

إنشاء نموذج رياضي لتخمين مقاومة الانضغاط لأنواع الخرسانة المتعرضة للحرارة العالية من الفحوص غير الاتلافية

عباس سالم الأميري

كلية الهندسة / جامعة بابل

أستلم 14 ايار 2014 قُبل 1 ايلول 2014

ملخص البحث:-

يهدف هذا البحث بصورة أساسية لأعداد نموذج رياضي لتخمين مقاومة الانضغاط للخرسانة بنوعيتها الاعتيادية وذاتية الرص المعرضة للحرارة العالية من خلال إجراء الفحوص اللاتلافية والتي تشمل فحصي مطرقة شميدت و فحص الذبذبات فوق الصوتية ، حيث النماذج الرياضية المقترحة للخرسانة بالظروف الاعتيادية بالدراسات السابقة، لا تعطي الصورة الحقيقية لطبيعة الخرسانة المتعرضة للحرارة العالية . شملت الدراسة إعداد ثلاثة نماذج رياضية لكل نوع من الخرسانة ، اثنان منها تعتمد الأسلوب التحليل الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Linear Regression Analysis) مع اختلاف عدد العوامل المعتمدة بالنموذج ، اما الثالث فانه يعتمد على إنشاء نموذج من التحليل الانحداري اللاخطي (Non - Linear Regression Analysis) باستخدام معادلة آسية مركبة .

وقد تم الحصول على نماذج إحصائية للخرسانة الاعتيادية ذات موثوقية عالية ، وتمتلك اثنان منهما على متغيرين فقط هو فحص مطرقة شميدت ، فحص الذبذبات فوق الصوتية وتكون اكثر عمليا من النموذج الثالث الذي يعتمد على متغيرات عدة ، حيث يجد من الصعوبة في معظم الحالات تطبيقه لعدم توفر المعلومات المطلوبة . وبنفس النتيجة تم التوصل لنماذج الخرسانة ذاتية الرص مع اختلاف نسبة الموثوقية لكليهما والمتمثلة بالمؤشرات الإحصائية لكل نموذج.

Construct a Mathematical Model to Predict Compressive Strength of Types of Concrete (Normal Concrete and Self Compacting Concrete) Exposed to High Temperatures from Nondestructive Testing

Abbas AL-Ameeri
Babylon University-Engineering College

Abstract

Nondestructive tests (NDT) are considered one of the methods of evaluation and quality control of concrete. In addition, Nondestructive testing give, good indications about strength and durability of concrete samples and structural members. There are many studies about Nondestructive tests for concrete NSC &HSC. So the fundamental aim of study is to construct a mathematical model to predict compressive strength of two types of concrete (Normal concrete and self compacting concrete) exposed to high temperatures from Nondestructive testing ,by using (rebound number &ultrasonic pulse velocity). Where mathematical models proposed for concrete normal conditions with previous studies, do not give a true picture of the nature of concrete exposed to high temperature. The study included the preparation of three mathematical models for each type of concrete, two of which are based method of Multiple Linear Regression Analysis with a different number of independent variables supported model, while the third, it depends on the construct of a model of Non - Linear Regression Analysis using the exponential equation .

The statistical models for normal concrete was high reliability, and owns two of them on two variables only were to hammer Schmidt test , ultrasonic pulse velocity test , and be more practical than the third model, which depends on several variables, where he finds it difficult in most cases Empirical lack of information application . The same result was reached to models for self compacting concrete with a different rate of reliability for both types of concrete for statistical indicators of each model.

كلمات رئيسية: مقاومة الانضغاط ، فحص مطرقة شميدت ، فحص الذبذبات فوق الصوتية ، التحليل الانحدار الخطي المتعدد ، التحليل الانحداري اللاخطي

1- المقدمة

تعتبر الفحوص اللاإتلافية إحدى طرق التقييم والسيطرة النوعية للخرسانة بالإضافة إلى إنها تعطي مؤشر جيد عن مقاومة وديمومة النماذج والأجزاء الإنشائية الخرسانية. هناك العديد من الدراسات حول الفحوص اللاإتلافية للخرسانة التقليدية والخرسانة العالية المقاومة ، تهدف هذه الدراسة إعداد نموذج إحصائي للتنبؤ بمقاومة الانضغاط للخرسانة بنوعها الاعتيادية والذاتية الرص المتعرضة إلى درجات الحرارة العالية ولمدد مختلفة من التعرض إلى الحرارة ، بالاعتماد على الفحوصات اللاإتلافية والمتمثلة بفحص مقدار الارتداد لمطرقة شميدت وسرعة الذبذبات فوق الصوتية مجتمعة .

2- استعراض البحوث

الخرسانة هي مادة تركيبية (Composite) مكونة بشكل أساسي مادة رابطة (Binding Material) والتي تمثل المواد الأسمنتية بأنواعها ومواد مالئة ممثلة بالركام الناعم والخشن معظمها يكون خاملا ليست لها نشاط هيدروليكي (Neville, 1995).

يؤثر ارتفاع درجات الحرارة على البنية التركيبية للخرسانة بشكل عام وعلى المادة السمنتية بشكل خاص، حيث تؤدي الحرارة العالية إلى تفكيك (Dissolution) التركيب البيني لـ(هايدرات الكالسيوم المائية) (C-S-H) المسمى بهلام السمنت (Jel) الناتج من تفاعل أو تميأ السمنت مع الماء، ينتج منه فقدان جزء من الماء البلوري (dehydration) من هايدرات الكالسيوم المائية (Lankard et.al, 1971)، حيث أوضحت البحوث إلى انخفاض كثافة الخرسانة بمقدار يتراوح (5-12%) عند ارتفاع درجات الحرارة (400-600م°) بالمقارنة مع الخرسانة بدرجة الحرارة الاعتيادية (Umran, 2002). كذلك تمتاز مكونات الخرسانة بوجود فروقات بمعاملات تمددها والتي تؤثر بشكل كبير على عملية الترابط بين تلك المكونات، وتتجلى هذه الصفة من خلال حدوث ظاهرة الانفجار للخرسانة (Spalling) للنماذج عند التعرض إلى الحرارة العالية أو اللهب (AL-Ameeri.&Ahmed, 2013). إن هذا التدهور بخواص السمنت المتمياً يؤدي إلى تدهور بخواص الخرسانة الاعتيادية بشكل عام، حيث تفقد الخرسانة من مقاومتها للانضغاط بمقدار (30-57%) ومقاومة الانشطار بمقدار (27-70%) ومعايير الكسر (29-82) عند درجات الحرارة (400-700 م°) بالمقارنة مع الخرسانة بدرجة الحرارة الاعتيادية (Umran, 2002).

كما ان تأثير ارتفاع الحرارة على الخرسانة الاعتيادية وذاتية الرص على حد سواء، وكما أوضحنا (Helal & Heiza, 2011) ان الخرسانة ذاتية الرص تتأثر بارتفاع الحرارة أكثر من الخرسانة الاعتيادية، بسبب زيادة كثافتها وقلة الفراغات (Voids) نتيجة قابليتها العالية على رص نفسها ذاتيا مع تجانس بين مكوناتها، وزيادة المواد الناعمة والمالئة فيها (EFNARC, 2005)، حيث كان انخفاض مقاومة الانضغاط بمقدار (15-59%) ومقاومة الانشطار بمقدار (5-50%) ومعايير الكسر (15-81) عند ارتفاع درجات الحرارة (300-600 م°) بالمقارنة مع الخرسانة بدرجة الحرارة الاعتيادية (Obeed, 2007).

