

التنبؤ بقيمة مقاومة الضغط عند أي عمر للخرسانة بواسطة الماتلاب

د. أبو القاسم يحيى أبوصبيع¹ و أ. د. الطيب حسن أونسة²

¹ قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة صبراتة، جامعة صبراتة، صبراتة، ليبيا.

² قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة أم درمان الإسلامية، أم درمان، السودان.

* abulgasem.abusbuea@sabu.edu.ly

الملخص

نظراً للطفرة الكبيرة في تنفيذ المنشآت الخرسانية حيث تعتبر الخرسانة من العناصر المطلوبة للتتنفيذ. وتعتبر مقاومة الخرسانة من أهم المعايير لتقدير جودة الخرسانة، وهي أيضاً مرجع الموافقة أو الرفض لمقاومة الخرسانة ويرجع ذلك أساساً لسهولة القيام باختبار مقاومة الضغط ولو وجود بيانات وعلاقات إحصائية كافية لتقدير المقاومة بمعرفة مكونات الخرسانة المؤثرة على خواصها كمحتوى الإسمنت ونسبة الماء إلى الإسمنت، وبما أن التطور الكبير الذي حدث في أنظمة البرامج الهندسية لما لها من دقة عالية والتصميم باستخدام الحاسوب الآلي ومن هذه الأنظمة تم استخدام برنامج ماتلاب وهو من البرامج الجيدة والشائعة الاستخدام لتقدير مقاومة عند الزمن المطلوب.

يقدم البحث دراسة مختبرية من أجل معرفة مقاومة الضغط للخرسانة فقد تم عمل خلطة خرسانية وتحضير عينات من مكعبات خرسانية من الإسمنت البورتلاندي العادي واختبارها في أزمنة 28 يوم و 60 يوم و 90 يوم و 180 يوم و 365 يوم وتعرضها للهواء والماء وماء البحر ومقارنة النتائج مع بعضها من حيث مقاومة الضغط للخرسانة. وعمل برنامج ماتلاب (MATLAB) بغرض تحليل نتائج الاختبارات واستقراء النتائج المستقبلية واستبطاط معادلات تربط مقاومة الضغط وعمر الخرسانة عند أي زمن.

وكانت نتائج هذا البحث تم استبطاط معادلات مقاومة الخرسانة من البرنامج ما تطلب في أعمار متقدمة لعمر 365 يوم ومقارنتها مع نتائج المختبرية لنفس الزمن وكانت النتائج ممتازة.

الكلمات الرئيسية: مقاومة الضغط؛ برنامج ماتلاب؛ الخرسانة.

Abstract

Due to the great expansion in executing concrete constructions, where concrete is the most important element required for construction, concrete strength is considered one of the most important criteria for assessing its quality. Due to the ease of carrying out compression testing, concrete strength can also be used as a reference for approval or disapproval of a certain concrete.

The availability of much records and knowing the constituents of concrete that affect concrete properties such as cement content and water/cement ratio can facilitate the estimation of concrete strength through using statistical relationships. Because of the high accuracy of engineering software packages, accurate results can be gotten through using them in research. For this reason MATLAB program was used to estimate the strength of concrete at certain ages.

In this research many cubes of concrete which were made of Ordinary Portland cement were prepared and tested at ages of 28, 60, 90, 180 and 365 days to find out their compressive strength. The samples were exposed to different curing conditions namely air, tap water, and sea water. Then the results of compressive strength were contrasted and MATLAB was used for analyzing the test results in order to extrapolate future results, and to derive equations that link compressive strength and concrete age under any curing conditions.

Equations for concrete compressive strength at ages up to 365 days were developed and their estimate results were compared with actual laboratory results at the same age; the results were almost the same.

