Study Of The Effect Of Coarse Aggregate Content On Pervious Concrete Physical And Mechanical Properties

Farida shouman*

(Received 19 / 3 / 2019. Accepted 23 / 6 / 2019)

□ ABSTRACT □

This work examines the effect of coarse aggregate/cement ratio ($\frac{A}{C}$) on the physical and mechanical properties of pervious concrete. In this work, three mixes were prepared with three ratio of ($\frac{A}{C}$) (6,8 and 10 by weight), and ($\frac{W}{C}$) ratio ranges from (0.42 – 0.52).

Tests are carried out on hardened concrete to investigate the effect of coarse aggregate/cement ratio on the compressive strength, flexural strength absorption%, density, porosity%.

Results showed that increasing the $\frac{A}{C}$ratio from 6 to 10 for the used mixes reduces the compressive strength, flexural strength and density, on the other hand the porosity and the absorption increase with increasing ratio of $\frac{A}{C}$ for all studied mixes.

It was found that the compressive strength at 45 days increased by 30% when the $\frac{A}{C}$ ratio decreased from 10 to 6 .

And also the absorption and density changed when the ($\frac{A}{C}$) ratio changed from 10 to 6, the density increased and the absorption decreased clearly.

Keywords: Pervious concrete , coarse aggregate/cement ratio (A/C) porosity %, absorption %.

* **work supervisor _ Department of Construction Engineering and Management _ faculty of civil Engineering _ Tishreen university _ lattakia _ Syria.**

E-mail: faridaazmishuman@gmail.com

دراسة تأثير محتوى الحصويات الخشنة في البيتون النفوذ على خصائصه الفيزيائية و الميكانيكية

فريدة شومان*

(تاريخ الإيداع 19 / 3 / 2019. قُبِل للنشر في 23/ 6 / 2019)

□ ملخّص □

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير نسبة الحصويات الخشنة إلى الإسمنت $\left(\frac{A}{C}\right)$ في البيتون النفوذ على خصائصه الفيزيائية والميكانيكية، تم لهذا الغرض دراسة ثلاث نسب وزنية من$\left(\frac{A}{C}\right)$ هي: $\left(\frac{A}{C}=10، \frac{A}{C}=8، \frac{A}{C}=6\right)$ مع نسبة الماء إلى الإسمنت $\left(\frac{W}{C}\right)$ تراوحت بين (0.42 – 0.52). أجريت الاختبارات على البيتون المتصلب لدراسة تأثير نسبة الحصويات الخشنة إلى الإسمنت $\left(\frac{A}{C}\right)$ على المقاومة على الضغط البسيط ومقاومة الشد بالانعطاف والامتصاص والكثافة والمسامية.

أظهرت النتائج أن زيادة النسبة $\left(\frac{A}{C}\right)$ من 6 إلى 10 أدى إلى نقصان في الكثافة والمقاومة على الضغط البسيط ومقاومة الشد بالانعطاف، وبالمقابل ازدادت المسامية ونسبة امتصاص الماء مع زيادة النسبة $\left(\frac{A}{C}\right)$ للخلطات البيتونية الثلاث.

فيما يتعلق بالمقاومة على الضغط البسيط بعمر 45 يوماً، فقد ازدادت المقاومة بنسبة تصل إلى 30% عندما تناقصت قيمة $\left(\frac{A}{C}\right)$ من 10 إلى 6.

كذلك حصل تغير في قيم الامتصاص والكثافة عند الانتقال من $\left(\frac{A}{C}=10\right)$ إلى $\left(\frac{A}{C}=6\right)$ إذ ازدادت قيمة الكثافة ونقص الامتصاص بشكل واضح.

الكلمات المفتاحية: البيتون النفوذ ، نسبة الحصويات الخشنة/الإسمنت$\left(\frac{A}{C}\right)$، المسامية ، نسبة الامتصاص.

* **مشرفة على الأعمال _ قسم هندسة وإدارة التشييد _ كلية الهندسة المدنية _ جامعة تشرين _ اللاذقية _ سوريا**
البريد الإلكتروني: faridaazmishuman@gmail.com

مقدمة:

أدى التوسع العمراني للمدن إلى استبدال السطح الطبيعي للأرض (التربة) وهو سطح نفوذ يستطيع أن يمتص %(80–90) من مياه الأمطار، بالأسطح الكتيمة (الأبنية–الطرق– الساحات – مواقف السيارات .....) وهي أسطح غير منفذة للماء، وبالتالي فإن نسبة امتصاص مياه الأمطار انخفضت بشكل هائل لتصل إلى 10% فقط والباقي من مياه الأمطار يتم تصريفه ضمن شبكات تصريف المياه للمدن وهدره بدلاً من الاستفادة منه في تغذية المياه الجوفية، كما أنه في العواصف والهطولات الغزيرة تصبح أقنية التصريف غير قادرة على استيعاب هذه الكميات الكبيرة من المياه فتظهر مشكلة الجريان السطحي وما ينتج عنها من مشاكل ضمن المدن، وهذه المشكلة تتفاقم بشكل واضح مع ازدياد عدد المهاجرين من الريف إلى الحضر وازدياد الرصف الكتيم على حساب الأرض الطبيعية[1].

في البداية كانت محاولة البشر لحل هذا الخلل الناتج عن التوسع العمراني بتطوير شبكات تصريف المياه للمدن ولكن مع ازدياد الوعي البيئي وضرورة الحفاظ على الموارد المائية، كان لابد من إيجاد حل يساهم في الإدارة المستدامة لمياه الأمطار عن طريق تقليل الأسطح الكتيمة واستبدالها بأسطح نفوذة تسمح بمرور المياه عبرها، وهذه الأسطح يمكن الحصول عليها باستخدام البيتون النفوذ[1].

يوضح الشكل (1) مشكلة الجريان السطحي والفرق بين الرصف الكتيم والرصف النفوذ.

(a): مشكلة الجريان السطحي في المدن

(b): الفرق بين البيتون النفوذ والبيتون التقليدي أثناء الهطول المطري

(c): ابتلاع البيتون النفوذ للماء بشراهة

(d): مرور الماء عبر البيتون النفوذ

الشكل (1): الفرق بين البيتون النفوذ والبيتون التقليدي

2–البيتون النفوذ Pervious concrete :

البيتون النفوذ Pervious concrete هو نوع خاص من البيتون يحتوي على مسامات مترابطة تشكل أقنية تصريف تسمح بمرور الماء عبر طبقات البيتون النفوذ والتغلغل في التربة وله عدة تسميات مثل البيتون المسامي

(Porous concrete) والبيتون الخالي من الرمل (No_fines concrete) كما يطلق عليه أحياناً PCPC اختصاراً للعبارة التالية: pervious concrete cement Portland [2].

