى المضاف الملدن HRWR في الخلطة Mix 3 نلاحظ زيادة كبيرة واضحة في نتائج فحص مقاومة الانضغاط بلغت (١١٠،١٥٨)( % للأعمار (٢٨و٧) يوم على التوالي وزيادة في مقاومة الانثناء بلغت % (١٢٣) مقارنة بالخلطة المرجعية Mix 1 , وذلك يعود الى تقليل نسبة (١٣،٤) % من كمية الفراغات لسبب اضافة المواد الناعمة التي ساهمت في زيادة التلاصق بين العجينة الاسمنتية وحبيبات الركام الخشن.

عند اضافة الالياف الزجاجية نوعي PPM-12 و PPF-300 وبنسبة (٠،٤٣)% من وزن الركام الخشن في الخلطة Mix 4 و الخلطة Mix 5 كان الاثر ظاهرا وكبيرا في تحسين الخواص الميكانيكية , وبلغت اعلى الزيادة في قيمة مقاومة الانضغاط في الخلطة Mix 4 استخدم فيه الالياف الزجاجية نوع PPM-12 وكانت الزيادة ( ١٨٣،٣،١٦٠) % للاعمار (٢٨و٧) يوم على التوالي وزيادة في مقاومة الانثناء بلغت (٢٢٣)% مقارنة بالخلطة المرجعية Mix 1 ,اما في الخلطة Mix 5 التي استخدم فيه الالياف الزجاجية نوع PPF-300 اعطت زيادة اقل من ما اعطت الخلطة Mix 4 و كانت نسبة الزيادة % (١٦٨،٣،١٤٠) للاعمار (٢٨و٧) يوم على التوالي وكذلك في مقاومة الانثناء بلغت (١٩٢،٣)% مقارنة بالخلطة المرجعية Mix 1.كما موضحة في الاشكال(١٣) و(١٤) و (١٥).

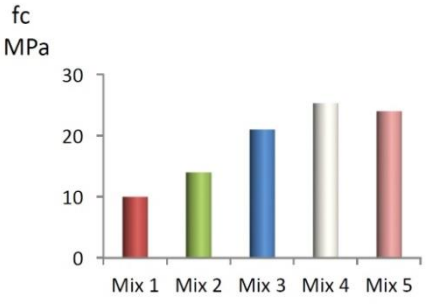
اما في الخواص الهيدروليكية فان جميع الخلطات أعطت تناقصا ملحوظا في فحص نسبة المسامية (P) وفحص تعيين معامل النفاذية k فان الخلطة المرجعية Mix 1 أعطت نسبة المسامية (حجم الفجوات ) تقدر ب(20.8)% وسمحت بنفاذ ماء وبلغ معامل النفاذية يقدر (٤،٣)mm/s , اما في الخلطة Mix2 تناقصت نسبة المسامية ومعامل النفاذية وبنسب قليلة بلغت (٢،٨و١،٦٢) %على التوالي مقارنة بالخلطة المرجعية Mix 1 , واظهرت نتائج الخواص الهيدروليكية في الخلطة Mix 3 كان التناقص في المسامية ومعامل النفاذية اكبر وبنسب (١٣،٥و٢٢،٨) %على التوالي مقارنة بالخلطة المرجعية Mix 1 لسبب امتلاء بعض الفجوات والمسامات بالمواد الناعمة المتمثلة بغبار السليكا والركام الناعم التي تم اضافتها , اما في الخلطة Mix4 و الخلطة Mix 5 فكان لاضافة الالياف الزجاجية اثر قليل في تقليل نسبة الفجوات والمسام الموجودة عن ما هو عليه في الخلطة Mix 3 وسجلت نسبة المسامية ومعامل النفاذية في الخلطةMix4 (٢٥،٥،١٥) %على التوالي مقارنة مع الخلطة Mix1, وفي الخلطة Mix5 كان التناقص اقل في نسبة المسامية ومعامل النفاذية وبلغ ( ٢٤،٨،١٤) %على التوالي مقارنة مع الخلطة Mix1 كما موضحة في الاشكال (١٦) و (١٧) و,السبب لتناقص الكبير في نسبة المسامية ومعامل النفاذية في الخلطات Mix 3 ,Mix 4 و Mix 5 عن

الخلطة المرجعية Mix 1 يعود الى إضافة غبار السليكا والركام الناعم ,والالياف الزجاجية للخلطات مما ساهم في تقليل من حجم الفجوات الداخلية او امتلاء الصغير منها .