المقدمة

تؤثر الظروف المناخية بشكل بالغ على تدهور حالة المنشآت الخرسانية، فمعدلات الكربنة وتوغل الأملاح الضارة تعتمد على معدلات الرطوبة النسبية، ودرجات الحرارة السائدة والرياح خلال فصول السنة المختلفة، وكلما كان الجو المحيط مشبعاً بالرطوبة المحتوية على الكلوريدات والأملاح التي تترسب على سطح خرسانة المبني وتوغل داخلها. تزداد حدة المشكلة عندما تكون الرياح السائدة تهب من رياح شمالية، كما أنه في المنشأ نفسه يمكن ملاحظة أن العناصر الخارجية والمعرضة للرياح البحرية تتلف بصورة أكبر من العناصر الداخلية، والعناصر الأخرى الواقعة بالواجهات المحمية من هذا التأثير (شركة هندسية، 2014). وأهم معيار للخرسانة في حالتها المتصلة هي مقاومة الضغط. ذلك لأن عدداً كبيراً من خواص الخرسانة تتعلق بها مثل الكثافة والكتامة والتحملية ومقاومة البريو

مقاومة الصدم ومقاومة الشد ومقاومة الكبريتات وبعض المقاومات الأخرى. وبصورة عامة فإن الخرسانة ذات المقاومة الأعلى خصائص أكثر تميزاً.

وأجرى (Neveville, 2011) تجارب بنسب الخلط 1:1.5:3 ونسبة W/C تساوي 0.50 وكانت مقاومة الضغط بعد 28 يوم 39.7 MPa وبعد 90 يوم كانت 49.7 MPa وكانت مقاومة الضغط بعد 365 يوم 57.4 MPa وبنسبة زيادة 44% عن مقاومة الضغط عند 28 يوم.

وأجرت (سهير وآخرون، 2018) موديلات تحليل الانحدار لتوقع مقاومة الضغط بعمر 28 يوم باستخدام فحوص الإنضاج حيث تم تصميم الخرسانة من 28 خلطة خرسانية بمحظى إسمنت مختلف وكانت النتائج بعد تفزيذ البرنامج الإحصائي SPSS للنتائج العملية بين مقاومة الضغط الاعتيادية والمقاومة المعجلة بعمر 28 يوم كانت نتائج البرنامج مقبولة.

وأجرت (الزيبيدي، 2009) باستخدام خاصية الإنضاج الخرسانة لتتبؤ مقاومة الضغط تحت ظروف مختلفة وكان الغرض منها إيجاد علاقة بين إنضاج ومقاومة الضغط للخرسانة خلطة 4:2:1 وكانت المقاومة بعد 28 يوم 33.33 MPa من معادلة رياضية واستعماله لاستنتاج المقاومة واختبار المقاومة عند 28، 34، 37، 42 درجات حرارة 17 – 34 درجة مئوية والمعالجة في الماء والهواء، ثم مطابقة النتائج مع النتائج البرنامج المتحصل عليها حيث كانت النتائج زيادة المقاومة في الماء 7.5% في عمر 28 يوم أما في الهواء كانت زيادة المقاومة من البرنامج عن المختبرية 11.5% عند عمر 28 يوم.

جودة الخرسانة

تعد مقاومة الضغط الخاصة الأساسية للخرسانة بافتراض خلو مكوناتها من الشوائب بالإضافة إلى معالجتها وتصلتها بصورة كافية لمقاومة المؤثرات البيئية المحيطة وللأسف هذا الافتراض غالباً يكون غير صحيح خاصة عند ظهور مشاكل في قدرة الخرسانة على التحمل والديمومة وذلك في منطقة الدراسة حيث تواجه المنشآت الخرسانية في قدرتها على التحمل والديمومة وذلك لعدة أسباب منها البيئة المحيطة أو من المواد الداخلة في الخرسانة معاً (عمر وآخرون، 2008) من أن المواصفات القياسية الدولية توفر المتطلبات الأساسية لإنتاج خرسانة عالية المقاومة والقدرة على التحمل والديمومة

إلا أن البيئة العدائية المحيطة بمنطقة الدراسة تستدعي تطوير معايير تحديد التآكل في الخرسانة وفولاذ التسليح.

مقاومة الخرسانة

مقاومة الخرسانة تعتبر من أهم خواصها على الرغم من أنه في حالات عملية عديدة قد تكون خواص أخرى كالمتانة وعدم النفاذية أكثر أهمية من المقاومة عند وجودها بالقرب من المناطق الضارة، ومع ذلك فإنه غالباً ما ينظر إلى مقاومة الضغط على أنها أهم خواص الخرسانة؛ كونها تعطي مؤشراً واضحاً لمعظم الخواص الأخرى؛ فعند توفر مقاومة عالية فإن هذا يعني أن بنية الخرسانة متربطة ومتراسقة ولا توجد منطقة بينية عازلة تضعف الترابط بين الركام والعبينة الإسمنتية، وهذا يؤدي إلى زيادة مقاومة الشد ومعامل المرونة الاستاتيكي وتقليل نسبة الامتصاص وال النفاذية والمسامية بسبب قلة الشقوق والفراغات.

