Contribution of early thermal gradient within final set period and curing methods on ordinary cement concrete compressive strength with the aid of maturity concept

مساهمة التغير الحراري المبكر ضمن فترة التماسك النهائي وطريقة المعالجة على مقاومة الإنضغاط لخرسانة ألإسمنت ألإعتيادي باستخدام مفهوم الانضاج

أ.د.خالد عبد العزيز زكريا نايف دويرج حميد جمعه
جامعة الموصل / كلية الهندسة – قسم الهندسة المدنية

الخلاصة

يهدف ألبحثِ ألحالي وبتتطبيقِ مفهومِ ألإنضاجِ (باستخدام درجة الحرارة الداخلية للخرسانة المنتجة وتقدم العمر)من خلالِ هدف ألبحث بدراسةِ ألحالاتِ ألحرجةِ للظروفِ ألمحيطةِ بألخرسانةِ في ألعمرِ ألمبكرِ(فترة التماسك النهائي) من تأثيراتٍ حراريةٍ حرجة على مقاومة انضغاط الخرسانة بمحتوى اسمنت اعتيادي 400 kg/m^3 وبتطبيقِ مفهومِ ألإنضاجِ من خلال تعريض نماذج خرسانية اسطوانية قياسية 150mm * 300 mm مختومة لفترة التماسك النهائي hrs(6-8)لدرجة حرارة 4˚C ومن ثم ازالة الختم ومعالجتها بدرجة الحرارة 20˚C للفترة من 1 الى 360 يوما وكانت طريقة المعالجة الغمر بالماء والتعريض للهواء على التوالي وفحصت النماذج بالانضغاط ، وبنفس الاسلوب لكن تعرض النماذج الخرسانية الى درجة الحرارة 50˚C ضمن فترة التماسك النهائي،اظهرت نتائج الفحص انه كلما كانت مقادير الانضاج اقل تفاوتا بعضها عن البعض الاخر بتقدم العمر ومنتظمة اكثر خلال الايام الثلاث الاولى كلما كانت مقاومة الانضغاط اللاحقه اعلى وان نمو مقاومة الانضغاط بصورة عامة كان ابطأ للنماذج التي تعرضت لدرجة الحرارة 4˚C وأسرع للمعرضة لدرجة الحرارة 50˚C ولكن بعد عمر اسبوع ولغاية 360 يوما يزداد اكتساب المقاومة للنماذج المعالجة بدرجة الحرارة 4˚C ويقل اكتسابها للمعالجة بدرجة الحرارة 50˚C بالمقارنة بنفس الخلطة ألمرجعية ألمعرضة لدرجة الحرارة القياسية 20˚C .

ألكلمات ألدالة : تأثير التغير الحراري المبكر، مفهومِ ألإنضاجِ ، ألعمر ألمكافئ ، مقاومة ألإنضغاط

Abstract

The present research aims to study by using maturity concept (due to internal thermal for concrete with its age) critical effect of early thermal gradient during final setting period on ordinary cement concrete compressive strength of Standard cylindrical Ø 150 * 300 mm concrete sealed specimens ((content by weight 400 kg/m^3 cement) subjected to a temperature of 4˚C for the duration of final setting times (6-8 hrs.) then later (removing sealed) on to standard temperature of 20 ˚C for the duration of 1 to 360 days at moisture and air cured conditions to be finally tested in compression at the prementioned dates . The same procedure was exactly repeated but the concrete specimens subjected to 50˚C at the final setting times . The final outcome showed that generally if the maturity values least fluctuated due to each others and more regularity during first three days , upper later compressive strength . development in strength was slower for the specimens subjected to 4˚C than those at 50˚C at the initial setting times but,beyond the age of 7 days until 360 days the compressive strength gains more in strength for the specimens subjected to 4˚C than those at 50˚C as compared with same mixture subjected to 20˚C .

Keyword : early thermal gradient, maturity, initial setting , concrete, strength

1 – ألمقدمة :-

الانضاج للخرسانةِ هو العلاقة بين درجة ألحرارة وألزمن خلالَ تقدمِ عمليةِ ألإماهة و يقاس بألمساحةُ المحددة تحتَ منحنى ألعلاقةِ بينَ درجةِ ألحرارةِ وألزمنِ فوقَ مستوى محدد يعرف بدرجةِ حرارةِ ألإسنادِ[1]، تكمن ألأهمية ألتطبيقية لمفهوم ألإنضاج انها طريقة فحص لا إتلافيةٍ وإقتصاديةٍ ويمكنُ ألإستفادةُ منها لمعرفةِ عدةِ خصائصِ ميكانيكيةٍ بنفسِ ألوقتِ وبصورةٍ مباشرةٍ وتعطي معلوماتٍ آنيةٍ وواقعيةٍ لتقديرِ ألقيمةِ ألفعليةِ للخصائصِ ألميكانيكيةِ وألمهمةُ لأداءِ ألخرسانةِ موقعياً [2] ،لاسيما فيما يتعلقُ بمعالجةِ ألخرسانةِ وألتأثيرِ ألحراريِ على كفائتها[3] . اذ ان الخرسانة مركب كيميائي ناتج عن تفاعلات كيميائية معقدة مستمرة لمواد متعددة واحد العواملَ المؤثرة فيه والناتجة عنه هي درجةَ حرارةِ ألتفاعلِ اذُ تؤدي تفاعلاتُ ألإماهةِ ألى زيادةِ ألحرارةِ

ودرجةُ حدوثِ ذلكَ تعتمدُ على مقاسِ ألنموذجِ ألخرسانيِّ وألحرارةِ ألخارجيةِ (ألمحيطة) [4]، لذلك يمكن ألإستدلال على الخصائص الميكانيكية بتتبع ألإستجابة للتأثيرات ألحرارية على اماهة ألخرسانة بتقدم الزمن .

يتمحور محتوى البحث الاساسي حول التاثير الحراري المبكر على مقاومة الانضغاط باستخدام مفهوم الانضاج المحدد بطريقة ألمواصفة ألأمريكية ASTM C1074-08 [5] إستنادا لمبدأ Saul – Nurse ألمستند على كون ألعلاقة خطية بين تفاعلات ألإماهة وألزمن و العمر المكافئ المستند لمبدأ Arrhenius ألمعتمد على لاخطية علاقة تفاعلات ألإماهة مع ألزمن، ويضيفُ ألبحثِ ألحالي معلوماتٍ إضافيةٍ لتطبيقِ مفهومِ ألإنضاجِ من خلالِ هدف ألبحث بدراسةِ ألحالاتِ ألحرجةِ للظروفِ ألمحيطةِ بألخرسانةِ في ألعمرِ ألمبكرِ وتأثيرِ ذلكَ على ألإنضاجِ كونه دالة لعملية الاماهة وبالتالي مقاومةِ ألإنضغاطِ للخرسانةِ بأعمارها ألمتقدمةِ من تأثيراتٍ حراريةٍ حرجةٍ خلالَ فترة ألتماسكِ ألنهائيِّ بدرجاتِ حرارةٍ 50 °C , 4 ، وألتحولِ ألمفاجئ بإزالةِ تلكَ ألمؤثراتِ إلى ألدرجة ألقياسيةِ 20°C وبطريقتينِ للمعالجةِ : ألغمرِ بألماءِ وألتعريضِ للهواءِ برطوبة نسبية (25-38)% "RH" (relative humidity) تم في هذا البحث حساب معدل ألحرارة ألمتولدة (q˚)مقدرة بألواط لكل كغم (Watt/Kg)من ألإسمنت ألمتميأ استنادا للقياسات الدقيقة لمقدار الانضاج . يدل مصطلح ألتذبذب للإنضاج على تباين إختلاف ألإنضاج بتقدم ألزمن علماً أنَّ ألأساس ألحسابي لذلك يعود بألأساس إلى إختلافات درجات ألحرارة ألداخلية للخرسانة بتقدم عملية ألإماهة وهي محصلة بألتالي لكافة ألعوامل ألمؤثرة على خواص ألخرسانة.

2 - ألدراسات ألسابقة :-

من خلال دراسةُ (U.S.Bureau, of Reclamation 1963)[6] وجدَ أنَّهُ عندما تمَّ صبُ نماذجٍ خرسانيةٍ مختومةٍ بدرجةِ (0.55<<48.59 ˚C) 33<<120 ˚F ومعالجتها بدرجةِ حرارةٍ ثابتةٍ ومستمرة حتى 28 يوما ضمنَ ألحدودِ ألمسموحةِ(0.55<<48.59°C) 33<<120 ˚F فإنَّ درجةَ ألحرارةِ ألأعلى من ألقياسيةِ تؤدي إلى معدلٍ أعلى للتميؤِ وأعلى إكتسابٍ للمقاومةِ حتى عمرِ 28 يوماً . في بحوثٍ أخرى تمَّ ملاحظةِ نقصانٍ في معدلِ إكتسابِ ألمقاومةِ للأعمارِ ألاحقةِ (2013)Godart, B. and Loïc Divet [4] . في دراسةُ (Timm and N.H.Withey, 1934) [7] وجدَ أنهُ عندما تمَّ صبُ نماذجٍ خرسانيةٍ مختومةٍبدرجةِ حرارةِ (21.11 ˚C) 70˚F ومعالجتها بدرجةِ ألحرارةِ (21.11 ˚c) 70 ˚F لعدةِ ساعاتِ خلالِ ألعمرِ ألمبكرِ ثمَّ بدرجاتِ حرارةٍ ضمنَ ألمدى (0.55<<48.59°C) 33<<120)˚F وحتى 28 يوما كانتْ ألعلاقةُ ألرياضيةُ علاقةً طرديةً بينَ درجةِ ألحرارةِ وألمقاومةِ إذ كلما إرتفعتْ درجةُ حرارةِ ألمعالجةِ زادتِ ألمقاومةُ نسبياً عنِ ألقياسيةِ وإذا إنخفضتْ عنِ ألقياسيةِ إنخفضتِ ألمقاومةُ(2013) Neelakantan, T. R., et al. [8] . كذلك إستنتج (G.E.Troxell et al., 1968) [9] أنَّهُ إذا كانتْ ألمعالجة بدرجةُ ألحرارةِ أعلى منْ درجةِ ألحرارةِ ألإبتدائيةِ فستكونُ ألمقاومةُ أعلى وأقلَّ إذا تساوتْ أو إنخفضتْ عنِ ألإبتدائيةِ . ان معرفة تاثير درجات الحرارة على الخرسانة لاسيما مراحلها الحرجة عامل مهم للتنبؤ والسلامة .(2013) Kim, J.-K. and I. Chu [10] .