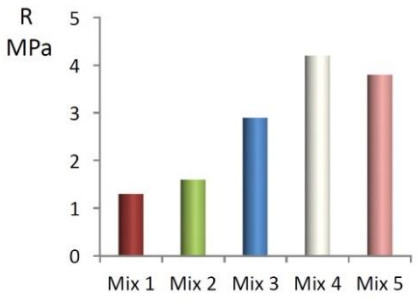
تعتبر الالياف الزجاجية عناصر خاملة ولا تدخل في التفاعلات الكيميائية فليس لها تاثير على ديمومة الخرسانة وانما دورها في تعزيز الخواص الميكانيكية وتساهم بشكل كبير في تدعيم مونة الربط المحيطة بحبيبات الركام الخشن.



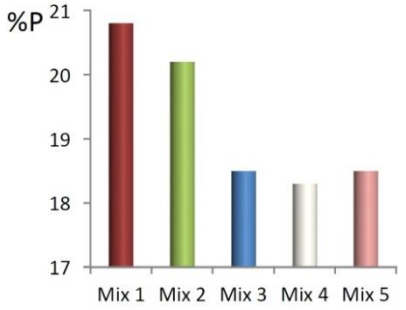

الشكل (13 ) فحص مقاومة الانضغاط fc لعمر 7 يوم



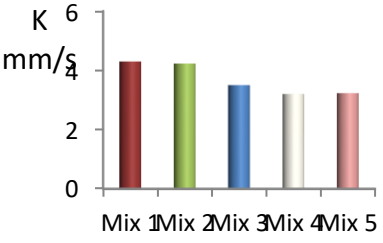

الشكل ( 14) فحص مقاومة الانضغاط fc لعمر 28 يوم




الشكل (15): فحص مقاومة الانثناء R




الشكل (١٦): فحص نسبة المسامية P %




الشكل (١٧): فحص معامل النفاذية

**٦-١ تنظيف المسام**

تم استخدام المكائن المنزلية البسيطة في تنظيف مسام والفجوات الموجودة في سطح خرسانة الرصف المسامية وهما ماكنة غسل المركبات والمكنسة الكهربائية من خلال استخدام بلاطات خرسانة الرصف المسامية عدد اثنان بعد تحديد مساحة دائرية باستخدام شريحة من أنبوب بلاستك قطر ( ١٥٠ ) ملم وارتفاع (٥٠) ملم مثبتة على سطح النموذج باستخدام مادة السليكون حيث تم نشر كمية من الغبار والتراب الناعم على المنطقة المحددة وباستخدام ماكنة غسل المركبات وتسايط ضغط لدفع الماء كما في الشكل ( ١٨) واستخدام المكنسة لشفط التراب كما موضح في الشكل (١٩) تم تنظيف المسامات ومعالجتها من الانغلاق وتم اختبار تصريف الماء بعد التنظيف وكان التصريف بنفس الكفاءة .

الشكل (١٨): استخدام ماكنة غسل المركبات لفتح المسامات

الشكل (١٩): استخدام المكنسة الكهربائية لشفط الغبار من المسامات

**٧- الاستنتاجات**

من خلال الاطلاع على النتائج ومناقشتها نستنتج اهمها.