وللحصول على مقاومة عالية وذات ديمومة عالية من الضروري أن تكون الخرسانة قليلة النفاذية وأن تكون نسبة الماء إلى الإسمنت قليلة (عبدالفتاح، 2009) بحيث لا تتعذر الحد الذي تتحقق عنده مقاومة الضغط والتحمل مع الزمن للخرسانة المتصلة، وبالتالي هي التي تحكم في ديمومة الخرسانة وتحكم في مقاومة ضغط الخرسانة العالية وبالتالي تميز بعمر أطول واستعمال مقاومة العالية ليس من أجل مقاومتها العالية وإنما لمقاومة الأوساط المحيطة الضارة للخرسانة حيث يعتبر تآكل فولاذ التسليح الموجود بالخرسانة المسلحة سبباً لتدور وتفتت الخرسانة، وتأتي أهمية هذا البحث من أجل ديمومتها وبالتالي فإن ديمومة الخرسانة لا تتعلق بالأحمال المئوية أو الحية وإنما تتعلق بالظروف البيئية المحيطة بها إما داخلية أو خارجية (الكود المصري، 2007).

تحمل الخرسانة هو مقاومتها للظروف التي صممت لها وتعمل في محيطها مدة طويلة من الزمن دون حدوث تلف أو نفتت بها (Disintegration) أي هي مقاومة الخرسانة للتدهور.

وتتأثر المنشآت الخرسانية ببعض المواد الكيميائية مثل الدهون والمحاليل السكرية وبعض المواد العضوية والأحماض ومحاليل الكبريتات والكلوريدات ومياه البحر والمياه الجوفية المحتوية على تلك المحاليل والغازات والأبخرة بالمناطق الساحلية والصناعية ونتيجة تعرض الخرسانة لهذه المواد تتغير خواصها تدريجياً، وكذلك تتأثر المنشآت الخرسانية سلبياً بالتفاعل القلوي (Neveville, 2011) كما

تتعرض الخرسانة للتلف بفعل العوامل الميكانيكية مثل البري والنحر يعتبر مقاومة الخرسانة مع الزمن في بعض المباني التي تقع في ظروف محطة صعبة الهدف الأول قبل مقاومة الضغط للخرسانة الظروف البيئية المحيطة بها.

ويعتبر هجوم أملال الكبريتات من العوامل الأكثر انتشاراً لتدور المنشآت الخرسانية. ومن المعروف بأن هنالك تأثيران رئيسيان لأملال الكبريتات على الخرسانة هما التأثير الخارجي الذي يأتي من أملال الكبريتات المتواجدة في المياه الجوفية أو السطحية أو التربة السبيخة، والنوع الثاني هو التأثير الداخلي الذي يأتي من أملال الكبريتات المتواجدة في المواد المستخدمة في إنتاج الخرسانة كالإسمنت والركام (الخشن والناعم) والماء.

تؤثر الظروف البيئية السائدة على مساعدة تدور الخرسانة وفولاذ التسلیح بالعوامل الداخلية والخارجية وبالتالي دخول الأملال الأخرى إلى مسامات الخرسانة وتبلورها بداخلها يتسبب في تفكك الأجزاء الخارجية للخرسانة تدريجياً وتنظر هذه المشكلة في الخرسانة الموجودة بالقرب من المياه المالحة والتربة المشبعة بالأملال وبالتالي يحدث التآكل لفولاذ التسلیح ويتحول أيون الفولاذ في وجود الكلوريدات إلى حالة معقدة نظراً لاختلاف المؤثرات الخارجية التي ينتج عنها الصدا (RUST).

