بسم الله الرحمن الرحيم

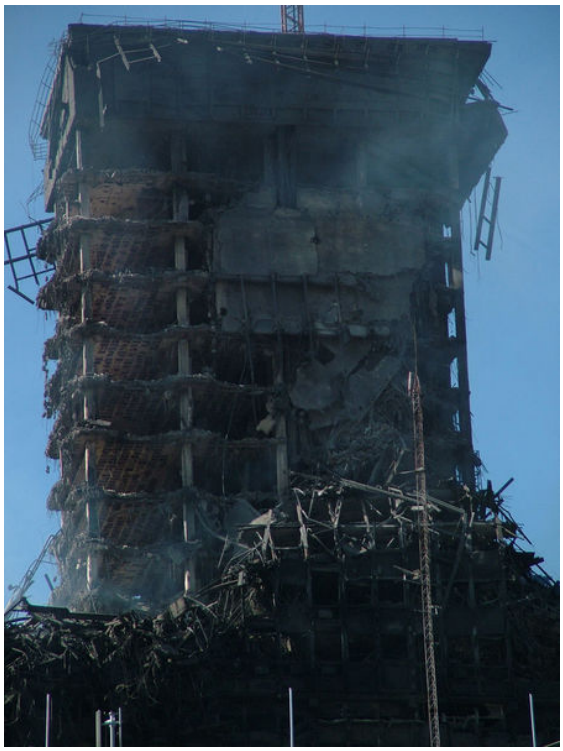
١-١مقدمة

تتعرض العناصر الإنشائية خلال فترة استثمارها إلى ظروف عمل مختلفة وقد تكون مغايرة عن الاعتبارات التصميمية لهذه العناصر مما يؤدى إلى التأثير على متانة وقوة تحملها وديمومتها ويجعلها بحاجة إلى إعادة تقييم قوة تحملها ومتانتها. وتعتبر ظاهرة الحريق وما تسبب من ارتفاع فى درجات الحرارة من الظواهر التى يجب إعطائها أهمية خاصة نظرا لتأثيرها على متانة وديمومة المنشآت الخرسانية .وتعتبر مسالة تامين العناصر الإنشائية المختلفة لمقاومة الحريق ودرجات الحرارة العالية ذات أهمية كبيرة. ولتقييم متانة المنشآت وقوة تحمل العناصر الإنشائية المختلفة بشكل صحيح لابد من تحديد مواصفات المواد الإنشائية بعد تعرضها لدرجات الحرارة العالية حيث يحدث تغير فى الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة ولحديد التسليح تبعا لنوعه ودرجات الحرارة التى يتعرض لها ومدة تأثيرها.

وتأثر مختلف أنواع الأبنية من جراء نشوب الحرائق فيها حيث يكون الضرر كبيرا أو جزئيا للمبنى وفى كثيرا من الأحيان قد يكون من الضروري هدم المبنى جزئيا أو كليا. و فى مطلق الأحوال فان مقدار الضرر الناجم عن اى حريق يتعلق إلى حد كبير بدرجة الحرارة التى وصل إليها الحريق وبالتالى درجة تسخين المنشأ ككل أو بعض عناصره الإنشائية. وان الشعور باليأس والرعب لمقدار الضرر الحادث هو أول مانشعر به على الأغلب لدى مشاهدتنا بناء متضرر بالحريق . ويتوقف هذا الوضع على مقدار الحطام المتناثر حول المبنى مع وجود الرائحة الواخزة الناتجة عن الأشياء العديدة المحترقة وفى اغلب الحالات وان كان الضرر ليس خطيرا أو كبيرا كما يظن فى البداية غير انه من الضرورى التفكير بقرارات فورية من الواجب اتخاذها لتامين المنشأ لفترة قصيرة سواء أكان من الضرورى القيام بأعمال تدعيم مؤقتة أو تهديم للأجزاء المتضررة كثيرا والتى

تشكل خطرا. وعلى الأرجح فانه سيكون من الضرورى فى بعض الحالات تقرير ذلك بسرعة وبعد الحريق مباشرة استنادا إلى المشاهد العينية والى ملكة التميز المتوفرة لدى المهندس الخبير. وتجدر الإشارة إلى أن عملية تقييم أضرار المبانى من جراء الحريق يطلق عليها اسم الفن الأسود (Black Art)وهى تعتمد بصورة أساسية على الخبرة الشخصية. وتجدر الإشارة إلى أن شركات التامين فى انجلترا سواء الخاصة بالمالكين أو المستأجرين يلزمها إضافة إلى ذلك معرفة ما إذا كان من الممكن الحفاظ على المبنى . وهذا أمر يجب مناقشته اقتصاديا. فهل من الواجب إصلاح المبنى أم تدميره وإعادة بنائه ؟ ولا يمكننا الإجابة على هذا السؤال إلا بعد إجراء المشاهد أو المعاينة البصرية للمبنى

وقد تم فى هذا البحث دراسة تأثير الحريق ودرجات الحرارة العالية على العناصر الإنشائية المكونة للمنشآت الخرسانية من كمرات وبلاطات وأعمدة خرسانية وكذلك تقييم متانتها فى هذه الظروف والاحتياطات الواجب اتخاذها للحد من تأثيرها وطرق المعاينات البصرية والإنشائية (المسح الانشائى) وطرق تقدير خطورة الحريق وطرق ترميم المنشآت الخرسانية بعد حدوث الحريق .



١-٢ مجال دراسة البحث

تتلخص الدراسة فى هذا البحث فى عدة نقاط أساسية سيتم مناقشتها تفصيليا خلال فصول البحث وهى كالاتى:-

الفصل الأول

يشرح هذا الفصل المعاينة البصرية لتحديد مدى استقرار المنشأ بعد تعرضه لتأثير الحريق ومعرفة احتياطات ثبات وأمان المنشأ . وتشمل الدراسة أيضا فى هذا الفصل طرق تقدير خطورة الحريق الحادث للمنشأ وتقييم الأضرار وتقديرها.

الفصل الثانى

تشمل الدراسة فى هذا الفصل تحديد الحالات الحدية لمقاومة المنشآت للحريق (Ultimate Limit state of resistance fire) والتغيرات التى تحدث للخرسانة بفعل تأثير درجات الحرارة العالية من الحريق.

الفصل الثالث

يتناول هذا الفصل دراسة التغيرات التى تحدث لمواصفات الخرسانة المسلحة الميكانيكية والمواصفات المرنة –اللدنة و التشوهات الحرارية للخرسانة وحديد التسليح.

الفصل الرابع

تتناول الدراسة فى هذا الفصل كيفية التحقق من متانة العناصر المعرضة للحريق ومدى تأثير الحرارة على الخرسانة وحديد التسليح والمقاومة المتبقية فى كل عناصر المنشأ لتقدير الأضرار الناتجة من الحريق .

الفصل الخامس

يتناول هذا الفصل النتائج التى يجب مراعتها لتامين مقاومة الحريق فى المنشآت والأبنية الخرسانية وطرق ترميم هذه المنشآت بعد تعرضها للحريق والاحتياطات الواجب إتباعها لمقاومة وحماية المنشآت من الحريق.

٢-١ أهداف المعاينة البصرية

تهدف المعاينة البصرية إلى تحديد الأمرين التاليين:

٢-١ استقرار المنشأ

فى هذه المرحلة من الضرورى الحصول على اللوحات الأصلية للمبنى. إن كان ذلك ممكنا فهذا يسمح لنا بتقييم أو تخمين كيفية قيام المنشأ بنقل الأحمال الآتية عليه. كما يمكن تعيين أو تمييز العناصر الحاملة للحمل الرئيسي بالإضافة إلى معرفة احتياطات ثبات وأمان المنشأ. وتحتاج المراقبة والمعاينة لتفحص اى زيادة فى التشوهات أو التشققات فى العناصر الرئيسية الحاملة وتفحص تكامل عمل نقاط الاتصال بين العناصر الإنشائية الرئيسية. ومن الضرورى أيضا لاعتبارات ثبات المنشأ التأكد من وجود تقوس زائد فى اى جزء من الجدران الداخلية أو فى جدران مبنية مكسوة. وفى حال كان المنشأ خرسانيا يجب الانتباه جيدا إلى الضرر الناجم عن وجود شظايا متكسرة من الكمرات أو من الأعمدة لان ذلك يؤدى إلى إنقاص قدرة تحمل هذه العناصر تحت تأثير الأحمال وذلك بفعل ازدياد الحرارة فى العناصر المسلحة .