تُجرى الفحوصات المختبرية على المنشآت الخرسانية أو على العينات الخرسانية من أجل تقييمها والوقوف على خواصها لتحقيق الديمومة لها على مدى طول عمر المنشأ الخرساني، في الغالب تجرى الفحوصات الإِتلافية على النماذج الخرسانية من أجل تقييم المنشأ الخرساني. ومع التطور برزت الحاجة إلى استخدام فحوصات أخرى جديدة، الغرض منها تقييم المنشآت القديمة أو جديدة التشييد على حد سواء من دون الإضرار بها، ومن هذه الفحوصات اللاتلافية أو الفحوصات شبة الإِتلافية، هي فحوصات تجرى على المنشآت لكي يتم الاستفادة منها في تقييم أو استلام تلك المباني (السامرائي ورؤوف 1999). حيث إن هذه الفحوصات اللاتلافية تعطي تصور عن المقاومة الموقعية للعنصر الإنشائي، الكثافة، امتداد التشققات المرئية والفراغات

،وسمك العنصر الإنشائي، إضافة إلى تحديد موقع حديد التسليح وسمك الغطاء الخرساني ، وغيرها من التطبيقات لتلك الفحوصات ، ولكن الأبرز من استخدامات هذه الفحوصات هي تحديد المقاومة الموقعية والديمومة (IAEA, 2002). وتركزت تلك الفحوصات اللاإتلافية بشكل كبير على فحصي مطرقة شميدت (Schmidt Hammer) و سرعة الذبذبات فوق الصوتية (Ultrasonic Pulse Velocity) بشكل منفصل او بشكل مجتمع في تقييم المنشآت والمباني ، من خلال مجموعة كبيرة من الدراسات منذ زمن ليس بالقصير بدأت في منتصف القرن العشرين ، من خلال إعداد نماذج إحصائية ومعادلات ، يتم الاستفادة منها في تقييم النتائج لتلك الفحوصات و تحديد صلاحية إشغال وأمان المنشآت القديمة او الحديثة التشييد. من هذه الدراسات ما قام بها (رؤوف والسامرائي 1999) في إيجاد علاقة بين مقاومة الانضغاط وفحصي مطرقة شميدت وفحص سرعة الذبذبات فوق الصوتية للخرسانة الاعتيادية حسب المعادلة (1-2).

$$f_{cu} = 0.93RN^{0.63} e^{0.31V} \quad (2-1)$$

حيث : f_{cu} : مقاومة الانضغاط ، RN : ارتداد مطرقة شميدت ، V : سرعة الذبذبات فوق الصوتية. كذلك ما توصل إليه (AL-Ameeri et.al,2013) إلى إيجاد علاقة لتشمل نطاق واسع من مقاومة الانضغاط للخرسانة الاعتيادية حسب المعادلة (2-2).

$$f_{cu} = 0.44 RN^{0.65} e^{0.55V} \quad (2-2)$$

كما توصل (Hussam,2008) إلى إيجاد علاقة للخرسانة ذاتية الرص تربط بين مقاومتها للانضغاط وفحصي مطرقة شميدت وفحص سرعة الذبذبات فوق الصوتية حسب المعادلة (2-3).

$$f_{cu} = 0.0030 \times RN^{1.90} \times UPV^{1.49} \quad (2-3)$$

ويتأثر مقدار الارتداد لمطرقة شميدت وسرعة الذبذبات بارتفاع درجات الحرارة بالخرسانة بسبب تغير خواص الخرسانة المتعرضة لتلك الحرارة (Umran, 2002) ، حيث رقم الارتداد لمطرقة شميدت ينخفض (10-40%) عند درجة الحرارة (400-700° م) ، وكذلك سرعة الذبذبات تنخفض بمقدار (23-48%) عند درجة الحرارة (400-600°م) بالمقارنة مع الخرسانة عند درجة حرارة الاعتيادية (Karim, 2005). اما الخرسانة ذاتية الرص حيث رقم الارتداد ينخفض (3-40%) عند درجة الحرارة (200-600° م) وكذلك سرعة الذبذبات تنخفض بمقدار (5-49%) عند درجة الحرارة (200-600° م) بالمقارنة مع الخرسانة عند درجة حرارة الاعتيادية (Ahmed, 2013). حيث ان انخفاض سرعة الذبذبات بارتفاع درجة الحرارة يأتي من فقدان الماء البلوري والحر بهلام السمنت ، بالإضافة إلى عملية التسخين تؤدي الى توليد شقوق شعيرية بسبب

التغيرات الحجمية نتيجة عملية التفكك لمكونات هلام السمنت ،وهذا التغير يؤدي الى حركة حرارية (Thermal Movement) بين هلام السمنت والركام ، وهي ناتجة من الفروقات بين معامل التمدد لمكونات الخرسانة (Nikolai,1971).

وهنا تبرز الحاجة الى إعداد نموذج إحصائي يربط بين مقاومة الانضغاط وتلك الفحوصات اللاإتلافية للخرسانة المتعرضة للحرارة العالية ، من اجل تقييم المنشآت او العناصر الإنشائية المتعرضة للحرارة او اللهب عن طريق إجراء تلك الفحوصات ،حيث المعادلات او النماذج السابقة لا تلبي الحاجة لتقييم تلك الخرسانة التي تعرضت إلى ظروف قاسية بعد ما تأثرت خواصها بشكل كبير .

3- البرنامج العملي

في هذه البحث تم اعتماد نتائج الباحثين (Umran ,2002)،(Karim,2005) و (Al-Hesnawi,2011) في تخمين مقاومة الانضغاط للخرسانة الاعتيادية وكما موضح بالجدول رقم (1) بالملحق ، ونتائج الباحثين (Obeed,2007) (Ahmed,2013) في تخمين مقاومة الانضغاط للخرسانة ذاتية الرص وكما موضح بالجدول رقم (2) بالملحق ، حيث إن النتائج تمثل الخرسانة بنوعها والمعرضة إلى درجات الحرارة العالية وبفترات تعرض مختلفة للحرارة أو لهب النار.حيث شملت النتائج فحوصات مطرقة شميدت (Schmidt Hammer) وفحص الذبذبات فوق الصوتية (Ultrasonic Pulse Velocity) بالإضافة إلى فحص اللاإتلافي والمتمثل بمقاومة الانضغاط ، ولمديات مختلفة لمقاومة الانضغاط .حيث تم استخدام البرنامج الإحصائي الحاسوبي (STATISTICA version 8-2007) في إعداد النموذج الإحصائي للتنبأ بمقاومة الانضغاط للخرسانة .

3-1- تطوير النماذج الإحصائية

من خلال البحوث السابقة (رؤوف والسامرائي 1999) ، (Al-Ameeri et.al 2013) (Hussam ,2008) في اعتماد نماذج إحصائية لإيجاد مقاومة الانضغاط للخرسانة فقد تم دراسة أسلوبين من النماذج الإحصائية وهي :-

أ- طريقة التحليل الانحداري الخطي المتعدد (Multiple Linear Regression Analysis)

يعتمد هذا الأسلوب في التحليل في إيجاد علاقة بين مجموعة متعدد من المتغيرات (Independent Variables) في إيجاد المتغير المطلوب (المتنبأ) (Dependent Variable) حيث تم اعتماد معادلة الانحدار من خلال أفضل خط تقريب (Best Fitting Line) عن طريق التقريب لمجموع المربعات بين القيم الحقيقية والقيم المتنبأ (STATISTICA version 8-2007) ، حيث تعتمد على قيمة المعامل (BETA) وبموجب المعادلة (1-3) .

$$Y=a_0+ a_1X_1+ a_2X_2+ a_3X_3+ a_4X_4+..... a_nX_n \quad (3-1)$$

حيث :

Y: القيمة المراد التنبأ بها (Dependent Variable)

X₁, X₂: المتغيرات مستقلة (Independent Variables)

a₀: ثابت

a₁, a₂: معامل الانحدار الجزئي للمتغيرات المستقلة .

n: عدد المتغيرات

ب- طريقة التحليل الانحداري اللا خطي (Non - Linear Regression Analysis)

يعتمد هذا الأسلوب في التحليل في إيجاد علاقة بين مجموعة متعدد من المتغيرات (Independent Variables) و المتغير المطلوب (المتنبأ) (Dependent Variable) من خلال اقتراح معادلة أسية مركبة (Exponential Equation) والتي اعتمدت من قبل (رؤوف والسامرائي 1999) ، (Al-Ameeri & elt,2013) و (Al-Hesnawi2011) في إيجاد العلاقة بين مقاومة الانضغاط والفحوصات اللاتلافية في درجات الحرارة الاعتيادية والمتمثلة بالمعادلة (2-3)، وهي تعتمد من خلال إيجاد الانحدار من خلال أفضل خط تقريب (Best Fitting Line) عن طريق التقريب لمجموع المربعات بين القيم الحقيقية والقيم المتنبأ بموجب البرنامج (STATISTICA) .

$$Y=a *(X_1)^{(b)} * e^{(X_2*c)} \quad (3-2)$$

حيث : Y: القيمة المراد التنبأ بها (Dependent Variable)

X₁, X₂: المتغيرات مستقلة (Independent Variables)

a, b, c: ثوابت .

