

## تأثير درجات الحرارة العالية على الخصائص الهندسية للكتل الخرسانية الخفيفة الوزن

رنا برهان عبدالرحمن  
مدرس مساعد

زينة عادل محمد  
مدرس مساعد

أ.د. عبد الحكيم حامد أحمد  
أستاذ

جامعة الموصل/ كلية الهندسة - قسم الهندسة المدنية

### الخلاصة

إن المنافع الاقتصادية والعملية المتوفرة في الكتل الخرسانية الخفيفة جعلتها تحتل في السنوات الأخيرة مكانة هامة في بناء المنشآت والإقبال على تنفيذها في ازدياد مستمر، حيث أن الكثافة القليلة للمادة تفيد في تأمين عزل حراري عالي للمباني مع أحمال ميتة اقل، وبشكل تقريبي فإن كافة أنواع الكتل الخرسانية الخفيفة تكون مقاومة للحرائق بطبيعتها، إضافة إلى أنها تتحمل أحمال عالية ويمكن قطعها بسهولة ودق المسامير بها والتعامل معها بأدوات نجارة عادية.

تناولت هذه الدراسة تأثير درجات الحرارة العالية على الكتل الخرسانية الخفيفة المهوأة (الثرمستون) من خلال تعريضها لمديات حرارية تضمنت  $^{\circ}C(150,350,550)$  لمدة ساعة واحدة كما تم دراسة وتأثير طرق التبريد المتبعة بعد التسخين (تبريد بالهواء، تبريد بالماء) على مقاومة الانضغاط والانحناء لهذه الكتل كما تم قياس تأثير درجات الحرارة العالية على قابلية الامتصاص للماء أثناء تبريد العينة، أظهرت نتائج الدراسة إن مقاومة انضغاط الثرمستون تزداد ازدياد طفيفا بعد تسخينها وتبريدها بالهواء كما تزداد بإزدياد وقت التعرض للحرارة بحدود ساعة ونصف ثم تبدأ بالانخفاض بعد زيادة هذه المدة كما تنخفض مقاومة الانضغاط عند تبريد العينات بالماء، وبالنسبة لمقاومة الانحناء كان تأثير الحرارة فيها سلبيا لكل الحالات.

الكلمات الدالة: الخرسانة، الكتل الخرسانية الخفيفة الوزن، الحرارة العالية

## Effect of High Temperature on Engineering Properties of Light Weight Blocks Concrete

Dr. A. H. Ahmed  
Professor

Z. A. Mohammed  
Assistant lecturer  
Civ. Engrg. Dept./ Mosul Univ.

R. B. Abdurrahman  
Assistant lecturer

### Abstract

Light weight concrete blocks have an important role in the last years for it is practical and economical benefit in the building construction. An It has light density providing high thermal insulation and less dead load normally all light weight concrete has fire resistance in its nature, as well as, these type of light weight block has the ability to support quite large amount of load and relatively easy to work and can be cut and shaped with hand tools.

The effect of high temperature on light weight concrete blocks was studied after exposure to  $(150,350,550)^{\circ}C$  for one hour. The effect of the method of cooling after heating (by air or water) on the compressive and flexural strengths were studied and compared together. The water absorption capacity was also measured during the process of water cooling. The compressive strength relatively increased with high temperature and air cooling , and also increased with measuring the exposed time up to (90) minute, above this time the compressive strength decreased. For water cooling the compressive strength trend to decrease . Flexural strength is decreased as the exposed temperature increased in all cases.

Key words: Concrete ,Light Weight Concrete, High Temperature.

**1: المقدمة**

تنتج الكتل الخفيفة بثلاثة طرق إما باستخدام الركام الخفيف أو التهوية بفقااعات الهواء أو باستخدام مواد حصى خالية من العناصر الناعمة.

في المنشآت الخرسانية يمثل الوزن الذاتي للمنشأ نسبة عالية من الحمل الكلي المؤثر على المنشأ، لذا فمن الواضح بأن هنالك فوائد كثيرة من تقليل كثافة الخرسانة، فالتوفير في حمولات البناء يمكن أن يؤدي إلى تقليل أبعاد الأساسات وبذلك يمكن توفير النفقات والوقت في عملية البناء، كما أن التعامل مع الكتل الخرسانية الخفيفة يكون سهلاً بالمقارنة مع الخرسانة الاعتيادية من حيث تجهيزات الرفع والتركيب وبالتالي الحصول على إنتاجية عالية، كما أن الكتل الخفيفة الوزن تعطي عزلاً حرارياً أفضل مقارنة مع كتل الخرسانة الاعتيادية، لهذا يتميز استعمال الكتل الخرسانية الخفيفة في أعمال الهندسة المدنية بكثير من النقاط، منها الكلفة، وسرعة الإنشاء والمظهر المعماري، ومن النقاط الأساسية هي أداء هذه الكتل الخرسانية عند تعرضها للحريق والتي قد يغفل عنها بالرغم من أخذ جميع العوامل المؤثرة بالحسبان، فالخصائص الفيزيائية والكيميائية لهذه الكتل قد تتغير عند التعرض لدرجات الحرارة العالية وهذا التغير وإن اختلفت مظاهره فإنه قد يؤثر سلباً على خصائص هذه الكتل [2,1].