في هذا النوع من البيتون نستغني عن وجود الرمل فالبيتون النفوذ يتكون من حصويات خشنة من مقاس واحد وإسمنت وماء فقط، ولكن الدراسات أثبتت أنه يمكن استخدام كميات محدودة من الرمل بهدف تحسين أداء البيتون النفوذ على تعاقب دورات التجمد والذوبان وتحسين مقاومة الضغط ومقاومة الانعطاف بشكل خاص، وكمية الرمل المستخدم تكون عادة بين %(8–0) من الكمية الكلية للحصويات ويجب الانتباه إلى أن استخدام الرمل في البيتون النفوذ يقلل من المسامية ومن سرعة تصريف المياه[2].

وهكذا يكون البيتون النفوذ هو تكتل للحصويات الخشنة المغلفة بغطاء من العجينة الإسمنتية سماكته تتراوح بين mm (1–1.3) حسب المواصفة الأمريكية ACI 213R–، يسبب غياب التدرج الحبي للحصويات الخشنة وغياب الرمل من الخلطة البيتونية وجود فراغات مملوءة بالهواء وتلك الفراغات تلعب دوراً كبيراً في تحديد خواص البيتون، فهي تعطيه الوزن الخفيف والمسامية ولكنها تعتبر نقاط ضعف تسبب انخفاض في المقاومة على الضغط البسيط مقارنةً مع البيتون التقليدي[2] [3].

تتيح خصائص البيتون النفوذ الفيزيائية والميكانيكية استخدامه في المجالات التالية:

1- مواقف السيارات والساحات العامة والحدائق سواءٍ في الأماكن السكنية أو التجارية
2- طرق المشاة والطرق السكنية والشوارع ذات الكثافة المرورية المنخفضة والمتوسطة.
3- في البناء: في القواطع الداخلية والجدران الخارجية.

وعلى العكس يجب عدم استخدامه في:

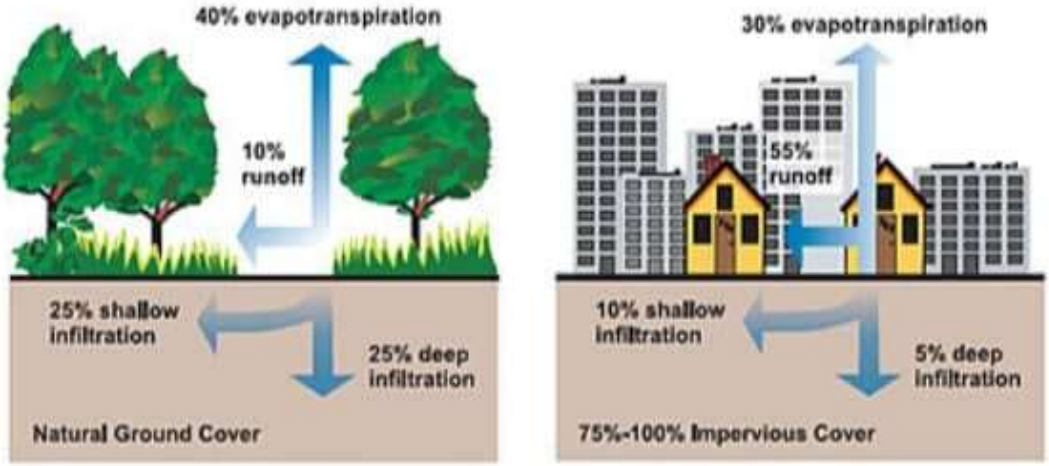
1- الأماكن التي تتطلب بيتون كتيم.
2- في البيتون المسلح.
3- في الأماكن التي قد تتعرض لحمولات كبيرة.
4- في المناطق الباردة جداً والمناطق التي يوجد فيها تفاوت كبير في درجات الحرارة بين النهار والليل لأن تجمد المياه الموجودة ضمن مسام البيتون النفوذ قد يؤدي إلى تحطمه[4].

تأتي أهمية استخدام البيتون النفوذ عادة في المنشآت المدنية من خلال:

أولاً: التقليل من الأسطح غير النفوذة وإدارة الجريان السطحي: إدارة الجريان السطحي هي مشكلة رئيسية في المدن، لأن التطور العمراني أدى إلى تراجع المساحات الخضراء والغطاء النباتي التي تعتبر أسطح نفوذة بطبيعتها وازدياد المساحات الكتيمة، فكان من المجدي استخدام البيتون النفوذ في الرصف لأنه يحل مشكلة الجريان السطحي و يؤمن إدارة مستدامة لمياه الأمطار، فهو يسمح بما يلي:

1- زيادة تغلغل مياه الأمطار بالأرض ووصولها إلى المياه الجوفية وتخزينها.
2- زيادة كمية ونوعية مياه الأنهار والينابيع عن طريق فلترة وتنقية مياه الأمطار خلال مرورها عبر طبقات البيتون النفوذ.
3- تأخير تدفقات الذروة وتخفيض كمياتها ضمن شبكة تصريف مياه الأمطار أثناء العواصف والهطولات الغزيرة.

يوضح الشكل (2) العلاقة بين سطح الأرض في المناطق الحضرية والمناطق الطبيعية والجريان السطحي[5].



الشكل (2): العلاقة بين نوع سطح الأرض والجريان السطحي[FISRWG 1998]

ثانياً: التخلص من البرك والأحواض أو خفض عددها: يسمح استخدام البيتون النفوذ في رصف مواقف السيارات والساحات بمرور مياه الأمطار لتصل إلى المياه الجوفية وبالتالي يمكن الاستغناء كلياً أو جزئياً عن انشاء برك وأحواض تجميع مياه الأمطار، وهكذا يمكن انشاء مواقف السيارات بكلفة أقل عن طريق التوفير بتكاليف انشاء أنظمة التصريف والأنابيب والأحواض والمضخات وغيرها من أنظمة إدارة مياه العواصف[4].

ثالثاً: استغلال الأراضي بشكل أفضل: يوفر استخدام البيتون النفوذ في رصف مواقف السيارات والساحات مساحات كبيرة كانت ستشغلها أنظمة التصريف والأحواض والبرك، كما أنه يسمح بتشجير جزئي لهذه المناطق لأنه يسمح بمرور الماء والهواء إلى التربة، وهكذا يكون استغلال الأرض نموذجياً من الناحية الاقتصادية والبيئية. يوضح الشكل (3) استخدام البيتون النفوذ في مواقف السيارات والساحات وإمكانية تشجير هذه الأراضي[4].

الشكل (3): بعض استخدامات البيتون النفوذ

رابعاً: خفض جزر الحرارة العمرانية المرتفعة : تُعرف جزر الحرارة العمرانية بأنها مكان في وسط حضري تكون حرارة الهواء فيه أكثر ارتفاعاً من الأماكن المحيطة به، وينتج عنها زيادة محلية في درجة الحرارة المحسوسة، والجزر الحرارية تنتج عن زيادة استهلاك الطاقة بهدف تبريد الهواء في الأبنية السكنية والمراكز التجارية.