١. تم النجاح من صب خرسانة الرصف الخرسانية وفق المتطلبات المحددة في المواصفة اي سي اي ٢٢٥.
٢. لوجود الفراغات والفجوات الموجودة في بنية خرسانة الرصف المسامية تؤدي الى تناسب عكسي بين المواصفات الميكانيكية والهيدروليكية وقل التناسب العكسي بإضافة مادة غبار السليكا والركام الناعم ولنسب (3,3.4) % من وزن الركام الخشن.
٣. بالإمكان انتاج خرسانة الرصف المسامية من المكونات الرئيسية للخلطة الخرسانية المتمثلة بالسمنت والركام الخشن والماء فقط من غير استخدام (الإضافات الكيميائية والمعدنية والالياف الزجاجية) كما في الخلطة Mix1 واعطت نتائج جيدة في تصريف أكبر كمية للماء وقدرت ب (4.3) mm/s الا انها ذات قوى تحمل ميكانيكية اقل.
٤. إضافة المضافات (الكيميائية والمعدنية ونسبة قليلة من الركام الناعم) ساهمت في تحسين مقاومتي الانضغاط والانثناء بشكل ملحوظ في الخلطة Mix3 وكانت الزيادة (123.110) %على التوالي مقارنة بالخلطة المرجعية Mix 1.
٥. ان إضافة الالياف الزجاجية بنوعيها PPM-12 وPPF-300 ساهم بشكل كبير في تحسين خاصية مقاومة الانثناء اذ بلغت نسبة الزيادة في Mix4 وMix5 (192.3.223) %على التوالي مقارنة بالخلطة المرجعية Mix 1.
٦. اضافة الالياف الزجاجية نوع PPM-12 اعطى نتائج افضل من إضافة الالياف الزجاجية وPPF-300 والسبب يعود الى تجانس الأول وانتشاره في الخلط .
٧. بالامكان تنظيف سطح الخرسانة المسامية من الغبار والاتربة باستعمال مكانة شفط الغبار او بتسليط ماء بضغط بسيط من مكانة غسل المركبات المنزلية.

**المصادر**

[١] Young, M., and Joung, M. (2008) 'Evaluation and Optimization of Porous Concrete with Respect to Permeability and Clogging', M.Sc. Thesis, Texas A&M University, Texas, U.S.A.

[٢] Sika Group 'A Guide to Porous Concrete, Technology & Concepts'.

[٣] محمد، قاسم (٢٠١٧) "الخرسانة النفاذة - المسامية"، جامعة الكوفة، الكوفة، العراق.

[٤] Yukari, A. (2009) 'Development of Porous Concrete', M.Sc. Thesis, University of Technology, Sydney, Australia.

[٥] Latif, A., Jaya, R., and Shu, D. (2023) 'Compressive Strength and Clogging Investigation', Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology, 29(3), pp. 128-138.

[٦] Chockalingam, T., Vijayaprabha, C., and Raj, J. (2023) 'Experimental Study on Size of Aggregates, Size and Shape of Specimens on Strength Characteristics of Porous Concrete', Constr. Build.

[٧] ACI 522R-06 (2004) 'Porous Concrete Mix Proportioning'.

[٨] Ćosić, K., Korat, L., Ducman, V., and Netinger, I. (2015) 'Influence of Aggregate Type and Size on Properties of Porous Concrete', Constr. Build.

[٩] Neamitha, M., and Supraja, T. (2017) 'Influence of Water Cement Ratio and the Size of Aggregate on the Properties of Porous Concrete', Int. Ref. J. Eng. Sci. vol. 6, pp. 9-16.

[١٠] Rangelov, M., Nassiri, S., Chen, Z., and Russell, M. (2017) 'Uhlmeyer Quality Evaluation Tests for Porous Concrete Pavements', placement. Int. J. Pavement Res. Technol. vol. 10, pp. 245-253.

[١١] Jain, W., Laingjie, H., and Chaoqun, H. (2023) 'Impact of Polypropylene Fiber on the Mechanical and Physical Properties of Porous Concrete an Experimental Investigation', Buildings, 13(8).

[١٢] Hesami, S., Ahmadi, S., Nematzadeh, M. (2014) 'Effects of Rice Husk Ash and Fiber on Mechanical Properties of Porous Concrete Pavement', Construction and Building Materials, vol. 53, pp. 680-691.