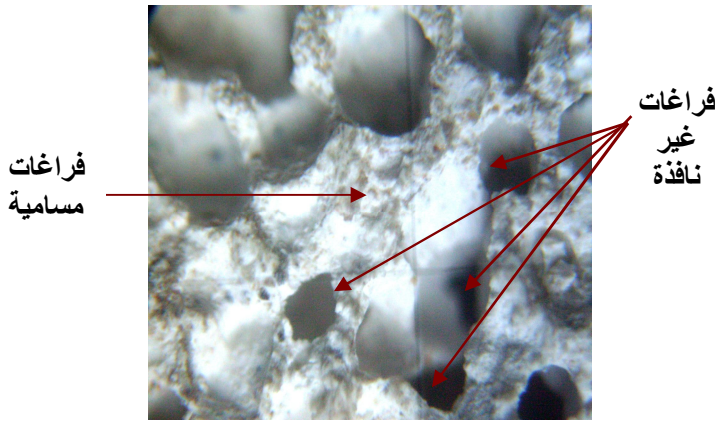
**2: آلية إنتاج الكتل الخرسانية الخفيفة (الثرمستون)**

تنتج الكتل الخرسانية الخفيفة بواسطة إدخال الهواء أو غاز معين ضمن الرابطة الإسمنتي فتتكون خرسانة مهواة من رابطة أسمنتي وماء ومسحوق الألمنيوم الناعم الذي يضاف بنسبة % 0.2 من وزن الاسمنت بالإضافة إلى رمل سيليسي ناعم ولا يستخدم الركام الخشن. تخلط المكونات السابقة فتتشكل فقاعات من الهيدروجين ضمن الكتلة الأسمنتية ناتجة عن تفاعل مسحوق الألمنيوم مع هيدروكسيد الكالسيوم الموجود في العنصر الأسمنتي، هذه الفقاعات تسبب تمدد الخليط قبل الجفاف وهكذا تتشكل البنية الخلوية ولا يوجد هناك أي مخاطر من نشوب حريق بسبب غاز الهيدروجين وذلك لأنه ينفذ من الخلايا ويحل محله الهواء بشكل كلي [3].

يتم إنتاج الكتل الخرسانية في المعمل عن طريق صب الخليط في قوالب معدنية قائمة الزوايا تسمح له أن يتمدد ويجف خلال فترة زمنية من ساعتين إلى ست ساعات في درجة حرارة معينة، وبعد مرور بعض الوقت تتم عملية القطع بواسطة أسلاك معدنية طويلاً أولاً ثم عرضياً، تتقل القطع المتشكلة وتوضع داخل فرن موحد من أجل إنضاجها ويفتح البخار بداخله بضغط يصل إلى 10 ضغط جوي على الأقل وذلك لفترة اثنتي عشرة ساعة حيث يخفض هذا الضغط تدريجياً ليتم دورة إنتاج كاملة مدتها أربع وعشرون ساعة [4].

**3: خصائص واستخدامات الثرمستون**

تتراوح كثافة الثرمستون الاعتيادية ما بين  $500-1100 \text{ kg/m}^3$  خصوصاً عندما يستعمل خليط من النورة والاسمنت مع رمل مسحوق أو ناعم جداً، وتتناسب المقاومة والتوصيل الحراري طردياً مع الكثافة، وتمتلك الخرسانة المهواة قابلية امتصاص عالية للماء يمكن تقليلها وذلك بمعالجة الخرسانة الخفيفة بضغط بخار عالي والذي يحسن أيضاً من مقاومة الانضغاط [5,3].



شكل (1): مقطع عرضي لعينة من كتلة

يستخدم الترمستون بصورة رئيسية في القواطع المستعملة لأغراض العزل الحراري بسبب انخفاض توصيلها الحراري، كما يمكن قصها وكذلك تثبيت مسامير فيها بسهولة، كما وان متانتها معقولة رغم أن قابليتها لامتصاص الماء عالية، إن معدل نفاذ الماء خلالها يكون قليلا لان الفجوات الكبيرة غير متصلة مع بعضها، ولهذا السبب فان مقاومتها للانجماد تكون عالية [7,6]. الشكل (1) يبين مقطع عرضي للعينة من كتل الترمستون التي تم استخدامها بالفحص مكبرة تحت المجهر.

#### 4 : الهدف من البحث

دراسة تأثير درجات الحرارة العالية على بعض الخصائص الهندسية للكتل الخرسانية الخفيفة (الترمستون) بعد تعريضها لدرجات حرارية مختلفة تضمنت  $^{\circ}\text{C}(150,350,550)$  لمدة ساعة واحدة، وتأثير طريقة التبريد على مقاومة الانضغاط والانحناء لهذه الكتل وقابلية امتصاصها للماء أثناء تبريدها وذلك بغمرها بالماء لتمثيل تأثير الماء المستعمل عادة في إطفاء الحريق، ومدى تأثير ساعات التعرض المختلفة للحرارة العالية على مقاومة الانضغاط لملاحظة إمكانية استخدام هذه الكتل كعازل حراري في المنشآت المعرضة لدرجات حرارية عالية وتحديد أسلوب التبريد الملائم فيما إذا تعرضت للحريق أو للحرارة العالية.