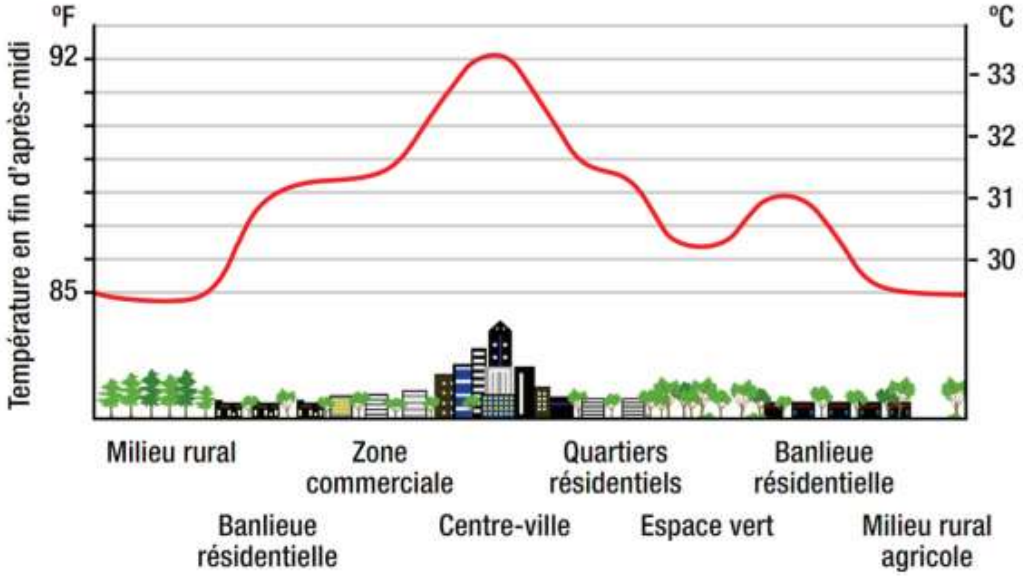
استخدام البيتون النفوذ في المناطق السكنية في رصف طرق المشاة والطرق ذات الكثافة المرورية المنخفضة وفي الفناءات ومواقف السيارات والساحات يساهم في الحد من التأثير السلبي للجزر الحرارية على عكس استخدام البيتون التقليدي وذلك للأسباب التالية:

1- يسمح البيتون النفوذ بتبخر مياه التربة عبر مسامه مما يساهم في خفض درجة حرارة الجو وهذا غير متاح في البيتون التقليدي الكتيم.

2- يخفض وجود المسام ضمن البيتون النفوذ من إمكانية احتفاظه بالحرارة ويجعل تسخينه أقل بكثير من البيتون التقليدي.

3- إن خاصية عكس الطاقة الشمسية في البيتون النفوذ أقل بكثير منها في البيتون التقليدي، وكلما ازداد عكس الطاقة الشمسية كلما ارتفعت درجة حرارة الهواء.

يوضح الشكل (4) الجزر الحرارية في المناطق السكنية[6].



الشكل (4): توضع الجزر الحرارية في المناطق السكنية[AMERICAN CONCRETE PAVEMENT ASSOCIATION2002].

خامساً: الحد من التلوث: في المدن يكون التلوث الناتج عن السيارات مرتفعاً ويسبب تراكماً في رواسب المعادن الثقيلة، وهذا التلوث ينتقل مع مياه الجريان السطحي إلى البيئة، ولكن عند استخدام البيتون النفوذ فإن المياه المحملة بالملوثات تترشح عبر طبقات البيتون ومن ثم عبر طبقات التربة فتتم فلترتها وتنقيتها من الملوثات كما يلي:

- 95% من المواد الصلبة المعلقة.
- 65% من الفوسفور.
- 82% من النتروجين.
- 98 من المعادن المختلفة وخصوصاً الزنك والرصاص[4].

سادساً: تحسين الأمان على الطرق: استخدام البيتون النفوذ يحل مشكلة الجريان السطحي ويحسن أمان الطرق للأسباب التالية:

1- انخفاض خطر الانزلاق المائي.
2- انخفاض خطر الفيضان.
3- القضاء على الانعكاسات عن الطريق الرطب (المبلل).
4- الحصول على رؤية أفضل في الليل لأن البيتون النفوذ يقلل من انعكاس الضوء[4].

سابعاً: تقليل كلفة البناء: البيتون النفوذ ذو كثافة منخفضة مقارنة مع البيتون التقليدي ويحوي مسامات كثيرة تمنحه خاصية العزل الحراري والصوتي، لذلك يعتبر استخدام البيتون النفوذ في البناء ذو فائدة اقتصادية بالدرجة الأولى وذلك للأسباب التالية:

1- توفير كبير في الطاقة المستهلكة في عمليات التدفئة والتبريد .
2- توفير كلفة العزل الحراري والصوتي إذ لا حاجة لاستخدام مواد عازلة إضافية.
3- تقليل وزن المنشأة وبالتالي تقليل أبعاد المقاطع والأساسات وكميات الحديد الازمة مما ينتج عنه تقليل الكلفة الإجمالية للمنشأة.
4- الإنتاجية العالية وبعمالة قليلة لأن البيتون النفوذ لا يحتاج رص ولا يحتاج معدات إضافية مثل الرجاجات.
5- تكلفة انتاجه أقل من تكلفة انتاج البيتون التقليدي بسبب غياب الرمل واستخدام كمية أقل من الإسمنت[3].

2-1- تصميم البيتون النفوذ: البيتون النفوذ يصمم بالاعتماد على الأوزان وليس على الحجوم المطلقة، أي باعتماد نسبة الحصويات إلى الإسمنت $\frac{A}{C}$ ونسبة الماء إلى الإسمنت $\frac{W}{C}$، ويجب أن تكون كمية الماء المستخدمة قليلة لأن الكمية الزائدة تؤدي إلى فصل العجينة الإسمنتية وترسبها في الأسفل وسد الفراغات الموجودة في الطبقات السفلى من البيتون.

عند تصميم الرصف باستخدام البيتون النفوذ يجب مراعاة الجانب الإنشائي والجانب الهيدرولوجي، حيث سماكات طبقات الرصف تتعلق بالمقاومة المطلوبة وبكمية المياه المتوقع تصريفها.

يتألف الرصف من ثلاث طبقات هي من الأعلى إلى الأسفل: طبقة البيتون النفوذ – طبقة الأساس (وهي عبارة عن طبقة من الحصويات الخشنة) – طبقة الأرض الطبيعية. في حال كانت الأرض الطبيعية غير نفوذة أو ذات نفاذية منخفضة يتم وضع أنابيب مثقبة تحت طبقة الردم لتجميع مياه الأمطار وتوجيهها إلى خزانات ضخمة حيث يعاد استخدامها في الري أو إطفاء الحرائق، وفي بعض الأحيان يوصى بوضع نسيج نفوذ تحت طبقة الحصويات أي فوق الأنابيب المثقبة يسمح بمرور الماء ولا يسمح بمرور الشوائب الصغيرة كي لا تتسد الثقوب أو نسيج غير نفوذ يوضع تحت الأنابيب يسمح بتجميع كمية أكبر من المياه ضمن الأنابيب المثقبة في حال كانت التربة غير نفوذة. يوضح الشكل (5) طبقات الرصف باستخدام البيتون النفوذ في الحالات المختلفة[7].