تأثير عمر الخرسانة على مقاومة الخرسانة

إن الخرسانة المعالجة في ظروف اعتيادية تستمر في اكتساب مقاومة لفترات طويلة من الزمن قد تصل إلى عشر سنوات حسب نوع الإسمنت المستخدم والظروف الخارجية المحيطة. وإن أكبر معدل زيادة لمقاومة هو في المراحل الأولى، ومقاومة الخرسانة عبارة عن خاصية ملزمة للمادة ودالة على صلاحيتها، ففي أغلب الحالات تجري الاختبارات على النماذج بعمر 28 يوم وعند ذلك الوقت تكون مقاومة الخرسانة أقل بمقدار لا يستهان به من مقاومتها على المدى البعيد. واعتبر أن الزيادة الخاصة في المقاومة لما بعد فترة 28 يوم ليس إلا إسهام في زيادة عامل الأمان للمنشأ (Neveville, 2011) ويكون معدل الزيادة في مقاومة الخرسانة مهماً لما يتعلق الأمر بالاختبار حيث يفضل التدقيق في ملاءمة الخاطرة الخرسانية قبل فترة طويلة. حتى وإن تمت السيطرة بشكل جيد على ظروف المعالجة فإن توقيع مقاومة 28 يوم من المقاومة المقاسة لسبعة أيام يكون أمراً صعباً والسبب الرئيس لذلك يعود إلى الاختلاف الجوهري لمعدل تصلب أنواع الإسمنت وكذلك نسبة الماء إلى الإسمنت المنخفضة

تكتسب المقاومة بسرعة أكثر من حالة الخلطات ذات نسبة الماء إلى الإسمنت الأعلى حيث في الحالة الأولى تكون حبيبات الإسمنت أقرب إلى بعضها البعض مما يسهل عملية المقاومة بشكل أسرع في حالة عدم توفر أي معلومات محددة عن المواد المستعملة افتراض أن مقاومة 28 يوم تساوي 1.5 مضروباً في مقاومة 7 أيام وكديل لمقاومة 28 يوم والمواصفة البريطانية BS114:1979 يسمح بقبول مقاومة 7 أيام بما يعادل قيمة لا تقل عن ثلثي مقاومة 28 يوم المطلوبة للتصميم. وأوضحت الاختبارات لأنواع الخرسانة المصنعة بالإسمنت البورتلاندي أن نسبة مقاومة 28 يوم إلى مقاومة 7 أيام تقع بين 1.3 و 1.7 $\times \frac{\sigma_{28\text{ يوم}}}{\sigma_{7\text{ أيام}}} = 1.5$.

البرنامج العملي

تم تصميم خلطة خرسانية باستخدام الإسمنت البورتلاندي العادي من:

المعادلة الحجمية تم حساب الكميات للخرسانة

$$\frac{w}{1000} + \frac{A}{1000 \times \rho_a} + \frac{C}{1000 \times \rho_c} = 1m^3$$

. $C = 417 \text{ kg/m}^3$ منها كميات المواد بالметр المكعب

$$w = 0.4 \times 417 = 166.8 \text{ kg/m}^3$$

$$Ac = 3 \times 417 = 1251 \text{ kg/m}^3$$

$$As = 1.5 \times 417 = 625.5 \text{ kg/m}^3$$

وتم عمل الخلطة الخرسانية وتصميمها وفق الكود الأمريكي (ACI-91).

As ركام ناعم، Ac ركام خشن، C الإسمنت، w الماء

وكانت نسبة الماء إلى الإسمنت تساوي $w/c = 0.4$ ومقاومة الضغط التصميمية $N/mm^2 = 40$ وتم تجهيز المكعبات الخرسانية وبعد خلط الخرسانة وصب هذه المكعبات بالخرسانة وبعد الصب يتم فاك المكعبات بعد 24 ساعة وضعها في الماء كما في الشكل (1) والهواء كما في الشكل (2) بعد المعالجة في الماء 28 يوم وقبل هذا تم عمل اختبارات المواد الميكانيكية ومنها الركام الخشن والناعم

كما في جدول (1) وجدول (2). وتم اختبار المقاومة بعد 28 يوم و 60 يوم و 90 يوم و 180 يوم و 365 يوم. وكانت النتائج اختبار مقاومة الضغط للخلطة بالإسمنت البورتلاندي العادي كما في الجدول (3).



الشكل (2): يبين المكعبات في الماء.

الشكل (1): يبين المكعبات في الهواء.

الجدول (1): للاختبارات الميكانيكية للركام الخشن.

حدود المواصفات	رقم الموافقة الليبية	رقم الموافقة البريطانية	نتيجة الاختبار	الاختبار
%25 حد أقصى	2006/255	BS812	%8.4	معامل الصدم
2.7-2.6	2006/256	BS812.2:75	2.7	الوزن النوعي
لا يزيد عن %3	2006/256	BS812.2:75	%1.7	الامتصاص
1400-1800kg/m ³	2006/250	BS812.2:75	1603 kg/m ³	وزن وحدة الحجوم
حد أقصى %25	-	BS812.110:90	%14	معامل التهشيم

الجدول (2): الاختبارات الميكانيكية للركام الناعم.