3- الخلطة الخرسانية المستخدمة في ألبحثِ :-

تتألفُ ألخرسانةُ ألعاديةُ منَ ألركامِ وألماءِ وألإسمنتِ وقدْ تمَ إستخدامُ الخلطة ذات ألإسمنت الاعتيادي بنسب خلط : (1^{Cemet} : 0.48^{Water} : 3^{Gravel} : 1.5^{Sand} وزناً ، بدون مضافات ، محتوى ألإسمنت ألإعتيادي 400 كغم\م^3 وبقوامٍ ثابتٍ (100 – 75) ملم وبمدةِ 30 ثانية (sec) للرص بألهزازةِ ألميكانيكيةِ .وتتالف من المواد التالية :

1-3 : الركام الناعم (ألرملُ) : تم استخدام رمل نهري متوفر محليا و تدريجه بالاستفاده من مبادئ المواصفه الأمريكية (ASTM, C136-08) [[11]] ليكون التدرج مطابقا للمواصفة الأمريكية (ASTM, C33-08) [12] كما مبين في الجدول رقم (1) وتم استعماله بحالة مشبع جاف السطح . (SSD) Saturated Surface Dry

2-3 : الركام الخشن (الحصى) : تم استخدام حصى نهري متوفر محليا و تدريجه بالاستفاده من مبادئ المواصفه الأمريكية (ASTM, C136-08) [[11]] ليكون التدرج مطابقا للمواصفة الأمريكية ASTM C33-08 كما مبين في الجدول رقم (2) . ذو شكل مدور بمقاس اقصى(Maximum Aggregate Size) M.A.S=19mm وتم استعماله بحالة مشبع جاف السطح (SSD) Saturated Surface Dry.

3-3: الماء : تم استخدام ماء الشرب الأعتيادي في الخلطة الخرسانيه علما ان جميع المواصفات القياسية تشير الى انه يمكن استخدام الماء الصافي الصالح للشرب في الخلطات الخرسانيه لمختلف اعمال الانشاء [(ألمواصفات، القياسية العراقية رقم 5 لسنة 1984) [[13]] .

4-3 : الاسمنت الاعتيادي (Ordinary Portland Cement): اسمنت مكيس منتج محليا مطابق للمعايير القياسية ضمن المواصفة العراقية القياسية(IQS,NO.5,1984) [[13]] والموضحة خصائصة الفيزيائية والكيميائية في الجدول المرقم (3) .

4- البرنامج العملي :

نسب ألخلطة ألخرسانية وأعداد ألنماذج وطريقة ألعمل ونتائج ألفحوص ألإتلافية وألااإتلافية ضمن الجدول رقم(1) ، الاختصار (عم804) في هذا البحث يعني خلطة خرسانية مقولبة بإسطوانات معدنية ذات أبعاد قياسية قطر 150 ملم وإرتفاع 300 ملم ASTM C470-08 مختومة منتجة بإستخدام ألإسمنت ألإعتيادي(عم804) معرضة لدرجة حرارة 4˚C (عم804)خلال ألعمر ألمبكر بعد ألصب مباشرة ولمدة اقصاها 8 hrs من صب النماذج الخرسانية (عم804) ثم بعدها مباشرة المعالجة بطريقة ألغمر بألماء بدرجة حرارة 20˚C للأعمار ألاحقة (عم804) وحتى عمر الفحص .

طريقة تحضير ألنماذج في هذا البحث تبدأ بقياس درجة حرارة ألمواد ألمكونة للخلطة ASTM C1064-08 [14] بحيث تكون ضمن مدى 20±3˚C ثم بعد صب النماذج ألخرسانية (قوالب إسطوانية قياسية معدنية قطر 150 ملم إرتفاع 300ملم) بإستعمال اسمنت اعتيادي يتم زرع ألمتحسس ألحراري ASTM C1074-08 وبذلك تبدأ عملية قياس درجة حرارة ألخرسانة ألطرية ألمخلوطة ثم تختم ألنماذج وتوضع داخل البراد وتعرض لدرجة حرارة 4˚C لمدة 2 ساعة .

أ - لمدة 6 – 8 hrs (فترة ألتماسك النهائي) وهي داخل القالب ومختومة .

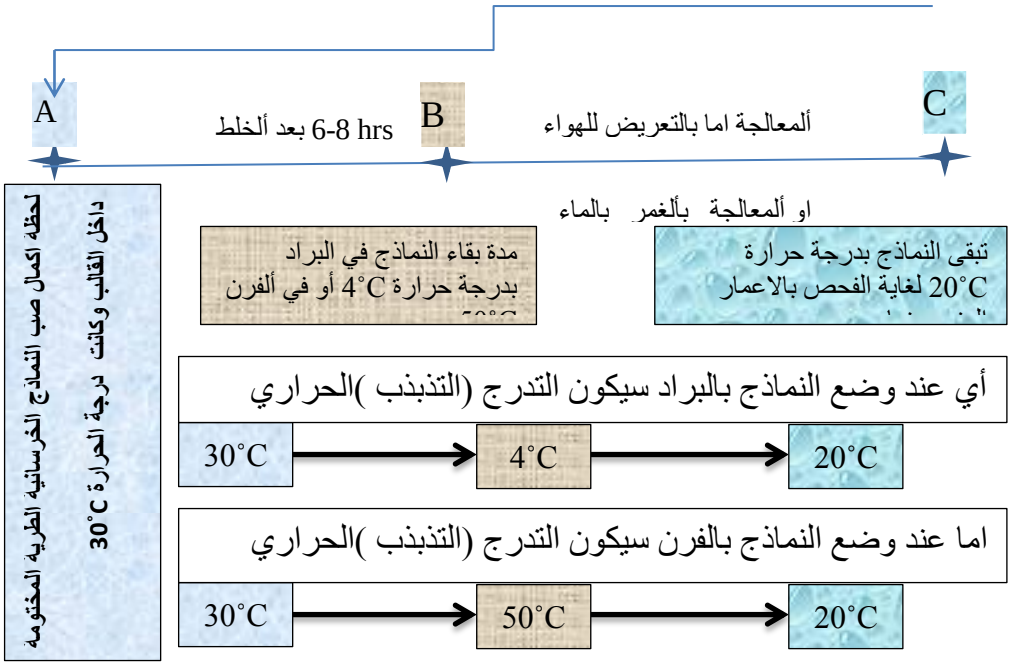
ب – بعد ذلك تفتح القوالب وتعرض الخرسانة (غير المختومة الان) الى درجة حرارة 20˚C وتعالج اما

1 – بألغمر بالماء . 2 – بالتعريض للهواء .

د – تفحص مقاومة الانضغاط اتلافيا بجهاز فحص مقاومة الانضغاط للاعمار 1,3,7,14,28,56,90 يوما ولااتلافيا بجهاز فحص الذبذبات فوق الصوتية للأعمار90,180,360 يوما .

هـ - تكرر نفس ألعملية من أ الى د لكن بوضع النماذج في فرن لتتعرض الى درجة حرارة 50˚C .

وبألنتيجة يكون ألتذبذب (ألتدرج)ألحراري ألذي تتعرض له ألنماذج كما يلي :-



يتم تسجيل درجات الحراره لنماذج الانضاج عدد نموذجين كل ثانيه واحده(آنيا للحراره داخل النموذج الخرساني وخارجه) وبدقة 0.1˚C خلال فترة التطبيق الحراري ومن ثم كل 300 ثانيه وبدقة 0.5˚C وأخذ معدل ألقياسات للنموذجين وحتى عمر الفحص ولكافة المتحسسات الداخليه والخارجيه وتتم عملية المتابعه المستمره للقياسات من خلال الملاحظه المستمره او عن بعد بالانترنت بواسطة مودم يتم تثبيته على الكومبيوتر الخاص بجهاز التسجيل الحراري وتوصيل الحاسبات بواسطة برنامج ربط الحاسبات الالية (TEAM VIEW PROGRAM) .

يتم تسوية سطح ألنماذج بموجب ألمواصفة ألأمريكية ASTM C 617-08 [15]وألفحص إتلافيا طبقا للمواصفة ألأمريكية ASTM C192-08 [16] حتى 90 يوما ولاإتلافيا بموجب ASTM C597-08 [17] بجهاز Ultrasonic من 90 يوما حتى عمر سنة .

5- ألنتائج وألمناقشة :-

5-1- ألتأثير على مقاومة الإنضغاط : يتبين من الشكل رقم (1) ورقم (3) ورقم(4) والجداول رقم (5) الى (11) مايلي :

5-1-1- تأثير درجة ألتسليط ألحراري 4˚C : بالنسبة للنماذج الخرسانية المعالجة مبكرا بدرجة حرارة 4˚C خلال فترة التماسك النهائي لطريقة المعالجة المغمورة بالماء ان التأثير ايجابي على مقاومة الانضغاط من عمر سبعة ايام الى 360 يوم مقارنة بالخلطات المرجعية المغمورة بالماء للاعمار المقابلة نفسها وبنسبة 17.23%تقريبا،و 15.41% تقريبا للاعمار 7 و 14 ايام على التوالي 10.01% تقريبا بعمر 28 يوم جدول رقم (7) وبنسبة 10.84% تقريبا بعمر 90 يوم بالمقارنة بالمرجعية بعمر 28 يوم ونسبة 19.34% تقريبا مقارنة بمقاومتها بعمر 28 يوم جدول رقم(9) ، فيما كان التاثير سلبيا للنماذج الخرسانية المعالجة بالتعريض للهواء (RH<39%) لاسيما بعمر 1 و 28 يوم بنسبة -16.16%تقريبا و -19.31% تقريبا على التوالي وحتى عمر 360 يوما ،إذ بلغت بعمر 90 يوم 80.76% تقريبا من المقاومة بعمر 28 يوم للنماذج المرجعية المغمورة بالماء علما انها كانت اعلى بنسبة 5.65 % تقريبا من مثيلاتها المرجعية المعرضة للهواء(RH<39%) واستمرارها باكتساب المقاومة بعمر 90 يوما بنسبة 7.77% تقريبا مقارنة بمقاومتها بعمر 28 يوم .

5-1- 2- تأثير درجة ألتسليط ألحراري 50°C : ألمعالجة الحرارية المبكرة بدرجة 50°C كان تأثيرهاسلبيا على المقاومة للفترة من 1 الى 360 يوماً لكلا طريقتي المعالجة مقارنة بالخلطات المرجعية تحت الظروف نفسها للاعمار المقابلة ذاتها ، بلغت الخسارة بالمقاومة مقارنة بالمرجعية المغمورة بالماء بعمر 28 يوم بنسبة -28.47%تقريبا و -35.32% تقريبا للنماذج المعالجة المغمورة بالماء والمعرضة للهواء (RH<39%) على التوالي بعمر 28 يوم و-12.7% تقريبا للنماذج المعرضة للهواء (RH<39%) مقارنة بمقابلتها المرجعية المعرضة للهواء للعمر نفسه (28 يوم) جدول رقم (7)، ومن الجدول رقم (8) يلاحظ ان نسبة المقاومة بعمر 90 يوم الى المقاومة للمرجعية المغمورة بالماء 75.36% و 67.27 % على التوالي للمغمورة بالماء والمعرضة للهواء .

5-1 – 3 تأثير طريقة المعالجة : يتبين ان النماذج المعرضة بالهواء (RH<39%) ابدت فقدان باكتساب المقاومة بكل الحالات مقارنة بالمرجعية المغمورة بالماء وكانت النماذج المعالجة مبكرا بدرجة الحرارة 4°C بنسب اكتساب اعلى للمقاومة مقارنة بالمرجعية لكلا طريقتي المعالجة شكل رقم (9)، ألنماذج ألمعرضة للهواء للهواء كانت ادنى إكتسابا للمقاومة خلال ألثلاثة أيام ألأولى ومابعدها في حين ان ألمغمورة بألماء اعلى بعد ألثلاثة أيام ألأولى بمعدل اعلى جدول رقم(9) وحتى عمر 360 يوم الجدول رقم (11) والشكل رقم(3) والشكل رقم (4) .