#### 5 : البرنامج العملي

##### 1.5: المواد المستعملة

استخدمت عينات من كتل الترمستون المحلي الصنع المنتج في معمل كربلاء /جنوب العراق بأبعاد  $\text{cm}(60 \times 25 \times 12)$  ذات كثافة  $(611 \text{ kg/m}^3)$  وذات قابلية امتصاص %43 الناتجة من الفرق بين الوزن الجاف للعينات المسخنة بدرجة حرارة  $^{\circ}\text{C}(100-110)$  ولمدة 24 ساعة وبين الوزن الرطب الناتج من غمرها بالماء لمدة 24 ساعة بعد التسخين مقسوما على الوزن الجاف، قطعت هذه الكتل إلى عينات مكعبة بأبعاد  $\text{cm}(10 \times 10 \times 10)$  وأعتاب بأبعاد  $\text{cm}(50 \times 10 \times 10)$  لغرض فحص مقاومة الانضغاط والانحناء على التوالي.

##### 2.5: آلية تسخين العينات إلى درجات الحرارة العالية وتبريدها

استخدم فرن كهربائي للتسخين بدرجات حرارية مختلفة ضمت  $^{\circ}\text{C}(150,350,550)$  وضعت العينات بداخله لمدة ساعة واحدة بعد وصوله إلى الدرجة المطلوبة وبدون تسليط أي حمل عليها، بعد التسخين تركت العينات لتبرد بإتباع أسلوب تبريد مختلفين، الأسلوب الأول يعرف بأسلوب التبريد البطيء وهو ترك العينات لتبرد بالهواء عند درجة حرارة المختبر واخذ وزنها في اليوم الثاني لمعرفة مدى تغير الكثافة بارتفاع الحرارة، أما الأسلوب الثاني وهو السريع فتم بغمر العينات بالماء لمدة ربع ساعة مباشرة بعد التسخين ثم رفعها ومسح السطح الخارجي لها واخذ وزنها لمعرفة مقدار امتصاص العينات للماء أثناء التبريد [8,9]، ثم فحصت العينات لمعرفة تأثير التسخين وطريقة التبريد على مقاومة الانضغاط والانحناء.

##### 3.5: قياس امتصاص العينات للماء أثناء التبريد

تم غمر العينات بالماء لمدة ربع ساعة بعد التسخين مباشرة لقياس مقدار امتصاصها للماء وقياس مقدار الزيادة الحاصلة بالوزن بعد الغمر، تم اختيار وقت غمر العينات بالماء لمدة ربع ساعة وذلك لمحاولة التمثيل المناسب لعملية تبريد الترمستون عند تعرضه للحرائق.

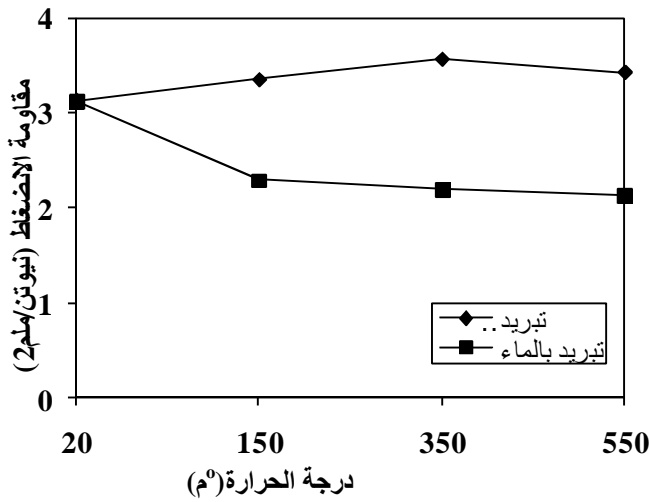
## 6: النتائج والمناقشة

## 1.6: مقاومة الانضغاط

تم قياس مقاومة الانضغاط طبقاً للمواصفة البريطانية (BS 1881:Part 116) [10]، الشكل (2) يوضح نتائج الفحص للعينات المكعبة عند درجة حرارة المختبر  $20^{\circ}\text{C}$  وعند درجات الحرارة العالية  $(550, 350, 150)^{\circ}\text{C}$  وتأثير طريقتي التبريد بالهواء والماء عليها، والنتائج المبينة هي معدل ثلاث عينات لكل حالة.