وفى حالةما إذا كان تأثير النار منحصرا فى جزء من المنشأ فانه من الضروريامتداد المعاينة وشمولها أيضا لأجزاء أخرى من المنشأ لم تتعرض لخطر الحريق مباشرة لأنه من الممكن حدوث إعادة توزيع حقيقى للأحمال (التحميل الزائد) على هذه العناصر الغير متأثرة مباشرة أو بشكل مخالف لما هو مصمم عليه. فقد يتعرض عنصر انشائى ما لقوى الشد فى حين انه مصمم على الضغط فقط. وقد تم رصد هذه الظاهرة فى

أعمال 1984 لد ى دراسة الإطارات الخرسانية التى من الواجب زيادة الاهتمام بها ففى حريق(Broad gate fire) لوحظ أن المنشأ قد تصرف خلال الحريق بطريقة مخالفة تماما لما هو مصمم عليه ذلك أن القوى قد توزعت (إعادة توزيع أحمال) فى العناصر البعيدة عن أماكن الحريق بواسطة الأعمدة المشدودة مؤقتا وتم نقل الأحمال إلى القسم العلوى من المنشأ والباردة نسبيا.

٢-٢ تقدير خطورة الحريق

لتقدير خطورة الحريق تستخدم عدة طرق لتقييم مدى تأثر المنشأ بدرجات الحرارة العالية التى تعرض لها وتحديد مدى جدوى ترميم المنشأ أو تدميره.

٢-٢-١ الطريقة الأولى

للحصول على تقدير أولى لخطر الحريق يمكن الرجوع إلى سجلات فرق مكافحة الحريق لمعرفة عدد مرات تطبيق النداء لمكافحة الحريق وهو المدة التى تستغرقها فرق المكافحة لمقاومة الحريق . اى المدة بين لحظة مشاهدة الحريق حتى وصول فرق مكافحة الحريق أو تشغيل اى نظام حماية اوتوماتيكى أو اى تجهيز آخر مقاوم للحريق. أو مقدار الجهد اللازم الذى تتطلبه مقاومة الحريق.

٢-٢-٢ الطريقة الثانية

تكون بتقدير درجة الحرارة التى وصل إليها الحريق وذلك بدراسة الحطام الناتج بسبب الحريق. ومن المهم الإشارة إلى انه يجب عدم رفع الأنقاض أو الحطام قبل تنفيذ هذه الدراسة. بمعنى أن وجود الأنقاض الدليل الحيوى لإعطاء دليل أو إشارة إلى درجة الحرارة التى تم الوصول إليها خلال فترة الحريق خاصة أن اغلب المواد ذات مواصفات حرارية معروفة كدرجة الذوبان أو الليونة.

يبين الجدول التالى بعض المعلومات النموذجية عن نقاط الذوبان لبعض المواد بفعل الحرارة. حيث يمكن استخدام هذه المعلومات بحذر كاف إذ تختلف درجة الحرارة الواردة لمادة معينة بشكل منفصل عن درجة حرارة الحريق. ومع ذلك فان هذه الطرق تعطى مؤشرات أولية من الدرجة التى تكون قد وصلت إليها الحرارة الخاصة وليس خلال مدة التعرض لمثل هذه الحرارة.

اسم المادة	سلوكها بفعل درجات الحرارة العالية	درجة الحرارة التقريبية (درجة سيليزيوس)
البوليسترين	تلين أو انهيار	120˚C
البوثثيلين	تلين أو ذبول	120˚C
البوليثين	نقطة ذوبان	150˚C
البوليسترين	نقطة ذوبان	250˚C
السيلولوز	اسوداد	300-200˚C
أنابيب المياه	سيلان لحام	250˚C
الرصاص	تلين أو ذوبان	350-300˚C
الالومنيوم	نقطة تلين	400˚C
الالومنيوم	نقطة ذوبان	650˚C
الزجاج	تلين	800-700˚C
الفضة	نقطة ذوبان	950˚C
النحاس الأصفر	نقطة ذوبان	1000-800˚C
النحاس	نقطة ذوبان	1100˚C
حديد الصلب	نقطة ذوبان	1200-1100˚C

جدول(٢-١) توضيحى لنقاط ذوبان بعض المواد بفعل الحرارة

.

٢-٢-٣ الطريقة الثالثة

تعطينا تقييما أو تقديرا لمدة اختبار الحرق أو الاحتراق. ويكون بقياس عمق تفحم قطعة حقيقية من مادة معلومة كالخشب وذلك بتعرضها للحريق لفترة محددة منذ بداية الحريق. ويتعلق عمق التفحم بمدة الاحتراق النظامى للمادة المعلومة أو كما معلوم بالنسبة للخشب فان كثافة المادة يمكن تقديرها من خلال عملية التفحم إذ تتراوح من معدل ثابت بين 30,90 دقيقة للتعرض النظامى للحريق. فى هذه الحالة يجب ملاحظة وضعية نموذج المادة بصورة مستقلة أيضا.

٢-٢-٤ الطريقة الرابعة

تستخدم لحساب خطر الحريق من خلال تخمين حجم العزل وكثافة حمل الحريق و مساحة الفتحات (عامل التهوية) ويكون باستخدام معادلة تجريبية خاصة بذلك سوف يتم مناقشتها فى الفصول القادمة .

وفى الواقع أيا من الطرق المذكورة أعلاه غير واقعية بشكل كامل. ولا يمكن الاعتماد على طريقة واحدة فى التقييم. ولذلك فانه من الواجب استخدام أكثر من طريقة معا للحصول على جواب معقول ومنطقى وعلى المراقبة البصرية لتعيين تلك المساحات التى يجب تدميرها فورا وتحطيمها (حيث يكون الضرر الحادث كبير ولا يمكن إصلاحه). وتلك التى من الممكن إعادة إصلاحها إذا كان بالإمكان الوصول إلى المقاومة الكافية والمطلوبة. وبالمراقبة البصرية أيضا يجب تعيين المساحات الغير متضررة أو التى ضررها سطحى . والحالة الأخيرة هى التى سوف نتعرض لها بالمزيد من المناقشة خلال الفصول القادمة حينما يكون من الضرورى الحفاظ على المبنى بترميمه أو إصلاحه لذا يجب إجراء المزيد من الاستقصاء أو البحث للتأكد من امتداد الخطر الحقيقي الدقيق للأضرار وما هي المقاومة المتبقية في المنشأ وإذا لزم لذلك من الضروري

أولا : تنظيف جميع الحطام ورفع الأنقاض من المنشأ .

ثانيا: تنظيف الأجزاء المتضررة بالدخان قدر الإمكان من اجل فحص جميع الأجزاء السطح المتضرر.

٢-٣ تقييم الأضرار وتقديرها

يمر تقييم الأضرار وتقديرها بمرحلتين:

المرحلة الأولى: تستلزم المعاينة التفصيلية الكاملة للمنشأ.

المرحلة الثانية : التأكد من المقاومة المتبقية فى كل من عناصر المنشأ ومن مقاومة المنشأ كله.

٢-٣-١ المرحلة الأولى (المعاينة الإنشائية):

من الضرورى معاينة جميع خطوط ومستويات المنشأ ونحتاج إلى ذلك لتقدير التشوهات والمقاومة المتبقية فى المنشأ وملاحظتها و يجب أن تقارن المقاومات المقاسة مع تلك المقاومات التى تم حسابها أثناء تصميم المنشأ. ويجب الانتباه جيدا إلى وجود أية حركات أفقية بسبب الحرارة الناتجة عن الحريق .

وغالبا ما يظهر مثل الطوب تأثيرات للحركة الأفقية فى مكان بعيد عن مكان وجود الحريق كما نحتاج إلى ملاحظات ومعاينات أخرى تتوقف على مواد البناء الرئيسية: الحديد- الخرسانة – الطوب .

المنشآت الخرسانية:

من الضرورى ملاحظة وجود حطام من المنشأ وكذلك تلك التى تعرض لها حديد التسليح. وتجدر ملاحظة انه ليس بالضرورة إن تتضمن الشظايا قطعا من التسليح أو من المنشأ حيث أن انفصال شظايا من المبنى يمكن أن يحدث متأخرا بفعل التبريد الناتج عن إخماد الحريق وبالتالى يضعف المنشأ ضعفا حقيقيا فى الأماكن المسودة بفعل الدخان

يكون التشظى قد حصل على الأغلب أثناء اشتعال الحريق.ومن المفيد أن نذكر هنا بان لون الوجه الخرسانى المعرض للحريق يمكن أن يعطينا مؤشرا درجة الحرارة التىتعرض لها العنصر الانشائى . هنا يجب الانتباه جيدا إلى إن التشظية يمكن أن تلغى أو تبطل المراقبة أو المعاينة وذلك لان بعض الحطام لا توضح التغيرات الكافية فى اللون. ويجب الانتباه أيضا إلى تشكل الشقوق إذ من الواضح أن التشقق غير ضار فى منطقة الشد ولكن له دلالة على وجود مشاكل حقيقية وخطيرة قد تحدث فى مناطق الضغط أو البلاطة أو العمود.