الشكل (5): طبقات الرصف باستخدام البيتون النفوذ

2-2- التنفيذ: يُعتبر الوقت عاملاً حاسماً عند تنفيذ الرصف باستخدام البيتون النفوذ، لأن التأخير في أي مرحلة من مراحل التنفيذ يجعل من الصعب الحصول على رصف متين ومتماسك و ذو مظهر جميل.

مراحل التنفيذ الأساسية هي: 1- الصب والفرش ، 2- الرص ، 3- تسوية السطح ، 4- الإنضاج.

وبما أن هذا البيتون لا يميل إلى الفصل فليس من المهم التحكم بارتفاع الصب، ومن أجل الرص والتسوية بخطوة واحدة نستخدم أداة التسوية الدوارة (بالفرنسية rouleau de lissage – بالإنكليزية roller screed) وهي تتوفر بأحجام وأبعاد مختلفة، ويجب اختيار الأداة المناسبة التي تؤمن ما يكفي من الرص بدورة واحدة فقط، وهنا لابد من ترك كمية كافية من البيتون أمام أداة التسوية، ثم تتم عملية تسوية السطح إن لزم الأمر وبشكل محدود قدر الإمكان لتجنب غلق المسام السطحية.

أما الإنضاج فيكون بتغطية البيتون النفوذ بأغطية بلاستيكية سماكتها لا تقل عن 1.5mm، وبما أن البيتون النفوذ يحوي مسام كثيرة فإن تبخر المياه يكون سريعا، لذلك لا بد من الإسراع بتغطية البيتون مباشرة بعد الرص وتسوية السطح خلال min(4-2) وكحدٍ أقصى 20 min، ويفضل عند حدوث تأخير في تغطية البيتون إلى 20mm رشه برذاذ الماء ثم تغطيته مباشرة، وتمتد مرحلة الإنضاج 7 أيام [8] .

يوضح الشكل (6): مراحل تنفيذ الرصف باستخدام البيتون النفوذ.

(a):مشهد عام يوضح تعاقب مراحل التنفيذ لضمان السرعة في العمل **(b):الرص باستخدام أداة التسوية الدوارة**

(c):تسوية السطح **(d): رش البيتون النفوذ برذاذ الماء** **(e): تغطية البيتون النفوذ بأغطية بلاستيكية**

الشكل (6): مراحل تنفيذ الرصف باستخدام البيتون النفوذ.

ملاحظة: إن امتلاك البيتون النفوذ لكمية قليلة من الماء ونسبة منخفضة من W/C ومسامات كثيرة يجعل زمن بدء التجمد قصيراً، وبالتالي يفقد البيتون النفوذ قابلية التشغيل بشكل سريع مقارنةً مع البيتون التقليدي، وهنا يكون استخدام مؤخرات الشك مفيداً جداً لتأمين الزمن الكافي لإنهاء كل مراحل التنفيذ خصوصاً في المناطق الحارة[8] .

2-3- الصيانة: من أجل الحفاظ على نفاذية الرصف بالبيتون النفوذ ومنع غلق المسام يجب القيام بعملية الصيانة مرة واحدة على الأقل كل عام ويفضل إجراء الصيانة قبل فصل الشتاء ومن طرق الصيانة على سبيل المثال: الشفاط (الفاكيوم) – الغسيل بالضغط العالي للماء[4].

يوضح الشكل (7) آلة الفاكيوم

الشكل (7): استخدام آلة الفاكيوم في تنظيف البيتون النفوذ

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير محتوى الحصويات الخشنة في البيتون النفوذ على خصائصه الفيزيائية والميكانيكية، لذلك تم البحث عن التأثير الدقيق لهذا المحتوى من خلال دراسة واختبار تراكيب مختلفة بنسب من الحصويات تتراوح بين 6 إلى 10 من وزن الإسمنت مع أخذ محتوى مائي W/C يتراوح بين 0.42 و 0.52.

طرائق البحث و مواده:

نفذ هذا البحث في مخبر تجريب المواد في كلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين خلال الفترة الممتدة من 15-5-2018 حتى 25-10-2018 ، حيث تم العمل المخبري على مرحلتين :

المرحلة الأولى : انتاج البيتون النفوذ باستخدام نسب مختلفة من $\frac{A}{C}$ هي : $\frac{6}{1}$ ، $\frac{8}{1}$ ، $\frac{10}{1}$.

المرحلة الثانية : تقييم تأثير نسبة الحصويات الخشنة إلى الإسمنت في الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للبيتون النفوذ.

1 المواد المستخدمة في هذا البحث:

الإسمنت : إسمنت بورتلندي عادي أسود صنف 32.5 صنع معمل إسمنت طرطوس وتوضح الجداول (1) و(2) و(3) الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية للإسمنت المستخدم في هذا البحث.

الجدول (1): الخصائص الفيزيائية للإسمنت المستخدم

الخصائص الفيزيائية	نتائج الاختبار
النعومة cm^2/gr	3100
زمن بداية الأخذ (دقيقة)	120
زمن نهاية الأخذ (دقيقة)	220
انتفاخ لوشاتوليه mm	1

الجدول (2): الخصائص الميكانيكية للإسمنت المستخدم

الخصائص الميكانيكية	عمر العينة (يوم)	نتائج الاختبار Mpa
مقاومة الضغط لعينيات موشورية 4x4x16 cm	7	23.9
	28	37
مقاومة الانعطاف لعينيات موشورية 4x4x16 cm	7	7
	28	9.3

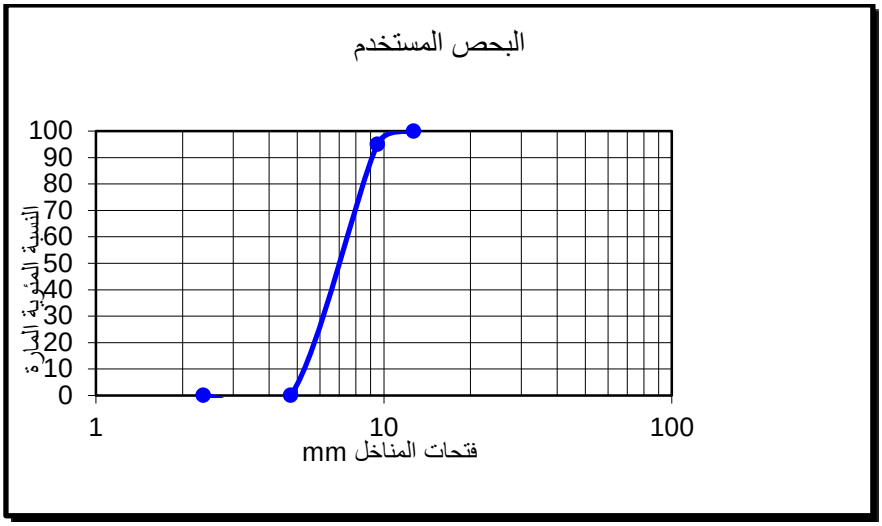
الجدول (3): الخصائص الكيميائية للإسمنت المستخدم