الملاحظ أن مقاومة العينات ترتفع ارتفاع طفيف بازدياد درجات الحرارة وذلك عند تبريدها بالهواء، حيث توضح النتائج، شكل (2)، أن مقاومة الانضغاط ازدادت للعينات المبردة بالهواء بمقدار 7% بعد التسخين بدرجة حرارة  $150^{\circ}\text{C}$  وبلغت ذروتها لتصبح الزيادة 14.1% عند درجة الحرارة  $350^{\circ}\text{C}$  ثم انخفضت النسبة لتصبح الزيادة 9.6% عند درجة الحرارة  $550^{\circ}\text{C}$  نسبة إلى مقاومتها عند درجة الحرارة الاعتيادية  $20^{\circ}\text{C}$ ، وهذا السلوك مغاير لسلوك الخرسانة الاعتيادية، إذ أشارت معظم البحوث [11] إلى انخفاض مقاومة الانضغاط للخرسانة الاعتيادية عند تعرضها للحرارة العالية، والسبب في هذا التباين يعود لانخفاض التوصيل الحراري لكثافة الترمستون، فالتوصيل الحراري لأي مادة يعتمد على التوصيل

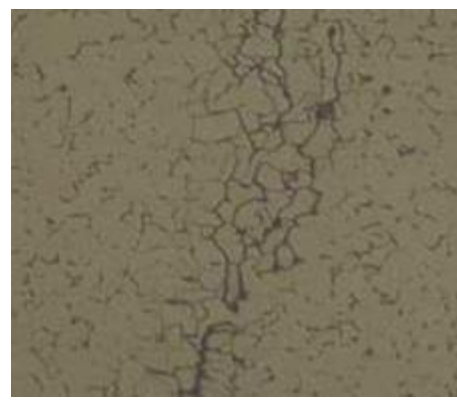
الحراري لمكوناتها وهي في الخرسانة تتأثر بنوع الركام ومحتوى الرطوبة، فكلما ازداد المحتوى الرطوبي ازدادت التوصيلية، كما أن الركام له توصيل حراري أعلى من عجينة الاسمنت [11]، وكما أشرنا مسبقاً فإن كثافة الترمستون خالية من الركام الخشن، لهذا فإن التوصيلية الحرارية للخرسانة الاعتيادية تكون أكبر بحوالي عشرة مرات من التوصيلية الحرارية للكثافة الخرسانية الخفيفة (الترمستون)، فالتوصيلية الحرارية لخرسانة اعتيادية ذات كثافة  $(2400\text{Kg/m}^3)$  تبلغ  $(2.561\text{J/m}^2\text{S}^{\circ}\text{C/m})$  بينما لكثافة خرسانية خفيفة (ترمستون) ذات كثافة  $640\text{Kg/m}^3$  تبلغ  $0.223\text{J/m}^2\text{S}^{\circ}\text{C/m}$  [12]. أما التبريد بالماء فأدى إلى انخفاض



الشكل (2) : مقاومة الانضغاط بدرجات حرارة وبطرق تبريد مختلفة



الصورة توضح تولد الشقوق



نمو الشقوق واتساعها

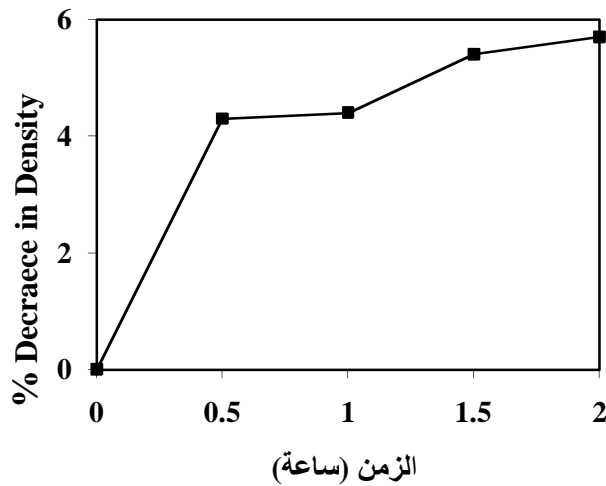
في مقاومة الانضغاط مع زيادة درجة حرارة التسخين وقيم متقاربة ابتداءً بنسبة 26.8% عند  $150^{\circ}\text{C}$  وانتهى بنسبة 31.9% عند  $550^{\circ}\text{C}$ ، فالتبريد المفاجئ يولد اجهادات حرارية الأمر الذي يسبب نمو الشقوق المتولدة مسبقاً بتأثير الحدود المطلوبة للمواصفة التي حددتها بعض المصادر [13] إذ تعتبر معدل مقاومة الانضغاط للترمستون 2.1 الحرارة

واتساعها [8]. وعلى ضوء ذلك فإن نتائج فحص مقاومة الانضغاط للعينات المبردة بالهواء تعتبر ضمن نيوتن/ملم<sup>2</sup> عند كثافة 450Kg/m<sup>3</sup> وترتفع المقاومة لتصل إلى 3.1 نيوتن/ملم<sup>2</sup> عند كثافة 580Kg/m<sup>3</sup>. أما للعينات المبردة بالماء فإنها لازالت قابلة للتحمل حسب المواصفة حيث بلغت مقاومتها 2.2 نيوتن/ملم<sup>2</sup> عند درجة حرارة 550 °C

