Fine Aggregate Ratios Effect on Mechanical and Physical Properties of Pervious Concrete

Dr. Muyasser Mohammed Jomaa'h
Engineering College, University of Tikrit/ Tikrit.
Email: Eng_measer@yahoo.com
Mohammed Sabah Irhayyim
Engineering College, University of Tikrit/ Tikrit.
Email: Mohmmed_sabah91@yahoo.com

Received on:14/12/2015 & Accepted on:21/4/2016

ABSTRACT

The porous concrete applications and the process of production in different ways depending on the replacement of fine or coarse aggregate components of research important topics, The study dealt with production pervious concrete by depending on normal concrete by removing fine aggregate by four percentage by weight (25%, 50%, 75%, 100%), as was the work of trail mixtures of concrete for a reference mix of were depended mixture the weight [1:1.5:3] with a ratio (W/C) is equal to (0.40), which recorded the highest compressive strength of age (7) days, by the results tests show that the increased rate of removal of fine aggregate contributed to reduce the strength and density with the increase in porosity and permeability and absorption, as less density obtained is (1756.2)kg/m^3 remove the fine aggregate by (100%), which gives less strength to compressive (14.28) MPa and the highest value for porosity (24.81%), as were better strength to compressive, splitting tensile, and bending are (36.77MPa, 4.28MPa, 4.4MPa), respectively to the proportion of removing fine aggregate (25%) compared to the reference mixture.

Keywords: Pervious Concrete; fine aggregate; porosity; Physical Properties; Mechanical Properties.

تأثير نسب الركام الناعم على الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للخرسانة النفاذة

الخلاصة

تعد تطبيقات الخرسانة النفاذة وعملية انتاجها بطرق مختلفة اعتماداً على استبدال مكونات الركام الناعم او الخشن من المواضيع البحثية المهمة، لقد تناولت الدراسة انتاج خرسانة نفاذة باعتماد الخرسانة الاعتيادية المرجعية من خلال إزالة الركام الناعم بأربع نسبة وزنية (٢٥%، ٥٠%، ٧٥%، ١٠٠%)، إذ تم عمل خلطات خرسانية تجريبية للحصول على خلطة مرجعية وتم اعتماد الخلطة الوزنية [1:1.5:3] ذات نسبة (W/C) مساوية الى (٠.٤٠) والتي حققت اعلى مقاومة انضغاط بعمر (٧) أيام، ومن خلال نتائج الفحوصات تبين ان زيادة نسبة الازالة للركام الناعم ساهمت في تقليل المقاومة والكثافة مع زيادة في المسامية والنفاذية والامتصاص، أذ إن اقل كثافة تم الحصول عليها هي (١٧٥٦.٢)kg/m^3 بإزالة الركام الناعم بنسبة (100%) والتي تقل بنسبة (24.8%) عن كثافة الخلطة

https://doi.org/10.30684/etj.34.9A.18
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

المرجعية، والتي تعطي اقل مقاومة انضغاط 14.28)MPa) وأعلى قيمة لحجم المسامات (24.81%)، إذ كانت افضل مقاومة للانضغاط والشد غير المباشر والانثناء هي (36.77MPa، 4.4MPa, 4.2MPa) على التوالي لنسبة إزالة الركام الناعم (٢٥%) مقارنة مع الخلطة المرجعية.
الكلمات الدالة: الخرسانة النفاذة، الركام الناعم، المسامية، الخصائص الفيزيائية، الخصائص الميكانيكية.

المـــقدمة Introduction

نظرة عامة General Idea

الخرسانة التقليدية او خرسانة السمنت البورتلاندي الاعتيادي تستخدم في جميع انحاء العالم في البناء والتشييد ولكن هناك عيوب عند استخدامها في بعض الأنواع الخاصة من التطبيقات مما يشجع استخدام أنواع أخرى من الخرسانة **[1]**، منها الخرسانة المسامية او الخرســـانة النفـــاذة (PC) وهي نوع من أنواع الخرسانة التي لا تحتوي على أي كمية من الركام الناعم (الرمل) او تحتوي بنسبة معينة ولكن قليلة، وتكون ذات نفاذية ومعدل ترشيح عاليين **[2]**، وتكون الخرســانة النفاذة ذات حجم فجــوات كبـيرة وهي المسؤولة عن انخـفاض المـقاومة والوزن الـذاتــي للخـرسانـة ولها عـدة تسميات (Zero–Fines Concrete) أو (No–Fines Concrete) أو (Porous Concrete)، وتحتوي الخرسانة النفاذة على ركام بمقاسات وتدرجات معينة ويكون مغطى بطبقة رقيقة من عجينة السمنت بسمك تقريبي بحدود mm(١.٣) **[٣]**، تصمم بشكل أساسي لنقل كميات المياه الناتجة من العواصف المطرية والفيضانات إلى الطبقات التحتية للأرض للاستفادة منها كمياه جوفية فيما بعد عن طريق سلسلة من الفجوات المترابطة فيما بينها وان هذه الفجوات تنتج عن طريق الترابط والتدرج المتوازن للركام، وعند تصميم الخلطة الخرسـانية للخرسـانة النفاذة يجب مراعـاة ان تكون هناك كمية كافية من الفجوات للتقليل من كمية المياه الناتجة من العواصف المطرية وهناك علاقة وثيقة ما بين نسبة الفجوات ومقاومة الانضغاط والنفاذية إذ كلما قلت محتويات الفراغ كلما كان الاتصال ما بين مكونات الخرسانة أفضل وتستطيع الاستجابة للحمل المسلط **[٤]**.

قام الباحثان G. Mc. Cain and M. M. Dewoolkar في عام (٢٠٠٩) **[5]** بدراسة خصائص المقاومة والنفاذية للخرسانة النفاذة وتوصل الباحثان بان مقاومة الانضغاط تتراوح بين (4.5MPa) و(7.6MPa) وكمعدل بحدود (6.2MPa) وإن النفاذية تتراوح بين (0.68 cm/sec) و (0.98 cm/sec) وكمعدل بحدود (0.87 cm/sec)، وفي عام (٢٠١٠) قام الباحثان A. I. Unit (Neptune and B. J. Putman **[6]** بدراسة تأثير حجم وتدرج الركام على الكثافة Weight) والمقاومة والمسامية والنفاذية للخرسانة النفاذة وفي هذه الدراسة تم تحضير ١٥ خلطة خرسانية باستخدام ركام خشن المكسر بثلاثة أحجام مختلفة بمقاس أقصى mm(٩.٥، ١٢.٥ ،١٩) وتم تصنيف الخلطات خلال المجاميع على أساس معامل الانتظام او التجانس (Cu) الذي يساوي النسبة بين مقاس المنخل الذي يمر منه (60%) من الركام الى مقاس المنخل الذي يمر منه (10%)، وتوصل الباحثون من خلال نتائج الدراسة إلى أن مقاومة الانضغاط ومقاومة الشد غير المباشر ومعاير الكسر للخرسانة النفاذة تزداد بزيادة معامل الانتظام للركام (Cu) وإلى نقطة معينة بعد ذلك تبدأ المقاومة بالنقصان وهذا يشير إلى وجود معامل انتظام أمثل للركام يعطي أقصى مقاومة للخرسانة النفاذة، وفي عام (٢٠١٣) قام الباحث M.U. Maguesvari وأخرون **[7]** بدراسة خصائص الخرسانة النفاذة في تطبيقات الأرصفة إذ استخدمت (٢٤) خلطة وتم التعامل معها على أساس تغيير كمية الركام الناعم واستبدالها بالركام الخشن في كل مجموعة بالنسب (٠%،١٠%،٢٠%،٣٠%،٤٠%،٥٠%)، وتوصل الباحثون بان الركام الناعم والركام الخشن يؤثر على خصائص وسلوك الخرسانة النفاذة إذ كلما ازدادت كمية الركام الناعم قلت الفجوات وقلت النفاذية وازدادت مقاومة الانضغاط والانثناء والشد غير المباشر فضلاً عن مقاومة التآكل التي تزداد مع زيادة كمية الركام الناعم، وفي عام (٢٠١٤) قام الباحث A. Ibrahim وأخرون **[8]** بدراسة عملية لمعرفة الخصائص الميكانيكية والهيدرولوجية للخرسانة النفاذة من السمنت البورتلاندي (PCPC) تحت تأثير عدة متغيرات منها حجم الركام وكمية الركام ونسبة (W/C) ومحتوى السمنت إذ توصل الباحثون بان معدل الكثافة للخرسانة النفاذة بحدود kg/m^3(١٧١٦) بمسامية (37%) وان الخرسانة النفاذة ذات