الخصائص الكيميائية	نتائج الاختبار %
أكسيد السيليس Sio_2	19.85
أكسيد الألمنيوم Al_2O_3	5.16
أكسيد الحديد Fe_2O_3	4.68
أكسيد الكالسيوم CaO	61.88
أكسيد المغنزيوم MgO	2.58
أكسيد الكبريت SO_3	2.2
الكلس الحر	1.73
فاقد الحرق	1.76
مواد غير ذوابة	1.4

الماء: ماء المزج المستخدم في كل الخلطات البيتونية هو الماء الصالح للشرب المتوفر في مدينة اللاذقية.

الحصويات الخشنة : الحصويات الخشنة التي تستخدم في البيتون النفوذ عادة تكون ذات مقاس واحد وتتراوح أقطارها بين mm(20–10) ويجب أن لا يكون في الحصويات حبيبات أصغر من 4.75mm لأن الحبيبات الصغيرة سوف تتجه لملء الفراغات وهذا يؤثر على مسامية البيتون النفوذ وعلى الخصائص المرتبطة بها[9].

استخدمت في هذا البحث حصويات ذات كتلة حجمية ظاهرية قيمتها $1500\ kg/m^3$، يوضح الشكل (8) منحني التحليل الحبي للحصويات المستخدمة في الخلطات الثلاث حيث تم اختيار الحد الأقصى لحجم الحصويات 9.5 mm وقد اعتمدت سلسلة المناخلِ ASTM في عملية التحليل الحبي.



الشكل (8): منحني التحليل الحبي للحصويات المستخدمة

الخلطات البيتونية: تم استخدام طريقة الوزن لتصميم الخلطات الثلاث. تختلف هذه الخلطات بكمية الحصويات الخشنة وبنسبة الماء إلى الإسمنت، وبعد عدة محاولات على خلطات تجريبية توصلنا إلى التصميم الذي يعطي الخلطة المثالية من حيث الكتلة الحجمية ونسبة الفراغ، يوضح الجدول (4) تصميم الخلطات الثلاث.

الجدول (4): تركيب الخلطات البيتونية

رمز الخلطة	نسبة الحصويات إلى الإسمنت A/C	نسبة الماء إلى الإسمنت W/C	كمية الإسمنت في $1m^3$ (kg)	كمية الماء في $1m^3$ (kg)	كمية الحصويات في $1m^3$ (kg)	الكتلة الحجمية التصميمية kg/m^3
M1	6/1	0.42	259	109	1555	1923
M2	8/1	0.46	194.4	89.42	1555	1839
M3	10/1	0.52	155.5	80.9	1555	1791

صب العينات: يحتاج هذا النوع من البينون لعناية خاصة أثناء الصب وذلك لقلة محتوى الإسمنت والماء وضيق منحني التدرج الحبي. ويمكن تلخيص مراحل الصب وفق ما يلي:

a) <u>التحضير لعملية الخلط :</u>

1- تغسل الحصويات بالماء للتخلص من الغبار الموجود على سطحها وذلك بهدف تأمين الالتصاق الجيد بين الحصويات والعجينة الإسمنتية ثم تترك لتجف بالهواء بشكل طبيعي.

2- تركب القوالب المكعبية وتدهن بالزيت المعدني.

3- توزن كميات الإسمنت والماء والحصويات اللازمة لكل خلطة .

b) <u>عملية الخلط :</u>

تمت باستخدام خلاط كهربائي سعته $0.15\ m^3$ و حسب الخطوات التالية :

1- ترطيب السطح الداخلي للخلاط .

2- وضع الحصويات الخشنة في الخلاط.

3- إضافة نصف كمية الماء اللازمة إلى الحصويات.

4- خلط الحصويات مع الماء مدة دقيقة لترطيب سطحها كي تغلف بسهولة بغطاء من العجينة الإسمنتية.

5- أضافة نصف كمية الإسمنت إلى الخلاط وتدوير الخلاط لمدة دقيقة .

6- إضافة الكميات المتبقية من الماء والإسمنت بالتدريج وبالتناوب أثناء عملية المزج .

7- استمرار الخلط حتى تغطية الحصويات بالعجينة الإسمنتية بشكل جيد [10,11] .

يوضح الشكل (9) مراحل الخلط.

(a):وضع الحصويات الخشنة في الحوض بعد ترطيبه

(b):إضافة نصف كمية الماء إلى الحصويات الخشنة

(c):إضافة نصف كمية الإسمنت إلى الحوض

(d):إضافة الماء المتبقي بالتدريج أثناء الخلط

(e):إضافة الإسمنت المتبقي بالتدريج أثناء الخلط

الشكل (9): مراحل خلط البيتون النفوذ

c) <u>تعبئة القوالب المكعبية :</u>

يفضل الإسراع نسبياً في صب البيتون النفوذ لأن الطبقة الرقيقة من العجينة الإسمنتية يمكن أن تجف بسرعة وهذا يؤدي إلى انخفاض التماسك والالتصاق مما يؤدي إلى تناقص في المقاومة والصلابة [12] .

تعبأ القوالب على ثلاث طبقات ويتم دمك كل طبقة باستخدام قضيب الدمك لمدة عشر ثواني مع الانتباه لضرورة ملء زوايا القالب جيداً وبعد ذلك تتم عملية تسوية السطح. يوضح الشكل (10) عملية تعبئة القوالب .

(a): تعبئة القوالب على دفعات

(b): دمك طبقات البيتون

الشكل (10): تعبئة ودمك القوالب

d) <u>الإنضاج :</u>

تستخرج العينات من القوالب بعد مرور 24 ساعة على عملية الصب وتوضع في حوض مائي حتى موعد إجراء الاختبار.

النتائج والمناقشة:

1-الكتل الحجمية (الكتلة الرطبة Fresh density- الكتلة الجافة Oven_dry density):

تتعلق الكتلة الحجمية للبيتون النفوذ بعدة عوامل هي: المقاس الأعظمي للحصويات – كمية الإسمنت – نسبة W/C – مقدار الرص. وتختلف الكتلة الحجمية التصميمية عن الكتلة الحجمية الرطبة عند وضع البيتون في المكان وذلك بسبب الرص مع العلم أن الفارق المسموح به بين الكتلتين ($80kg/m^3$) [13]، كما أنها ستختلف عن الكتلة الحجمية الظاهرية بعد التصلب.