حدود المواصفات	رقم الموافقة الليبية	رقم الموافقة البريطانية	نتيجة الاختبار	الاختبار
2.7-2.6	2006/256	BS812.2:75	2.63	الوزن النوعي للرمل
لا تزيد عن %2	2006/256	BS812.2:75	%0.17	الامتصاص
1400-1800 kg/m ³	82/250	BS812.2:75	1681kg/m3	وزن وحدة الحجوم

الجدول (3): يبين اختبار مقاومة الضغط للمكعبات الخرسانية بالإسمنت البورتلاندي.

نوع المكعب	الحماية	7 أيام (MPa)	28 يوم (MPa)	60 يوم (MPa)	90 يوم (MPa)	180 يوم (MPa)	365 يوم (MPa)
OP.N.TW	لا يوجد	26.06	45.100	55.97	55.88	57.67	63.01
OP.N.AC	لا يوجد	-	44.833	55.5	49.73	57.66	61.106
OP.N.SW	لا يوجد	-	46.62	45.07	55.41	-	59.90

OP = الإسمنت البورتلاندي العادي N = العينة بدون تعليف SW = ماء البحر. TW = ماء الشرب AC = هواء

العلاقة بين مقاومة الخرسانة للضغط وعمر الخرسانة باستخدام برنامج الماتلاب

برنامج MATLAB في معظم المسائل العلمية والهندسية وبعد نبذة أي مسألة أو ظاهرة يأتي بعدها دور هذا البرنامج ليتعامل مع تلك البرامج ويحللها بأبسط الطرق ويسمح ببرنامج ماتلاب برسم أشكال ثلاثة الأبعاد بعد كتابة معادلاتها الرياضية ويستخدم في رسم الخطوط البيانية ثنائية الأبعاد. وتم تطبيق بيانات مقاومة الضغط في الأزمنة المختلفة وتطبيق برنامج لها لخرسانة في الماء كما يأتي

-for tap water

```
clc
zy=[45.1 55.97 55.88 57.66 63 81 97 ]
zx=[28 60 90 180 365 4000 7200]
zp=polyfit(zx,zy,1)
zp=vpa(zp,3)
pretty(zp)
syms x
output=zp(1)*x+zp(2)
x=3600
-in the water
```

العلاقة الرياضية

$$f(x) = a(x)^b \quad a=32.37 \quad b=0.117$$

المعروف أن برنامج ماتلاب يستخدم في كثير من المجالات العلمية لأنه يقوم بعمليات تحليل وتمثيل البيانات من خلال معالجة تلك البيانات تبعاً لقاعدة البيانات الخاصة به فيستطيع البرنامج العمل في جميع المجالات الهندسية وتم ربط العلاقة بين مقاومة الضغط لخرسانة والزمن وإيجاد قيمة عمر

مقاومة الضغط عند أي فترة زمنية من استخدام نتائج الاختبارات وإدخالها للبرنامج لإيجاد المعادلة المناسبة للخلطة. وتم تطبيق المعادلة من البرنامج وإيجاد عمر الخرسانة في 180 يوم 365 يوم ومقارنتها مع مقاومة الضغط في المختبر في 365 يوم والخرسانة مخلوطة بالإسمنت البورتلاندي العادي وكانت نتائج البرنامج كالتالي حسب الجدول رقم 4 وكذلك فإن العالم نفيل أوجد المعادلة التالية لمقاومة 28 يوم بمعرفة مقاومة 7 أيام وكانت المعادلة $1.5 \times 7\text{ أيام} = 28\text{ يوم} \sigma$ منها تم إيجاد المقاومة 28 يوم في للخرسانة المعالجة بالماء ومقارنتها مع الموجودة في الجدول رقم 3 المعملية.

الجدول (4): يبين نتائج البرنامج عند كل نوع معالجة والإسمنت البورتلاندي.