المنشآت المعدنية:

إن اغلب المنشآت المعدنية تسترد معظم متانتها ومقاومتها بفعل التبريد غير أنها تفقد جزءا من هذه المقاومة ونتيجة التشوهات الناتجة عن الحرارة هى على الأغلب مؤشر لحالة المنشأ. فى هذه الحالة من المهم تقدير وتخمين تكامل عمل الوصلات فمن الممكن أن تكون الوصلات قد تعرضت لضعف معين داخل الوصلة أو أصبحت على نحو ما غير ملائمة لتشوهها بشكل واضح.

وفى الأرضيات أو السطوح التى تشمل أو تتضمن مقاطع معدنية و خرسانة مصبوبة بالمكان من الواجب تفحص وملاحظة وجود اى انفصال بين السطح والمقاطع المركبة حيث يمكن أن يحدث الانفصال أيضا ما بين المقاطع المركبة وصفائح التغطية ضمن خط اللحام المستعمل حيث يمكن أن يحدث الانهيار على القص للوصلة مابين خط السطح المعدنى والخرسانة المصبوبة.

المنشآت الحجرية:

بالنسبة للمنشآت الحجرية يستعمل البناء بالطوب إما فى حالة الحمل التصميمى للبناء منخفضا أو فى الابنية المنخفضة الارتفاع او كتبطين لهيكل المنشأ ويعود السبب الرئيسى لخطر الجدران الحجرية إلى التوسع (الامتداد)أو الحركة فى المنشأ وذلك بسبب

الفعل الحرارى على الهيكل أو الأرضية ويكون حدوث ذلك اقل احتمالا بالنسبة للمنشآت القليلة الارتفاع .

إذن يجب الانتباه إلى أية مساحات فيها إشارات أو دلائل ثقوب انهيار أو أية زيادة فى الاجهادات على النوافذ الخارجية أو فجوات الجدران . وان كان الضرر محصورا بالنافذة الداخلية فمن الممكن الحفاظ على النافذة الخارجية وإعادة بناء الداخلية فقط . بحيث أن تستعمل ثانية وصلة للجدران.

وأخيرا

يجب الانتباه جيدا أثناء إجراء المعاينة البصرية للمنشأ لضرورة إجراء بعض الاختبارات لمواد بناء المنشأ وذلك لتقدير وتأكيد المقاومات المتبقية فى المنشأ ويمكن أن تكون طرق الاختبار المستعملة طرقا غير متلفة تتضمن اخذ عينات من العناصر غير المتضررة فى المنشأ وكذلك عينات من العناصر غير المتضررة من المنشأ لضرورة المقارنة والمراقبة.

مقدمة (scope)

الحرائق من الظواهر المنتشرة بكثرة فى المنشآت الصناعية والهندسية و الابنية السكنية وتختلف آثار الحريق ودرجات الحرارة العالية تبعا لعوامل مختلفة , فعند حصول الحرائق فى الأبنية السكنية قد ترتفع درجة الحرارة فيها إلى حدود 1000 ˚C إذا استمر الحريق لفترة من 1-2 ساعة ,أما فى المخازن الكبيرة فقد ترتفع درجة الحرارة إلى˚C(1100-1200) إذا استمر الحريق لفترة من 2-3 ساعة, وقد تحصل الحرائق أقوى واشد فى المنشآت الصناعية يرافقها انهيارات كبيرة فى المنشآت والتجهيزات. فى حال اشتعال الغازات المضغوطة قد تصل درجة الحرارة إلى˚C1600

هذا وتعتبر الكمرات والبلاطات أكثر العناصر تعرضا لارتفاع درجة الحرارة , أما الأعمدة فيكون تسخينها (ارتفاع درجة الحرارة) اكبر فى قسمها العلوى منه فى القسم السفلى ,وتتوقف درجة حرارة سطح المنشأ على موقع الحريق وشدة النيران وموقع العنصر الانشائى وتتوقف مقاومة المنشآت للحريق بالفترة التى يستمر فيها الحريق ,وبشكل عام يجب أن يحقق :

$$U_{fire} \leq R_{fire} \quad \text{.....(1)}$$

حيث:

U_{fire}= القوى التصميمية الناتجة عن تطبيق الأحمال فى فترة الحريق

(قوى محورية ,قوى قص ,عزوم انحناء ,عزوم التواء أو غير ذلك من القوى)

R_{fire}= قدرة التحمل فى ظروف الحريق ودرجات الحرارة العالية.

ويعتمد حساب قدرة التحمل بشكل اساسى على المواصفات الفيزيائية والميكانيكية للمواد الإنشائية المكونة للعناصر (الخرسانة ,الحديد) عند تأثير الحريق أو درجات الحرارة العالية .

يهدف البحث إلى تقييم تأثير الحريق ودرجات الحرارة العالية التى تتعرض لها المنشآت الخرسانية المسلحة على مواصفات المواد وقدرة تحمل العناصر المختلفة ,والمنشآت التى تعرضت لمثل هذه التأثيرات, وكيفية اخذ تأثيرها فى التصميم ,وطرق الحماية وتقليل التأثير إلى الحد الأدنى.

٢-٣ حد مقاومة المنشآت للحريق

يعرف حد مقاومة المنشآت للحريق بأنه الزمن المقدر من بداية تجريب المنشأ أو العنصر أو خضوعها لتأثير النيران حتى ظهور إحدى الحالات الحدية التالية:

1- الحالة الحدية للتراص:

تتميز هذه الحالة بظهور شقوق نافذة أو ثقوب نافذة تتسرب من خلالها مواد الاشتعال أو النيران.

2- الحالة الحدية لقدرة العزل الحرارى

تحدث هذه الحالة عند ارتفاع درجة الحرارة على السطوح الساخنة وسطيا إلى أكثر من $160^{\circ}C$ بالمقارنة مع درجة حرارة المنشأ عند تجريبه ,أو أكثر من(220) درجة مئوية بغض النظر عن درجة حرارة المنشأ عند تجريبه أو قبل تعرضه للحريق.

3- الحالة الحدية لقدرة تحمل المنشأ

فى هذه الحالة يلاحظ دوران أو انحناء فى عناصر المنشأ بكامله وذلك تبعا لنوع المنشأ.

وقد تبين أن حد مقاومة الحريق فى المنشآت تنخفض مع ازدياد الأحمال وبالتالى فان المقطع الأكثر إجهادا فى المنشأ هو الذى يحدد مقاومة المنشآت للنيران ,ويعتبر حد المقاومة للنيران وفق قدرة التحمل للمنشآت غير المحددة استاتيكيا اكبر منه فى حالة المنشآت المحددة استاتيكيا ,ويعود سبب ذلك إلى عملية إعادة توزيع القوى إلى العناصر الأقل إجهادا أو تسخينا (فى ارتفاع درجة الحرارة).

عند إجراء اختبارات التسخين المؤقت (حرائق صناعية) لتحديد مقاومة العناصر الخرسانية المسلحة للحريق وتحليل سلوك العناصرالخرسانية المسلحة, تبين أن انهيار هذه العناصر حدث بنفس الشكل الذى تم عند إجراء الاختبار الاستاتيكى فى ظروف درجات الحرارة العادية. لذلك يمكن التصميم بالحالة الحدية للمنشآت الخرسانية لمسلحة المعرضة للتسخين باستخدام نفس معادلات التوازن والتشوهات التى تستخدم لاستخراج علاقات الحساب الاستاتيكى.

واهم ما يميز الحالة الحدية للمنشآت فى حالة الحريق ... العاملين التاليين:

أ- درجة الحرارة الحرجة لتسخين حديد التسليح والخرسانة

ب- القوى الحدية بعد اخذ انخفاض مقاومة الخرسانة والحديد الناتجة عن التسخين فى الاعتبار.

وتتوقف سرعة تسخين المنشآت الخرسانية المسلحة على الخواص الفيزيائية – الحرارية للخرسانة والتى تتغير بشكل كبير مع ارتفاع درجة الحرارة, وقد لوحظ أن الماء الحر الموجود فى الفراغات الخرسانية يتبخر عند التسخين ويتم امتصاص كمية محدودة من الطاقة تكبح تسخين الخرسانة. هذا وقد تم إنشاء منحنيات بيانية تسمح بتحديد الفترات الزمنية اللازمة لتسخين العناصر الخرسانية المسلحة كالبلاطات مثلا حتى درجة الحرارة الحرجة.

يضمن الحساب الاستاتيكى للمتانة ضد الحريق عدم انهيار المنشآت الخرسانية المسلحة وكذلك عدم فقدان الاتزان عند التأثير المشترك للأحمال ودرجات الحرارة العالية. ويتم التحقق من متانة المقطع الخرسانى تحت تأثير الأحمال ودرجات الحرارة العالية باستخدام نفس العلاقات فى الحالات العادية مع الأخذ فى الاعتبار تغير مواصفات المواد من تأثير درجات الحرارة المرتفعة.