تم قياس الكتلة الحجمية الرطبة للخلطات الثلاث بعد صب القالب مباشرة كما أجري اختبار الكتلة الحجمية الجافة على عينات مكعبية cm(15*15*15) وعمرها 28 يوم، حيث تم وزن العينات قبل إدخالها إلى الفرن وحساب الكتلة الحجمية الظاهرية لها ثم جففت في الفرن مدة 24 ساعة وبدرجة حرارة 110 درجة مئوية، بعد إخراج العينات من الفرن وتبريدها في الهواء تم وزنها للحصل على الوزن الجاف وبالتالي الحصول على الكتلة الحجمية الجافة [14]، يوضح الجدول (5) قيم الكتل الحجمية: التصميمية والرطبة والظاهرية والجافة للخلطات الثلاث.

الجدول (5): الكتل الحجمية التصميمية والرطبة والظاهرية والجافة لكل الخلطات

رمز الخلطة	الكتلة الحجمية التصميمية kg/m^3	الكتلة الحجمية الرطبة kg/m^3	الكتلة الحجمية الظاهرية بعمر 28 يوم kg/m^3	الكتلة الحجمية الجافة بعمر 28 يوم kg/m^3
M1($\frac{A}{C}$ =6)	1923	1955	1915	1857
M2($\frac{A}{C}$ =8)	1839	1861	1841	1783
M3($\frac{A}{C}$=10)	1791	1830	1812	1764

2- المقاومة على الضغط البسيط Compressive strength: تتعلق مقاومة الضغط البسيط للبيتون النفوذ بعدة عوامل هي: نوعية المواد المستخدمة ونسبة $\frac{A}{C}$ ونسبة $\frac{W}{C}$ ومقدار الرص وتزداد مع ازدياد الرص ولكن يجب الانتباه إلى أن الرص الزائد يقلل من حجم المسام [10,11]. أجري هذا الاختبار على عينات مكعبية (15*15*15)

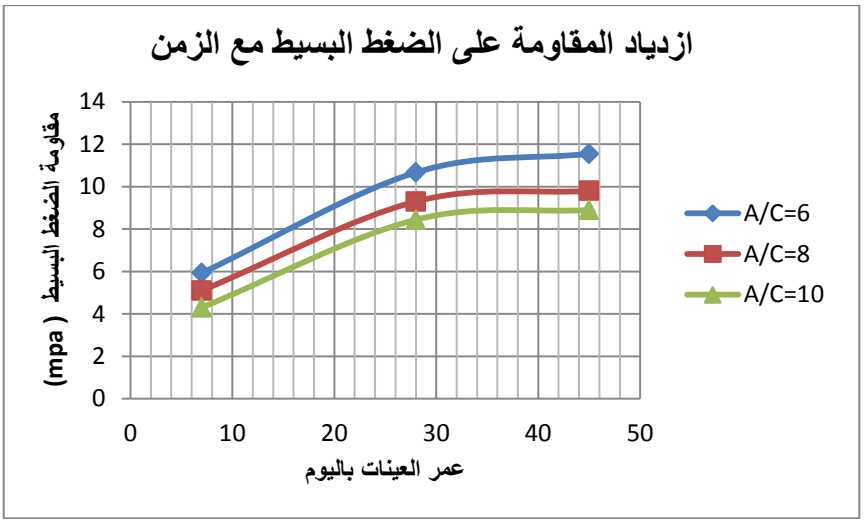
cm باستخدام جهاز الاختبار الموجود في المخبر بأعمار (7–28–45) يوم بمعدل 3 مكعبات لكل عمر، يبين الجدول (6) نتائج اختبار المقاومة على الضغط البسيط للخلطات الثلاث المدروسة.

الجدول (6): نتائج المقاومة على الضغط البسيط للخلطات الثلاث

رمز الخلطة	W/C	المقاومة على الضغط البسيط (MPa)		
		7 أيام	28 يوم	45 يوم
M1($\frac{A}{C}$ =6)	0.42	5.93	10.67	11.55
M2($\frac{A}{C}$ =8)	0.46	5.1	9.3	9.8
M3($\frac{A}{C}$=10)	0.52	4.3	8.44	8.9

تشير هذه النتائج إلى أن المقاومة على الضغط البسيط تتناقص مع زيادة نسبة الحصويات الخشنة إلى الإسمنت، يؤثر في هذا الانخفاض الواضح في المقاومة زيادة نسبة الماء إلى الإسمنت والتي تمت لأسباب تتعلق بقوام البيتون ليصبح قابلاً للصب والقولبة.

يوضح المنحني المبين على الشكل (11) تغير المقاومة على الضغط البسيط بدلالة كل من الزمن والنسبة A/C.



الشكل (11): تغير المقاومة على الضغط البسيط بدلالة محتوى الحصويات والزمن

3- حساب مقاومة الشد بالانعطاف Flexural strength:

تظهر الدراسات أن إضافة كمية محدودة من الرمل إلى البيتون النفوذ تحسن من مقاومة الشد بالانعطاف أكثر من مقاومة الضغط البسيط.

ترتبط مقاومة البيتون على الشد بالانعطاف بمقاومته على الضغط البسيط بعلاقات رياضية كثيرة نذكر منها العلاقة التي يعتمدها [ASSOCIATION BETON QUEBEC 2014] :

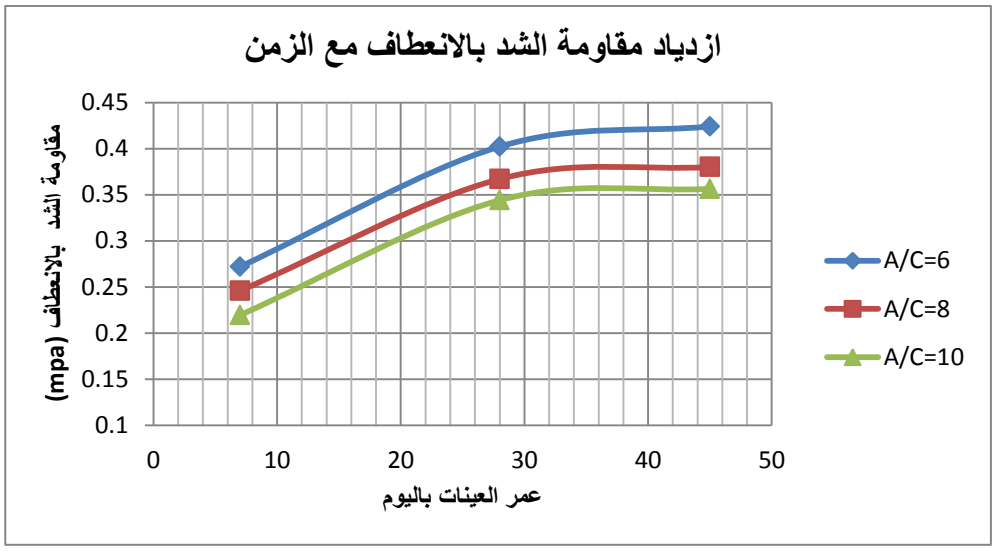
$$R_f = 0.083 * {R_c}^{2/3}$$

يبين الجدول (7) قيم مقاومة الانعطاف المحسوبة للخلطات الثلاث بعمر 7و28و45 يوم.