يشير ألجدول رقم(10) إلى أن ألعلاقة ذات إرتباط عالي 95% وبمعدل إنحراف 0.4 MPa بين ألفحوص ألإتلافية بجهاز فحص مقاومة الانضغاط وألاإتلافية بجهاز فحص ألذبذبات فوق ألصوتية الشكل رقم(1). كدليل على تجانس نتائج ألفحص لأستخدام مفهوم ألإنضاج يلاحظ أن ألنسب للخلطة ألمرجعية ألمغمورة بألماء مقاربة للنسب ألمألوفة (34,52,67,78,100)% للأعمارdays (1,3,7,14,28) على ألتوالي.وان ألعلاقة البيانية بين مقاومة الانضغاط والزمن هي كدالة العلاقة أللوغارتمية لكافة ألأعمار وحتى عمر سنة واحدة وبمعدل معامل إرتباط R^2=0.955 .

5-2- ألتأثير على درجات ألحرارة ألداخلية وبالتالي تفاعلات ألإماهة كدالة للانضاج : وتم بيانها اثناء العمر المبكر نتيجة التسليط الحراري وكذلك ازالة التسليط الحراري فجأة الى درجة الحرارة القياسية بكلا طريقتي المعالجة نسبة للنماذج الخرسانية المرجعية وكما يلي :

5-2-1 – نسبة لدرجة الحرارة 4°C : إنَّ تسليطَ درجةِ ألحرارةِ 4 °C خلالَ ألعمرِ ألمبكرِ (ألتماسكِ ألإبتدائيِّ) أدى إلى تباطؤِ تفاعلاتِ ألإماهةِ مقارنةً بألخلطةِ ألمرجعيةِ بدرجةِ حرارةِ 20 °C الشكل رقم (2) وبألتالي إنخفاضُ درجاتِ ألحرارةِ ألداخليةِ للخرسانةِ إذْ إنخفضتْ منْ 30°C خلالَ أول 5 دقائق إلى 14°C عندَ 120 دقيقة وكذلكَ فإنَّ معدلَ ألفرقِ بينَ درجةِ ألحرارةِ ألداخليةِ عنِ ألمرجعية 10.6°C ، ثم الى 6°C بعمر 430 دقيقةِ .

5-2-2 – نسبة لدرجة الحرارة 50°C : إنَّ تسليطَ درجة درجةِ ألحرارةِ 50°C أدى إلى تسارعِ ألتفاعلاتِ بينَ مركباتِ ألإسمنتِ وألماءِ مقارنةً بألخلطةِ ألمرجعيةِ الشكل رقم (2) وبألتالي إرتفاعُ درجةِ ألحرارةِ ألداخليةِ للخرسانةِ، كان معدلُ درجاتِ ألحرارةِ ألداخليةِ 44.5°C ومعدلُ ألفرقِ عنِ ألمرجعيةِ 21.4°C 13.7°C إذِ إرتفعتْ درجاتُ ألحرارةِ ألداخليةِ منْ 27°C إلى 50°C بنهاية زمن ألتماسك ألإبتدائي وحتى 54.5°C بنهاية فترة التماسك النهائي الشكل رقم (2) .

5-2-6 - التأثير على درجات الحرارة الداخلية بعد ازالة المؤثر ألحراري والمعالجة الحرارية القياسية بصورة مباشرة: بعدَ إزالةِ ألمؤثرِ ألحراريِّ بنهاية فترة التماسك النهائي تمتِ ألمعالجةُ بدرجةِ ألحرارةِألقياسيةِ 20°C بطريقتينِ هما ألغمرُبألماءِوألتعريضُللهواءِ. وكما يلي :

5-2-3-1 – نسبة لدرجة ألحرارة 4°C :يلاحظ أنَّ تأثيرَإزالة ألمعالجةِ بدرجةِ ألحرارةِ 4°C أدى أنْ تكونَ ألخرسانةُ ألمعالجةُ بألطريقتينِ محافظةً على نفسِ معدلِ درجاتِ ألحرارةِ ألداخليةِ وحتى 40 دقيقةً منْ بدايةِ ألساعةِ الثامنة أمّا بعدها أدتْ تفاعلاتُ ألإماهةِ أنْ تكونَ درجاتُ ألحرارةِ ألداخليةِ للخرسانة ألمعالجةُ بألتعريضِ للهواءِ أعلى منَ مثيلتها بألغمرِ بألماء الشكل رقم (2) .

5-2-3-2 – نسبة لدرجة ألحرارة 50°C : يلاحظ أنَّ تأثيرُ إزالةِ تسليطِ درجةِ ألحرارةِ 50 °C بعدَ ثماني ساعات منْ ألعمرِ ألمبكرِ أدى إلى إنخفاضِ درجاتِ ألحرارةِ ألداخليةِ للنماذج ألمعالجةِ بألتعريضِ للهواءِ منْ 54.5°C إلى 48°C بنهايةِ ألساعةِألثامنة منَ ألعمرِ ألمبكرِ ومن 54.5°C الى 45°C بألغمرِ بألماءِ الشكل رقم (2).

5-2-4 - تاثير طريقة ألمعالجة :تتجهُ درجاتُ ألحرارةِ ألداخليةِ للنماذج ألخرسانيةِ ألى أن تكون مقاربة لدرجات ألحرارة ألداخلية للخرسانة ألمرجعيةُ بكلا طريقتي ألمعالجةِ، متذبذبةً بصورةٍ بسيطةٍ حولَ معدلِ 30°C بإتجاه عام يميل إلى النماذج ألمرجعية الشكل رقم (2).

يشيرُألشكلُ رقم (5) لكافة ألخلطات إلى أنّهُ كلما كانتْ درجةُ ألحرارةِ قريبةً منْ معدلِ ألحرارةِ 26°C كانَ ذلكَ أفضلُ لمقدارِ قيمةِ مقاومةِ ألإنضغاطِ ويزدادُ معدلُ إكتسابِ ألمقاومةِ إذا كانَ منحنى درجاتِ ألحرارةِ ألداخليةِ دون 26 °C وأكبرَ منْ 22 °C بألأخصِ في ألأعمارِ ألمبكرةِ، كذلكَ أنَّ ألمقاومةِ تزدادُ بزيادةِ درجاتِ ألحرارةِ ألداخليةِ عنِ درجاتِ ألحرارةِ ألخارجيةِ ألمحيطةُ بألخرسانةِ إذْ أنَّ هذا مؤشرٌ على أنَّ ألخرسانةَ لاتزالُ تكتسبُ ألمقاومةَ لإنَّ ألإسمنتَ لايزالُ يتمياُ وأنَّ عمليةَ ألإماهةِ تستهلكُ ألماءَ ألموجودَ ضمنَ ألفجواتِ ألدقيقةِ وتعوضهُ بنواتجِ ألتفاعلِ ألأكثرِ إستقرارا وتحملا منْ ألماءِ وبألتالي زيادةُ ألمقاومةِ وكما مبين بيانيا بصورة اوضح للفرقِ بينَ ميلي مستقيمي ألتسوية لدرجاتِ ألحرارةِ ألداخليةِ عنِ ألخارجيةِ عندما يكونُ مقدارُ درجاتِ ألحرارةِ ألداخليةِ أعلى منَ ألخارجيةِ وفي حالةِ إقترابِ ميلي خطي ألتسويةِ للحرارةِ منَ ألتساوي (توازي ألمستقيمينِ) تكونُ ألمقاومةُ ومعدلُإكتسابها قليل وتكونُ أكثرُ سلبيةً على ألمقاومةِ إذا تساوتْ قيمةُ درجاتِ ألحرارةِ ألداخليةِ وألخارجيةِ ، وتكونُ حالةُ تقاطعِ خطي ألتسويةِ ألأشدّ ضرراً على مقدارِ قيمةِ ألمقاومة .

5-3 - ألتأثير نسبة للإنضاج : تم بيان التاثير للانضاج للعمر المبكر وكذلك حتى عمر 28 يوما وكما يلي :

5-3-1 – الإنضاج المحسوب خطيا بطريقة Nurse-Saul خلال فترة التسليط الحراري: يشير الشكل رقم (7) إلى تحول العلاقة بين الإنضاج والزمن منْ علاقة خطٍ مستقيمٍ إلى منحنى ويلاحظُ أنَّ المماساتِ للمنحنياتِ قبلَ إزالةِ المؤثرِ الحراريِّ تكونُ ميولها موجبةً ضمنَ الربعِ الأولِ للإحداثياتِ الديكارتيةِ (بالنسبة لتأثير درجة الحرارة 4°C)أيْ متحدبةً بالنسبةِ لجهتي العلاقةِ للخرسانةِ المرجعيةِ بدرجةِ حرارةٍ 20°C وتبتعدُ قيمها منْ قيمِ الخلطةِ المرجعيةِ ، وبعدَ إزالةِ المؤثرِ تكونُ ميولها سالبةَ الإتجاهِ ضمنَ الربعِ الثالثِ للإحداثياتِ الديكارتيةِ(بالنسبة لتأثير درجة الحرارة 50°C) أيْ متقعرةً بالنسبةِ لجهتي العلاقةِ للخرسانةِ المرجعيةِ بدرجةِ حرارةٍ 20°C وتقتربُ قيمها منْ قيمِ إنضاجِ المرجعيةِ .

5-3-2 - الإنضاج المحسوب لاخطيا بطريقة Arrhenius (مفهوم العمر المكافئ) خلال فترة التسليط الحراري :

يعزز الشكل رقم(6) ذلك الإستنتاج بالنسبة للعلاقة بين العمر المكافئ (الإنضاج نسبة للدالة الأسيّة) والزمن بأنَّ التأثيرَ الحراريَّ المبكرِ أدى إلى تغيرِ شكلِ العلاقةِ منْ خطٍ مستقيمٍ كما في الخرسانةِ المرجعيةِ إلى منحنى ويكونُ ميلِ الخطِ المستقيمِ في حالةِ تقريبِ المنحنى إلى مستقيمٍ أقلَ ميلاً بالنسبةِ للتأثيرِ الحرارِيِّ بدرجةِ 4°C بالنسبةِ لميلِ الخرسانةِ المرجعيةِ المقابلةِ ، والميلُ الأقلُ يكونُ لطريقةِ المعالجةِ بالغمرِ بالماءِ ، وبالنسبةِ للتأثيرِ الحراريِّ بدرجةِ 50°C يكونُ أكثرَ ميلاً منَ ميلِ العلاقةِ للخرسانةِ المرجعيةِ والميلُ الأعلى مقداراً يكونُ في هذهِ الحالةِ للمعالجةِ بطريقةِ الغمرِ بالماءِ .