العامل الاساسى فى الانهيار من تأثير الحريق ودرجات الحرارة العالية هو درجة التسخين (الحرارة) لكل من الخرسانة والحديد ومواصفاتهما الميكانيكية فى هذه الدرجة من الحرارة ونادرا ما يحدث انهيار كبير بسبب الحريق فى المنشآت الخرسانية المسلحة ولكن قد تحدث بعض التصدعات المحدودة,وقد أظهرت الدراسات والتجارب التى أجريت على أنواع مختلفة من الخرسانة فى ظروف درجات الحرارة العالية ان تأثرها مختلف فمثلا معدل نقصان المقاومة عندما تصل درجة الحرارة حتى $400^{\circ}C$ تكون اكبر فى حالة الخرسانة عالى المقاومة منه فى الخرسانة العادية[5], بينما الخرسانة الخفيفة اقل تأثرا بالحرارة ,وعند إضافة ألياف الحديد النظامية قطرها

5. mm وبطول (25-40)mm لتحسين المقاومة والصلادة تبين تحسن الممطوطية والتشوه الحدى.

فى حالة الأبنية الحجرية التى تستخدم فيها عادة خرسانة خفيفة فهى ذات مقاومة أعلى للحريق [6,7] كما أن تأثر الجدران (الحوائط) بالنيران يكون اقل باعتبار تسخينها غالبا يتم من جهة واحدة. وتعتبر العناصر الخرسانية سابقة الإجهاد أكثر تأثرا بالحريق حيث تكون ظاهرة التشظى والقص فى الخرسانة أكثر ,إضافة إلى فقدان التماسك قرب النهايات, وقد أظهرت الاختبارات[8] حدوث انهيارات لعناصر الخرسانة المسلحة سابقة الإجهاد نتيجة القص فى القطاع وفقدان التماسك قرب النهايات.

من خلال معرفة التغيرات التى تحدث على المواصفات الميكانيكية والمواصفات المرنة- اللدنة والتشوهات الحرارية للخرسانة وحديد التسليح عند تأثير درجات الحرارة العالية يمكن تحديد متانة العناصر الخرسانية المسلحة فى مثل هذه الظروف, وقد أمكن دراسة هذه التغيرات و التعرف على تأثير درجات الحرارة العالية بشكل تجريبى من خلال اختبار العناصر الإنشائية تحت تأثير الحريق تجريبيا[5,6,9] .

٤- ١ دراسةتغير مقاومة الخرسانة على الضغط والشد بتأثير درجات الحرارة العالية

عند حدوث الحريق فى المنشآت الخرسانية المسلحة تتعرض عناصر المنشآت إلى تسخين مؤقت وسريع يسبب تغير فى مواصفات المتانة للخرسانة ذو الرطوبة الطبيعية ,فالخرسانة الثقيلة ذو الرطوبة الطبيعية تتناقص مقاومتها الموشورية (مقاومة الكسر للمكعبات بعد عمر ٢٨ يوم)فى درجات الحرارة من ٦٠°C إلى ٩٠°C بمقدار ٣٥%, ٢١% كما هو موضح على الشكل (a-1) وعندما تزداد درجة الحرارة من C°(٢٠٠-٤٠٠) فان المقاومة تتزايد بمقدار (٥-١٠)%

أما تسخين الخرسانة لدرجة حرارة أعلى من ٤٠٠°C فيؤدى إلى نقصان فى المقاومة الخرسانة ,فمثلا فى درجة حرارة ٦٠٠°C تشكل المقاومة حوالى ٦٥%من مقاومة العينات غير المسخنة , أما فى درجة الحرارة ٧٠٠°C فتصل إلى ٤٨%,بينما مقاومة الخرسانة الثقيل على الشد فهى تنخفض إلى حوالى ٥٤% و ٥٢% فى درجات الحرارة ٦٠°C و ٩٠°C على التوالى وبعد ذلك تتزايد لكنها لاتصل إلى قيمتها البدائية فى درجات الحرارة العادية ,وعند تسخين الخرسانة إلى درجات حرارة أعلى من ٤٠٠°C يحدث انخفاض كبير فى مقاومة الخرسانة فى الشد.

يكون انهيار العناصر الخرسانية فى درجات الحرارة تسخين حتى ٢٠٠°C هشا ويتم فى مستويات موازية للقوة الضاغطة وعند التسخين بشكل سريع تظهر تدرجات حرارية بين طبقات الخرسانة الخارجية والداخلية وبالتالى يحدث تدرج فى الاجهادات الحرارية ويتم اخذ تأثير التسخين على متانة الخرسانة فى حالة الضغط والشد وفق الكود الروسى بإدخال عامل ظروف التشغيل ($\gamma_{t,t}$,$\gamma_{t,b}$)

وتؤخذ قيمته كما هو موضح بالجدول رقم(1)و, كما يعتمد الكود الاوروبى قيم [١٠] قيم مختلفة لمقاومة الخرسانة تبعا لدرجة الحرارة .

فى حالة الخرسانة عالية المقاومة لوحظ أن تسخينه المؤقت إلى درجة حرارة ٨٠٠°C ثم حفظه بالهواء لمدة 7 أيام يؤدى إلى هشاشة فى الخرسانة وإمكانية كسره بسهولة باليد ويمكن تفسير ذلك بالأسباب التالية:

1- التفاوت فى التشوهات الحرارية للحبيبات الأسمنتية والركام.

2- تغير أو تحول الكوارتز في الركام

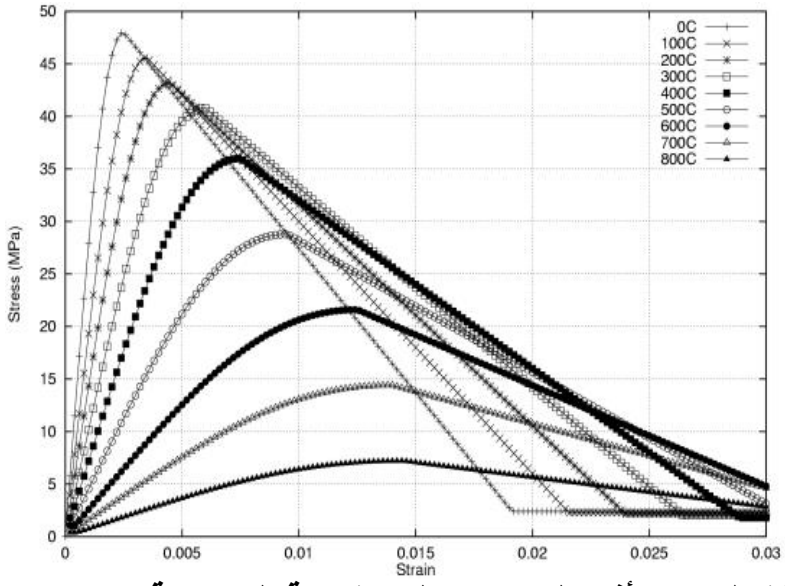
3- نزع ماء اماهة اكاسيد الكالسيوم وإطفاء أكسيد الكالسيوم فى الحبيبات الأسمنتية بعد التسخين لدرجة أعلى من ٦٠٠°C ثم تبريد الخرسانة.

الجدول رقم (4 - 1) عوامل ظروف التشغيل $\gamma_{t,t}$,$\gamma_{b,t}$ التى تأخذ فى الاعتبار تغير المقاومات الحسابية ومعامل المرونة (β_b) وثوابت المرونة للخرسانة الثقيلة ν, ν_t فى حالة الضغط والشد فى ظروف التسخين المؤقت . (نسبة التشوهات المرنة إلى التشوهات الكلية)

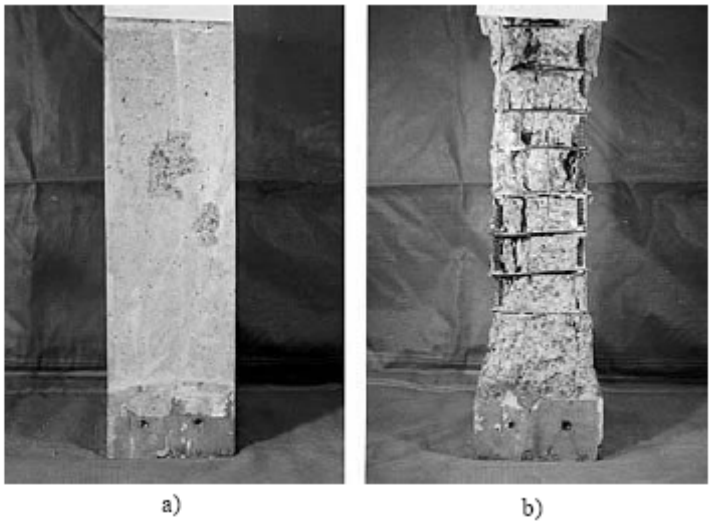
العامل	قيمة العامل تبعا لدرجات حرارة التسخين°C									
	٦٠	٩٠	١٢٠	٢٠٠	٣٠٠	٤٠٠	٥٠٠	٦٠٠	٧٠٠	٨٠٠
γ_{bt}	.65	.8	.9	.98	1.05	1.00	.77	.67	.48	.2
γ_{tt}	.3	.5	.53	.55	.65	.7	.55	.4	.2	-
β_b	.7	.7	.8	.78	.75	.6	.3	.25	.1	-
ν	.75	.75	.7	.64	.59	.54	.5	.45	.35	.1
ν_t	.5	.5	.33	.3	.2	.2	.15	.12	-	-