4- النتائج

4-1- النموذج الإحصائي للخرسانة الاعتيادية

4-1-1- باستخدام الأسلوب الأول بالمذكور في (3-1-أ) الخاص بالتحليل الانحداري الخطي المتعدد

فقد تم اقتراح نموذجين إحصائيين وعلى النحو الآتي :-

أ- اعتماد المتغيرات المستقلة (Independent Variables) والتي تمثل (مقدار الارتداد لمطرقة شميدت

، سرعة الذبذبات فوق الصوتية ، درجة حرارة ومدة التعرض للحرارة) في الحصول على مقاومة الخرسانة

المتنبأ (Dependent Variable) ، باستخدام البرنامج الإحصائي (STATISTICA) وقد تم التوصل إلى

المعادلة (1-4)(1-1-4).

$$f_{cu}=(-38.0541)+(1.9494)RN+(1.9530)UPV+(0.0120)Temp+(0.3047)t \quad (4-1)$$

$$f_{cu}=(1.030787)RN+(0.225502)UPV+(0.01845)Temp+(0.307574)t \quad (4-1-1)$$

حيث :

f _{cu}	مقاومة الانضغاط للخرسانة المتنبأ	Temp	درجة الحرارة
:RN	مقدار الارتداد لمطرقة شميدت	t	مدة التعرض
:UPV	سرعة الذبذبات فوق الصوتية		

وكانت مؤشرات النموذج الإحصائي وكما يلي

R	0.98410311	R ²	0.96845892	Adjusted R ²	0.96341235
Standard error of estimate	1.671747449	F	191.9043	P	0.0005

ب- اعتماد المتغيرات المستقلة (Independent Variables) والتي تمثل (مقدار الارتداد لمطرقة شميدت وسرعة الذبذبات فوق الصوتية فقط) في الحصول على مقاومة الخرسانة المتنبأ ، باستخدام البرنامج الإحصائي نفسه تم التوصل إلى المعادلة (2-4) و(1-2-4).

$$f_{cu}=(-24.9823)+(1.95681)RN+(0.6361)UPV \quad (4-2)$$

$$f_{cu}=(1.034688)RN+(-0.073446)UPV \quad (4-2-1)$$

وكانت مؤشرات النموذج الإحصائي وكما يلي

R	0.96752783	R ²	0.93611010	Adjusted R ²	0.93483231
Standard error of estimate	2.230840119	F	732.5964	P	0.0000

2-1-4- باستخدام الأسلوب الثاني بالمذكور في (3-1-ب) الخاص بالتحليل الانحداري اللاخطي فان تم اعتماد المتغيرات المستقلة (Independent Variables) والتي تمثل مقدار الارتداد لمطرقة شميدت وسرعة الذبذبات فوق الصوتية فقط في الحصول على مقاومة الخرسانة المتنبأ ، باستخدام البرنامج الإحصائي (STATISTICA) تم التوصل إلى المعادلة (3-4).

$$f_{cu}=(0.038343) RN^{(1.99486)} e^{(UPV*(-0.02569))} \quad (4-3)$$

وكانت مؤشرات النموذج الإحصائي وكما يلي

R	0.97239376	R ²	0.94554962
---	------------	----------------	------------

4-2- النموذج الإحصائي للخرسانة ذاتية الرص

4-2-1- باستخدام الأسلوب الأول بالمذكور في (3-1-أ) الخاص بالتحليل الانحداري الخطي المتعدد

فقد تم دراسة نموذجين احصائين وعلى النحو الآتي :-

أ- اعتماد المتغيرات المستقلة (Independent Variables) والتي تمثل (مقدار الارتداد لمطرقة شميدت ، سرعة الذبذبات فوق الصوتية ، درجة حرارة ومدة التعرض للحرارة في الحصول على مقاومة الخرسانة المتنبأ، باستخدام البرنامج الإحصائي نفسه تم التوصل إلى المعادلة (4-4) و (4-4-1) .

$$f_{cu}=(-45.1239)+(2.9281)RN+ (-5.6965)UPV + (0.0216)Temp+(-2.3833)t \quad (4-4)$$

$$f_{cu}=(2.036620)RN+ (-0.637588)UPV + (0.170193)Temp+(0.60826)t \quad (4-4-1)$$

وكانت مؤشرات النموذج الإحصائي وكما يلي

R	0.92514806	R ²	0.85589893	Adjusted R ²	0.83284276
Standard error of estimate	2.547549168	F	37.12233	P	0.0062

ب- اعتماد المتغيرات المستقلة (Independent Variables) والتي تمثل (مقدار الارتداد لمطرقة شميدت وسرعة الذبذبات فوق الصوتية فقط في الحصول على مقاومة الخرسانة المتنبأ ، باستخدام البرنامج الإحصائي نفسه تم التوصل إلى المعادلة (4-5) و (4-5-1) .

$$f_{cu}=(-21.8944)+(2.6849)RN+ (-9.3225)UPV \quad (4-5)$$

$$f_{cu}=(1.86749)RN+ (-1.04344)UPV \quad (4-5-1)$$

وكانت مؤشرات النموذج الإحصائي وكما يلي

R	0.87577	R ²	0.76697	Adjusted R ²	0.74971
Standard error of estimate	3.1173	F	44.432	P	0.000

4-2-2- باستخدام الأسلوب الثاني بالمذكور في (3-1-ب) الخاص بالتحليل الانحداري اللاخطي فان تم اعتماد المتغيرات المستقلة (Independent Variables) والتي تمثل مقدار الارتداد لمطرقة شميدت وسرعة الذبذبات فوق الصوتية فقط في الحصول على مقاومة الخرسانة المتنبأ ، باستخدام البرنامج الإحصائي نفسه تم التوصل إلى المعادلة (4-6).

$$f_{cu} = (0.010315) * RN^{(2.60834)} * e^{(UPV * (-0.29045))} \quad (4-6)$$

وكانت مؤشرات النموذج الإحصائي وكما يلي

R	0.76784071	R ²	0.87626521
---	------------	----------------	------------

5- مناقشة النتائج

لغرض المقارنة بين النماذج الإحصائية المستنتجة المذكورة في الفقرة السابقة (4)، فان يجب دراسة النقطتين المهمتين لإغراض المقارنة، واحدهما هي إن اختيار النموذج الإحصائي يعتمد بشكل كبير على النتائج الإحصائية، وهو الخيار المرجح اعتماده ، والثاني هو الناحية العملية في اختيار النموذج من توافق النموذج مع المعلومات المتوفرة للحالة ، من خلال إدخال المعلومات المطلوبة في اعتماد هذا النموذج أو غيره ، وهنا تبرز إن النماذج للخرسانة الاعتيادية المتمثلة بالفقرة (4-1) وللخرسانة ذاتية الرص بالفقرة (4-2) فإن جميع النماذج تعطي انطباق إحصائي ممتاز وهذا يتجلى من خلال النتائج للمؤشرات الإحصائية وكما موضح بالجدول رقم (5-1) والجدول (5-2) والأشكال في (5-1) الى (5-4) من خلال توفر المؤشرات الإحصائية العالية. كما يظهر من توزيع قيم البقايا من النتائج لمقاومة الانضغاط (residuals) في شكل (5-1) والشكل (5-3) للخرسانة الاعتيادية وذاتية الرص على التوالي، بشكل واضح أن هذه القيم موزعة طبيعياً وتتجمع حول نقطة الصفر. وهذا يدل على أنه لا توجد أدلة على أن النماذج غير كافية، أو أن هناك خطأ في التحليل (Al-Saegh , 2008) (Stat Soft Inc. 2007) كما يوضح الشكل رقم (5-2) والشكل (5-4) للخرسانة الاعتيادية وذاتية الرص على التوالي، العلاقة بين القيم الحقيقية لمقاومة الانضغاط للخرسانة والقيم المتنبأ بها من النماذج ، أن معظم تلك النقاط تقع تقريبا في خط مستقيم. هذا يدل على أن هذه النماذج هي المناسبة للبيانات، وتم تحديدها بشكل صحيح (Al-Saegh , 2008) (Stat Soft Inc. 2007).