5-3-3- العلاقة بين الإنضاج – الزمن حتى عمر 28 يوما : يفيد رسم هذه العلاقة للتنبؤ بمقاومة الانضغاط للاعمار المختلفة ويلاحظ تاثير التسليط الحراري المبكر على المنحنى وكما يلي :

رُسمتْ العلاقةُ بينَ الإنضاجِ ومقاومةِ الإنضغاطِ نسبةً إلي طريقة المعالجة ِ ولدرجاتِ التسليطِ الحراريِّ 4°C & 50°C للمقارنة مع درجة الحرارة 20°C الشكل رقم (8) ويلاحظُ أنَّ العلاقةَ بشكلِ منحنى دالةِ اللوغاريتمِ الطبيعي أساسْ 2.3 [$\ln(x)=\log_{2.3}(x)$] وكذلكَ تمَ إعادةُ رسمها نسبةً لمفهوم العمر المكافئ الشكل رقم (10) معَ قيمةِ المعاملِ الإحصائي R^2 ومعادلةُ التقريبِ ، إن هذه العلاقة بشكل منحنى دالة اللوغارتم والمشابهة لمنحنى العلاقة بين المقاومة – الزمن يمكن الإستدلال بها موقعيا على قيمة المقاومة المقاربة جدا للفعلية والتنبؤ بها .

5-4- التأثير نسبة للتذبذب في قراءات الانضاج ومعدل الانبعاث الحراري حتى عمر 28 يوم : وكما يلي :

يلاحظ أنهُ كلما كانتَ مقاديرُ منحنى التذبذبِ حولَ القيمةِ الصفريةِ متفاوتةً بصورةٍ كبيرةٍ كلما قلَ ميلُ المماسِ لمنحنى علاقةِ مقاومةِ الإنضغاطِ – الزمن وبالتالي نقصانُ مُعدلِ إكتسابِ المقاومةِ ، وكلما قلَ معدلُ التفاوتِ كلما زادَ ميلُ المماسِ لمنحنى المقاومةِ وبالتالي زيادةُ معدلِ إكتسابِ المقاومةِ ، وكلما كانتِ القيمةِ للتذبذبِ أقلَ تفاوتاً وقريبةً منَ القيمةِ الصفريةِ خلالَ الثلاثةِ أيامٍ الأولى كلما كانتْ مقاومةُ الإنضغاطِ اللاحقةُ أعلى ، ويزدادُ ميلُ المماسِ لمنحنى المقاومةِ عندَ التحولِ منَ النطاقِ الموجبِ(يدل على أن الميل لكون درجات الحرارة الخارجية أعلى من الداخلية تفاعل إماهة بمعدل أقل) إلى السالبِ(يدل على أن الميل لكون درجات الحرارة الداخلية أعلى من الخارجية بالنتيجة تفاعل إماهة بمعدل أكبر) وأقلُ بالعكسِ الشكل رقم (11).

يلاحظ انه كلما إزدادَ معدلُ الإنبعاثِ الحراريِّ للإسمنتِ المتميإِ إزدادَ ميلُ المماسِ لمنحنى المقاومةِ أي زيادةُ معدلُ إكتسابِ المقاومةِ وألعكسُ صحيحُ ، ذلك ان حساب معدل الانبعاث الحراري مرتبط بانضاج الخرسانة الشكل رقم(12).

6- الإستنتاجات :-

إستناداً إلى النتائجِ المستحصلةِ منَ الفحوصِ المختبريةِ لهذا البحثِ يمكنُ إستخلاصُ النتائجِ التاليةِ :-

1. يتم الحصول على قيمُ الإنضاجِ معَ الزمنِ علاقةٌ خطيةٌ بدرجةِ حرارةِ 20°C وتتغيرُ إلى شكلٍ منحني متأثرةً بالتسليطِ الحراريِّ ومدتهِ خلالَ العمرِ المبكرِ وتتغيرُ تبعاً لذلكَ سرعةُ ودرجةُ وإستمراريةُ ونواتجُ وإنتظاميةُ التفاعلِ .
2. عند تعرض النماذج الخرسانية المختومة لفترة 6-8 ساعة (فترة التماسك النهائي) بدرجة حرارة 50°C (ألفرن) وعولجت بطريقة التعريض للهواء بدرجة حرارة 20°C بعد ذلك أعطت أوطأ مقاومة إنضغاط في 28 يوم.
3. علاقةُ الإنضاجِ معَ الزمنِ علاقةٌ خطيةٌ بدرجةِ حرارةِ 20°C وتتغيرُ إلى شكلٍ منحني متأثرةً بالتسليطِ الحراريِّ ومدتهِ خلالَ العمرِ المبكرِ وتتغيرُ تبعاً لذلكَ سرعةُ ودرجةُ وإستمراريةُ ونواتجُ وإنتظاميةُ التفاعلِ .
4. منحنياتُ التذبذبِ للإنضاجِ الأكثرُ تمثيلاً والأوضحُ لحالةِ تفاعلاتِ الخرسانةِ منْ منحنياتِ درجاتِ الحرارةِ الداخليةِ.
5. كلما كانتْ درجاتُ الحرارةِ الداخليةُ للخرسانةِ قريبةً منْ معدلِ 26°C كلما كانَ ذلكَ أفضلَ بالنسبةِ لمقاومةِ الإنضغاطِ إذا كانتْ درجةُ الحرارةِ للمعالجةِ بالغمرِ بالماءِ أو بالتعريضِ للهواءِ 20°C ، ويزدادُ معدلُ إكتسابِ المقاومةِ إذا أصبحَ منحنى الحرارةِ الداخليةِ أقلَ منْ 26°C ويقلُ إذا كانَ أعلى منْ 26°C .
6. كلما إزدادَ معدلُ الإنبعاثِ الحراريِّ إزدادَ معدلُ إكتسابِ المقاومةِ .
7. معدلُ الحرارةِ المنبعثةُ منَ الخرسانةِ المعالجةُ بالغمرِ بالماءِ أعلى منها بالتعريضِ للهواءِ.
8. كلما كانَ معدلُ الإنبعاثِ الحراريِّ أعلى خلالَ مدةِ 4 أيام كلما كانَ ذلكَ أفضلَ لإكتسابِ المقاومةِ .
9. يوجدُ تأثيرُ تداخلٍ موجبٍ (Dampping) واضحٍ وإنْ كانَ سيئاً على مقدارِ المقاومةِ في حالة تساوي درجاتُ الحرارةِ الداخليةُ والخارجيةُ للخرسانةِ خلالَ عمرها المبكرِ والمتأخرِ حتى 360 يوماً .

10. تقلُ قيمةُ مقدارِ ميلِ علاقةِ منحنى ألعمرِ ألمكافئِ- ألزمنِ بإنخفاضِ درجاتِ ألحرارةِ وتزدادُ بإرتفاعها خلالَ ألعمرِ ألمبكرِ ، بتعبيرٍ آخرٍ يزدادُ ألعمرُ ألمكافئُ بإنخفاضِ درجاتِ ألحرارةِ ويقلُ بزيادتها نسبةً لدرجاتِ ألحرارةِ ألداخليةِ للخرسانةِ .
11. ألعلاقةُ طرديةُ بينَ منحنى ألتذبذبِ للإنضاجِ مع ألزمن ومنحنى معدلِ ألإنبعاثِ ألحراريً معَ ألزمنِ .
12. بعدَ عمرِ يومٍ واحدٍ كلما كانَ ألتفاوتُ لمقاديرِ تذبذبِ ألإنضاجِ عالياً كلما قلَّ معدلُ إكتسابِ ألمقاومةِ وألعكسُ صحيحٌ .

ألجدول رقم (1) : نتائجُ ألتحليلِ ألمنخليُّ للرملِ ألمستخدمِ وحسبَ ألمواصفةِ ألأمريكيةِ ASTM C33-08

مقاسُ ألمنخلُ (mm) ASTM E 11-08	ألنسبةُ ألمئويةُ ألمارةُ	
	ألحدودُ ألكليةُ للمواصفة ASTM C33-08	ألنسب ألمارةُ للرملِ ألمستخدم *
9.5 (3/4-in)	100	100.0
4.75 (NO. 4)	95- 100	97.5
2.36 (NO. 8)	80- 100)	90.0
1.18 (NO. 16)	50 -85	67.5
600-µm (NO. 30)	25- 60	42.5
300-µm (NO. 50)	5- 30	17.5
150-µm (NO. 100)	0- 10	5 .0

ألجدول رقم(2):نتائجُ ألتحليلِ ألمنخليُّ للركامِ ألخشنِ(ألحصى) طبقا للمواصفةِ ألأمريكيةِ ASTM C33-08

مقاسُ ألمنخلُ (mm) ASTM E 11-08	ألنسبةُ ألمئويةُ ألمارةُ	
	ألحدودُ ألكليةُ للمواصفة ASTM C33-08	ألنسب ألمارةُ للحصى ألمستخدم *
25 (1 -in)	100	100.0
19 (3/4 -in)	90 – 100	95.0
9.5 (3/8 –in)	20 -55	37.5
4.75 (3/16 –in)	0 – 10	5.0
2.36 NO 8)	0 – 5	2.5

*تم تدريجه بالاستفاده من مبادئ المواصفه الأمريكية (ASTM, C136-08) [[11]] ليكون التدرج مثاليا مطابقا للمواصفة الأمريكية (ASTM, C33-08) [12]

جدول رقم(3) نتائج الفحص المختبر ي للخصائص الفيزيائيه وألكيميائية للاسمنت ألإعتيادي (عراقي المنشأ-العلامه التجاريه " كرسته "-مكيس-المنطقه الشماليه-مدينة السليمانيه) المستخدم في اجراء البحث

الفحص الفيزياوي		
ألإسمنت ألإعتيادي		
الخصائص ألفيزياوية	نتيجة الفحص Value))	Limits(%)
		حسب المواصفه العراقيه(1984/5)
وقت التماسك الابتدائي(دقيقه)	95 minutes	لايقل عن (45) دقيقه
وقت التماسك النهائي(ساعه)	380 minutes($6\frac{1}{3}$ hrs)	لايزيد عن (10) ساعه
مقاومة الانضغاط بعمر (3) يوم MPa	19.2	لاتقل عن(15) MPa
مقاومة الانضغاط بعمر (7) يوم MPa	29.8	لاتقل عن (23) MPa
مقاومة الانضغاط بعمر (14) يوم MPa	43.1	----------
مقاومة الشد بعمر (3) يوم MPa	2.23	----------
مقاومة الشد بعمر (7) يوم MPa	3.1	----------
مقاومة الشد بعمر (14) يوم MPa	3.92	----------
الليونه القياسيه	0.24	
التمدد(mm)	0.2	لاتزيد على (0.8%)

النعومه %(نسبة المتبقي على منخل رقم ((BS.170	5	10 % Maximum
النعومه kg/m2 " Blaine "	296	لاتقل عن 230

ألفحص ألكيمياوي					
ألإسمنت ألإعتيادي					
Chemical	Value(%)	Limits(%)	Chemical	Value(%)	Limits(%)
Composition	حسب المواصفه العراقيه(1984/5)		Components	حسب المواصفه العراقيه(1984/5)	
SiO_2	20.6	------	C_3S	36.28	------
AL_2O_3	5.51	------	C_2S	31.69	------
Fe_2O_3	3.96	------	C_3A	4	-------
CaO	57.23	------	C_4AF	16.78	------
MgO	2.44	5%>	L.S.F	0.8422	0.66 – 1.02
SO_3	2.33	2.5	Solid Solution	17.7	------
Free Lime	0.45	------			------
Loss On ignition	2.85	4%>			------
Insoluble residue	0.15	<1.5%			------

جدول رقم(4) نسب الخلطة الخرسانية واعداد النماذج لكل حالة تسليط حراري مبكر خلال فترة التماسك النهائي وطريقة معالجه واعمار فحص مقاومة الانضغاط والانضاج