مقاومة انضغاط اقل من الخرسانة التقليدية ولكن بكمية اعلى من الفجوات الهوائية وان معدل النفاذية للخلطات يتراوح بحدود (0.021)m/sec.

الهدف من الدراسة **Aim of Study**

ان الهدف الرئيسي هو دراسة المرحلة الانتقالية من اعداد خلطات مرجعية من الخرسانة الاعتيادية (Normal Concrete) وصولا إلى الخرسانة المسامية او النفاذة (Pervious Concrete) بإزالة الركام الناعم بنسب معينة (٢٥%، ٥٠%، ٧٥%، ١٠٠%) ومقارنتها مع الخلطة المرجعية، ودراسة الخصائص الميكانيكية من (مقاومة الانضغاط، مقاومة الشد غير المباشر، معاير الكسر، ومعامل المرونة الساكن) فضلاً عن العوامل الفيزيائية الأساسية من (وحدة الوزن، الامتصاص، المسامية الكلية والمسامية الفعالة، معامل النفاذية ومعدل التصريف)، واجراء المقارنة العملية للنتائج لاعتمادها في اعداد نماذج انشائية من هذا النوع من الخرسانة.

البرنـــامج العمـلي **Experimental Program**

اعداد المواد وتهيئتها **Materials perparations**

السمنت **Cement**

تم استخدام السمنت البورتلاندي الاعتيادي (Ordinary Portland Cement) عراقي المنشأ نوع (الماس) من معمل بازيان في محافظة السليمانية في جميع الخلطات الخرسانية، جاءت نتائج فحصه مطابقة للمواصفات العراقية القياسية (IQS No.5/1984) **[9]**، الجدولين (١) و (٢) يبينان الخواص الكيميائية والفيزيائية للسمنت المستخدم.

الجدول (١) الخصائص الكيميائية للسمنت المستخدم

Cement Composition	Content	Limit of Iraqi Specification No. 5/1984 [9]
CaO	61.44%	-
Al_2O_3	4.103%	8% Max
SiO_2	17.31%	21% Max
Fe_2O_3	3.938%	5% Max
MgO	2.460%	5 % Max
SO3	2.210%	2.5 %Max
Loss on Ignition (L.O.I)	1.230%	4 %Max
Insoluble material	1.260%	1.5 %Max
Lime Saturation Factor (L.S.F)	٠.٧٨٠٠	(0.66-1.02)
C3S	٥٨.١٧%	-
C2S	١٦.٣٤%	-
C3A	6.710%	-
C4AF	13.28%	-

الجدول (٢) الخواص الفيزيائية للسمنت المستخدم

Physical Properties	Test results	Limit of Iraqi specification No. 5/1984 [9]
Fineness Of Cement (m^2/kg)	259	(230 m^2/kg) lower limit
Setting time (Vicat Needle) Initial setting, (hrs. : min)	2hrs 07min	Not less than 45min

Final setting, (hrs. : min)	4hrs 32min	Not more than 10 hrs.
Compressive strength (MPa) **For 3-day** **For 7-day**	 23.67 34.36	 Not less than 15 MPa Not less than 23 MPa

الركام الناعم **Fine Aggregate**

الركام الناعم (الرمل) المستخدم هو رمل نهري من منطقة الطوز في محافظة صلاح الدين وقد أجريت عليه عملية التحليل المنخلي (الغربلة)، واختير الرمل المار من منخل رقم (٤.٧٥mm)، الجدول (3) يبين تدرج الرمل المستخدم ومطابقته للمواصفة العراقية **[10]** [IQS No. 45/1984] ضمن منطقة التدرج الثانية، والجدول (٤) يبين الخواص الكيميائية والفيزيائية.

الجدول (3) تدرج الركام الناعم

Sieve Size	Cumulative Retained %	passing %	Limit of IQS No. 45/1984 for Zone No. (2) [10]
4.75-mm (No.4)	٠.٢٢٠	٩٩.٧٨	90-100
2.36-mm (No.8)	١٠.٣٠	٨٩.٧٠	75-100
1.18-mm (No.16)	٢٠.٣٢	٧٩.٦٨	55-90
600-µm(No.30)	٤١.١٩	٥٨.٨١	35-59
300-µm(No.50)	٧٠.٥٧	٢٩.٤٣	8-30
150-µm(No.100)	٩٣.٩٣	٦.٠٧٠	0-10

الجدول (٤) الخواص الكيميائية والفيزيائية للركام الناعم

Properties	Specification	Test Results	Limits of Specification
Specific gravity	ASTM C128-01	٢.٨	-
Absorption (%)	ASTM C128-01	١.٧٤٤	-
Dry loose unit weight (kg/m^3)	ASTM C29-C29M	١٦٥٩	-
Sulfate content (as SO_3) (%)	(I.Q.S.) No.45/1984	٠.٠٥٦	0.5 (max. value)
Material finer than 0.075 mm (%)	(I.Q.S.) No.45/1984	١.٢٦	5 (max. value)

الركام الخشن **Coarse Aggregate**

تم استخدام حصى نهري مكسر (Crashed Gravel) متوافر في منطقة الدبس في محافظة كركوك وان المقاس الأقصى الاسمي للركام المستخدم يبلغ (12.5mm)، الجدول (5) يبين تدرج الركام الخشن المستخدم ومطابقته للمواصفة العراقية [IQS No. 45/1984] **[10]**، والجدول (٦) يبين الخواص الكيميائية والفيزيائية.