نوع المعالجة	نوع الإسمنت	معادلة البرنامج	a	b	التغليف
في ماء شرب	OP.N.TW	$F(x)=a X^b$	32.37	0.117	لا يوجد
الهواء	OP.N.AC	$F(x)=a X^b$	32.84	0.105	لا يوجد
ماء البحر	OP.N.SW	$F(x)=a X^b$	28.45	0.136	لابوجد

الإسمنت البورتلاندي. N = لا يوجد تغليف للمكعب. AC = ماء. TW = هواء. SW = ماء بحر. X = عدد الأيام.

النتائج

تم تطبيق المعادلة من الجدول (4) حسب حالة المعالجة للخرسانة وإيجاد مقاومة عمر الخرسانة في 365 يوم ومقارنتها مع المقاومة في السنة من اختبار مقاومة الضغط في المختبر وكانت النتائج ممتازة ومن تم تطبيق

البرنامج على عمر 10 سنوات و 20 سنة وكانت النتائج كما في الجدول (5).

الجدول (5): يبين نتائج البرنامج لمقاومة الضغط عند أعمار مختلفة بالإسمنت البورتلاندي.

نوع المعالجة	مقاومة الضغط بالمختر بالبحر	مقاومة الضغط بالمختر بالماء العادي	مقاومة الضغط بالمختر بالماء الشرب	مقاومة الضغط بالمختر بهواء	مقاييس المقاومة	تقدير المقاومة								
	MPa	MPa	MPa	MPa	MATL	MATL	MATL	MATL	MATL	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
ال أيام	20 سنوات	10 سنوات	365 يوم	180 يوم	90 يوم	365 يوم	180 يوم	90	60	28				
OP.N.TW	91.65	84.51	64.55	59.43	69.56	63.01	57.67	55.88	55.97	45.10				
OP.N.AC	84.09	78.13	61.01	56.65	52.67	61.01	57.66	49.73	55.50	44.83				
OP.N.SW	83.33	77.26	63.46		52.46	59.90	-	55.41	45.07	46.62				

= الإسمنت البورتلاندي العادي. **N** = العينة بدون تغليف. **SW** = ماء البحر. **AC** = ماء الشرب. **TW** = هواء.

مناقشة النتائج

من الفحص النظري لتقدير العلامات الظاهرة أظهرت أن العينات لم يحدث لها أي تشhir أو انسلاخ في الطبقة السطحية المعرضة للمياه البحر والهواء والماء العادي. وإن مقاومة الضغط في الخرسانة المنتجة بالإسمنت بالبورتلاندي العادي ضمن الشروط المعتمدة للمواصفات في الخلطات الخرسانية وقد كانت إيجابية في تحسين مقاومة الخرسانة في جميع الأوساط المعرضة لها الخرسانة. وكانت نتائج مقاومة الضغط بالمختر و البرنامج قريبة جداً من بعض. حيث كانت أعلى نسبة زيادة 5.9% في المقاومة في البرنامج عن المختبر عند زمن 365 يوم في الخرسانات الموضعة في جميع المعالجات وكانت أعلى نسبة زيادة 5.9% عند زمن 28 يوم المعالجة في الماء لكن نسبة الزيادة في المعالجة في الهواء وماء البحر لم تتجاوز 4% ونقص في مقاومة الخرسانة كانت -13% وفق (Neveville, 2011) في المعالجة في الماء لمقاومة 28 يوم بالمقارنة بمقاومة في المختبر لهذا البحث. وبالتالي فإن البرنامج كانت نتائجه ممتازة مع نتائج المقاومة في المختبر. والجدول (6) يبيّن المقارنة بين نتائج البرنامج لمقاومة الضغط والنتائج في المختبر.

وبالمقارنة بين نتائج البرنامج والمختبر في الأعمار المتقدمة 365 يوم و180 يوم وعمر 28 يوم كانت النتائج ممتازة. حيث كانت نتائج المقاومة في المختبر 365 يوم المعالجة في الماء أما المقاومة باستخدام البرنامج كانت MPa64.5 والمقاومة كانت متساوية في الهواء MPa63.01 للخرسانة في المختبر والبرنامج MPa61.01 وكانت المقاومة في معالجة ماء البحر MPa59.90 في المختبر وكانت MPa63.46 في البرنامج في عمر 365 يوم حيث كانت نسبة الزيادة 5.9% والنقصان كانت 4%. وبالمقارنة مع (الزبيدي) حيث وصلت زيادة المقاومة بمعادلة التتبؤ إلى 7.8% المعالجة في الماء أما بالنسبة للمعالجة في الهواء وصلت زيادة مقاومة الضغط إلى 13%.