(1^{Cemet} : 1.5^{Sand} : 3^{Gravel} : 0.48^{Water}) وزناً ، بدون مضافات ، محتوى ألإسمنت ألإعتيادي 400 كغم\م^3 وبقوامٍ ثابتٍ – 75) (100 ملم وبمدةِ 30 ثانية (sec) للرص بألهزازةِ ألميكانيكيةِ ،قوالب إسطوانية قياسية معدنية قطر 150 ملم إرتفاع 300ملم ، نماذج مختومة لمدة ألتماسك ألنهائي 6-8 ساعة										
ألخلطة	العمر(يوم)	واحد	ثلاثة	سبعة	أربع عشر	ثمان وعشرون	ست وخمسون	تسعون	ألإنضاج وألموجات فوق ألصوتية	ألمجموع
عم020		2	2	2	2	2	2	2	2	16
عه020		2	2	2	2	2	2	2	2	16
عم804		2	2	2	2	2	2	2	2	16
عه804		2	2	2	2	2	2	2	2	16
عم850		2	2	2	2	2	2	2	2	16
عه850		2	2	2	2	2	2	2	2	16
ألمجموع		12	12	12	12	12	12	12	12	96

جدول رقم(5) نتائج فحوص مقاومةِ ألإنضغاط ِ اتلافياً بوحدةِ (MPa) للخلطةِ ألخرسانيةِ ذاتُ ألنسبةِ ألوزنيةِ (1 : Cement 0.48 :Water 1.5:Gravel 3 :Sand) بمحتوى إسمنت (400 kg/m3) بهطول mm (75-100) وبمعدل تسليط حمل 0.6 MPa/sec وحتى الفشل

ألخلطة	1	3	7	14	28	56	90	يوم
عم020	14.91	22.9	28.27	30.56	40.54	42.49	43.65	MPa
عه020	15.63	22.46	25.62	29.43	30.97	31.89	32.81	MPa
عم804	14.66	20.72	33.14	35.27	44.6	47.28	48.38	MPa
عه804	12.5	19.1	25.06	28.62	32.71	34.29	35.25	MPa
عم850	12.32	16.8	22.24	24.25	29	29.98	30.55	MPa
عه850	11.81	16.35	21.75	23.52	26.22	26.79	27.27	MPa

جدول رقم(6) ألنسبة ألمئوية لمقاومة ألإنضغاط للنماذج الخرسانيه لكل خلطة لكل عمر إلى مقاومة ألإنضغاط للخلطة ألمرجعية ألمعالجة قياسيا بطريقة ألغمر بألماء لكل عمر

يوم	90	56	28	14	7	3	1	ألخلطة
%	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	عم020
%	75.17	75.05	76.39	96.30	90.63	98.08	104.83	عه020
%	110.84	111.27	110.01	115.41	117.23	90.48	98.32	عم804
%	80.76	80.70	80.69	93.65	88.65	83.41	83.84	عه804
%	69.99	70.56	71.53	79.35	78.67	73.36	82.63	عم850
%	62.47	63.05	64.68	76.96	76.94	71.40	79.21	عه850

جدول رقم(7) نسبة إكتساب ألمقاومة % لمقاومة ألإنضغاط لكل خلطة لكل عمر إلى مقاومة ألإنضغاط للخلطة ألمرجعية ألمعالجة قياسيا بطريقة ألغمر بألماء لكل عمر

يوم	90	56	28	14	7	3	1	ألخلطة
%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	عم020
%	-24.83	-24.95	-23.61	-3.70	-9.37	-1.92	4.83	عه020
%	10.84	11.27	10.01	15.41	17.23	-9.52	-1.68	عم804
%	-19.24	-19.30	-19.31	-6.35	-11.35	-16.59	-16.16	عه804
%	-30.01	-29.44	-28.47	-20.65	-21.33	-26.64	-17.37	عم850
%	-37.53	-36.95	-35.32	-23.04	-23.06	-28.60	-20.79	عه850

جدول رقم(8)نسبة إكتساب ألمقاومة % لمقاومة ألإنضغاط للخلطات ألخرسانية إلى مقاومة ألإنضغاط بعمر 28 يوما للخلطة ألمرجعية ألمعالجة قياسيا بطريقة ألغمر بألماء

يوم	90	56	28	14	7	3	1	ألخلطة
%	107.67	104.81	100.00	75.38	69.73	56.49	36.78	عم020
%	80.93	78.66	76.39	72.59	63.20	55.40	38.55	عه020
%	119.34	116.63	110.01	87.00	81.75	51.11	36.16	عم804
%	86.95	84.58	80.69	70.60	61.82	47.11	30.83	عه804
%	75.36	73.95	71.53	59.82	54.86	41.44	30.39	عم850
%	67.27	66.08	64.68	58.02	53.65	40.33	29.13	عه850

جدول رقم(9) نسبة إكتساب ألمقاومة % لمقاومة ألإنضغاط لكل خلطة خرسانية لكل عمر إلى مقاومة ألإنضغاط بعمر 28 يوما لكل خلطة

يوم	90	56	28	14	7	3	1	ألخلطة
%	107.67	104.81	100.00	75.38	69.73	56.49	36.78	عم020
%	105.94	102.97	100.00	95.03	82.73	72.52	50.47	عه020
%	108.48	106.01	100.00	79.08	74.30	46.46	32.87	عم804
%	107.77	104.83	100.00	87.50	76.61	58.39	38.21	عه804
%	105.34	103.38	100.00	83.62	76.69	57.93	42.48	عم850
%	104.00	102.17	100.00	89.70	82.95	62.36	45.04	عه850

جدول رقم(10) الانحراف المعياري ومربع معامل الارتباط للبيانات الاتلافية واللااتلافية

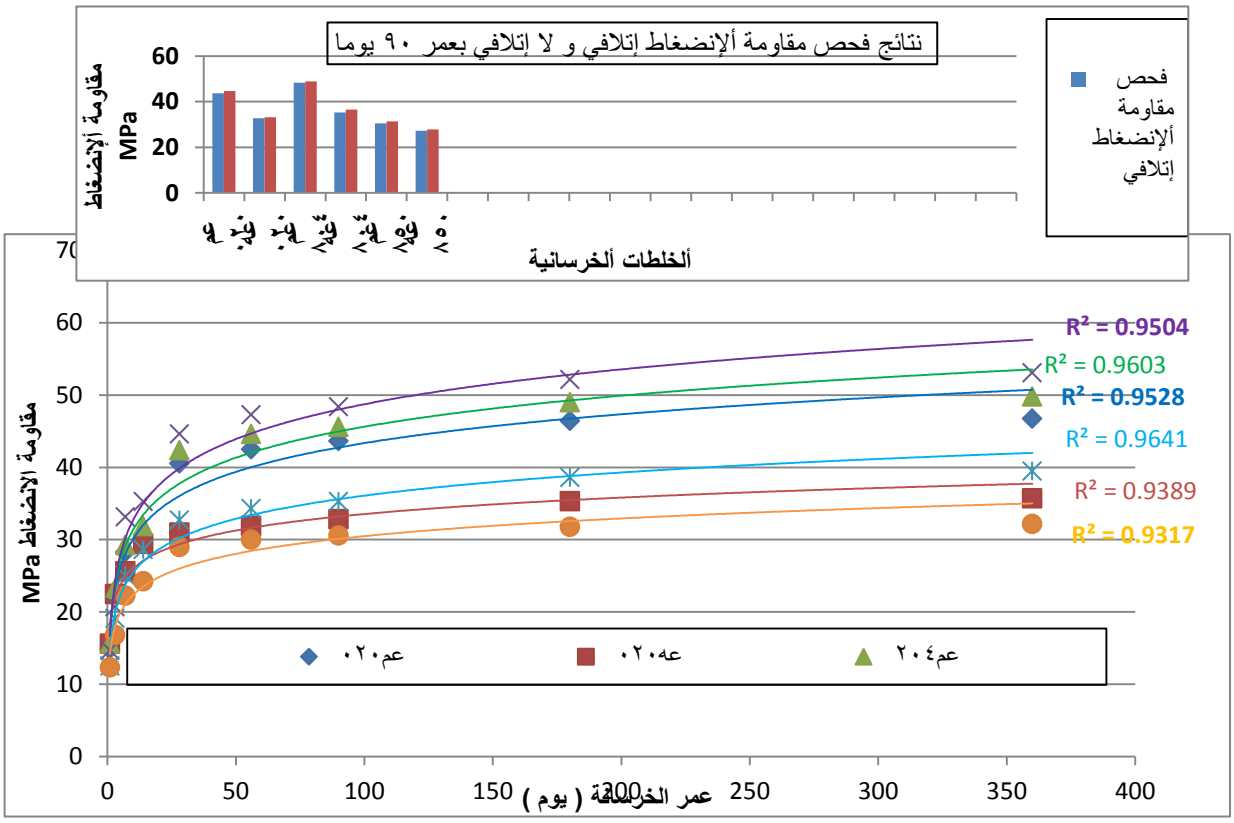
ألخلطة	مقاومة ألإنضغاط (M pa)		ألإنحراف ألمعياري
	إتلافي (x)	لاإتلافي (y)	δ
عم020	43.65	44.7	0.74246212
عه020	32.81	33.12	0.219203102
عم804	48.38	48.89	0.360624458
عه804	35.25	36.47	0.862670273
عم850	30.55	31.34	0.558614357
عه850	27.27	27.87	0.424264069
¤ مربع معامل ألإرتباط r^2			0.98544026

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt[2]{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}}$$

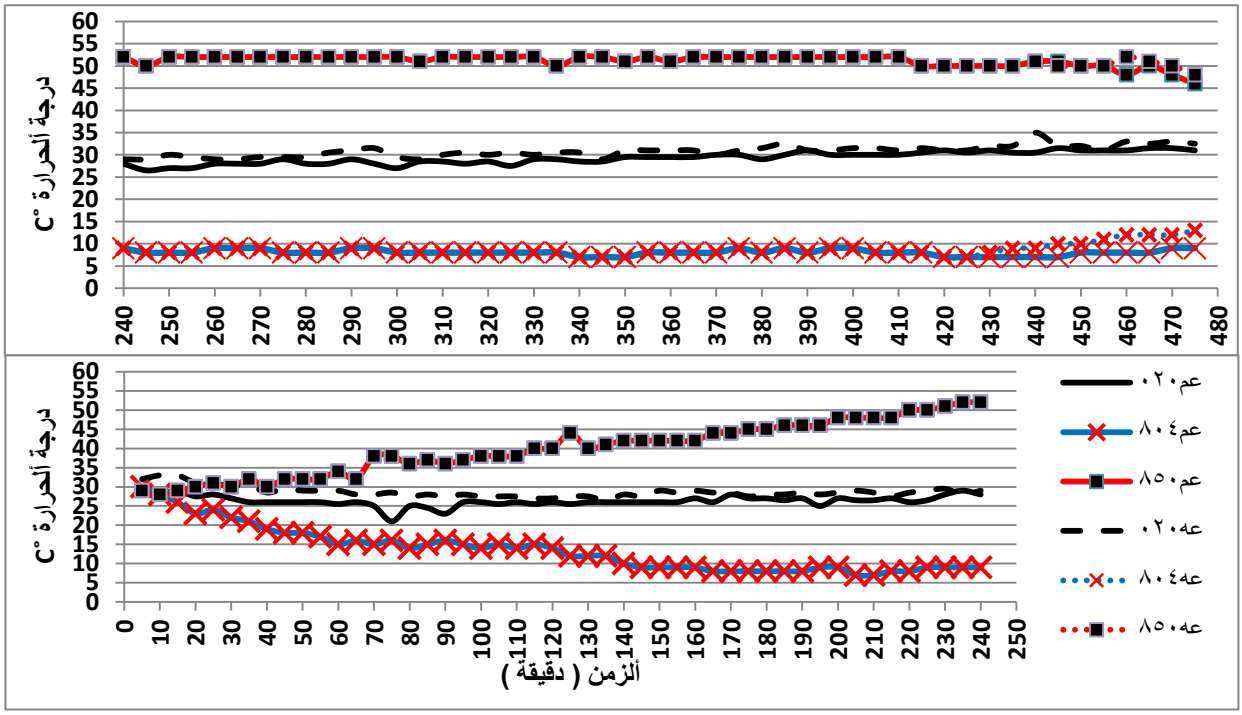
¤ وأظهرت ألمعاملات ألإحصائية دقة عالية بين طريقتي ألفحص وبألتالي إمكانية إستمرارية ألقياسات