جدول (٥) تدرج الركام الخشن

Sieve size	Cumulative retained %	passing %	Limit of IQS No. 45/1984 [10]
14 mm	٠	١٠٠	90-100
10 mm	٣٤.٧١	٦٥.٢٩	50-85

5 mm	٩٩.٧٨	٠.٢٢	0-10
pan	٠	٠	-

جدول (٦) الخواص الكيمائية والفيزيائية للركام الخشن

Properties	Specification	Test Results	Limits of Specification
Specific gravity	ASTM C127-01	2.67	-
Absorption (%)	ASTM C127-01	0.56	-
Dry loose unit weight، kg/m^3	ASTM C29-C29M	1609	-
Sulfate content (as SO3) (%)	(I.O.S.) No. 45-84	0.027	0.1 (max. value)

الخلطات التجريبية، صب ومعالجة الخرسانة Trail Mixes, Casting, and Curing

تم اختيار مقاومة الانضغاط التصميمية للخرسانة (f_{cu} = 35 MPa) عند عمر (٢٨) يوماً، وتم اعتماد نسبة الخلط الوزنية [3 : 1.5 : 1] من الدراسات السابقة **[11]**، إذ أُعدت خلطات خرسانية تجريبية وبمعدل (٣) مكعبات لكل خلطة بمتغيرات مختلفة من نسبة الماء إلى السمنت (W/C) ومحتوى السمنت وبهطول يتراوح من (50–100 mm)، ومن ثم تم تصميم خلطة خرسانية بالاعتماد على مدونة معهد الخرسانة الأميركي **[12]**، وكانت النسب الناتجة [1 : 1.853 : 2.6] ذات (W/C) مساوية لـ(٠.٥٤) وأُعدت من هذه النسبة (٣) مكعبات أيضاً، ومن خلال نتائج فحص العينات التي تم الحصول عليها بعمر (٧) أيام أختيرت الخلطة الخرسانية ذات النسبة الوزنية [1:1.5:3]وذات (W/C) مساوية لـ(٠.٤٠) وبمحتوى سمنت (400 kg/m^3) والتي حققت أعلى مقاومة انضغاط (39.61 MPa)، الجدول (٧) يبين الخلطات التجريبية التي تم اجرائها والنتائج الخاصة بها.

إذ تم خلط جميع الخلطات داخل المختبر وحسب المواصفات القياسية، باستخدام الخلاطة الميكانيكية (Mixer) ذات الحوض الأفقي بسعة (0.1 m^3)، وتم صب النماذج باستعمال القوالب الحديدية القياسية، وتوضع الخرسانة على شكل طبقات وتسويتها بوساطة قضيب معدني (Rod) وبدون رص للحفاظ على الفجوات الهوائية لإنتاج خرسانة مسامية (نفاذة)، بعدها تغطى القوالب بطبقة من النايلون لمدة 24 ساعة لمنع تبخر الماء لتجنب تشققات الانكماش اللدن (Plastic Shrinkage Cracks) بعدها تفتح القوالب وتوضع النماذج لمدة (27) يوماً في الماء في احواض المعالجة وكانت درجة حرارة الماء (20°C-25°C) طول فترة اعداد البحث.

الجدول (٧) نسب الخلط المستخدمة في الدراسة مع النتائج

Cement Content (kg/m^3)	W/C	Mix Proportion by Weight [C:S:G]	Av. Compressive Strength (MPa) 7-days	Av. Density Kg/m^3	Slump (mm)
٤٠٠	٠.٣٨	1:1.5:3	٣٨.٩٨٠	2423.15	٦٦
٤٠٠	**٠.٤٠**	**1:1.5:3**	**٣٩.٦١٥**	**٢٤١٣.٦٠**	**73**
٤٠٠	٠.٤٢	1:1.5:3	٣٣.٢٨٠	٢٤١١.٣٦	٨١
٤٢٥	٠.٣٨	1:1.5:3	٣٦.٥٥٥	٢٤١٠.٢٩	٥٧
٤٢٥	٠.٤٠	1:1.5:3	٣٥.٨٩٥	٢٤١٣.١٣	٦٤
٤٢٥	٠.٤٢	1:1.5:3	٣٤.٤٢	٢٤٢٥.٢٤	٧٢
٤٥٠	٠.٣٨	1:1.5:3	٣٥.٦١٥	٢٣٩٣.٨٠	٥٩
٤٥٠	٠.٤٠	1:1.5:3	٣٠.٢٧	٢٤٠١.٠٥	٦٩
٤٥٠	٠.٤٢	1:1.5:3	٣٥.١٤	٢٤٣٥.٤٠	٧٦

٣٨٦.١٩	٠.٥٤	١:١.٨٥٣:٢.٦	٢٣.٢٨٥	٢٣٤٥.٠١	٧٤

الفحوصات المختبرية **Laboratory Tests**

تم خلال هذا البحث إيجاد الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة النفاذة المتصلبة وكما يلي:

الفحوصات الفيزيائية **Physical Tests**

وحدة الوزن **Unit Weight**

تم اجراء الفحص لمعرفة كثافة (وحدة الوزن) للخرسانة النفاذة المتصلبة المجففة بالفرن حسب المواصفة الأمريكية (ASTM C567-00)، باستخدام نماذج أسطوانية ذات أبعاد mm(١٥٠*٣٠٠)، وبواقع (٣) أسطوانات لكل نوع من أنواع الخلطات الخرسانية وبعمر (٢٨) يوماً، إذ يتبين من خلال الجدول (٨) بان وحدة الوزن للخلطات النفاذة اقل من الخلطة المرجعية إذ تتراوح قيم الكثافة للخلطات المسامية من kg/m^3(١٧٥٦.٢) إلى kg/m^3 (٢٢١١.٥١) وهذا نتيجة إزالة كميات وزنية من الركام الناعم بنسب ثابتة، إذ تقل وحدة الوزن في الخلطات النفاذة (S1, S2, S3, S4) الحاوية على ركام ناعم بنسبة (0%, 25%, 50%, 75%) على التوالي، بنسبة (5.31%, 13.48%, 19.10%, 24.81%) على التوالي مقارنة بالخرسانة المرجعية (R).