ولكن تبرز هنا الناحية العملية في إتباع النموذج المؤشر بالمعادلتين (2-4)،(3-4) للخرسانة الاعتيادية يكون أكثر ترجيحاً من النموذج بالمعادلة (1-4) حيث إن تقييم العنصر الخرساني الذي تعرض إلى الحرارة والمتمثلة مقدار الحرارة ومدة التعرض تكون في الغالب غير متوفرة في معظم تلك الحالات للعناصر او المنشآت الخرسانية . ، كما يمكن إيجاد علاقة بين المتغيرات الثلاثة حسب المخطط بالشكل (5-5) ، هذا ما موضح بالجدول (1) ملحق بخلاصة النتائج لجميع النماذج الإحصائية الخاصة بالخرسانة الاعتيادية .

اما الخرسانة ذاتية الرص فان النموذجين بالمعادلتين (5-4)،(6-4) تكون أكثر ترجيحاً من النموذج بالمعادلة (4-4) للسبب نفس أعلاه ، كما يمكن إيجاد علاقة بين المتغيرات الثلاثة حسب المخطط بالشكل (6-5). والجدول (2) ملحق بخلاصة النتائج لجميع النماذج الإحصائية الخاصة بالخرسانة ذاتية الرص .

6- الاستنتاجات

مما سبق من النتائج ومناقشتها تم التوصل إلى الاستنتاجات التالية :-

- 1- إمكانية استنباط أكثر من صيغة من النماذج او المعادلات الإحصائية ، بموجب المعلومات المتوفرة من الباحثين باستعمال أكثر من فحص مجتمعاً ، وباستخدام أساليب إحصائية متعدد ، بما يحقق الغرض المطلوب .
- 2- البحث في الخيار الأمثل في اختيار النموذج الإحصائي للتعبير عن الصيغة او العلاقة الأكثر تعبيراً عن تلك المتغيرات وللحالة المطلوبة .
- 3- اعتماد الأسلوب الأكثر عملياً ، حيث إن المعلومات المتوفرة يجب أن تتلائم مع طبيعة النموذج الرياضي ، حيث في معظم الأحيان لا تتوفر المعلومات المطلوبة للنماذج التي تحتوي على متغيرات كبيرة كما بالمعادلة (1-4) للخرسانة الاعتيادية ، والمعادلة (4-4) للخرسانة ذاتية الرص ، وعلية يفضل اختصار النموذج إلى اقل ما يمكن من المتغيرات ، بالرغم إلى إن هذه الحالة في بعض الأحيان لا يكون تعبيره بشكل دقيق .
- 4- العلاقة الرياضية الإحصائية هي علاقة وضعية تعبر عن حالة الدراسة بنسب جيدة ولا تنطبق بشكل 100% .
- 5- النموذج الرياضي للعلاقة الآسية المركبة الموضح بالمعادلة (3-4) ،(6-4) للخرسانة الاعتيادية والخرسانة ذاتية الرص على التوالي ، المعرضة للحرارة أكثر قبولا ، لكون هذه الصيغة مستخدمة من قبل باحثين بشكل كبير لمثل الحالات ، كذلك ان المؤشرات الإحصائية لها كانت جيدة ، بالإضافة إلى ان تطبيقها يحتاج فقط الى فحص لا إتلافي بجهازي المطرقة والذبذبات فوق الصوتية ، وهي فحوصات بسيطة تم على ضوءها استنتاج القيم الواقعية للخرسانة تلك.

- 6- بموجب المعلومات المتوفرة من مقاومة الانضغاط والفحص اللاإتلافي للخرسانة المعرضة للحرارة ،لا يمكن الاستفادة من النماذج السابقة للخرسانة في درجات الحرارة الاعتيادية ،وذلك بسبب اختلاف خواص الخرسانة ونتائج الفحوصات .
- 7- جميع النماذج المستتبطة من البحث تؤكد العلاقة المطردة بين مقاومة الانضغاط للخرسانة وسرعة الذذبات فوق الصوتية بشكل أساسي بالدرجة الأولى ويليها بالأهمية مقدار الارتداد لمطرقة شميدت .

المراجع

- 1) Ahmed S.M., (2013), " Effect of The Elevated Temperature on Some Mechanical Properties of Self Compacting Concrete Reinforced by Steel Fiber ", M.Sc., Thesis, College of Engineering, University of Babylon.
- 2) AL-Ameeri A.S.&Ahmed S.M.,(2013) " Improving the Resistance of Self Compacting Concrete exposed to Elevated Temperatures by Using Steel Fiber " Civil and Environmental Research, International Institute for Science, Technology and Education (IISTE) www.iiste.org, Vol 3, No.13, 2013.pp30-50.
- 3) Al-Ameeri A. S. & AL- Hussain K.A. & Essa M.,(2013) " Constructing a Mathematical Models to Predict Compressive Strength of Concrete from Non-Destructive Testing" International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET) ,Volume 4, Issue 4, July-August (2013), pp. 01-20.
- 4) Al-Hesnawi K..A., (2011), " Constructing a Mathematical Models to Predict Some Properties of Concrete from Non-Destructive Testing", M.Sc., Thesis, College of Engineering, University of Babylon.
- 5) Al-Saegh,M.S , (2008)," A Statistical Model for Predicting Auto-clave Expansion of Portland Cement" Qaddissia journal for engineering ,Vol.1 No. 2,2008, pp.196-210.
- 6) EFNARC, (2005), "The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use". The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.
- 7) Helal M.A, and Heiza KH.M., (2011), "Effect of Fire and High Temperature on the Properties of Self Compacted Concrete", Housing & Building National Research Center, Cairo, Egypt.
- 8) Hussam A.,(2008) "Non-destructive Tests For Self-Compacting Concrete With Compressive Strength In Range (20-80)Mpa" M.Sc. Thesis, College of Engineering ,University of AL-Mustansiriya .
- 9) IAEA:(2002) International Atomic Energy Agency, "Guidebook on Non-destructive testing of concrete structures", Vienna, pp.1-2.
- 10) Karim M.M., (2005), "Investigation of the Behavior and Properties of Reinforced Concrete Slabs Exposed t o Fire Flame", M.Sc., Thesis, College of Engineering, College of Engineering, University of Babylon.
- 11) Lankard, D. R., Birkimer, D. L., Fondriest, F. F., and Snyder, M. J., "Effect of Moisture Content on the Structural Properties of Portland Cement Concrete Exposed to Temperatures up to 500F", ACI Special Publication, SP-25, Temperature and Concrete, Detroit, Michigan, USA, 1971, pp. 59-105.

- 12) Neville A.M., (1995), "Properties of Concrete", 4th and Final Edition, Longman Group Ltd, London.
- 13) Nikolai, G. Z., "Thermal Properties of Concrete under Sustained Elevated Temperatures", ACI Special Publication, SP-25, Temperature and Concrete, Detroit, Michigan, USA, 1971, pp. 1-31.
- 14) Obeed A.T., (2007), "Effect of Exposure to Fire Flame on Some Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete Using Different Types of Filler", M.Sc., Thesis, College of Engineering, University of Babylon.
- 15) Stat Soft Inc. 2007 "STATISTICA version 8-2007" www. statsoft.com.
- 16) Umran M.K., (2002), " Fire Flame Exposure Effect on Some Mechanical Properties of concrete ", M.Sc., Thesis, College of Engineering, University of Babylon.
- 17) السامرائي مفيد، رؤوف زين العابدين (1999) "الفحوص غير الاتلافية للخرسانة" الطبعة 1، جامعة الشارقة، ص (155 - 185).

الملاحق

- الجدول (1) يمثل النتائج الخرسانية الاعتيادية المعتمدة بالبحث مع نتائج مقاومة الانضغاط المستحصلة من النماذج الاحصائية بالمعادلات (1-4)، (2-4)، (3-4) .
- اما الجدول (2) تمثل نتائج الخرسانية ذاتية الرص المعتمدة بالبحث مع نتائج مقاومة الانضغاط المستحصلة من النماذج الاحصائية بالمعادلات (4-4)، (5-4)، (6-4) .