يتزايد انخفاض مقاومة الخرسانة عالية المقاومة مع ارتفاع درجة حرارة التسخين, فعند ارتفاع درجة حرارة التسخين إلى ٣٠٠°C تتناقص المقاومة على الشد بمقدار 12%وسطيا, أما إذا زادت درجة الحرارة وبلغت ٨٠٠°C فان هذه المقاومة تصبح مساوية 10% من المقاومة النظامية ويوضح الشكل (1-b) تأثير درجات الحرارة على هذه المقاومة (1-c) تغير منحنيات الإجهاد- تشوه الخرسانة مع ارتفاع درجة الحرارة.

(c)



الشكل (1) تأثير التسخين على مقاومة الخرسانة (a,b) وعلى مخطط إجهاد- تشوه(c)



a) b)

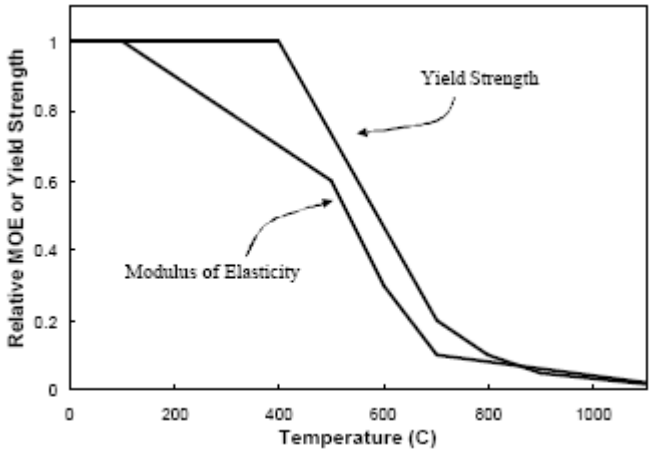
Figure 19: Effect of heat on concrete after 2 hours of exposure to 1000°C Fire

من تحليل نتائج الدراسات المتعلقة بتأثير درجات الحرارة العالية حتى ٨٠٠°C على مقاومة الخرسانة تدل أن مقاومة الخرسانة على الضغط فى حال تسخينه أو الخرسانة المتروك على حاله بعد التسخين إلى درجات حرارة حتى ٥٠٠°C كانت متساوية تقريبا,أما العينات الخرسانية المسخنة إلى درجة حرارة °C(٦٠٠-٨٠٠) ثم حفظت فى الهواء لمدة 7-10 أيام فقد تبين أن هناك انخفاض اضافى فى المقاومة على الضغط ناتج عن انهيار تركيب الخرسانة بسبب إزالة ماء اماهة أكسد الكالسيوم الحر فى الحجر الاسمنتى بعد تسخينه إلى درجة حرارة أعلى من ٦٠٠°C.

تؤثر الأحمال على مقاومة الخرسانة للحريق , ويلعب مستوى التحميل الذى تتعرض له العناصر الخرسانية قبل تسخينه دورا أساسيا فى مقاومته, فإذا كان التحميل لمستويات إجهاد صغيرة تكون المقاومة على الضغط للعينات المسخنة وهى معرضة للتحميل اكبر بمقدار (12-15)% من مقاومة العينات المسخنة أولا ثم معرضة للتحميل بعد ذلك, أما إذا زاد التحميل وأصبح مستوى الاجهادات اكبر وتلا ذلك التسخين فان المقاومة تكون اقل من حالة تسخين العينة أولا ثم تعريضها للتحميل . هنا لابد من الإشارة إلى أن رطوبة الخرسانة تلعب دورا جوهريا فى مقاومته على الضغط عند تسخينه إلى درجات حرارة °C(١٥٠-٢٠٠) والعلاقة بين رطوبة الخرسانة ومقاومتها على الضغط عند التسخين هى علاقة عكسية, حيث مع زيادة الرطوبة تتناقص المقاومة على الضغط, كما أن تبريد الخرسانة بالماء بعد التسخين المؤقت يؤدى إلى انخفاض اضافى لمقاومته على الضغط وقد يصل مقدار الانخفاض إلى (20-30)%.

٢-٤ تغير المواصفات المرنة – اللدنة للخرسانة

عند تعرض الخرسانة الثقيلة للتسخين تتغير مواصفاته من ناحية التركيب الداخلى والمقاومة ومعامل المرونة وغيرها من المواصفات . عندما يتم تسخين الخرسانة الثقيلة لدرجة حرارة حتى ١٠٠°C يتناقص معامل مرونته بمقدار 30%تقريبا الشكل(2). أما فى حال التسخين إلى درجة حرارة ٥٠٠°C يصبح معامل المرونة حوالى 20%من قيمته الفعلية والمحدودة على عينات غير معرضة للتسخين وفى درجة حرارة ٧٠٠°C يصبح معامل المرونة 18% من قيمته الفعلية.



الشكل (2) تأثير التسخين على معامل المرونة فى حالة الضغط [١]

يمكن تفسير هذا النقصان فى معامل المرونة عند التسخين بأنه ناتج عن تزايد التشوهات اللدنة والمرنة ونقصان مقاومة الخرسانة فى مثل هذه الدرجات من الحرارة, أما سبب تزايد التشوهات فى ظروف درجات الحرارة العالية فيعود إلى الانهيار والتغير فى تركيب الخرسانة ويعبر عن الموصفات المرنة – اللدنة للخرسانة بالعاملين ν_t,ν (نسبة التشوهات المرنة إلى التشوهات الكلية).

حيث استنادا إلى هذه التشوهات يتم تحديد ثوابت المرونة للخرسانة العادية فى درجات حرارة التسخين المختلفة, وعندما تكون الاجهادات اكبر من ($4R_b$.) [R_b مقاومة الخرسانة على الضغط] فان قيمة هذه الثوابت لا تعتمد على الاجهادات فى الخرسانة.

وقد لوحظ من خلال الدراسات التجريبية [1,4] أن الخرسانة ذو التركيب المرصوص والرطوبة أكثر من 4% وكذلك الخرسانة عالية المقاومة ذو الرطوبة اكبر من 5% تميزا بانهيارها الهش عند تعرضها للحريق النظامى أو درجات الحرارة العالية, ويبدأ هذا الانهيار خلال فترة (5-20) دقيقة من بداية التسخين وذلك بانفصال السطوح الخرسانية المسخنة الذى يحدث على عمق (5-10) cm ويسمى هذا النوع من الانهيار بالانفجار.

ويعود سبب هذا الانهيار أو الانفجار إلى تركيبة الخرسانة , والحالة الاجهادية – التشوهية, وضغط البخار فى الفراغات المغلفة ضمن الخرسانة وكذلك الحرارة والأحمال الخارجية وقد بينت التجارب العملية إن مثل هذا الانهيار بالانفجار لا يتوقف على عمر الخرسانة , لكن الرطوبة تلعب دورا أساسيا فيه, حيث إن أنواع الخرسانة ذات الرطوبة اقل مما ذكرنا أعلاه لا تتعرض لمثل هذه الانهيارات, كما أن درجة تراص الخرسانة لها دور هام فى حدوث مثل هذه الانهيارات, حيث لا يلاحظ مثل هذه الانهيارات إذا كانت كثافة الخرسانة اقل من $1200Kg/m^3$.

٣-٤ تأثير درجات الحرارة العالية على مواصفات حديد التسليح فى الخرسانة المسلحة

يتعرض حديد التسليح المستخدم فى الخرسانة المسلحة فى ظروف الحريق إلى درجات حرارة عالية تؤثر على خواصه بشكل عام سواء على مقاومته أو تشوهه أو السلوك العام تحت تأثير الأحمال الخارجية, ومن أهم مواصفات الحديد التى تتغير في درجات الحرارة العالية الموصفات الميكانيكية و التشوهية.