الجدول (7): نتائج مقاومة الشد بالانعطاف المحسوبة للخلطات الثلاث

رمز الخلطة	A/C	W/C	المقاومة الشد بالانعطاف (Mpa)		
			7 أيام	28 يوم	45 يوم
M1	6/1	0.42	0.27	0.40	0.43
M2	8/1	0.46	0.25	0.37	0.38
M3	10/1	0.52	0.22	0.35	0.36

يوضح المنحني المبين على الشكل (12) تطور مقاومة الشد بالانعطاف لجميع التراكيب بدلالة محتوى الحصويات والزمن.



الشكل (12): تغير مقاومة الشد بالانعطاف بدلالة محتوى الحصويات والزمن

4- اختبار الامتصاص Absorption: أجري هذا الاختبار على العينات التي تم تجفيفها في الفرن لمدة 24 ساعة في اختبار الكتل الحجمية الجافة، وضعت العينات في حوض مائي درجة حرارته 21 درجة مئوية لمدة 24 ساعة، بعد إخراج العينات من الحوض المائي يجفف سطحها بمنشفة ثم توزن للحصول على الوزن المشبع للعينة[14]، يحسب الامتصاص بالعلاقة التالية:

$$Absorption\% = \frac{W2-W1}{W1} * 100$$

W1 : الوزن الجاف للعينة.

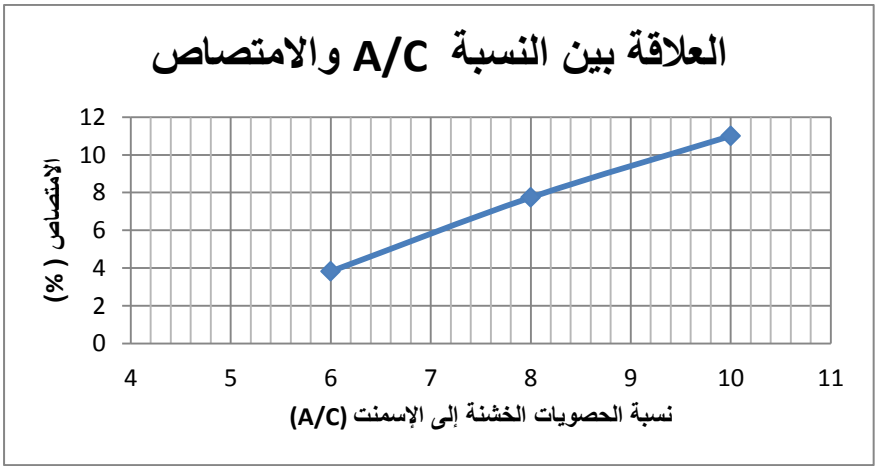
W2 : الوزن المشبع للعينة.

يؤدي تناقص نسبة الحصويات الخشنة إلى الإسمنت A/C والمترافق مع تناقص نسبة الماء إلى الإسمنت W/C إلى تناقص الامتصاص وازدياد الكثافة وهذا يعزى إلى انخفاض كمية الحصويات وكمية الماء وبالتالي تقليل الفراغات الموجودة، يعطي الجدول (8) قيم الامتصاص لكل خلطة.

الجدول (8): قيم الامتصاص لكل خلطة

رمز الخلطة	A/C	الامتصاص (%)
M1	6/1	3.82
M2	8/1	7.74
M3	10/1	11

يوضح المنحني المبين على الشكل (13) العلاقة بين نسبة الحصويات الخشنة إلى الإسمنت والامتصاص.



الشكل (13) :العلاقة بين نسبة الحصويات الخشنة إلى الإسمنت والامتصاص

5- اختبار المسامية Porosity: المسامية هي نسبة حجم الفراغ في البيتون المتصلب إلى الحجم الكلي للبيتون، وبالنسبة للبيتون النفوذ فإن المسامية هي سرعة مرور الماء عبره والحد الأدنى من المسامية للحصول على معدل ترشيح مقبول هو15% من حجم البيتون، ويزداد معدل الترشيح مع ازدياد المسامية والتحدي الأساسي هو ايجاد توازن بين معدل الترشيح المقبول ومقاومة الضغط البسيط الكافية[14].

أجري اختبار المسامية لكل خلطة على ثلاث عينات مكعبية أبعادها cm (15*15*15) وبعمر 28 يوم وحسبت المسامية من العلاقة التالية :

$$P = (1 - C)$$

P :المسامية %.

C :الاكتناز %.

$$C = \frac{\text{الكتلة الحجمية الظاهرية}}{\text{الكتلة الحجمية الصلبة}}$$

الكتلة الحجمية الظاهرية هي وزن المكعب في الهواء دون تجفيف على حجمه، أما الكتلة الحجمية الصلبة فتحسب من العلاقة التالية:

$$\rho s = \frac{w1}{w1 - w2} * \rho w$$

W1 : وزن المكعب في الهواء.

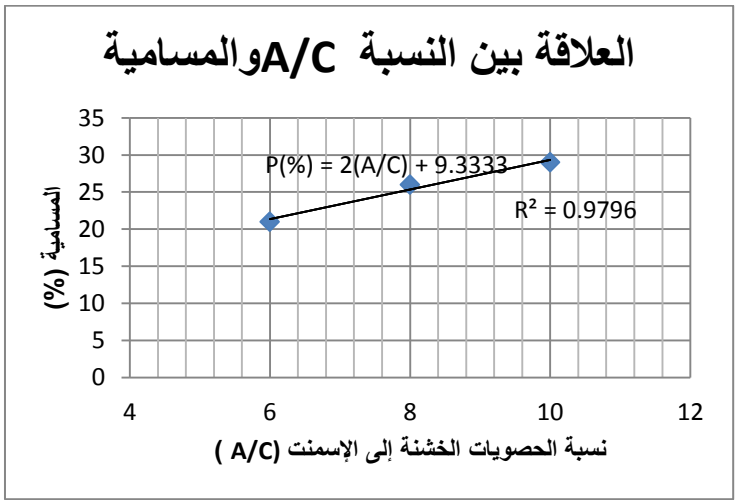
W : وزن المكعب في الماء.

ρw: كثافة الماء.

يظهر الجدول (9) نتائج هذا الاختبار، كما يوضح المنحني المبين على الشكل (14) تأثير النسبة A/C على المسامية حيث أدى تناقص كمية الحصويات وبالتالي نسبة W/C إلى تناقص المسامية.