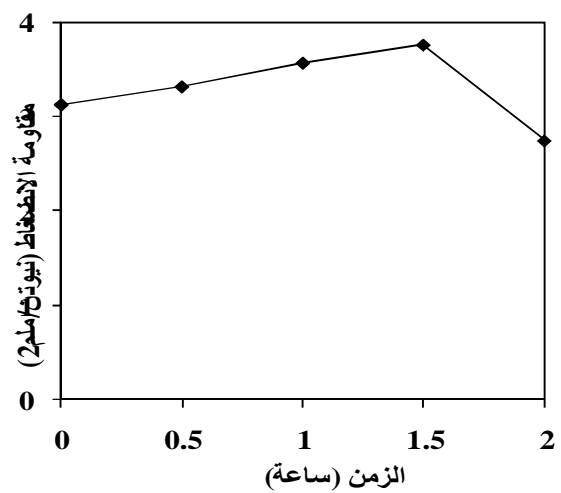
## 2.6: تأثير مدة التسخين على مقاومة الانضغاط والكثافة

تم فحص مقاومة الانضغاط للعينات تحت تأثير حرارة عالية ثابتة مقدارها 350°C وذلك بتسخينها لفترات زمنية مختلفة (0.5، 1، 1.5، 2) ساعة لدراسة تأثير وقت التسخين في درجة حرارية معينة على مقاومة الانضغاط علما أن تبريد العينات في الهواء، الأشكال (3،4) توضح تأثير مدة التسخين بدرجة حرارة عالية نسبيا (350°C) على كل من مقاومة الانضغاط والكثافة لعينات الترمستون، كان التغير بمقاومة الانضغاط قد أعطى سلوكا ايجابيا إذ ارتفعت المقاومة عما كانت عليه عند درجة حرارة المختبر حيث كانت 3.13 MPa وارتفعت لتصبح 3.32 MPa بعد تسخينها لمدة نصف ساعة أي كانت الزيادة 6.1% واستمرت المقاومة بالزيادة حيث وصلت أعلى نسبة زيادة لتكون 20.1% عند التعرض للحرارة لمدة ساعة ونصف لتصبح 3.76 MPa ، ويعود السبب إلى التسخين غير المتجانس واختلاف الحرارة في مركز العينات الناتج من كونها ذات توصيل حراري قليل وفقدان الرطوبة أدى إلى الزيادة في المقاومة، لكن عند تسخين العينات لمدة ساعتين أعطت المقاومة سلوكا سلبيا إذ أخذت المقاومة بالانخفاض ونسبة 12.1% تقريبا لتصبح مقاومة الانضغاط 2.75 MPa بزيادة المدة الزمنية للتعرض للحرارة العالية وذلك بسبب زيادة نسبة الشقوق الشعرية المتكونة التي يكون لها التأثير الواضح على انخفاض المقاومة.

يوضح الشكل (4) مقدار نسبة انخفاض كثافة العينات بعد تسخينها بدرجة حرارة 350°C وبفترات زمنية مختلفة حيث يزداد هذا الانخفاض بزيادة مدة التعرض للحرارة العالية إذ أصبحت نسبة انخفاض الكثافة 4.3% عند التسخين لمدة نصف ساعة واستمر ليلعب الانخفاض أقصاه ليصبح بنسبة 5.7% عند التسخين لمدة ساعتان، وقد يرجع سبب النقصان إلى فقدان الرطوبة الداخلية حيث أن ازدياد المدة الزمنية المعرضة للتسخين تصل الحرارة إلى أعماق العينات المكعبة وبهذا يزداد مقدار الانخفاض الحاصل في الكثافة لزيادة فقدان الرطوبة الداخلية، والنتائج في الأشكال (3.4) هي معدل

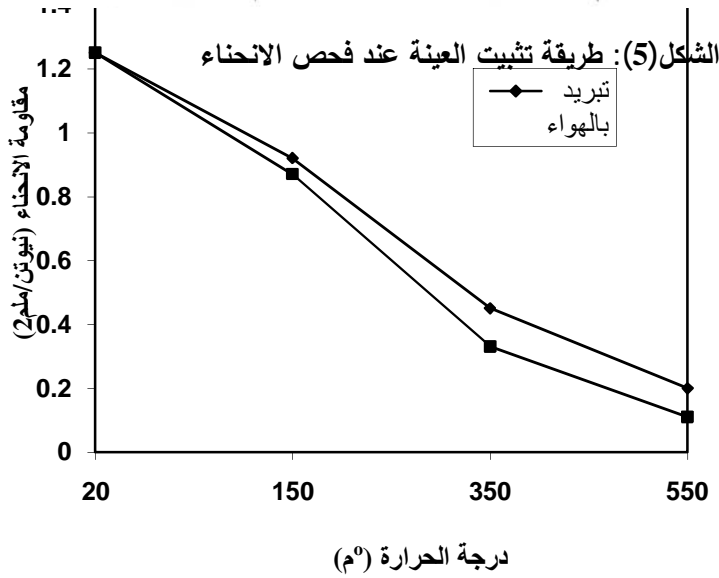
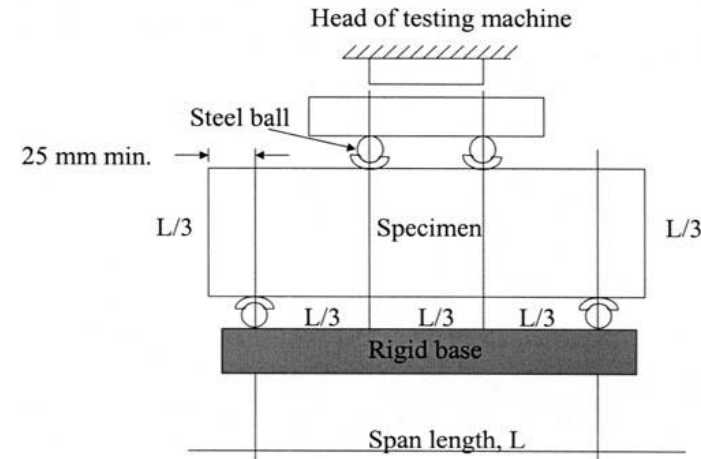