جدول (1-5) خلاصة المؤشرات الإحصائية للنماذج للخرسانة الاعتيادية المتعرضة الى الحرارة العالية

النموذج او المعادلة	المعامل R	المعامل R ²	الخطأ القياسي في التخمين Standard error of Estimate	*مقدار التفاوت بين القيم المخمنة و القيم الاصلية %
معادلة (1-4)	0.98410311	0.96845892	1.671747449	19.8- الى 19.5
معادلة (2-4)	0.96752783	0.93611010	2.230840119	19.8 الى 19.1
معادلة (3-4)	0.97239376	0.94554962	-	17- الى 18

* قيمة الفرق مقسمة على القيم الاصلية مضروبة في 100 %

جدول (4-2) خلاصة المؤشرات الإحصائية للنماذج للخرسانة ذاتية الرص المتعرضة الى الحرارة العالية

النموذج او المعادلة	المعامل R	المعامل R ²	الخطأ القياسي في التخمين Standard error of Estimate	*مقدار التفاوت بين القيم المخمنة و القيم الحقيقية %
معادلة (4-4)	0.92514806	0.85589893	2.547549168	14.2- الى 17.5
معادلة (5-4)	0.87576793	0.76696947	3.117335176	18.7- الى 22.2
معادلة (6-4)	0.87626525	0.76784079	-	22- الى 22

* قيمة الفرق مقسمة على القيم الأصلية مضروبة في 100 %

جدول (1) تفاصيل نتائج الفحوصات للخرسانة الاعتيادية حسب (Umran, 2002)، (Karim, 2005)

و (Al-Hesnawi, 2011) مع نتائج التنبؤ حسب النماذج الإحصائية

ت	مقدار الارتداد (RN)	سرعة الذبذبة (UPV) (km/sec)	زمن التعرض (hour)	درجة الحرارة (°C)	مقاومة الانضغاط الحقيقية (MPa)	مقاومة الانضغاط حسب النموذج بالمعادلة (MPa)		
						Eq(1-3)	Eq(1-3)	Eq(1-3)
1.	31	4.45	0.5	25	30.5	31.52	32.85	32.29
2.	35	4.64	0.5	25	41.3	39.69	40.55	40.94
3.	35	4.64	1	25	41.3	39.84	40.55	40.94
4.	35	4.64	1.5	25	41.3	39.99	40.55	40.94
5.	35	4.64	2	25	41.3	40.15	40.55	40.94
6.	32	4.4	1	25	30.8	33.52	34.84	34.45
7.	33	4.45	1	25	30.6	34.60	35.78	35.48
8.	35	4.7	1	25	38.4	39.96	40.52	40.87
9.	35	4.9	1	25	38.6	40.74	40.78	41.13
10.	32	4.48	0.5	25	34.1	33.53	34.79	34.38
11.	36	4.66	0.5	25	45.2	41.68	42.50	43.28
12.	36	4.66	1	25	45.2	41.83	42.50	43.28
13.	36	4.66	1.5	25	45.2	41.98	42.50	43.28
14.	36	4.66	2	25	45.2	42.13	42.50	43.28
15.	34	4.49	0.5	25	37.3	37.45	38.69	38.79
16.	38	4.67	0.5	25	48.2	45.60	46.41	48.20
17.	38	4.67	1	25	48.2	45.75	46.41	48.20
18.	38	4.67	1.5	25	48.2	45.90	46.41	48.20
19.	38	4.67	2	25	48.2	46.05	46.41	48.20
20.	26	3.25	0.5	400	22.6	23.92	23.83	23.45
21.	27	3.34	1	400	22.6	26.20	25.73	25.22
22.	27	3.16	1.5	400	21.7	26.00	25.84	25.34
23.	26	3.25	2	400	22.9	24.38	23.83	23.45
24.	30	3.25	0.5	400	28.9	31.72	31.65	31.19
25.	31	3.57	1	400	32.2	33.47	32.43	31.98
26.	29	3.34	1.5	400	31	31.03	30.42	29.89
27.	29	3.39	2	400	31.4	30.50	29.61	29.05
28.	28	3.3	1	400	25.8	27.68	27.32	26.76
29.	28	3.45	1	400	26.1	28.95	28.20	27.63
30.	31	3.5	1	400	31.9	33.72	32.86	32.45
31.	30	3.7	1	400	31.3	33.33	31.95	31.45
32.	30	4	0.5	400	37	33.18	31.18	30.60
33.	27	3.31	1	400	25.9	26.14	25.75	25.24
34.	28	3.27	1.5	400	27.3	28.16	27.73	27.17