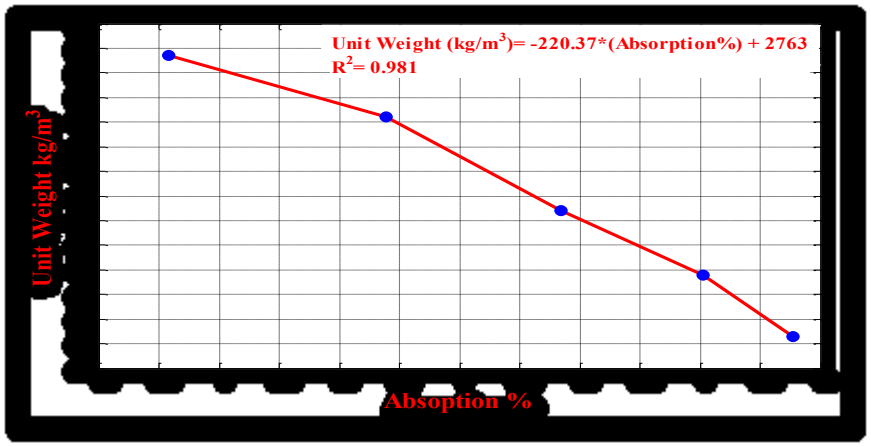
الامتصاص **Absorption**

تم اجراء فحص الامتصاص للخرسانة النفاذة المتصلبة حسب المواصفة الأمريكية (ASTM C642-97)، باستخدام نماذج أسطوانية الشكل ذات أبعاد mm (١٥٠*٣٠٠) بعد (٢٨) يوماً من عملية الصب، وبواقع (٣) عينات لكل خلطة من الخلطات الخرسانية المختلفة، الجدول (٨) يوضح نتائج الامتصاص للخلطات الخرسانية المعتمدة، إذ تتراوح قيم الامتصاص للخلطات النفاذة من (٢.٦٩٤%-٤.٣٨٧%)، إذ نلاحظ في الخلطات النفاذة (S1, S2, S3, S4) الحاوية على ركام ناعم بنسبة (0%, 25%, 50%, 75%) على التوالي يزداد الامتصاص بنسبة (2.6964%, 3.421%, 4.012%, 4.387%) على التوالي مقارنة بالخرسانة المرجعية (R). وهذا يعزى إلى إزالة الركام الناعم بنسب وزنية معينة مما يؤدي إلى تكوين مسامات داخلية مستمرة بمسارات مختلفة وعديدة داخل العينة وهذه تساعد على زيادة كمية الماء الداخلة والمحاطة بالركام والسمنت من الداخل مما يؤدي إلى زيادة امتصاص الماء وبوقت أسرع وكلما زادت نسب الازالة للركام الناعم زادت الفجوات الداخلية وزادت كميات الماء الممتصة من قبل الركام والسمنت وهذا يختلف بالنسبة للخلطة المرجعية لأنها تكون ذات فجوات اقل، إذ يتناسب الامتصاص تناسبا عكسياً مع الكثافة (وحدة الوزن) اذا كلما تقل كثافة الخلطات النفاذة يزداد معدل الامتصاص.

جدول (٨) نتائج الكثافة (وحدة الوزن) والامتصاص للخرسانة النفاذة المجففة بالفرن ذات (W/C) مساوية الى (٠.٤٠)*

Sy.	Mix Proportion By Weight [C:S:G]	Cement %	Sand %	Coarse Aggregate %	Av. Unit Weight (kg/m^3)	Av Absorption %
R	١:١.٥:٣	١٠٠	١٠٠	١٠٠	**٢٣٣٥.٦٧**	**1.788**
S1	١:١.١٢٥:٣	١٠٠	٧٥	١٠٠	**٢٢١١.٥١**	**٢.٩٦٤**
S2	١:٠.٧٥:٣	١٠٠	٥٠	١٠٠	**٢٠٢٠.٦٣**	**٣.٤٢١**
S3	١:٠.٣٧٥:٣	١٠٠	٢٥	١٠٠	**١٨٨٩.٤٨**	**٤.٠١٢**
S4	١:٠:٣	١٠٠	٠	١٠٠	**١٧٥٦.٢٠**	**٤.٣٨٧**

***علماً ان قيمة الهطول مساوية للصفر بالاعتماد على المدونة الامريكية (ACI 522R-10)**



الشكل (١) العلاقة بين وحدة الوزن والامتصاص للخرسانة النفاذة

المسامية الكلية والمسامية الفعالة Total Porosity and Effective Porosity

تم اجراء فحص المسامية الكلية (الفجوات الهوائية الكلية) والمسامية الفعالة (الفجوات الهوائية المستمرة) للخرسانة النفاذة المتصلبة **[13]**، وقد اجري الفحص على نماذج خرسانية مسامية اسطوانية الشكل بعمر (٢٨) يوماً ذات ابعاد mm(٣٠٠*١٥٠)، وبواقع ثلاث نماذج لكل نسبة ويتم اخذ المعدل بينها، ويتم حساب المسامية عن طريق العلاقات التالية: -

$$At(\text{Total Porosity})\% = \left(1 - \frac{w2-w1}{V*pw}\right) * 100 \qquad (١-١)$$

$$Ac(\text{continuous Porosity})\% = \left(At - \frac{W1-w3}{V*pw}\right) * 100 \qquad (١-٢)$$

إذ ان: -

At: المسامية الكلية للعينة (الفجوات الهوائية الكلية %).

Ac : المسامية الفعالة للعينة (الفجوات الهوائية ألمستمرة %).

V : حجم النموذج (حجم الاسطوانة) ($\mathbf{mm^3}$).

pw: كثافة الماء ($\mathbf{g/cm^3}$).

W_1 : وزن العينة مشبعة في الماء**(gm)**.

W_2 : وزن العينة في الهواء بعد (٢٤) ساعة من استخراجها من الماء **(gm).**

W_3 : وزن العينة في الماء (غير مشبعة) **(gm)**.

من خلال الجدول (٩) نلاحظ ان الخلطات المسامية (S1, S2, S3, S4) الحاوية على ركام ناعم بنسبة (0%, 25%, 50%, 75%) على التوالي تزداد فيها المسامية الكلية بنسبة (59.91%, 499.86%, 796.36%, 987.76%) على التوالي مقارنة بالمسامية الكلية للخلطة المرجعية (R)، وتزداد المسامية الفعالة بنسبة (83.76%, 426%, 750%, 1010.76) على التوالي مقارنة بالمسامية الفعالة للخلطة المرجعية (R)، وهذا بدوره يؤثر على الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة النفاذة اذ تتأثر بشكل واضح بالمسامية وان المسامات الفعالة للخلطات (R, S1, S2, S3, S4) تقل عن المسامات الكلية بنسب (23.89%, 29.32%, 34.64%, 45.09%, 25.47%) على التوالي، يعزى هذا الاختلاف في نسب المسامية إلى اختلاف كمية الركام الناعم المستخدم لان الركام الناعم هو المسؤول عن ملئ الفجوات أي كلما قل محتوى الركام الناعم كلما ازداد حجم الفجوات، وتتناسب المسامية الكلية والمسامية الفعالة تناسباً عكسياً مع الكثافة (وحدة الوزن).

النفاذيـــة **Permeability**

تم اجراء فحص معامل النفاذية بالاعتماد على المدونة الامريكية (ACI 522R-10) **[14]** بطريقة (Falling-Head)، باستخدام جهاز تم تصنيعه محليا لقياس معامل النفاذية كما موضح بالشكل (٢) إذ تم صب العينات في انابيب من البلاستيك ذات قطر (d=١٠)cm وبارتفاع (L=٢٠)cm، يتم وضع العينة في الجهاز ومن ثم يتم فتح الصمام ويقاس وقت نزول الماء خلال العينة باستعمال ساعة إيقاف (Stop Watch) ثم يتم غلق الصمام وتسجيل فترة النزول (t) ويتم بعدها حساب معامل النفاذية وحساب معدل التصريف خلال العينة باستخدام العلاقات التالية:

$$K\ (\text{Coefficient Of Permeability})\ \frac{mm}{sec} = \left(\frac{aL}{A\ (t1-t0)}\right) ln\frac{ho}{h1} \qquad (١-٣)$$

$$Q\ (\text{Discharge})\ \frac{mm^3}{sec} = \frac{V}{t} \qquad (١-٤)$$

إذ ان: -

K: معامل النفاذية (mm/sec).