الشكل (4): النسبة المئوية لانخفاض الكثافة بأوقات تسخين مختلفة، عند درجة حرارة 350°C



الشكل (3): تأثير التسخين على مقاومة الانضغاط للترمستون بفترات تسخين مختلفة

يعتبر فحص الانحناء احد طرق القياس غير المباشر لمقاومة الشد، حيث تم تثبيت العينة (50×10×10)cm



الشكل (6): مقاومة الانحناء بدرجات حرارة وبطرق تبريد مختلفة

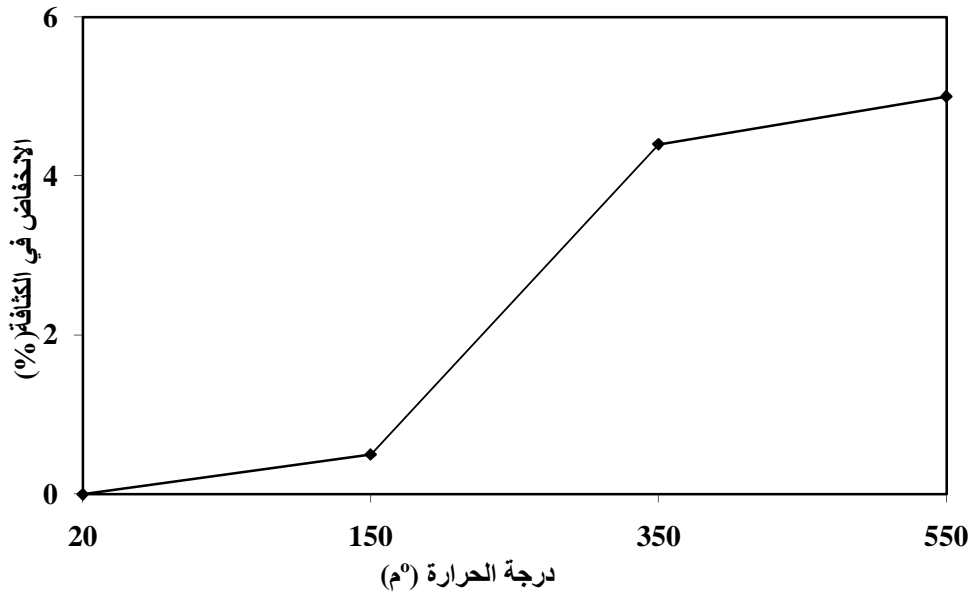
كما موضح في الشكل (5) وذلك بتسليط الحمل على بعد ثلث طول العتب من المساند وذلك وفقا للمواصفة الأمريكية (ASTM C78 :1994) [14].

اجري الفحص على العينات بعد تعريضها لمديات حرارية عالية، ومن ثم تبريد قسم من العينات بالهواء والقسم الآخر بالماء وبمعدل ثلاث عينات لكل فحص، الشكل (6) يوضح مقاومة الانحناء وتأثير أسلوب التبريد عليها. من الواضح أن مقاومة الانحناء قد انخفضت بارتفاع درجة الحرارة واعتمادا على أسلوب التبريد المتبع إذ عند التبريد بالهواء أخذت المقاومة بالانخفاض ونسبة % 26.4 عند التسخين بدرجة حرارة 150°C وازدادت نسبة الانخفاض لتصبح % 84 عند التسخين بدرجة حرارة 550°C، وهذا مخالف لتصرف مقاومة الانحناء، ويرجع السبب إلى أن مقاومة الانحناء تتأثر بالشقوق المتولدة أكثر مما تتأثر به مقاومة الانحناء، فعدم التوافق الحراري ما بين مكونات الكتلة من حيث الخصائص الحرارية يؤدي الى تكوين شقوق ما بين مكوناتها وانفصالها عن بعضها بظهور تشققات شعرية دقيقة [15].