جدول رقم(11) نتائج مقاومةِ ألإنضغاطِ ألمستحصلةُ لااتلافيا (فحص الذبذبات فوق الصوتية)

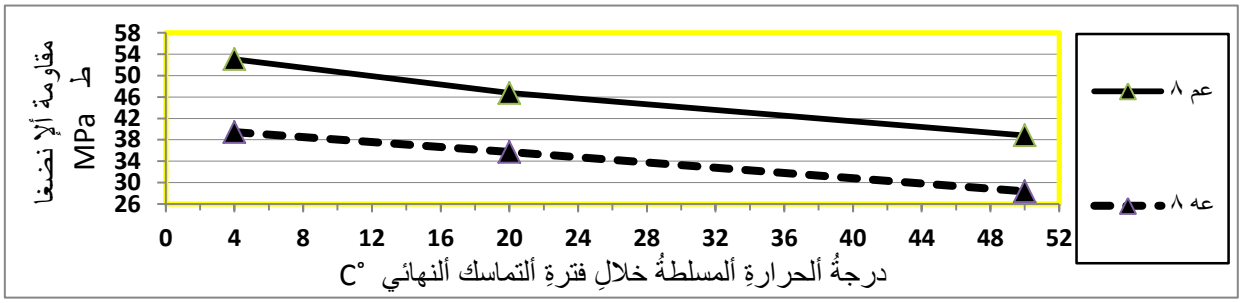
ألخلطة	90	180	360	يوم
عم020	44.70	46.40	46.75	MPa
عه020	33.12	35.31	35.71	MPa
عم804	48.89	52.15	53.08	MPa
عه804	36.47	38.59	39.45	MPa
عم850	31.34	31.78	32.15	MPa
عه850	27.87	28.32	28.37	MPa



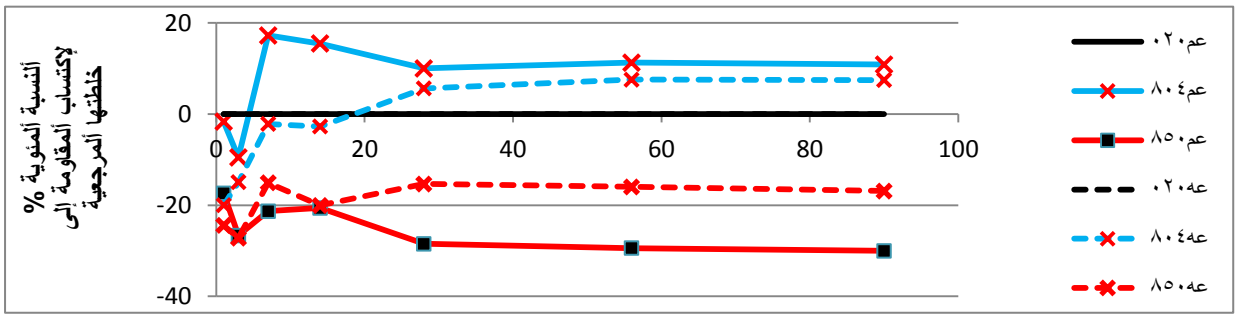
شكل رقم 1علاقةُ مقاومةِ ألإنضغاطِ– ألعمرِ للفترةِ ألزمنيةِ (1-360 days) للخلطاتِ ذاتِ ألإسمنتِ ألإعتياديِّ ألمعالجةِ حرارياً خلالَ فترة ألتماسكِ ألنهائيِّ بدرجاتِ حرارةِ 4 ،20 ، 50 °C



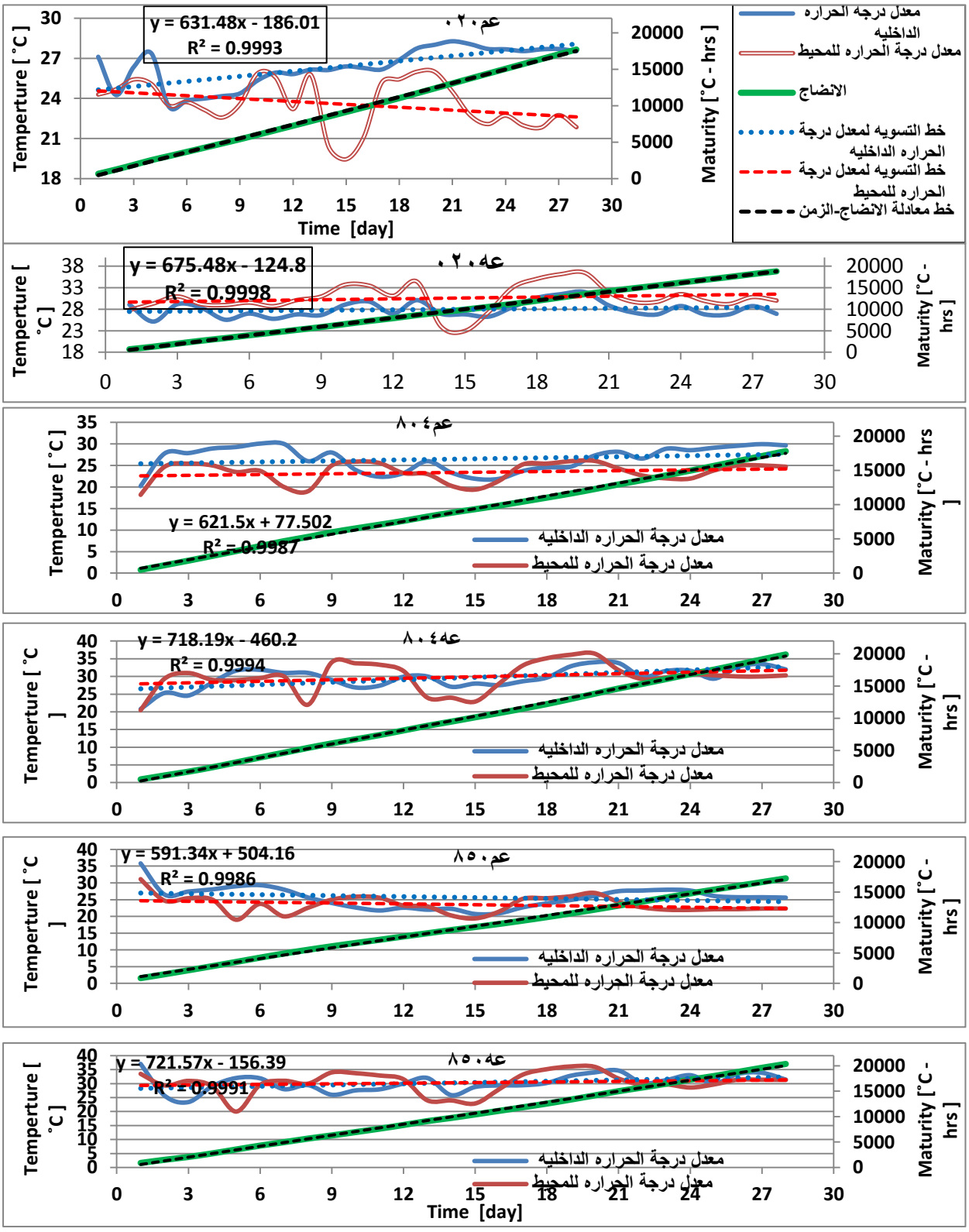
شكل رقم(2) درجة ألحرراة ألداخلية للنماذج ألخرسانية نتيجة ألتسليط ألحراري 4˚C,20˚C,50˚C طيلة مدة ألتماسك ألنهائي لمدة ثماني ساعات بعد ألصب



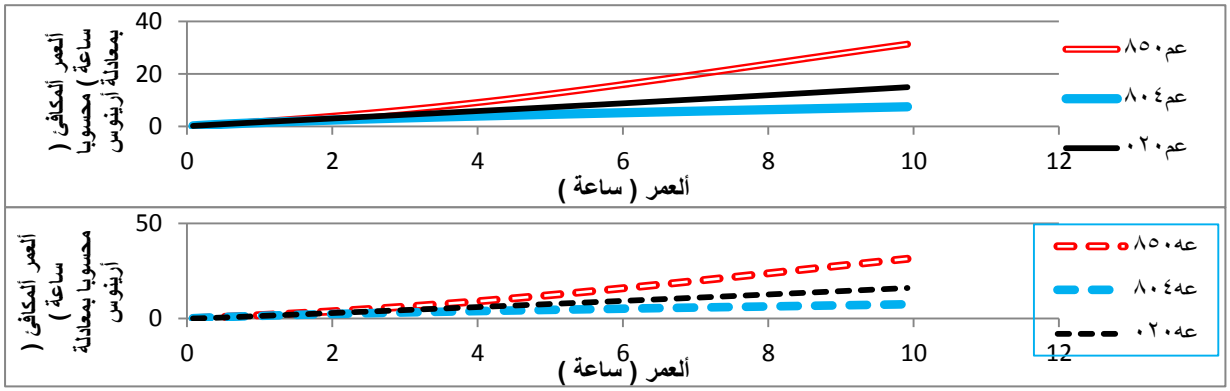
شكل رقم(3) مقاومة ألإنضغاط للنماذج ألخرسانية بعمر 360 يوم نتيجة ألتسليط ألحراري 4˚C,20˚C,50˚C طيلة مدة ألتماسك ألنهائي لمدة ثماني ساعات بعد ألصب