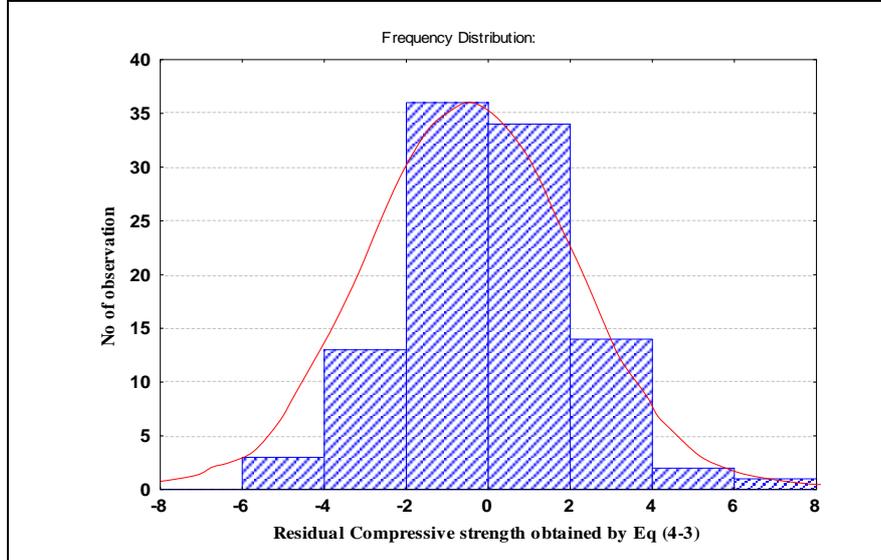
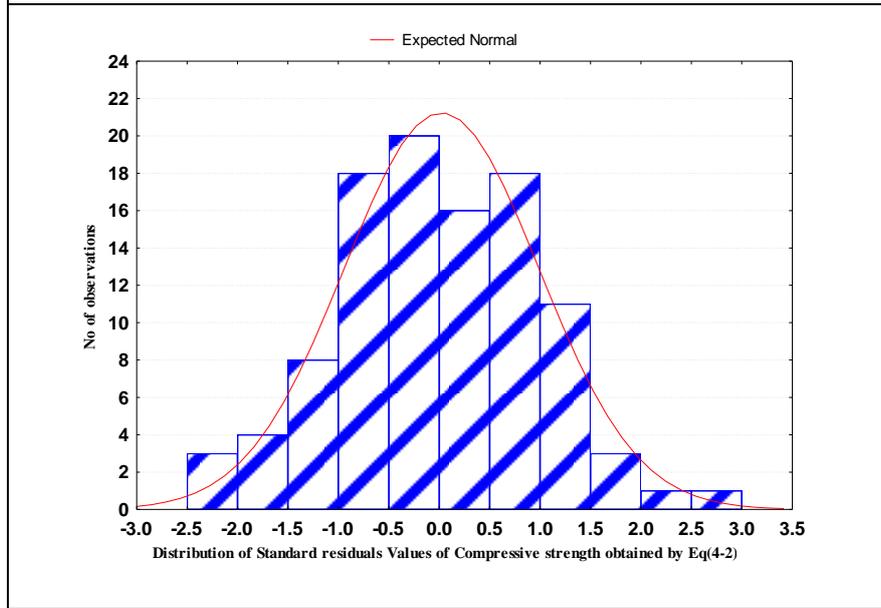
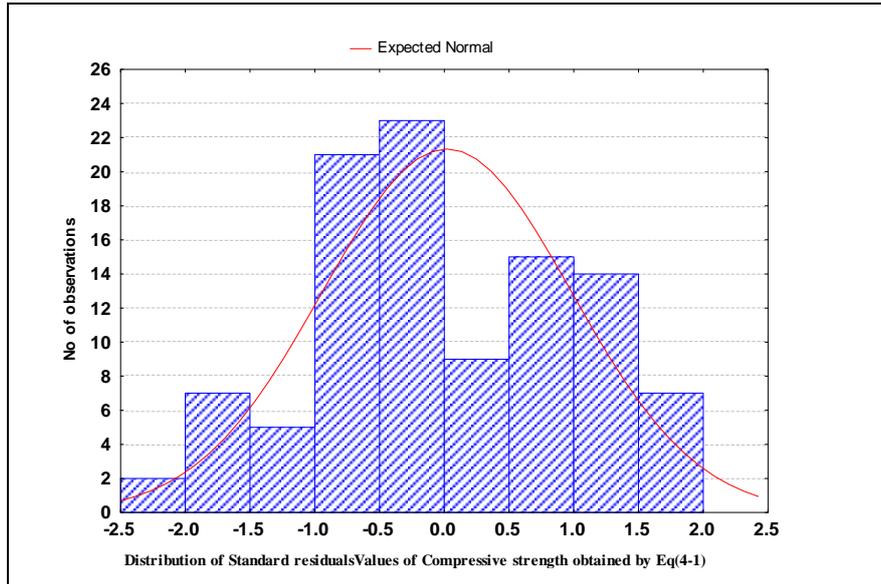
24.58	25.05	25.41	26.3	400	2	3.18	27	35.
35.05	35.26	36.55	36.6	400	0.5	3.73	32	36.
32.98	33.37	34.56	35.2	400	1	3.63	31	37.
33.86	34.13	34.75	34.3	400	1.5	3.35	31	38.
31.42	31.89	33.03	35.7	400	2	3.49	30	39.
31.00	31.50	32.19	31	400	0.5	3.49	30	40.
32.32	32.73	33.35	29.9	400	1	3.41	31	41.
32.35	32.75	33.43	29.1	400	1.5	3.37	31	42.
29.13	29.68	30.28	29.5	400	2	3.28	29	43.
40.62	40.09	41.62	41.5	400	0.5	3.83	35	44.
38.26	38.06	39.26	39.1	400	1	3.64	33	45.
35.21	35.38	36.51	37.6	400	1.5	3.55	32	46.
35.82	35.93	37.34	36.6	400	2	3.6	32	47.
22.26	22.52	21.18	20.4	500	0.5	2.23	25	48.
20.50	20.54	19.46	19.2	500	1	2.27	24	49.
23.11	23.45	21.81	18.3	500	1.5	2	25	50.
18.39	18.08	16.17	18	500	2	1.83	23	51.
27.51	28.04	28.10	28.5	500	0.5	2.78	28	52.
29.04	29.52	29.26	26.9	500	1	2.6	29	53.
27.81	28.30	27.60	26	500	1.5	2.37	28	54.
25.62	26.11	26.51	25.2	500	2	2.73	27	55.
23.18	23.52	23.02	22.8	500	1	2.5	26	56.
25.72	26.21	25.91	22.4	500	1	2.58	27	57.
28.31	28.83	29.01	27.6	500	1	2.77	28	58.
27.14	27.67	27.80	26.5	500	1	2.75	28	59.
25.89	26.38	25.25	24.2	500	0.5	2.32	27	60.
22.25	22.51	21.35	22.5	500	1	2.24	25	61.
23.42	23.78	22.40	21.2	500	1.5	2.1	26	62.
20.68	20.76	19.08	20.5	500	2	1.92	24	63.
29.42	29.92	30.28	33.4	500	0.5	2.9	29	64.
31.67	32.03	31.91	31.6	500	1	2.66	30	65.
30.74	31.14	30.82	29.4	500	1.5	2.52	30	66.
28.43	28.93	29.00	28	500	2	2.61	28	67.
25.82	26.31	25.46	28	500	0.5	2.43	27	68.
26.82	27.32	26.49	25.7	500	1	2.38	28	69.
27.93	28.41	27.27	23.9	500	1.5	2.2	28	70.
24.17	24.58	23.27	22.8	500	2	2.07	26	71.
34.66	34.79	35.23	37.6	500	0.5	2.94	32	72.
35.89	35.85	36.09	36.2	500	1	2.8	32	73.
34.94	34.99	34.91	33.7	500	1.5	2.62	32	74.
33.81	33.99	34.17	30.9	500	2	2.66	31	75.
19.96	19.91	20.19	19.1	600	1	2.33	24	76.
21.16	21.29	21.51	19.6	600	1	2.31	24	77.
23.06	23.39	23.83	23	600	1	2.4	26	78.
22.15	22.40	22.90	22.4	600	1	2.42	25	79.
14.41	12.99	13.04	16.2	700	0.5	1.83	20	80.
16.53	15.79	15.75	14.3	700	1	1.74	21	81.
14.22	12.77	12.43	13.8	700	1.5	1.56	20	82.
13.13	11.26	10.85	13.1	700	2	1.47	19	83.
21.46	21.63	22.32	24	700	0.5	2.09	25	84.
20.35	20.37	20.76	20.7	700	1	1.91	24	85.
17.46	16.95	17.11	19	700	1.5	1.76	22	86.
16.03	15.17	14.76	17.8	700	2	1.48	21	87.
16.45	15.67	15.95	18.8	700	0.5	1.92	21	88.
18.61	18.36	18.20	17.4	700	1	1.7	23	89.
16.62	15.93	15.47	16.4	700	1.5	1.52	21	90.
15.99	15.11	14.94	16.4	700	2	1.57	21	91.
22.23	22.49	23.67	27.1	700	0.5	2.28	25	92.
24.15	24.56	25.42	23.9	700	1	2.1	26	93.
19.69	19.62	20.03	22.6	700	1.5	1.86	23	94.
18.67	18.43	18.27	19.9	700	2	1.58	23	95.

20.26	20.27	20.92	22.4	700	0.5	2.07	24	96.
19.04	18.85	19.06	21.2	700	1	1.84	23	97.
19.94	19.91	19.93	18.7	700	1.5	1.71	24	98.
18.32	18.01	17.96	17.9	700	2	1.62	23	99.
27.21	27.71	29.13	29.9	700	0.5	2.38	28	100.
25.33	25.79	26.41	27.5	700	1	2.01	27	101.
24.12	24.53	25.67	25.1	700	1.5	2.15	26	102.
19.14	18.98	18.98	23.1	700	2	1.64	23	103.