#### 4.6: تأثير التسخين على كثافة الثرمستون

تم قياس وزن العينات قبل وبعد التسخين في الفرن ولمدة ساعة واحدة وتم حساب النقصان الحاصل في الكثافة، إذ انخفضت الكثافة بمقدار % 0.5 عند درجة حرارة 150°C وازداد الانخفاض بالكثافة حتى وصل إلى % 4.4 عند التسخين بدرجة حرارة 350°C، وكان أعلى انخفاض في الكثافة عند التسخين بدرجة حرارة 550 °C إذ سجلت نسبة الانخفاض فيها بمقدار % 5 نسبة إلى الكثافة عند درجة الحرارة 20°C ويرجع ذلك إلى فقدان



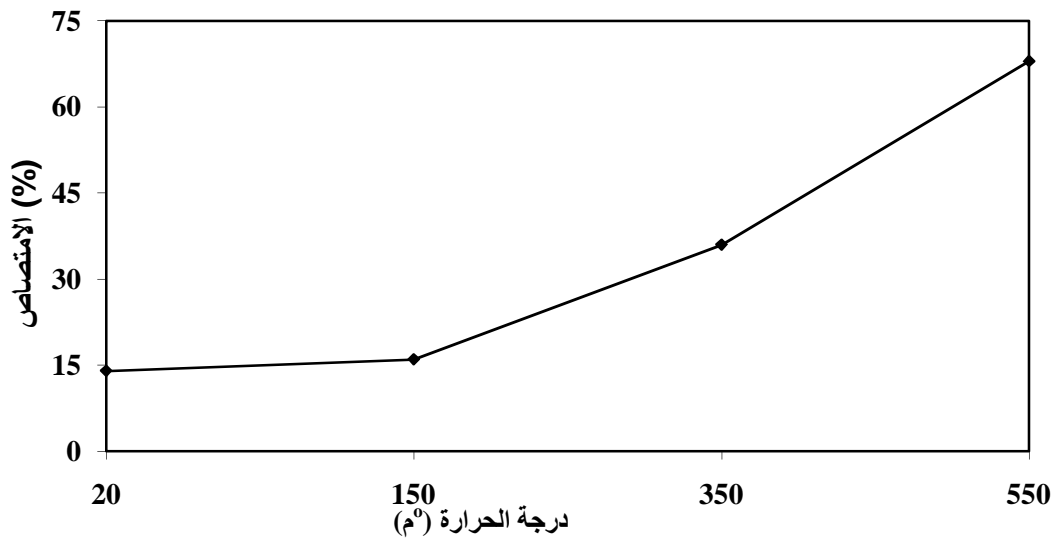


الشكل (7): النسبة المئوية لانخفاض كثافة الترمستون بارتفاع درجة الحرارة

الرطوبة الحرة لهذه العينات حيث يزداد مقدار فقدان بارتفاع درجات الحرارة، الشكل (7) يبين النسبة المئوية لفقدان كثافة العينات المكعبة بارتفاع الحرارة.

#### 5.6: امتصاص العينات للماء أثناء التبريد

تم اخذ وزن العينات مباشرة بعد إخراجها من الفرن، وغمرت بالماء لمدة ربع ساعة لغرض التبريد ولتقريبها من الظروف الحقيقية لواقع الأبنية المتعرضة للحرارة العالية والمستخدم فيها التبريد بالماء أثناء إطفاء الحرائق، أخرجت العينات من الماء ومسح السطح الخارجي لها بقطعة قماش جافة وتم قياس الوزن من جديد لأجل تحديد الفرق في الوزن الناتج من امتصاص العينات للماء عند التبريد بعد تعرضها للحرارة العالية، الشكل (8) يوضح النسبة المئوية لامتصاص الماء.



الشكل (8): النسبة المئوية لامتصاص العينات عند التبريد بالماء

إن تعريض كتل الخرسانة الخفيفة للحرارة العالية يجعلها ذات قابلية امتصاص أعلى للماء وهذه القابلية تزداد بزيادة درجة التعرض للحرارة العالية، إذ بلغت نسبة زيادة امتصاص المكعبات للماء 2% عند درجة 150°C وازدادت بمقدار 22% عند درجة 350°C وأعلى نسبة بلغت 54% عند درجة 550°C نسبة إلى قابلية الامتصاص عند درجة حرارة 20°C. إن التعرض للحرارة يؤدي إلى اتساع الشقوق التي تزداد بزيادة درجة الحرارة لهذا تزداد قابلية الامتصاص العينات بزيادة حرارة التسخين وقد تم ملاحظة ذلك على النماذج المعرضة لدرجات حرارة أعلى من 550°C.