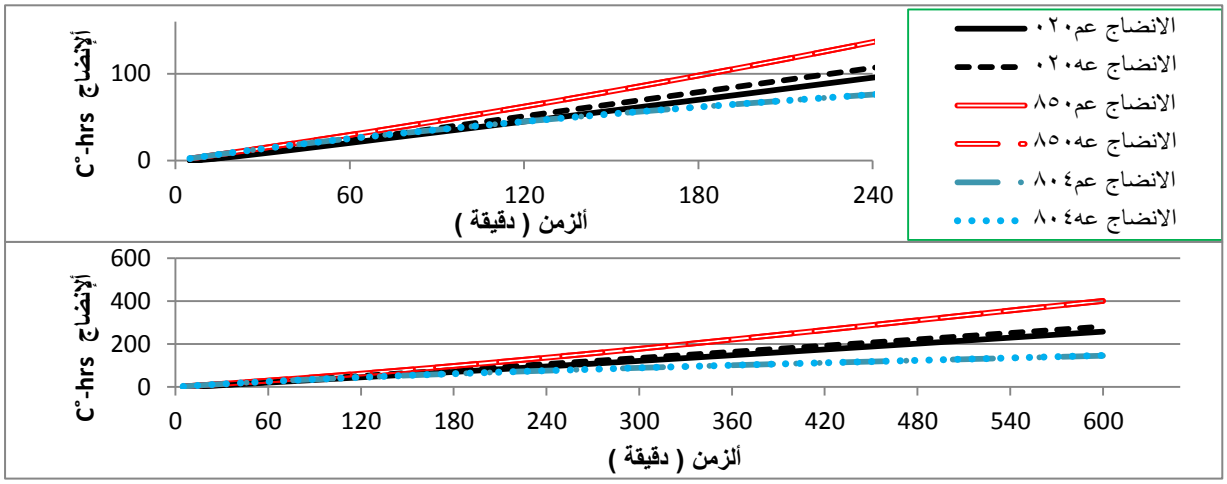
شكل رقم(4) ألنسبة ألمئوية للفرق بين مقاومة ألإنضغاط للخلطات ألخرسانية لكل عمر مع ألخلطة ألمرجعية لكل عمر إلى مقاومة ألإنضغاط للخلطة المرجعية لذلك ألعمر لبيان إلإختلافات في مقادير ألمقاومة نتيجة ألمعالجة ألحرارية 4˚C,50˚C خلال فترة ألتماسك ألنهائي إلى ألمعالجة ألحرارية ألقياسية بدرجة حرارة 20˚C وحتى 28 يوم ولكلا طريقتي المعالجة .



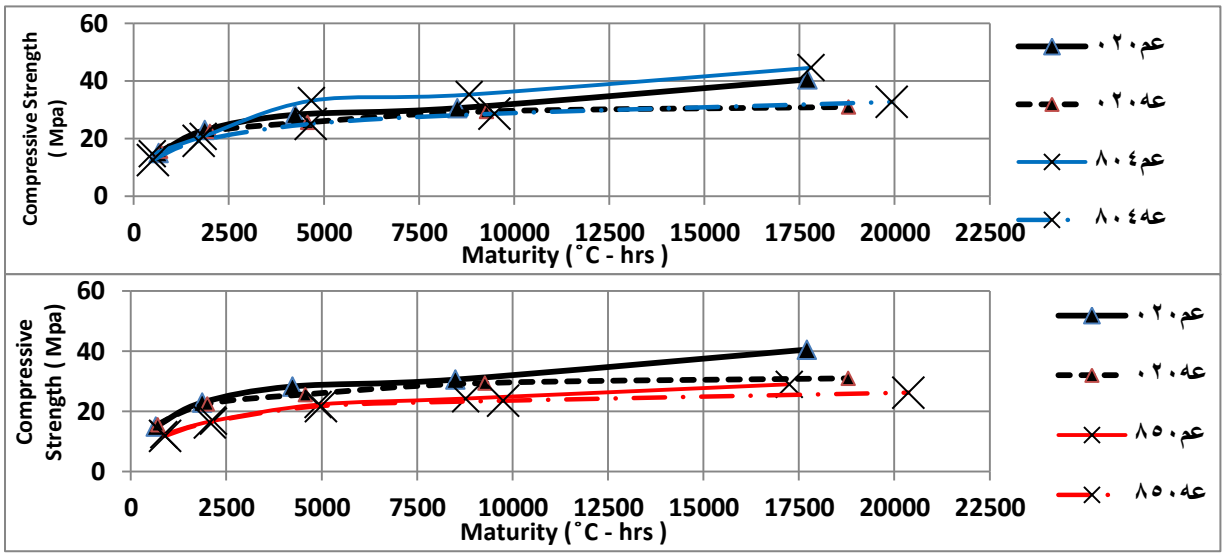
شكل رقم(5)ألعلاقة بين(درجات ألحرارة ألداخلية والخارجية (ألمحيط) وطرق ألمعالجة ، ألإنضاج) – ألعمر للخلطات ألخرسانية وخط معدل درجات ألحرارة ألأمثل لمنحنيات درجات ألحرارة



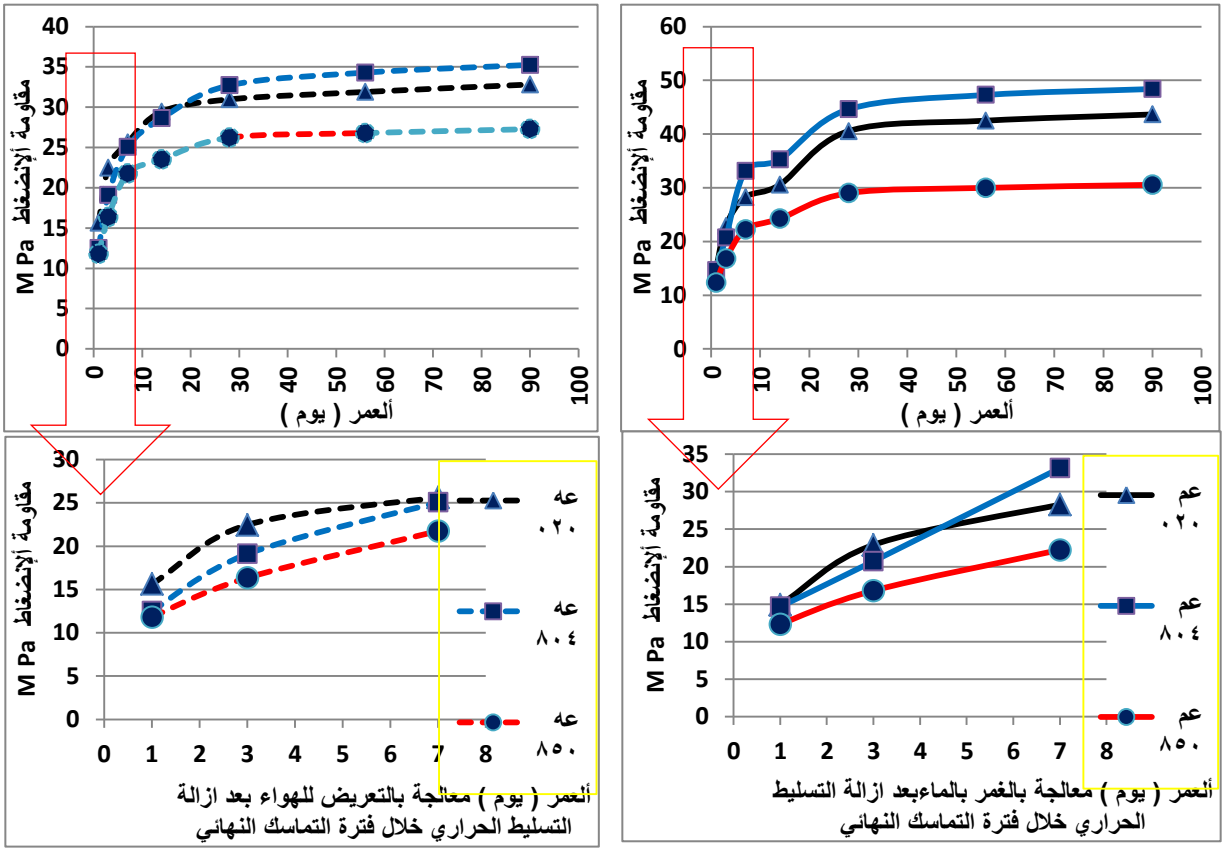
شكل رقم(6)علاقة ألعمر ألمكافئ – ألعمر ألفعلي للخلطات ألخرسانية ألمعرضة لدرجات ألتسليط ألحراري 4˚C,20˚C,50˚C خلال فترة ألتماسك ألنهائي



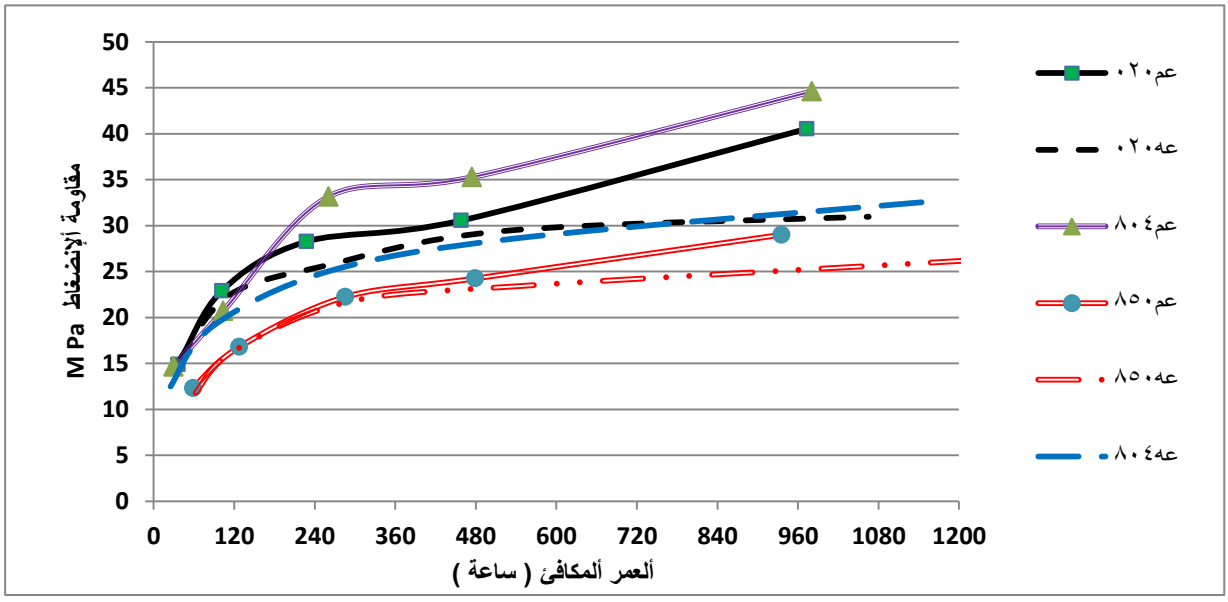
شكل رقم(7)علاقة ألإنضاج – ألعمر ألفعلي للخلطات ألخرسانية ألمعرضة لدرجات ألتسليط ألحراري 4˚C,20˚C,50˚C خلال فترة ألتماسك ألنهائي