٣-٤-١ تأثير درجات الحرارة العالية على المواصفات الميكانيكية لحديد التسليح

يتم تقييم عمل حديد التسليح فى ظروف التأثيرات الحرارية العالية تبعا لمقدار الاجهادات والتشوهات اللدنة وكذلك ثبات واستقرار تركيب الحديد. إذا كان الحديد من النوع الذى له درجة استطالة واضحة, نلاحظ تأثير ارتفاع درجة الحرارة عليه من خلال تناقص مقدار الاستطالة وعند وصول درجة الحرارة أعلى من ٣٠٠°C تختفى هذه الحالة شكل (3) .

وفى درجات الحرارة ٤٠٠°C وما فوق نلاحظ تناقص المقاومة ودرجة الخضوع للحديد بينما تتزايد المواصفات اللدنة كما هو موضح على الشكل (3) ويعبر عن مقاومة الحديد R_{st} (f_{ys}) عند التسخين المؤقت من خلال مقاومة الحديد فى درجات الحرارة العادية ومعامل ظروف عمل الحديد عند التسخين γ_{st}($K_{y,t}$) بالعلاقة:

$$F_{y,t} = K_{y,t} * f_{y,t} \quad \text{or} \quad R_{st} = \gamma_{st} * R_{sn} \qquad (3)$$

γ_{st} = معامل يأخذ باعتبار تغير مقاومة الحديد عند تعرضه للتسخين المؤقت [١]ويؤخذ من الجدول رقم (2-4).

$K_{y,t}$= معامل يأخذ باعتبار تغير مقاومة الحديد عند تعرضه للتسخين المؤقت [٤]ويمكن تحديده من العلاقة :

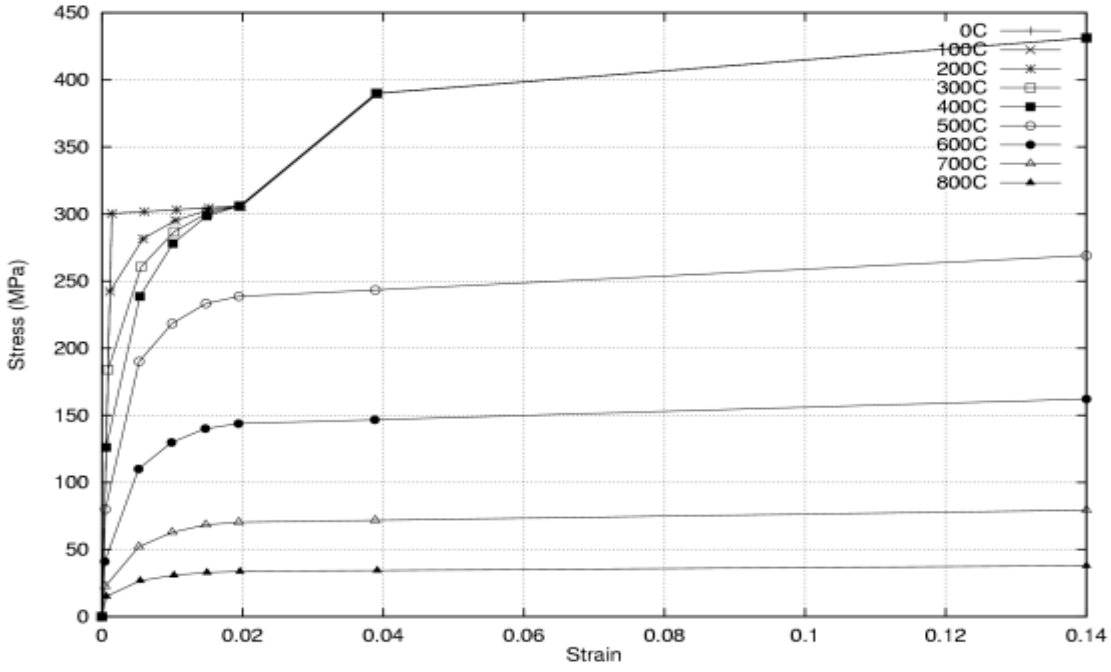
$$K_{y,t}= (720-T)/470 \qquad (4)$$

T= درجة حرارة التسخين

ويلاحظ انه مع ارتفاع درجة الحرارة يحدث ازدياد كبير فى :

- التشوهات الحرارية الناتجة عن التمدد الحرارى لحديد التسليح.
- التشوهات المرنة الناتجة عن انخفاض معامل المرونة للحديد.
- التشوهات اللدنة الناتجة عن تزايد التشوهات السريعة من استطالة الحديد.

وبشكل خاص تتزايد التشوهات اللدنة للحديد عند ارتفاع درجة الحرارة وهى تتعلق بمقدار الاجهادات التى يتعرض لها الحديد مع ارتفاع درجة الحرارة كما هو موضح الشكل رقم (3).



الشكل (3) تغير مواصفات الحديد بتأثير درجات الحرارة العالية .

وكلما كانت الاجهادات فى حديد التسليح اكبر كلما كانت درجة الحرارة التى تظهر عندها التشوهات اللدنة اقل. وتتزايد هذه التشوهات بسرعة حتى قيمة محددة حوالى 1.5% وبعد ذلك تتزايد بشكل كبير, وإذا استمر ارتفاع درجة الحرارة يحدث انفجار العينة. وتقدر الاستطالة عند التسخين بقيمة الإجهاد الذى يقابل قيمة التشوه الكامل المساوى 2% [١]. عندما تصل التشوهات إلى قيم اكبر من 2% من اجل إجهاد معطى فان التزايد اللاحق للتشوهات يحدث بدون زيادة فى درجة الحرارة ويلاحظ أن سرعة تشوهات الحديد تتزايد بسرعة ثابتة مع زيادة التسخين وتتعلق سرعة تزايد التشوهات بمستوى الإجهاد الذى يتعرض له الحديد قبل التسخين ودرجة حرارة التسخين , فالحديد A- VI (الكود الروسى) عند تسخينه تزايدت التشوهات فيه بسرعة ثابتة بمعدل 0.11% لكل $100^{\circ}C$ وذلك وفقا لمستوى الإجهاد الذى تعرض له قبل التسخين ودرجة حرارة التسخين, وتتزايد التشوهات ومن ثم تشوهات الاستطالة فى مراحل لاحقة, لذلك من اجل ضمان عمل امن للعناصر المعرضة للانحناء والعناصر المضغوطة لا مركزيا من الخرسانة المسلحة ولتجنب الانهيار الهش لهذه العناصر بسبب انقطاع التسليح خلال فترة التسخين,و ينصح بتعيين القيمة الحدية للتشوهات الكلية للتسليح وعدم تجاوزها للقيمة 2% بالنسبة لمختلف أنواع التسليح.

الجدول(2 - 4) قيم المعامل γ_{st} (معامل ظروف عمل حديد التسليح) تبعا لدرجة حرارة التسخين ونوع الحديد[١].

صنف التسليح وماركة	مقاومة الحديد على الشد MPa	مقاومة الحديد على الضغط MPa	معامل المرونة للحديد MPa	قيمة المعامل γ_{st} تبعا لدرجة حرارة التسخين ونوع الحديد							
				-20 100	200	300	400	500	600	700	800
A-1 (CT3)	235	235	210000	1	.95	.90	.85	.60	.30	.15	-
A-III (CT35IC)	390	365	210000	1	1	950	.90	.68	.40	.15	.05
A-IV (CT80C)	590	400	190000	1	.95	.90	.85	.60	.30	.15	-
A-V (CT23X212T)	785	400	190000	1	1	.95	.85	.55	.20	.05	-
A-VI (CT22X212AI0)	980	400	190000	1	.85	.75	.65	.45	.20	-	-
A_T-V	785	400	190000	1	1	.90	.80	.45	.20	.05	-
A_T-VI	980	400	190000	1	.95	.85	.75	.35	.10	.03	-
B_P-I	395	360	170000	1	.90	.85	.60	.25	.05	-	-
B_P-II	1255	400	200000	1	.85	.7	.50	.25	.10	-	-

٤-٣-٢ تغير الموصفات المرنة ـ اللدنة لحديد التسليح مع ارتفاع درجة الحرارة

عندما تكون الاجهادات فى الحديد صغيرة تكون العلاقة بين الاستطالة والإجهاد فى مختلف أنواع الحديد خطية, وعندما يحدث ارتفاع فى درجات الحرارة إلى حوالى ٤٠٠°C نلاحظ تناقص فى قيمة معامل المرونة ويزداد مقدار التناقص بشكل كبير عندما تصبح درجة الحرارة أعلى من ٤٠٠°C كما هو موضح الشكل (4).