A: مساحة المقطع العرضي للأنبوب (mm^2).

L: طول العينة (mm).

a **:** مساحة المقطع العرضي للنموذج (mm^2).

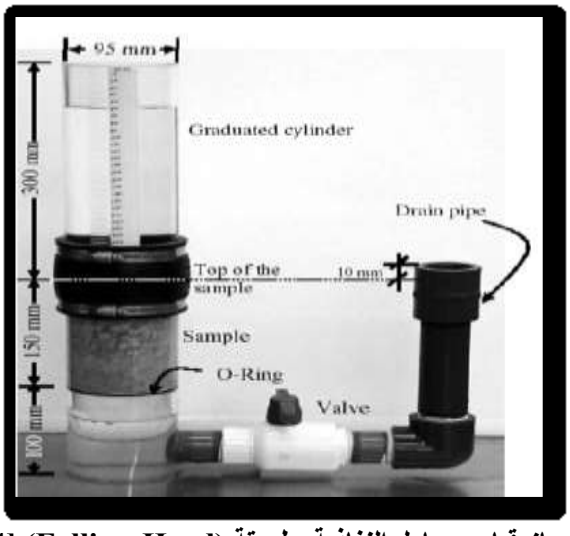
***Q*:** معدل التصريف خلال العينة (mm^3/sec)

h_o **:** ارتفاع الماء فوق العينة قبل فتح الصمام وإلى نهاية النموذج (mm).

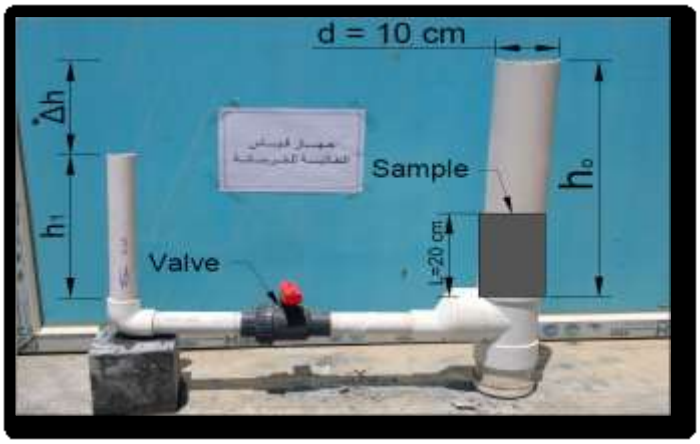
h_1 **:** ارتفاع الماء بعد فتح الصمام وإلى نهاية النموذج (mm).

V : حجم الماء النازل (المترشح) خلال العينة (mm^3).

t **:** زمن نزول الماء خلال العينة (sec).



شكل (٢) نموذج من جهاز قياس معامل النفاذية بطريقة (Falling-Head) [14]

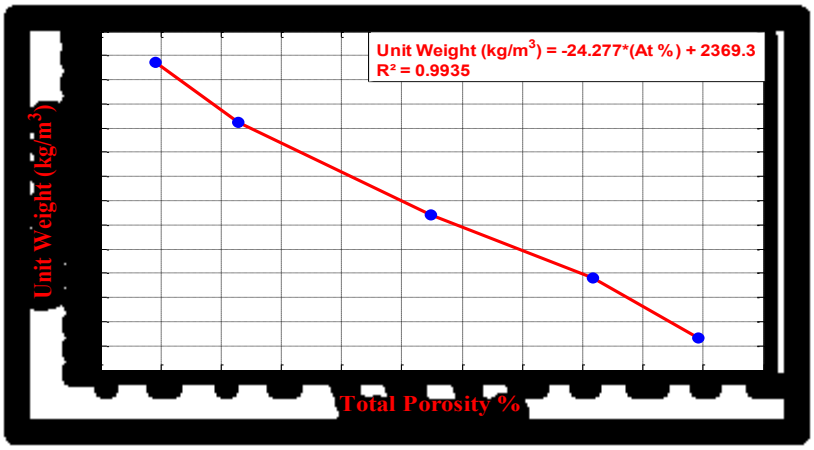


شكل (٣) جهاز قياس النفاذية المصنع محليا والمستخدم في الدراسة

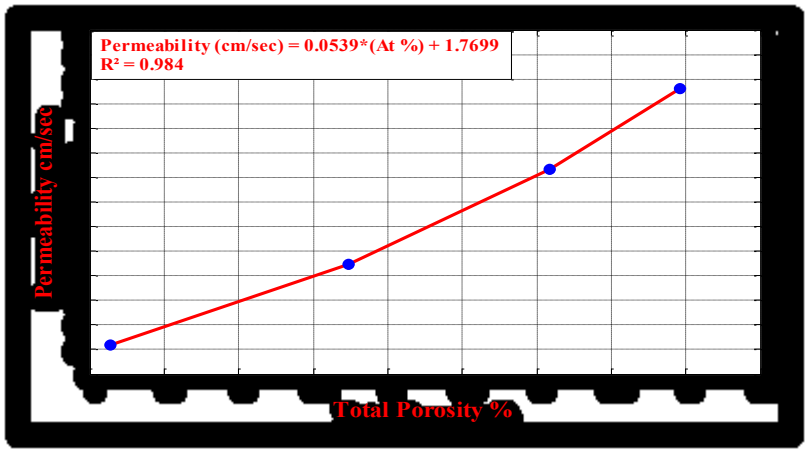
من خلال الجدول (٩) نلاحظ ان معامل النفاذية يتراوح ما بين (٢.١٢٠)cm/sec إلى (٣.١٦٢) cm/sec، وهذا التغيير يعتمد بدوره على مكونات خلطة الخرسانية ونسب مزجها وطريقة خلطها وحجم الفجوات وتوزيعها وعلى تدرج ومقاس الأقصى للركام الخشن المستخدم فضلاً عن هيكل المسامات الداخلية، اذ ان معاملا النفاذية والمسامية مرتبطان ارتباطاً وثيقاً فيما بينهما بعلاقة طردية اذا ان كلما ازدادت المسامية ازدادت النفاذية، كذلك بالنسبة لمعدل تصريف الماء خلال الخلطات الخرسانية يزداد بزيادة النفاذية ويتراوح ما بين (٩٨.٠٩)cm^3/sec إلى (١٦١.٢٢)cm^3/sec وهذا التغير يعتمد على النفاذية وحجم الفجوات أي يزداد بزيادة سرعة ترشيح الماء.