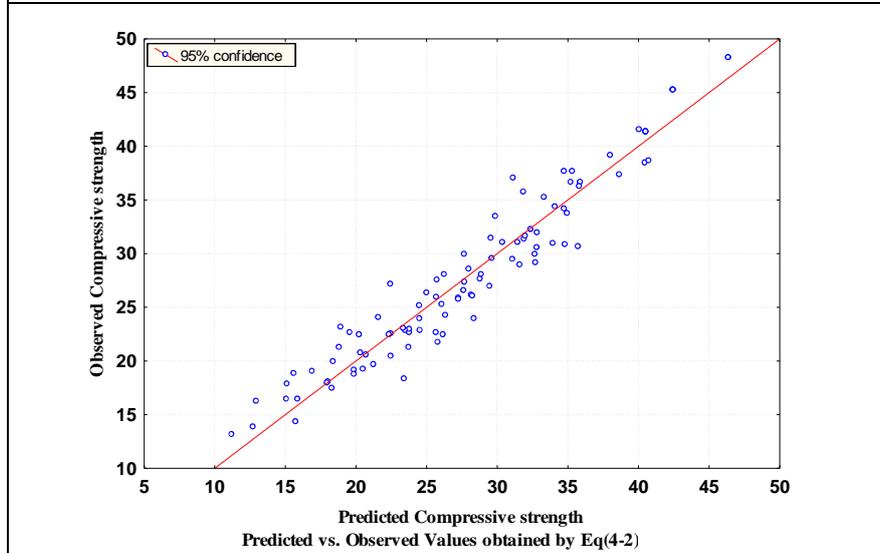
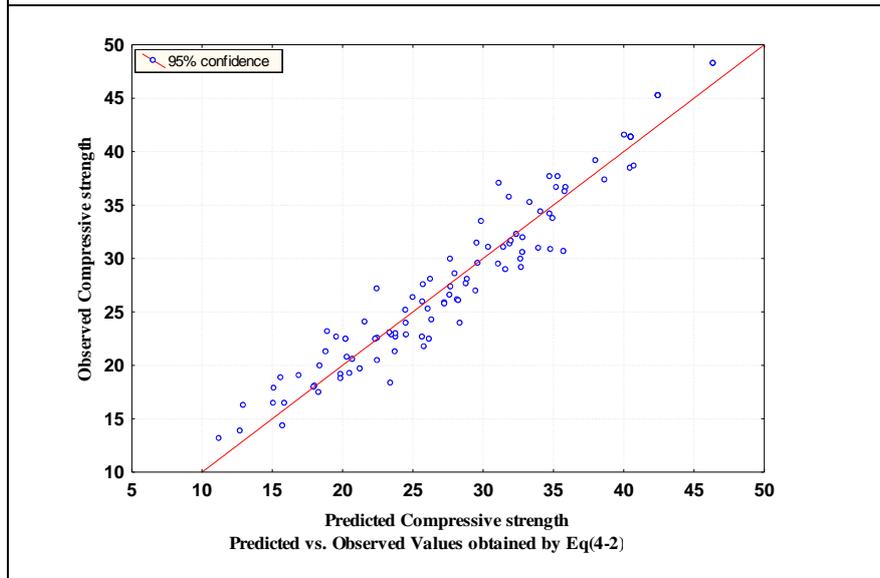
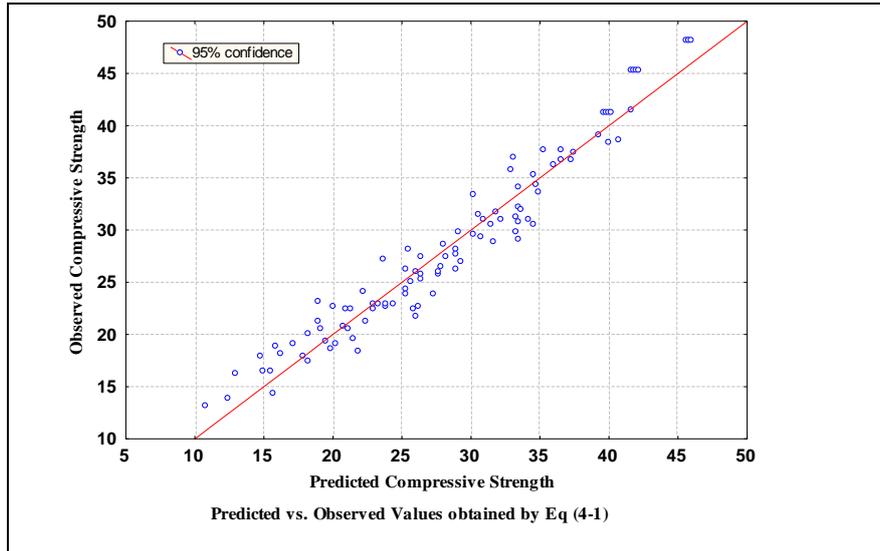
جدول (2) تفاصيل نتائج الفحوصات للخرسانة ذاتية الرص حسب المصدرين (Obeed 2007)

(Ahmed,2013) مع نتائج التنبؤ حسب النماذج الإحصائية

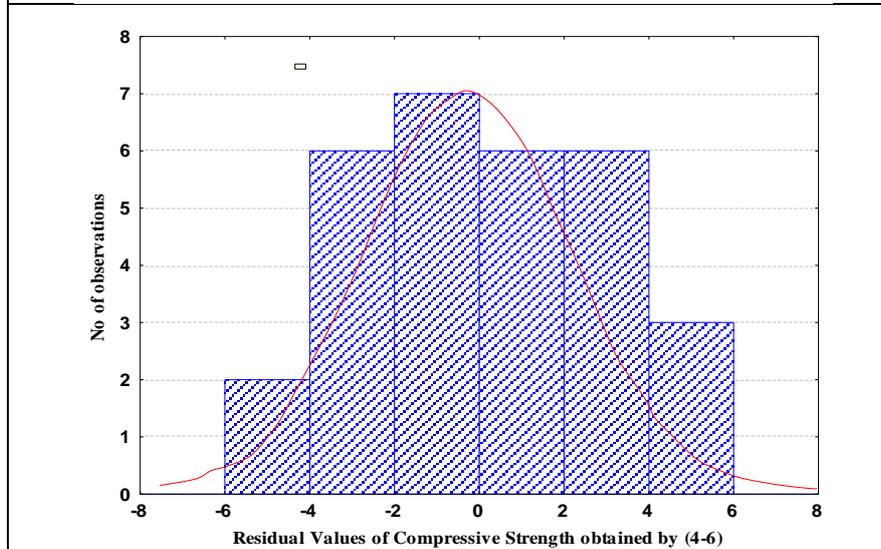
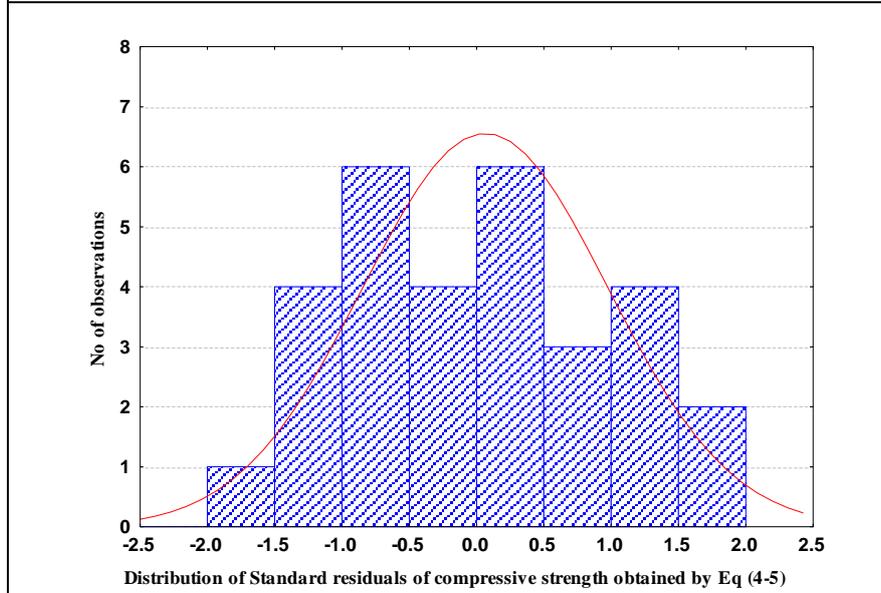
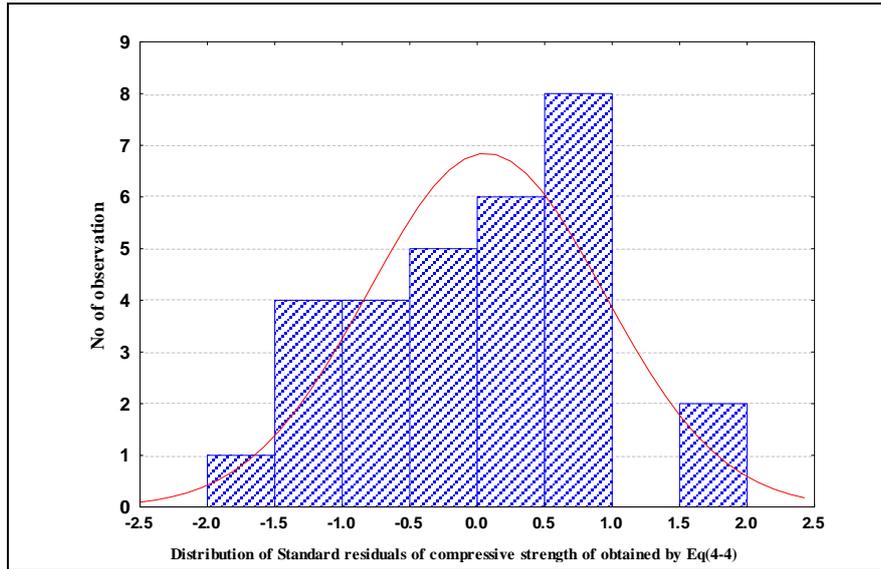
مقاومة الانضغاط حسب النموذج بالمعادلة (MPa)			مقاومة الانضغاط الحقيقية (MPa)	درجة الحرارة (°C)	زمن التعرض (hour)	سرعة الذبذبة (UPV) (km/sec)	مقدار الارتداد (RN)	ت
Eq(6-3)	Eq(5-3)	Eq(4-3)						
40.36	41.61	39.67	42	25	2	4.42	39	1
34.38	34.79	33.92	35	25	0.5	4	35	2
34.41	35.14	34.23	33	25	1	4.25	36	3
34.10	34.08	36.85	35.6	300	0.5	3.5	33	4
31.22	31.11	31.53	33.8	300	1	3.3	31	5
29.02	28.82	27.39	25.2	300	1.5	3.2	30	6
29.00	28.76	30.39	32.2	300	0.5	3.35	31	7
25.38	24.79	24.19	28.5	300	1	3.2	29	8
25.69	25.32	22.68	22.5	300	1.5	3	28	9
30.20	30.05	32.46	29	300	0.5	3.5	32	10
27.78	27.42	27.73	25.5	300	1	3.35	30	11
25.02	24.33	22.72	20.5	300	1.5	3.25	29	12
27.62	27.65	29.73	32	450	0.5	2.75	28	13
27.79	27.97	28.22	28.5	450	1	2.6	28	14
28.08	28.62	26.39	24.8	450	1.5	2.3	27	15
25.86	25.89	27.37	29.8	450	0.5	2.65	27	16
26.87	27.35	26.42	25.5	450	1	2.35	27	17
21.99	22.50	19.05	20.5	450	1.5	2.15	24	18
25.97	25.84	27.98	24.5	450	0.5	2.8	28	19
24.13	24.14	23.82	21	450	1	2.55	26	20
21.06	21.10	18.19	18.5	450	1.5	2.3	24	21
23.08	23.32	26.46	28.5	600	0.5	2.35	25	22
20.22	20.23	21.45	26	600	1	2.25	24	23
18.96	19.65	17.97	20	600	1.5	1.88	22	24
21.36	21.57	24.10	24	600	0.5	2.25	24	25
21.52	21.96	22.89	24	600	1	2.15	24	26
18.58	18.99	17.57	18.5	600	1.5	1.95	22	27
21.12	21.62	23.49	20.6	600	0.5	2.1	24	28
18.96	18.81	19.68	19.8	600	1	2.2	23	29
19.41	19.87	18.75	14	600	1.5	2	23	30