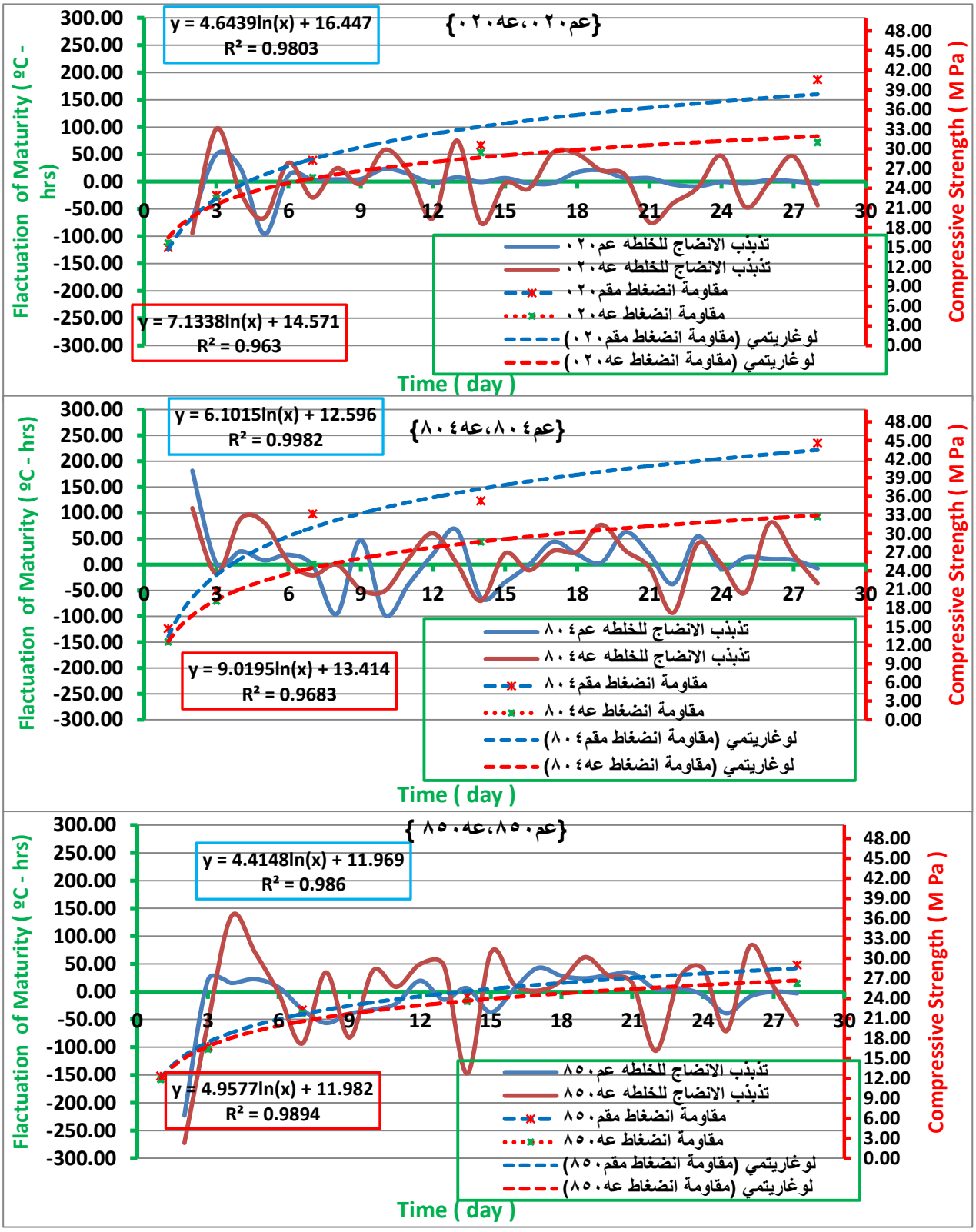
شكل رقم(8)علاقة مقاومة ألإنضغاط – ألإنضاج للخلطات ألخرسانية ألمعرضة لدرجات ألتسليط ألحراري 4˚C,20˚C,50˚C خلال فترة ألتماسك ألنهائي



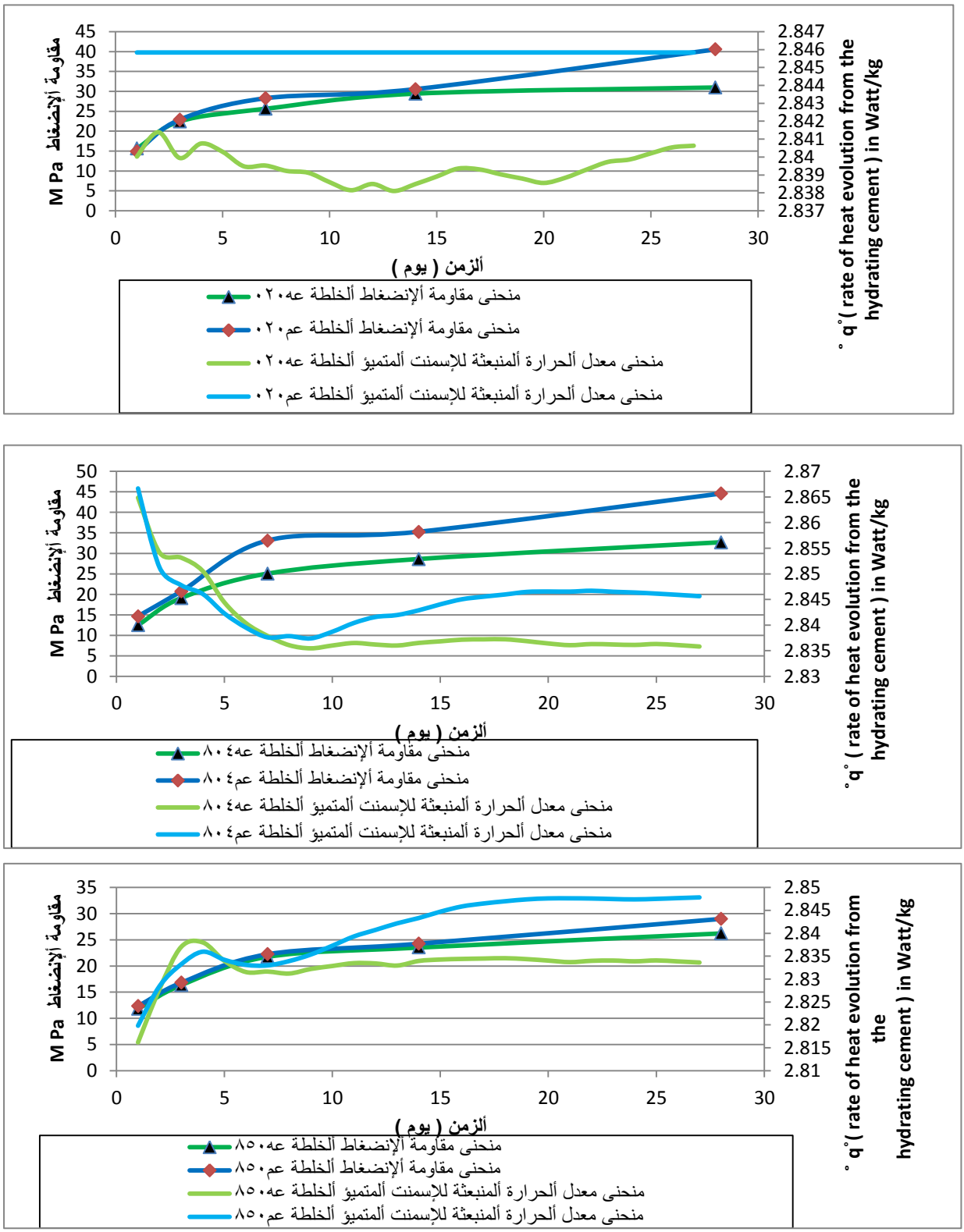
شكل رقم(9) علاقة مقاومة ألإنضغاط – ألعمر ألفعلي للخلطات ألخرسانية ألمعرضة لدرجات ألتسليط ألحراري 4˚C,20˚C,50˚C خلال فترة ألتماسك ألنهائي ولكلا طريقتي المعالجة



شكل رقم(10) علاقة مقاومة ألإنضغاط – ألعمر ألمكافئ للخلطات ألخرسانية ألمعرضة لدرجات ألتسليط ألحراري 4˚C,20˚C,50˚C خلال فترة ألتماسك ألنهائي



شكل رقم(11)علاقة(مقاومة ألإنضغاط ، ألتذبذب للإنضاج) - ألعمر ألفعلي للخلطات ألخرسانية ألمعرضة لدرجات ألتسليط ألحراري 4˚C,20˚C,50˚C خلال فترة ألتماسك ألنهائي



شكل رقم(12)علاقة(مقاومة ألإنضغاط ، معدل ألإنبعاث ألحراري)– ألعمر ألفعلي للخلطات ألخرسانية ألمعرضة لدرجات ألتسليط ألحراري 4°C,20°C,50°C خلال فترة ألتماسك ألنهائي

7 - قائمة المصادر

[1] Oluokun, F.A., E.G.B. , and J.H. Deatherage, *"Early-Age Concrete Strength Prediction by ·MaturityAnother Look"*. ACI MATERIALS JOURNAL, 1990. **V. 87, No.6,**: p. 565-575.

[2] Procedures, M.o.T., *Estimating concrete strength by the maturity method*, Tex-426-A, Editor 2002, Texas Department of Transportation.

[3] Luke, A., C.T.T. Hsu, and S. Punurai, *IMPLEMENTATION OF CONCRETE MATURITY METERS*. 2002, FHWA-NJ: New Jersey Institute of Technology Civil & Environmental Engineering.

[4] Godart, B. and Loïc Divet, *Lessons learned from structures damaged by delayed ettringite formation and the French prevention strategy*, in *Fifth international conference on Forensic Engineering*2013, Institution of Civil Engineers, : France.

[5] ASTM, in *" Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method "*C1074-08, ASTM International: West Conshohocken, PA.

[6] U.S.Bureau, *Concrete Manual.* 7th ed ,1963 642 pp, of Reclamation1963.

[7] Timm, A.G. and N.H.Withey, *Temperature Effect s on Compressive Strength of Concrete* Proc,ACI,vol.30(1934) pp . 159-180,,vol.31(1935) pp.165-180, 1934.

[8] Neelakantan, T.R., et al., *Prediction of 28-day Compressive Strength of Concrete from Early Strength and Accelerated Curing Parameters.* International Journal of Engineering and echnology (IJET), School of Civil Engineeering, SASTRA University, Thanjavur 613401, India., 2013. Vol 5 No 2 Apr-May 2013.

[9] G.E.Troxell , H.E.Davis, and J.W.Kelly, *Composition and Properties of Concrete".* 1968: " Mc Graw Hill Book Company , Second Edition.

[10] Kim, J.-K. and I. Chu, *Prediction of Temperature and Aging Effects on the Properties of Concrete*, in *3rd International Conferance on Sustainable Construction Materials and Tecnologies*2013, KAIST, Republic of Korea: Korea.

[11] ASTM, in *" Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates"*C136-08, ASTM International: West Conshohocken, PA.

[12] ASTM, in *" Standard Specification for Concrete Aggregates "*C33-08, ASTM International: West Conshohocken, PA.

[13] ألمواصفات ، القياسية العراقية رقم 5 لسنة 1984، خصائص ألإسمنت البورتلاندي الاعتيادي. الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية ، العراق.

[14] ASTM, in *" Test Method for Temperature of Freshly Mixed Portland-Cement Concrete"*C 1064-08, ASTM International: West Conshohocken, PA.

[15] ASTM, in *" Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens"*C 617-08, ASTM International: West Conshohocken, PA.

[16] ASTM, in *" Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory"*C 192-08, ASTM International: West Conshohocken, PA.

[17] ASTM, in *" Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete "*C 597-08, ASTM International: West Conshohocken, PA.