الجدول (6): يبين مقارنة بين نتائج البرنامج لمقاومة الضغط في المختبر وبعض البحوث السابقة.

مقاومة الخرسانة بالبحوث السابقة المنشورة				تقدير مقاومة الخرسانة بالبرنامج		مقاومة الخرسانة بالمختبر		نوع المعالجة	
بالمختبر Neveville f_{cu}	بالمختبر Neveville f_{cu}	التنبؤ بالمقاومة (الزبيدي) بالمعادلة	بالمختبر المقاومة (الزبيدي) بالمعادلة	MPa		MPa			
365 يوم	90 يوم	28	28 يوم	365 يوم	90 يوم	28 يوم	365 يوم	90 يوم	28 يوم
57.4	49.8	36.69	34.01	64.55	69.56	47.80	63.01	55.88	45.10
-	-	28.14	24.90	61.01	52.67	46.59	61.01	49.73	44.83
-	-	-	-	63.46	52.46	44.76	59.90	55.41	46.62
ال أيام									
OP.N.TW									
OP.N.AC									
OP.N.SW									

الاستنتاج

- العلاقة المستنيرة من اختبار مقاومة الضغط يمكن استخدامها بفعالية عالية لغرض التنبؤ بمقاومة الضغط للخرسانة حيث كانت نسبة الخطأ مقبولة في النتائج المتحصل عليها حيث إنها لم تتجاوز 6%.
- أثبتت برنامج ما تلاه فعالية عالية لتقدير قيمة مقاومة الخرسانة عند أي عمر للخرسانة وفق المعادلات التي تم التوصيل إليها واستنباطها من البرنامج حسب نوع المعالجة للخرسانة ومنها

معرفة المقاومة عند أي عمر للخرسانة للأعمار المتقدمة وكانت النتائج ممتازة بالمقارنة مع باقي الأعمار في مختلف المعالجات بالمخبر.

- أثبتت نتائج المقاومة للضغط المعالجة في الهواء بالبرنامج نتائج ممتازة بالمقارنة مع نتائج المعملية وبالتالي فعالية المعادلات كانت ممتازة وحققت أفضل نتائج في الخرسانة في الهواء وكانت لا توجد أي نسبة زيادة أو نقصان في المقاومة 0%.
- إن مقاومة الضغط بالبرنامج عند 365 يوم كانت ممتازة عند جميع المعالجات الماء والهواء وماء البحر حيث لم تتعذر نسبة الزيادة في المقاومة 5.9%.

الوصيات

- 1- ضرورة إجراء اختبار مقاومة الضغط للخرسانة لعملية إدخال هذه الاختبارات في البرنامج للحصول على المعادلة حيث إن المواد المستخدمة مختلفة.
- 2- ضرورة الأخذ في الاعتبار عدد عينات اختبار الضغط التي يتم إدخالها للبرنامج أكثر من ثلاثة فترات زمنية حتى تكون النتائج أكثر دقة.

المراجع:

1- المراجع العربية:

- "الكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية" مصر ،2007.
- ابتسام الزبيدي، " باستخدام خاصية الإنضاج الخرسانية لتباين مقاومة الضغط تحت ظروف مختلفة "، مجلة جامعة الموصل، العراق، 2009.
- سهير كاظم وزينه حضير، " موديلات تحليل الانحدار لتوقع مقاومة الضغط بعمر 28 يوم باستخدام فحوص الإنضاج "، مجلة الرفدين الهندسية. العراق، 2018.
- عمر سعيد، وليد أبوبكر، ومحمد مصالح، "تحو معايير محددة لتقدير جودة الخرسانة في السعودية"، جامعة الملك فهد للبترول والمعادن السعودية، 2008.
- عبد الفتاح القصبي، "ترميم المنشآت الخرسانية "، دار الكتب العلمية، مصر ،2009.

• لشركة الهندسية للمقاولات "العوامل التي تساعد في حدوث التآكل"، موقع الهندسية

.2014، www.ELHandasia1A

2- المراجع الأجنبية:

- A. M. Neville, "properties of concrete", Pearson Education, 5th edition, England, 2011.
- ACI 318-91 American concrete institute, "methods for determination of design of concrete", 1991, USA.