جدول (9) نتائج المسامية وفحص معامل النفاذية للخلطات الخرسانية النفاذة ذات (W/C) مساوية الى (٠.٤٠)

Sy.	Av. Total Porosity%	Av. Effective Porosity %	Av. Permeability cm/sec	Discharge cm^3/sec
R	١.٢٨١	٠.٧١	-	-
S1	٥.٦٩٠	٣.١٢٤	٢.١٢٠	٩٨.٠٩
S2	١٣.٦٨٣	٨.٩٤٢	٢.٤٤٨	١٠٦.٤٢
S3	٢٠.٥٥٦	١٤.٤٥١	٢.٨٣٣	١٤٧.١٦
S4	٢٤.٨١٢	١٨.٨٨٢	٣.١٦٢	١٦١.٢٢



الشكل (٤) العلاقة بين المسامية ووحدة الوزن للخرسانة النفاذة



الشكل (٥) العلاقة بين المسامية والنفاذية للخرسانة النفاذة

الفحوصات الميكانيكية Mechanical Tests

مقاومة الانضغاط Compressive Strength

تم فحص مقاومة الانضغاط (f_{cu}) للمكعبات الخرسانية القياسية ذات أبعاد (150×150×150)mm حسب المواصفة البريطانية (BS 1881: Part 116:1989)، وتم اعتماد معدل مقاومة الانضغاط لثلاثة مكعبات بعمر (28) يوماً، إذ يتبين من خلال نتائج الانضغاط الموضحة بالجدول (١٠)، بان الخلطات المسامية ذات مقاومة انضغاط اقل من مقاومة انضغاط الخرسانة المرجعية (R)، إذ تتراوح قيمة مقاومة الانضغاط للخلطات المسامية (S1, S2, S3, S4) التي تحتوي على نسب مختلفة من الركام الناعم (75%, 50%, 25%, 0%) على التوالي ما بين MPa(١٤.٢٨-٣٦.٧٧) وتقل بنسبة (23.12%, 38.28%, 57.34%, 70,14%) على التوالي من مقاومة انضغاط الخرسانة المرجعية (R)، يعزى هذا الاختلاف إلى عدة أسباب منها محتوى وحجم الفجوات لان الفجوات الهوائية وتوزيعها لا تساهم في مقاومة وتحمل الضغط المسلط عليها وتضعف من البنية الداخلية للخرسانة وتجعلها ذات تحمل اقل لذلك سوف تؤدي إلى التقليل من مقاومة الانضغاط فضلاً عن اختلاف نسب الخلط وتوزيع المسام الداخلي وطريقة تماسك عجينة السمنت مع الركام الناعم واحاطتها بالركام الخشن ، وان مقاومة الانضغاط ترتبط ارتباطاً وثيقاً مع المسامية بعلاقة عكسية إذ كلما ازدادت المسامية قلت مقاومة الانضغاط.

مقاومة شد الانشطار (الشد غير المباشر) Splitting Tensile Strength

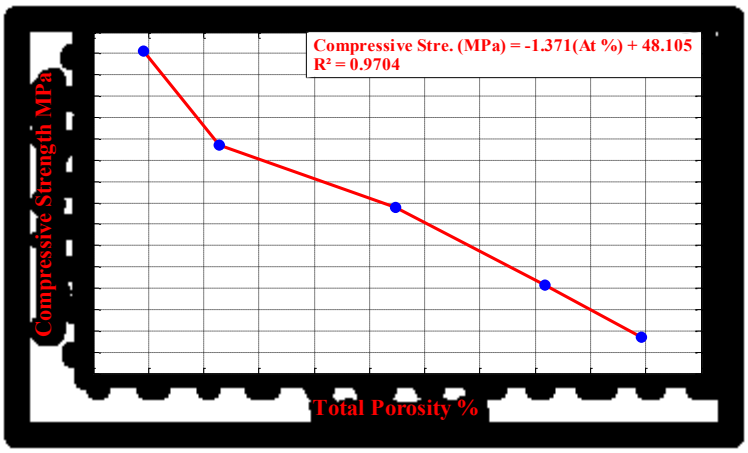
تم إجراء فحص مقاومة شد الانشطار (f_t) للخرسانة المتصلبة حسب المواصفة الأمريكية (ASTM C 496-96)، وقد اجري الفحص على نماذج خرسانية اسطوانية الشكل بعمر (28) يوماً ذات ابعاد (150x300) mm، وتم اعتماد معدل لثلاثة نماذج خرسانية اسطوانية، ويتبين من خلال النتائج الموضحة بالجدول (١٠)، أن الخلطات المسامية ذات مقاومة شد اقل من مقاومة شد للخرسانة المرجعية (R) وتتراوح قيمة الشد للخلطات النفاذة من MPa(١.٩٥) إلى MPa(٤.٢)، إذ ان مقاومة شد الانشطار للخلطات الخرسانية النفاذة (S1 ,S2, S3, S4) الحاوية على الركام الناعم بنسب (75%, 50%, 25%, 0%) على التوالي تقل بنسبة (12.65%, 38.16%, 56.73%, 60.20%) على التوالي من مقاومة شد الانشطار للخرسانة المرجعية (R)، وهذا يعود إلى اختلاف نسب الركام الناعم في الخلطات المسامية وكذلك إلى الفجوات الهوائية الداخلية والخارجية إذ تضعف من بنية الخرسانة وتجعلها غير قادرة على تحمل قوى الشد المتولدة نتيجة الاجهادات المسلطة عليها فضلاً عن عدم وجود الرص في الخلطات المسامية واختلاف هيكل المسام وكذلك التوزيع الداخلي للركام الناعم وطريقة تماسك مكونات الخرسانة مع بعضها وكذلك تدرج الركام الخشن، إذ ترتبط مقاومة شد الانشطار ارتباطاً وثيقاً مع الفجوات الهوائية (المسامية) بعلاقة عكسية اذ كلما تزداد قيمة الفجوات تقل مقاومة الشد.

معـايـر الكسـر **Modulus of Rapture**

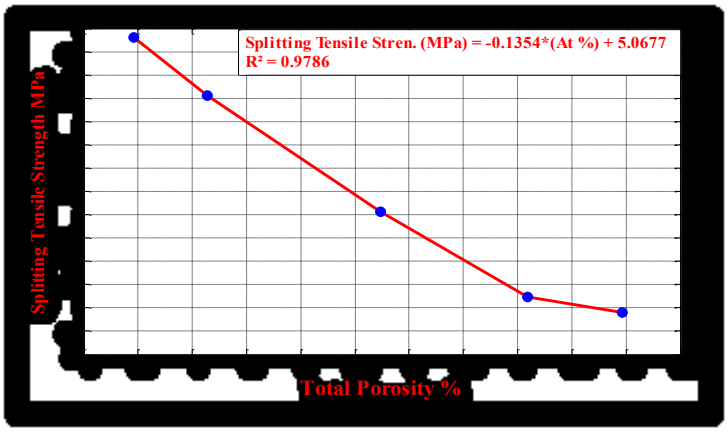
تم فحص مقاومة الانثناء (معاير الكسر) للمواشير الخرسانية (f_r) حسب المواصفة الأمريكية (ASTM C78-02)، وبأبعاد (100*100*500) mm باتباع طريقة التحميل (Third-Point Loading)، واخذ معدل القراءات لثلاث مواشير وبعمر (٢٨) يوماً، ومن خلال النتائج المبينة في الجدول (١٠)، يتبين بان الخلطات المسامية ذات مقاومة انثناء اقل من مقاومة انثناء للخرسانة المرجعية وتتراوح قيمة مقاومة الانثناء للخلطات المسامية من (٣.١-٤.٤)MPa، إذ ان مقاومة الانثناء للخلطات الخرسانية النفاذة (S1 ,S2, S3, S4) الحاوية على الركام الناعم بنسب (75%, 50%, 25%, 0%) على التوالي، تقل بنسبة (12.08%, 16.92%, 22.43%, 37.88%) على التوالي من مقاومة الانثناء للخرسانة المرجعية، وهذا يعود إلى عدة أسباب منها اختلاف محتوى الركام الناعم في الخلطات المسامية وكذلك إلى حجم المسامات (الفجوات الهوائية) الداخلية والخارجية فضلاً عن اختلاف هيكل المسام وضعف قوى التماسك بين مكونات الخلطة الخرسانية بسبب عدم وجود عملية رص وقلة محتوى الركام الناعم مع ثبوت محتوى الماء السمنت (W/C) إذ ترتبط مقاومة الانثناء ارتباطاً وثيقاً مع الفجوات الهوائية (المسامية) بعلاقة عكسية اذ كلما تزداد قيمة الفجوات تقل مقاومة الانثناء.