وبشكل عام يمكن القول بان معامل المرونة للحديد لجميع الأنواع يتناقص بشكل بطئ فى درجات الحرارة حتى ٢٠٠°C ويكون تناقصه كبير مع تزايد درجة الحرارة حتى ٦٠٠°C ويعبر عن معامل المرونة عند التسخين من خلال معامل المرونة فى درجة الحرارة العادية بالعلاقة التالية [١]:

$$E_{st}=\beta_s * E_S \qquad (5)$$

حيث

β_S = ثابت يأخذ بالاعتبار تناقص معامل المرونة للحديد عند تعرضه للتسخين المؤقت وتعطى قيمته فى الجدول رقم (3). هنا لابد من التنويه إلى انه عند تسخين الحديد الخاضع لاجهادات تتزايد التشوهات اللدنة بشدة اكبر منها فى الحالة العادية ويتم اخذ هذه التشوهات اللدنة فى الحساب من خلال العامل ν_s والذى يمثل نسبة الاستطالة المرنة إلى الاستطالة الكلية التى نحصل عليها عند التحميل المؤقت ويحدد معامل التشوه لحديد التسليح من العلاقة التالية [١]:

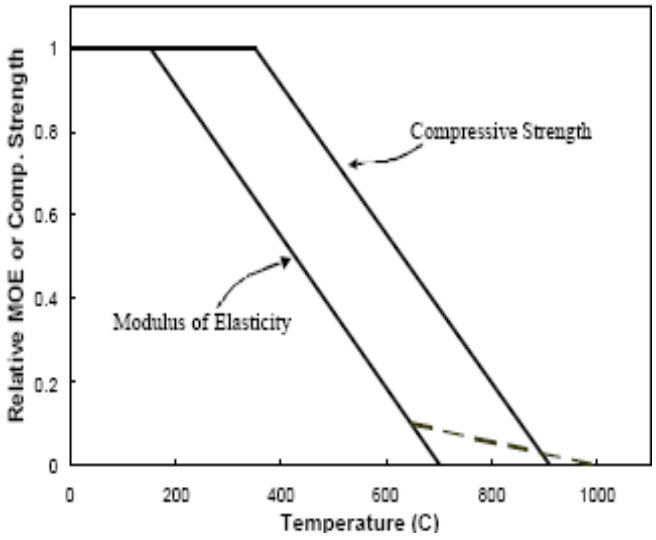
$$E'_{st} = E_{st} * \nu_s \qquad (6)$$

حيث

ν_s = عامل يحدد تبعا لنسبة الإجهاد فى حديد التسليح σ_s إلى حد الخضوع لحديد التسليح

E_{st}= معامل مرونة الحديد فى درجة الحرارة العالية.

E_{st}'=معامل تشوه الحديد فى ظروف درجات الحرارة العالية.



الشكل (4) تأثير التسخين على معامل المرونة لحديد التسليح

الجدول رقم (3 - 4) قيم المعامل β_s تبعا لدرجة حرارة التسخين ونوع الحديد[١]

نوع التسليح	قيمة المعامل γ_{st} تبعا لدرجة الحرارة التسخين ونوع الحديد						
	20-50	100	200	300	400	500	600
A-I A-III A-IV A=V B_p-I,B_P-II	1.0	.96	.92	.88	.83	.78	.73
A_{T-V},A_{T-VI}	1.0	.98	.96	.92	.85	.71	.40
A-VI	1.0	.96	.90	.80	.68	.55	.28

من خلال معالجة المعطيات التجريبية للتشوهات اللدنة لحديد التسليح أمكن الحصول على علاقة تعبر عن تزايد التشوهات من خلال تابع تجريبى [١] وذلك تبعا لنوع الحديد ودرجة حرارة تسخين الحديد t_s بالشكل:

$$\varepsilon_{sc}=\varphi_1.\varphi_2.(e^{\varphi_3}-1) \qquad (7)$$

أما قيمة الثوابت $\varphi_1,\varphi_2,\varphi_3$ فتحدد من الجدول رقم (5)

الجدول رقم (4 - 4) قيم الثابت ν_s تبعا لمستوى الإجهاد فى الحديد

σ_s/R_{st}	1	.9	.8	.7	.6
ν_s	.5	.8	.9	.95	1

الجدول رقم (5 - 4) قيم الثوابت $\varphi_1,\varphi_2,\varphi_3$ تبعا لنوع الحديد

نوع التسليح	$\Phi_1.10^{-5}$	Φ_2	$\Phi_1.10^{-5}$	t
A-III	22.5	$\sqrt{t^3}.e^{.5t}$	$.27\sigma_s$	$0.01t_s$-1.5
A-IV	20	$.4\sqrt{t^3}.e^{.5t}$	$.27\sigma_s$	$0.01t_s$-1.5
AT-V	22	$\sqrt{t^3}.e^{.5t}$	$.2\sigma_s$	$0.01t_s$-1
AT-VI	30	$\sqrt{t^3}.e^{.5t}$	$.2\sigma_s$	$0.01t_s$-1

ويتوقف مقدار التشوه فى حديد التسليح على درجات الحرارة وماركة الحديد ومقدار الإجهاد المطبق عليه عند تعرضه للحرارة. كما أعطيت علاقات مشابهة لتحديد معامل التشوه ومعامل المرونة وغيره, تبعا لدرجة تسخين الحديد [١١,١٢,١٣].

من خلال ما سبق نلاحظ أن تعرض المنشآت للحريق يزيد من ارتفاع درجات الحرارة ويؤدى إلى تسخين العناصر المختلفة فيها , وقد يكون التسخين إلى درجات حرارة عالية أو ضمن حدود ضيقة ويتبع ذلك نوع الحريق واستمرار يته وطبيعة تنفيذ العناصر, ونوعية الخرسانة وحديد التسليح , وهذا ما يغير فى مواصفات المواد المكونة لهذه العناصر ويؤثر على سلوكيتها تحت تأثير الأحمال المختلفة ويخفض مقاومة المواد لتحمل الاجهادات المختلفة ويزيد من تشوهاتها اللدنة .

لذلك من الضرورى إعادة تقييم قدرة تحمل العناصر التى تعرضت لدرجات حرارة عالية نتيجة الحريق, وتحديد قدرة التحمل بعد تغير مواصفات المواد المكونة لها بتأثير الحرارة عن طريق إجراء الاختبارات والدراسات اللازمة وتحديد مدى صلاحيتها للاستثمار اللاحق , إضافة إلى ذلك وتجنبا للمزيد من الأضرار نتيجة الحريق فلا بد من مراعاة بعض الشروط التصميمية للأبعاد وأشكال مقاطع العناصر وسمك الغطاء الخرسانى ومواصفات المواد وغيرها بحيث نستطيع ضمان الحد الأدنى لقدرة التحمل الحرارى ونحد من تأثير الحرارة على هذه العناصر.

٥-١ دراسة العناصر المعرضة لتأثير درجات الحرارة العالية و التحقق من متانتها

تتم دراسة العناصر الخرسانية المسلحة التى تتعرض لتأثير درجات الحرارة العالية والتحقق من متانتها بنفس الطرق المعتمدة لمثل هذه العناصر فى الظروف العادية مع الأخذ فى الاعتبار تأثير الحرارة على تغير مقاومة الخرسانة وحديد التسليح , وفى حالة العناصر المعرضة للانحناء يجب التحقق من العلاقة:

$$M_{fire} \leq M_f \quad (8)$$

حيث :

M_{fire}= العزم الخارجى المؤثر فى ظروف درجات الحرارة العالية الناتجة عن الحريق.

M_f= العزم الذى يستطيع العنصر تحمله فى ظروف درجات الحرارة العالية الناتجة عن الحريق.

ويمكن تحديد M_f باستخدام علاقات مشابهة لتلك المعتمدة فى الظروف العادية مع الأخذ فى الاعتبار انخفاض مقاومة الخرسانة وحديد التسليح من تأثير درجات الحرارة

$$M_f = A_s \cdot f_{y,t} \cdot (d - a_f/2) \quad (9)$$

$$f_{y,t} = K_{Y,T} * f_{y,t} \quad (10)$$

$$K_{Y,T} = (720-T)/470 \quad (11)$$

$$a_f = A_S \cdot f_{y,t} / .85 \cdot f_c \cdot b_f \quad (12)$$

هنا يفترض أن درجة الحرارة فى منطقة الضغط للخرسانة لم ترتفع إلى الحد الذى يؤدى إلى إحداث نقصان فى المقاومة , أما فى حالة تعرض منطقة الضغط من المقطع للحريق ودرجات الحرارة العالية فيجب اخذ تأثير انخفاض مقاومة الخرسانة فى

الاعتبار كما فى الحالة الموضحة بالشكل رقم (5) حيث يحدد ارتفاع مخطط اجهادات الضغط من العلاقة:

$$a_f = A_S \cdot f_{y,t} / .85 \cdot f_c \cdot b_f \qquad (13)$$

b_f= العرض الفعال للمقطع بعد تخفيضه نتيجة تأثير الحريق.