الجدول (9): قيم المسامية للخلطات الثلاث

رمز الخلطة	A/C	المسامية (%)
M1	6/1	21
M2	8/1	26
M3	10/1	29

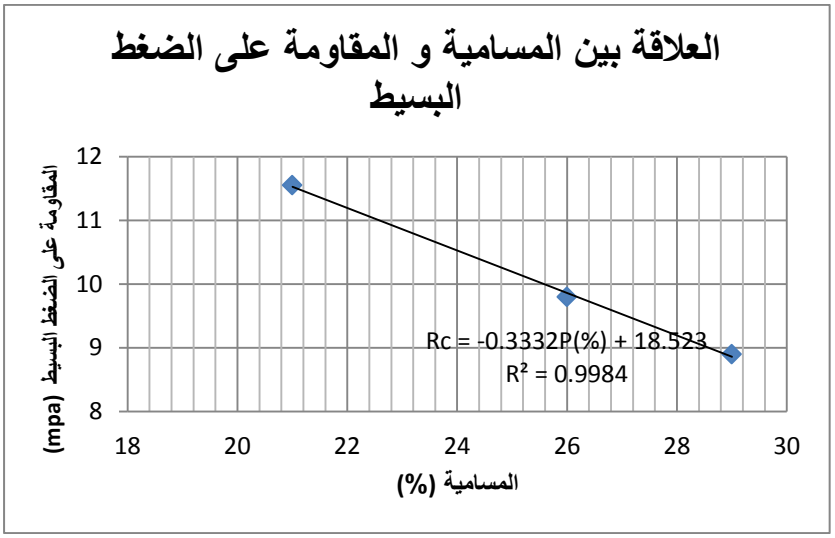


الشكل (14): العلاقة بين نسبة الحصويات الخشنة إلى الإسمنت والمسامية

إن العلاقة بين نسبة الحصويات الخشنة إلى الإسمنت A/C والمسامية هي علاقة خطية ذات تناسب طردي، بالاعتماد على النتائج السابقة وباستخدام برنامج excel تم إيجاد علاقة تمكن من التنبؤ بقيمة المسامية تبعاً لقيمة النسبة A/C وهذه العلاقة هي:

$$P(\%) = 2*(A/C)+9.333$$

يظهر المنحني المبين على الشكل (15) العلاقة بين المسامية والمقاومة على الضغط البسيط .



الشكل (15) : العلاقة بين المسامية والمقاومة على الضغط البسيط بعمر 45 يوم

وهذه العلاقة هي علاقة خطية ذات تناسب عكسي، بالاعتماد على النتائج السابقة وباستخدام برنامج excel تم إيجاد علاقة تمكن من التنبؤ بقيمة المقاومة على الضغط البسيط تبعاً لقيمة المسامية وهذه العلاقة هي:

$$\mathbf{Rc = -0.3332 * p(\%) + 18.523}$$

حيث :

Rc: المقاومة على الضغط البسيط مقاسة بالـ MPa.

P: المسامية.

الاستنتاجات والتوصيات:

1- تؤثر نسبة الحصويات الخشنة إلى الإسمنت في خصائص البيتون النفوذ، إذ أدى تناقص النسبة $\frac{A}{C}$ من 10 إلى 6 إلى زيادة الكتلة الحجمية والمقاومة على الضغط البسيط ومقاومة الشد بالانعطاف وتناقص الامتصاص والمسامية بشكل واضح.

2- أدى تناقص النسبة $\frac{A}{C}$ من 10 إلى 6 إلى زيادة المقاومة على الضغط البسيط من (8.9 mpa) إلى (11.55 mpa) أي بزيادة قدرها 30% .

3- أدى تناقص النسبة $\frac{A}{C}$ من 10 إلى 6 إلى تناقص المسامية من (29%) إلى (21%) أي بتناقص قدره 27.5% .

4- أدى تناقص النسبة $\frac{A}{C}$ من 10 إلى 6 إلى زيادة الكتلة الحجمية من ($1812\ kg/m^3$) إلى ($1915kg/m^3$) أي بزيادة قدرها 5.7% .

5- أدى تناقص النسبة $\frac{A}{C}$ من 10 إلى 6 إلى تناقص الامتصاص من (11%) إلى (3.82%) أي بتناقص قدره 65.3% .

6- كشف تحليل النتائج أن هناك علاقة عكسية بين المقاومة على الضغط والكتلة الحجمية من جهه والنسبة $\frac{A}{C}$ من جهة أخرى، وهناك علاقة طردية بين المسامية والامتصاص من جهة والنسبة A/C من جهة أخرى.

7- النسبة المثلى للتصميم هي 6= $\frac{A}{C}$ لأنها أعطت مقاومة عالية على الضغط البسيط ومعدل ترشيح (مسامية) يتناسب مع كميات الهطول المطري في منطقتنا.

المراجع :

1- MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE DE L ENVIRONNEMENT ET DES PARCS "*guide de gestion des eaux pluviales",* 17 octobre 2012.

2-الخطيب، حسان عصام ." *دراسة مقارنة لبعض خصائص الخرسانة خفيفة الوزن*". رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة الموصل، العراق، 2004 .

3-إحسان، حمدي علي ." *دراسة بعض خواص الخرسانة الخالية من الرمل*". رسالة ماجستير، هندسة البناء والإنشاءات، الجامعة التكنولوجية، بغداد، العراق، 2005 .

4- ASSOCIATION BETON QUEBEC "le beton drainant",2014,www.betonabq.org.

5- FISRWG "*Streem corridor Restoration: Principles, Processes, and practices*" Federal Interagency Streem Restoration Working Group, Octobre 1998.

6- AMERICAN CONCRETE PAVEMENT ASSOCIATION "*A Measure of Pavement Surface Reflectance Research And Technology*", 2002.

7- LIMING, M. L, MALCOM, H.R, TENNIS, P. D. " *hidrologic design of pervious concrete " ,* USA, 2007.

8- CSA " *Constituants et execution des travaux/methods d'essai et pratiques normalisees pour le beton*" Canada. Association canadienne de normalization, 2009.

9- AL_FEEL, J. "*Some Properties of No_Fines Concrete* " Concrete Technology for Developing Countries, 23 – October, Amman, Jordan, 2002.

10- MALHOTAR, V. M. "*No-Fines Concrete-its properties and Applications*". Journal of ACI,Vol.73,No.11,November,1976,pp.628-644.

11- NEVILLE, A. M. "*properties of concrete*". Third edition Pitman Publishing Limited,London,UK,1981.

12- JIMMA, E. B. "*Workability-Integrated Mixture Proportioning Method for Pervious Concrete*" .Clemson university, August 2014.

13- NRMCA , "*Pervious Concrete What,why ,how?*".2004, www.nrmca.org

14- ASTM C642-97, "*Standerd Test method for density , Absorption , And voids in hardened Concrete*" .ASTM Standerds ,.04.02,2003,pp.1-3.