جدول (١٠) نتائج مقاومة (الانضغاط، الشد غير المباشر) ومعاير الكسر للخلطات الخرسانية النفاذة ذات (W/C) مساوي الى (٠.٤٠)

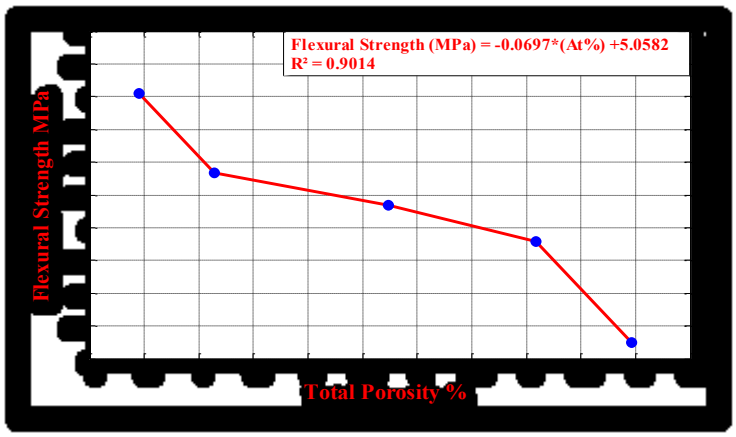
Sy.	Av. Compressive Strength (f_u) MPa	Av. Splitting Strength (f_t) MPa	Av. Modulus of Rapture (f_r) MPa
R	٤٧.٨٣	٤.٩	٥.٠
S1	٣٦.٧٧	٤.٢	٤.٤
S2	٢٩.٥٢	٣.٠	٤.١
S3	٢٠.٤٠	٢.١	٣.٩
S4	١٤.٢٨	١.٩٥	٣.١



الشكل (٦) علاقة المسامية الكلية مع مقاومة الانضغاط للخلطات الخرسانية النفاذة



الشكل (٧) علاقة المسامية الكلية مع مقاومة شد الانشطار للخلطات الخرسانية النفاذة

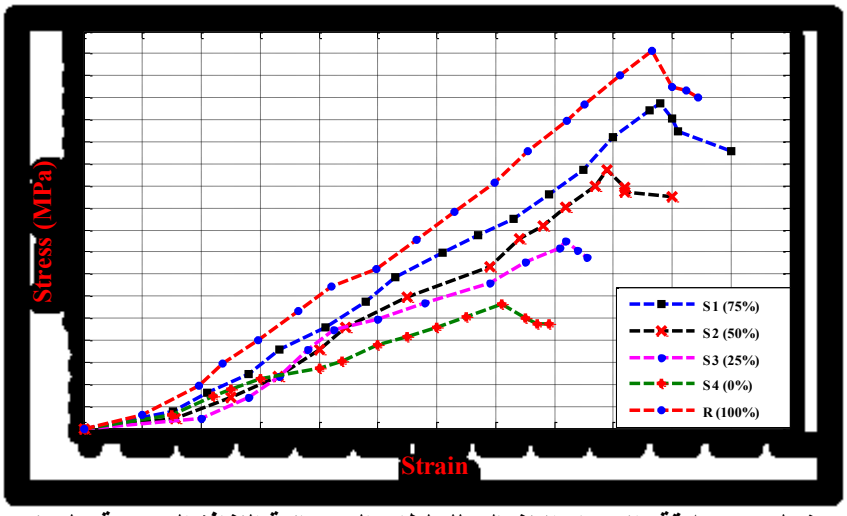


الشكل (٨) علاقة المسامية الكلية مع معاير الكسر للخلطات الخرسانية النفاذة

معامل المرونة الساكن (E_c) Static Modulus of Elasticity

تم فحص معامل المرونة الساكن (E_c) للعينات الخرسانية النفاذة وفق المواصفات القياسية الأمريكية (ASTM C569-02)، وقد اجري الفحص على نماذج خرسانية اسطوانية الشكل بعمر (28) يوماً ذات ابعاد قياسية (150x300)mm، وباستخدام علاقة (الاجهاد-الانفعال) (Stress-Strain Relationship) إذ يوضع النموذج داخل هيكل خاص بالفحص ويربط بالهيكل ثلاث حساسات اثنان منها لقياس التغير بالطول (Longitudinal Displacement) ويؤخذ المعدل بين القراءتين والثالث لقياس التغير الافقي (Horizontal or Lateral Displacement) ، إذ يتم قياس التغير الطولي والتغير الافقي للعينة الاسطوانية ويتم من خلالها حساب الانفعال ثم يتم اخذ حمل الفشل لحساب الاجهاد ويتم اخذ الرسم الخاص بعلاقة (الاجهاد-الانفعال) من جهاز الفحص كما في الشكل (٩)، ثم يتم حساب قيمة معامل المرونة الساكن وحساب نسبة بواسون، الجدول (١١) يوضح نتائج فحص معامل المرونة ونسبة بواسون للخرسانة المرجعية والمسامية، يتبين من خلال النتائج، بان الخلطات المسامية ذات معامل مرونة اقل من معامل مرونة للخرسانة المرجعية (R) وتتراوح قيمة معامل المرونة الساكن للخلطات المسامية من (15122-23925)MPa، إذ ان معامل المرونة للخلطات (S1 ,S2, S3, S4) الحاوية على الركام الناعم بنسب (75%, 50%, 25%, 0%) على التوالي تقل بنسبة (15%, 24.8%, 36.6%, 46.2%) على التوالي من معامل المرونة للخرسانة المرجعية (R)، وهذا الاختلاف نتيجة اختلاف محتوى الفجوات (المسامية) الداخلية والخارجية إذ ان المسامية الداخلية المستمرة تضعف من هيكل الداخلي للخرسانة وتجعلها هشة وذات مرونة اقل إذ