[١٣] Gin Lee, M., Chien, W., Chih, Y., Cheng, Y., and Chih Lin, Y. (2022) 'Mechanical Properties of High-Strength Porous Concrete with Steel Fiber or Glass Fiber', Buildings, vol. 12.

[١٤] Ozel, S., Sakalli, Y., Sahin, Y. (2022) 'The Effects of Aggregate and Fiber Characteristics on the Properties of Porous Concrete' Construction and Building Materials, vol. 356.

[١٥] Ruaa, Q., and Hadeel, K. (2023) 'The Influence of Polypropylene Fiber and Silica Fume on the Mechanical Properties of No-Fine Concrete with Recycled Aggregate', E3S Web of Conferences 427.

[١٦] Nasser, A., Elzahraa, F., Eid, M., Kandil, R., and Afify, M. (2022) 'Experimental Study on Mechanical and Physical Properties of Porous Concrete with Different Admixtures', Engineering research journal, Menofia University, 45(4).

[١٧] Abeer, S., Abdulridha, S., Nasr, S., Hasan, A., and Shubbar, A. (2024) 'Improving the Mechanical Behavior of Porous Concrete using Polypropylene and Waste Rope Fibers', Al-Qadisiyah Journal for Engineering Sciences, 17(1), pp. 38-46.

[١٨] Mahalingam, R., and Mahalingam, S. (2016) 'Analysis of Porous Concrete Properties', Gradevinar.

[١٩] Kuo, W., Liu, C., and Su, D. (2013) 'Use of Washed Municipal Solid Waste Incinerator Bottom Ash in Porous Concrete', Cement & Concrete Composites, vol. 37, pp. 328-335.

[٢٠] Vaithiyalingam, S., and Mahalingam, R. (2016) 'Analysis of Porous Concrete properties', Gradevinar.

Building Research Journal
Volume 9 Number 1 2024

# Improvement the Properties of Pervious Concrete

[*1]Saad Jameal Ibrahim, [2]Suhair Kadim Al-Hubboubi, [3]Nedaa Taha Edan
[3]Hussein Abdul Ali, [3]Fatima Muqdad Muhammad, [3]Hoda Hamid Nasser

[1] Building Materials Department, Building Research Directorate, Baghdad, Iraq
[2] Buildings Department, Baghdad, Iraq
[3] Structure Department, Building Research Directorate,Baghdad, Iraq

## Abstract

Pervious paving concrete is considered one of the types of concrete with high performance in draining and permeating water through it due to the voids spread in it internally and externally, which requires conducting research to develop its properties in resisting external loads and maintaining its water-draining property. The research aims to study the effect of mineral and chemical additives and two types of fibers on the mechanical and hydraulic properties of porous paving concrete. The mechanical and hydraulic properties of five porous concrete pavement mixes were studied. The reference mix was prepared from cement, coarse aggregate and water only. In the second mix, superplasticizer and water reducer were added to a high degree with a reduction in the amount of water. In the third mix, silica fume and fine aggregate were added at rates of (3.3.4%) of the weight of the coarse aggregate, respectively, in addition to the plasticizer. In the fourth and fifth mixes, two types of fiberglass were added separately, type (PPF-300, PPM-12) at a rate of (0.43%) of the weight of the coarse aggregate, in addition to the rest of the components mentioned in the third mix. Mechanical and hydraulic tests were conducted for these concrete mixtures and the test results showed the possibility of improving the compressive strength properties when adding silica fume and fine aggregate with an increase rate of (110.158)% for ages (28.7) days respectively, but it contributed to reducing the size of the existing voids by (13.5)%, which led to a decrease in the amount of water permeability by (18.6)%. It was also clear that the use of glass fibers has a clear positive effect in improving the flexural resistance by (223)% and an improvement in the compressive strength by an increase rate of (160.183)% for ages (28.7) days respectively with a slight decrease in the size of the existing voids (14.9)% and in the amount of water permeability by (25.6)% compared to the reference mixture.

**Keywords:** Concrete, hydraulic, porous, pavement

*Corresponding author :Saad Jameal Ibrahim
Saadjmeal@gmail.com