### 7: الاستنتاجات

بالاعتماد على النتائج العملية يمكن استنتاج ما يلي:-

1. لوحظ أن مقاومة الانضغاط للترمستون تتأثر كثيرا بدرجة حرارة التسخين المسلطة عليها، إذ أن المدى الحراري وفترة التعرض وطريقة التبريد تعتبران من أهم وابرز العوامل المؤثرة على المقاومة، إذ إن مقاومة انضغاط الترمستون تزداد بشكل نسبي بارتفاع الحرارة وتصل أقصاها عند درجة الحرارة 350 °C، حيث ازدادت بنسبة 14.1% عما كانت عليه في الحالة الاعتيادية وانخفضت هذه الزيادة قليلا لتكون 9.6% عند تسخينها بدرجة 550 °C، كما أن التبريد بالماء أعطى انخفاض كبير في المقاومة يزداد بازدياد حرارة التسخين، وتزداد مقاومة الانضغاط بازدياد الفترة الزمنية المعرضة فيها للحرارة العالية، حيث بلغ مقدار الزيادة 20.1% من مقاومتها الأصلية بعد تعرضها لحرارة 350 °C لمدة ساعة ونصف، إلا إنها انخفضت بعد زيادة هذه المدة، حيث بلغ مقدار النقصان 12.1% من مقاومتها الأصلية بعد تعرضها لمدة ساعتين عند نفس درجة الحرارة.
2. تتخفف مقاومة الانحناء بشكل سلبي وكبير بارتفاع الحرارة حيث فقدت نسبة 84% من المقاومة عند تسخينها بدرجة 550 °C وتبريدها بالهواء، ويزداد مقدار الانخفاض عند تبريدها بالماء.
3. تتخفف كثافة الترمستون بارتفاع الحرارة والنقصان الحاصل يمثل فقدان الرطوبة الحرة، ويزداد الانخفاض كذلك بزيادة المدة الزمنية المعرضة فيها العينات للتسخين.
4. يزداد امتصاص الماء لعينات الترمستون كلما سخنت بدرجة حرارة أعلى حيث أن الشقوق الشعرية الناتجة بعد تعرضها للحرارة تزداد بازدياد الحرارة وتعمل على زيادة امتصاص الماء لهذه العينات.
5. يوصى بعدم تعريض الخرسانة الخفيفة (الترمستون) للماء مباشرة في حالة اطفاء الحرائق للمنشآت المستعملة فيها الخرسانة الخفيفة لما له من تأثير سلبي على الخصائص الهندسية لهذه الخرسانة.

### المصادر

1. Wittmann, F.H., "Advances in Autoclaved Aerated Concrete", Proceedings of the Third RILEM International Symposium, Zurich, 1992.
2. Alexander, C. and Associates, "A Pattern Language", Oxford Press, 1977.
3. الخلف , مؤيد نوري و يوسف ,هنا عبد, "تكنولوجيا الخرسانة", الجامعة التكنولوجية, مركز التعريب والنشر , 1984.
4. Narayanan, N. and Ramamurthy, K., "Structure and Properties of Aerated Concrete", a review, Cement Concrete Composition, Vol. 22, 2000, pp 321-329.
5. Narayanan, N. and Ramamurthy, K. "Micro-Structural Investigations on Aerated Concrete", Cement and Concrete Research, Vol.30, 2000, pp 457-464
6. Ungkoon, Y., Sittipunt, C., Namprakai, P., Jetipattaranat, W., Kim, K. and Analysis of Microstructure and Properties of Autoclaved "Charinpanitkul, T., , Journal of Industrial and "Concrete Wall Construction Materials Aerated Engineering Chemistry, Vol.13, No.7, 2007, pp 1103-1108.
7. 1998, "Standard Specifications for Precast Autoclaved Aerated -ASTM C 1386 Concrete (PAAC) Wall Construction Units", American Society for Testing and , Vol. 0402 2003Materials,



8. الالوسي، محمد علي و فياض، فارس إسماعيل ، "تأثير طريقة التبريد على مقاومة انضغاط الخرسانة المعرضة إلى درجات حرارة عالية"، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد الثالث، العدد الأول ، 1985
9. Mohamed bahai , G.T.G., "**Effect of Exposure Time and Rates of Heating and Cooling on Residual Strength of Heated Concrete**", Magazine of Concrete Research, Vol.38, No.136, Sep., 1986, pp 151-158.
10. BS 1881 :Part 116 : 1983, "**Testing of Hardened Concrete**", British Standard Institution, 1983.
11. Schneider, U., "**Concrete at High Temperature**", Fire Safety Journal, Vol. 13, 1988, pp 55-65.
12. Neville, A.M. , "**Properties of Concrete**", 3<sup>rd</sup> Edition, Pitman Publishing Ltd, London, 1995.
13. "**Celcon Building Blocks**", Technical Handbook, 129 Kingsway, London, Wc2b, 6NU,Ff4,Ci/Sfb, June,1971,pp 23
14. ASTM C78 - 1994, "**Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Third-Point Loading)**", American Society for Testing and Materials, 1994. Vol. 0402
15. Kodur, V.K.R. , Sultan, M.A., "**Effect of Temperature on Thermal Properties of High Strength Concrete**", Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, Vol. 15, No.2, April, 2003, pp 101-106.

تم اجراء البحث في كلية الهندسة – جامعة الموصل