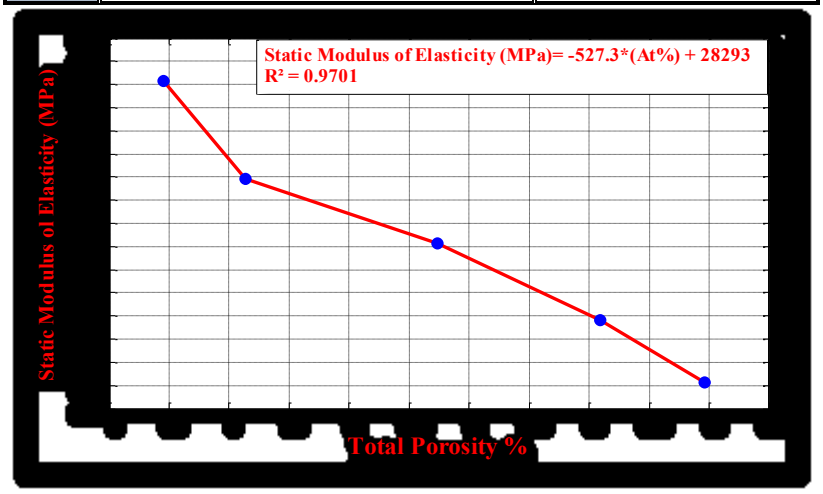
تتناسب عكسياً مع الفجوات (المسامية)، فضلاً عن استخدام ركام ناعم بنسب مختلفة وبدون عملية رص مما يجعل تماسك مكونات الخرسانة فيما بينها اضعف وبالتالي يقل معامل المرونة، ان نسبة بواسون تتناسب عكسياً مع محتوى الفجوات الهوائية وطردياً مع مقاومة الانضغاط وتعتمد هذه على النسبة على مقدار التغير بالطول والتغير بالعرض الحاصل في النموذج وتقل نسبة بواسون للخلطات الخرسانية النفاذة (S1, S2, S3, S4) بنسبة (9%, 15.9%, 21.9% 25.4%) على التوالي من نسبة بواسون للخرسانة المرجعية.



شكل (٩) علاقة (الاجهاد-الانفعال) للخلطات الخرسانية النفاذة المحتوية على نسب وزنية مختلفة من الركام الناعم

جدول (١١) معامل المرونة الساكن للخلطات الخرسانية النفاذة ذات نسبة (W/C) مساوية الى (٠.٤٠)

Sy.	Modulus of Elasticity (MPa) (E_c)	Poissons Ratio (μ)
R	٢٨١٥٢	٠.٢٣٢
S1	٢٣٩٢٥	٠.٢١١
S2	٢١١٥٦	٠.١٩٥
S3	١٧٨٣٥	٠.١٨١
S4	١٥١٢٢	٠.١٧٣



الشكل (١٠) علاقة المسامية الكلية مع معامل مرونة الساكن للخلطات الخرسانية النفاذة

الاستنتاجات Conclusions

خلال الدراسة الحالية ونتيجةً للبرنامج العملي المتضمن تغيير نسب الركام الناعم في الخرسانة النفاذة وتأثيرها على خصائص الفيزيائية والميكانيكية لهذه الخرسانة فأن هناك عدداً من الاستنتاجات المستخلصة وهي كالآتي: -

١- بزيادة نسبة الازالة للركام الناعم تقل المقاومة للخرسانة النفاذة بشكل ملحوظ والمتمثلة بمقاومة (الانضغاط، الشد غير المباشر، الانثناء) مع نقصان في معامل المرونة الساكن مقارنة بالخرسانة المرجعية.

٢- عند إزالة الركام الناعم بنسبة (75%, 100%) تم الحصول على خرسانة خفيفة الوزن، إذ ان نسبة الإزالة (75%) للركام الناعم من الممكن ان تستخدم كخرسانة انشائية بمقاومة انضغاط للمكعب (20.40MPa) بعمر ٢٨ يوم وبكثافة جافة kg/m^3(1889.4) والتي تقل بـ (19.10%) عن كثافة الخرسانة المرجعية.

٣- بزيادة المسامية تقل الكثافة الجافة بشكل كبير مع زيادة في معامل النفاذية (K) وقيمة الامتصاص للماء مما يجعلها تطبيق عملي مناسب بمعدل تصريف يتراوح بين (98.09 - 161.22)cm^3/sec.

٤- بزيادة نسبة الازالة للركام الناعم تزداد المسامية بنوعيها (الكلية والفعالة) مع نقصان في معامل المرونة الساكن ونسبة بواسون، اذ تتراوح نسبة بواسون للخلطات المسامية ما بين (٠.١٧٣- ٠.٢١١) وتقل بنسبة تصل الى (٢٥.٤%) مقارنة مع الخلطة المرجعية.

المصادر

[1]. F. A. El-Tawil "Properties of Portland Cement Pervious Concrete"Master's Thesis, The American University in Cairo School of Sciences and Engineering, The Department of Construction & Architectural Engineering, June 2013

[2]. Ø. A. H. Torsvik, "Pervious Concrete" Master's Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Department of Structural Engineering, June 2012.

[3]. P. J. Harber, "Applicability of No-Fines Concrete as a Road Pavement"University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying, October 2005.

[4]. J. T. Kevern, V. R. Schaefer, and K. Wang, "Evaluation of Pervious Concrete Workability Using Gyratory Compaction", Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 21, No. 12, December 1, 2009.

[5]. G. N. McCain and M. M. Dewoolkar "Strength and Permeability Characteristics of Porous Concrete Pavements ", The University of Vermont, School of Engineering, USA, TRB Annual Meeting, 2009.

[6]. A. I. Neptune and B. J. Putman "Effect of Aggregate Size and Gradation on Pervious Concrete Mixtures" ACI Materials Jorunal, Vol. 107, No.6 , pp. 625-631, 2010.

[7]. M. U. Maguesvaria and V. L. Narasimha " Studies on Characterization of Pervious Concrete for Pavement Applications", Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol. 104, pp. 198 – 207, 2013.

[8]. A. Ibrahim, E. Mahmoud, M. Yamin and V. Ch. Patibandla " Experimental Study on Portland Cement Pervious Concrete Mechanical and Hydrological Properties", Journal of Construction and Building Materials, Vol. 50, pp. 524–529, 2014.

[9]. المواصفة القياسية العراقية رقم (٥)، "**السمنت البورتلاندي**"، الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية، بغداد، ١٩٨٤.

[10]المواصفة القياسية العراقية رقم (٤٥)، "ركام المصادر الطبيعية المستعمل في الخرسانة والبناء" الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية، بغداد، ١٩٨٤.

[11] محمد مصلح سلمان، مهند وليد مجيد، عقيل رحيم جبر، وائل شحاذة عبد الكريم "العلاقة بين النسب الخلط الوزنية والحجمية للخلطات الخرسانية مع تطوير الجداول الخاصة بتخمين مود الهندسية"، مجلة الهندسة والتنمية، م. ١٢، ع. ٤، كانون الأول، ٢٠٠٨

[12]. ACI Committee 211 "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91)", American Concrete Institute, 2002.

[13].M. Tarnai, H. Mizuguchi, S. Hatanaka, H. Katahira, T. Nakazawa, K. Yanagibashi and M. Kunieda, "Design, Construction and Recent Applications of Porous Concrete in Japan", Proceedings of the JCI Symposium on Design, Construction and Recent Applications of Porous Concrete, Japan Concrete Institute , pp.121 to 130, August 2003.

[14].ACI Committee 522 "Report on Pervious Concrete 522R-10", American Concrete Institute, 2010.