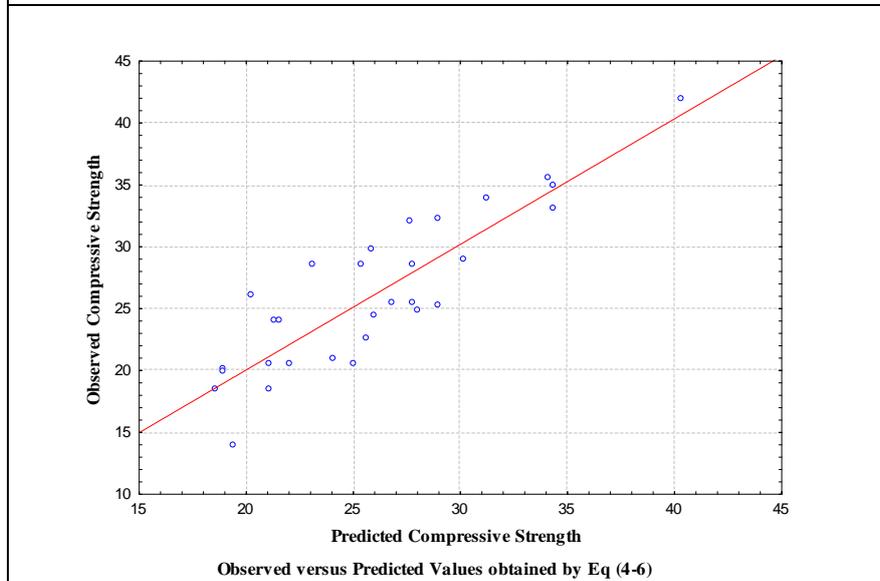
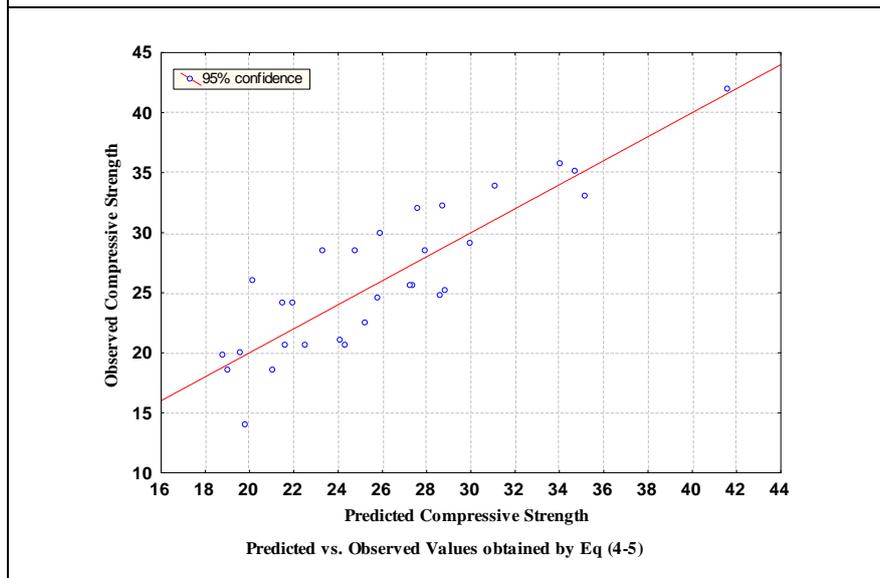
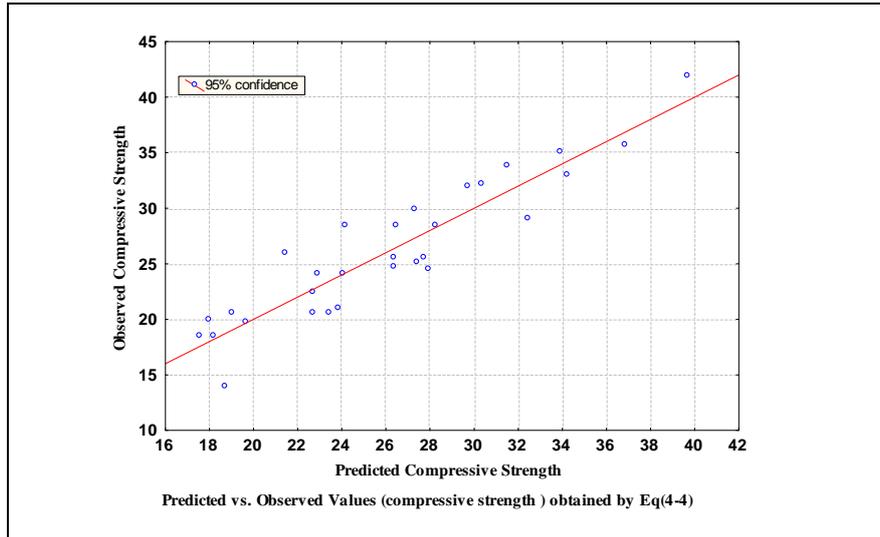
الشكل (1-5): قيم مقاومة الانضغاط المتبقية (Residual) المستحصلة من نماذج الخرسانة الاعتيادية



الشكل (2-5) العلاقة بين القيم الحقيقية والمتنبأ بها للمقاومة الانضغاط المستحصلة من نماذج الخرسانة الاعتيادية



الشكل (3-5) قيم مقاومة الانضغاط المتبقية (Residual) المستحصلة من نماذج الخرسانة ذاتية الرص



الشكل (4-5) العلاقة بين القيم الحقيقية والمنتبأ بها للمقاومة الانضغاط المستحصلة من نموذج الخرسانة ذاتية الرص