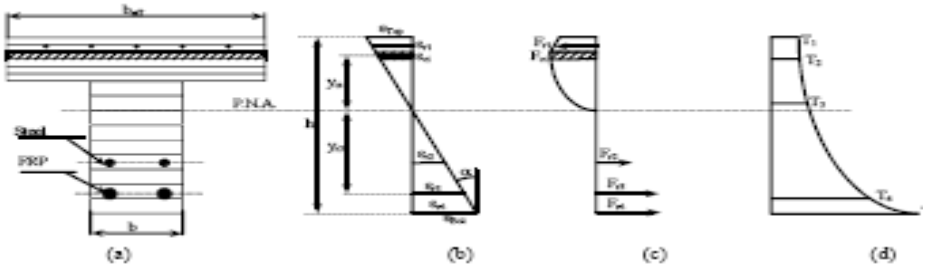
$K_{y,t}$= معامل يأخذ فى الاعتبار تأثير التسخين على الخضوع للحديد.

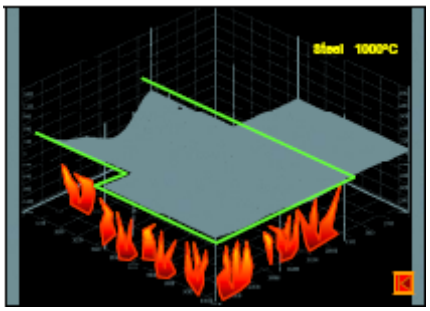
T= درجة حرارة التسخين.

b_f= عرض بلاطة الضغط بعد تخفيضه نتيجة تأثير درجات الحرارة.

A_s= مساحة حديد التسليح المشدود فى المقطع العرضى.

$f_{y,t}$= إجهاد الخضوع فى الحديد مع الأخذ فى الاعتبار تأثير درجات الحرارة.





شكل (5) عناصر خرسانة مسلحة معرضة لتأثير الحريق

فى حالة العناصر المستمرة (كمرات أو بلاطات) تكون مقاومتها أفضل بسبب إعادة توزيع العزوم التى تتم قبل حدوث الانصهار وظهور المفاصل اللدنة, وقد اظهر الحساب فى مواقع العزم الموجب إن العنصر يستطيع مقاومة الحريق باعتباره كمرة بسيطة وهذا الموقع.

أما فى مواقع العزم السالب حيث تتعرض المنطقة التى بها ضغط لتأثير درجات الحرارة العالية شكل (6) فيتم حساب مقاومة العنصر مع اخذ تأثير درجات الحرارة العالية على المقاومات والأبعاد الفعالة للمقطع:

$$M_f = A_s \cdot f_{y,t}(d_f - a_f /2) \qquad (14)$$

حيث

d_f= العمق الفعال للعنصر مخفضا من تأثير درجات الحرارة العالية.

a_f= ارتفاع مخطط الاجهادات الضاغطة مع تأثير درجات الحرارة العالية فى الاعتبار .

$$a_f = A_s \cdot f_{y,t} / .85\, f_c \,.b \qquad (15)$$

إذا كان الجزء المعرض للضغط معرض للنيران فان العرض (b) يتم تخفيضه ويعوض عنه ب (b_f) وهنا يكون من المهم التأكد من أن قدرة التحمل على الضغط لم تتناقص إلى حد كبير بحيث يحدث انهيار مفاجئ وذلك من خلال تحقيق العلاقة:

$$A_s \cdot f_{y,t} /b.d_f \cdot f_{ct} \; < \; 0.3 \qquad (16)$$

ومثل هذا التحقيق ضرورى عندما يحدث استطالة كبيرة فى التسليح فى المنطقة المعرضة للضغط, وتشير الكثير من المراجع إلى أن القص يعتبر أساسيا فى العناصر سابقة الإجهاد مع وجود قطاع نحيف ,وينصح الكود الاوروبى [١٠] باستخدام

العلاقات المعتمدة فى الحالات العادية مع إدخال تأثير الحرارة العالية على مقاومة الحديد والخرسانة, وقد تبين من التجارب [١٤] إن انخفاض مساهمة الخرسانة فى تحمل القص (shear) اقل بكثير من انخفاض مساهمة الكانات فى تحمل القص, كما تنخفض مساهمة الإجهاد إلى الصفر عند ارتفاع درجة الحرارة بشكل كبير.

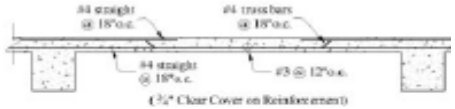


Figure 2.5 Detail of typical floor slab

Figure 2.6 Detail of typical beam

Figure 2.7 Detail of typical girder

شكل(6) منطقة الارتكاز فى حالة بلاطة مستمرة من الخرسانة

يعتبر حساب الأعمدة فى ظروف الحريق أكثر تعقيدا من حساب العناصر المعرضة للانحناء نظرا لإمكانية فقدان الاستقرار لذلك تعطى دنيا لمقاطعها (طول * العرض) [١٠,٤,١] وتستخدم بعض الكود المختلفة [٧] علاقة تجريبية استنادا إلى نتائج تجارب على الحريق [١٥]بينما يقترح بعض الباحثين [١٦] إهمال مساهمة الجزء الذى تصل درجة الحرارة فيه ٦٠٠ْC وإجراء الحساب على مقطع مكافئ للجزء المتبقى بالعلاقات العادية, واعتبار جزء العمود الخرسانى الذى تصل حرارته أعلى من ٦٠٠ْC مقاومته صفر, وجزء العمود الخرسانى الذى تصل درجة حرارته أعلى من ٤٠٠ْC مقاومته 70.% والنواة الداخلية مقاومتها 90.%, ويتم تقييم النحافة باعتماد جزء مساحة المقطع الذى لا تزيد درجة الحرارة فيه عن ٦٠٠ْC .

أما الحوائط الخرسانية فمقاومتها ضد الحريق تتعلق بشكل كبير بطريقة تثبيت نهايات الحائط وهى اكبر إذا كانت النهايات العلوية والسفلية للحائط موثوقة منها فى حالة كونها مفصلة [١٧] ويتم تحليلها كما فى حالة الإطارات باستخدام برامج التحليل المناسبة [١٨].

ولتحديد درجة الحرارة فى مواقع مختلفة من العنصر يمكن اعتماد علاقات حسابات تجريبية [١٨,١٩]:

$$T_W = \eta_w \cdot T_f \quad (17)$$

$$\eta_w = 1 - .0616 \cdot t_h^{-.88} \quad (18)$$

$$T_f = 345.\log_{10}(8.t+1) + T_0 \quad (19)$$

حيث

t= الزمن بالدقائق

T_0= درجة حرارة الوسط المحيط

T_W= درجة حرارة السطح المعرض لتأثير الحرارة

T_f= درجة حرارة النيران

t_h= الزمن بالساعات

وتكون درجة حرارة الخرسانة عند اى عمق (x) مقدرا بالمتر, فى الزمن t_h تابعة لدرجة حرارة السطح T_w والمعامل η_s الذى يعطى بالعلاقة:

$$\eta_x = 0.18 \cdot Ln\,(t_h / x^2) - 0.81 \quad (20)$$

وتكون درجة حرارة الخرسانة

$$T_c = \eta_x \cdot \eta_w \cdot T_f \qquad (21)$$

ويمكن استخدام علاقات مشابهة فى حالة الكمرات مع مراعاة أن ظروف التسخين مختلفة حيث تحدث فى اتجاهين لذلك نستخدم معاملين η_y, η_s فنحصل على العلاقة:

$$T_c = [\ \eta_w .(\eta_x + \eta_y - 2\ \eta_x . \eta_y) + \eta_x \eta_y] .T_f \qquad (22)$$

ويمكن اعتماد هذه العلاقات لمختلف أنواع الخرسانة[١٨].

أولا : التوصيات التى يجب مراعاتها لتامين مقاومة الحريق فى المنشآت الخرسانية

حرصا على تامين مقاومة الحريق فى المنشآت والأبنية من الخرسانة ينصح بمراعاة مايلى:

1- **اعتماد القياسات الدنيا للعناصر و المسافة من محور التسليح إلى سطح العنصر وفق القيم المعطاة فى الكودات والمواصفات المختلفة [٢٣,٢٢,٢١,٤,١] وذلك تبعا لنوع العنصر ونوع الخرسانة والجهة من العنصر التى تتعرض للنيران.**

2- **تتوقف القياسات الدنيا للعناصر وكذلك المسافة من السطح حتى محور التسليح والتى تضمن حد المقاومة المطلوب على نوعية الخرسانة بسبب اختلاف درجة توصيل الخرسانة للحرارة , فالخرسانة الخفيفة اقل ناقلية من الخرسانة الثقيلة, لذلك فان استخدام الخرسانة الخفيفة أو الخرسانة ذات ركام جيرى فى المنشآت المعرضة لتأثيرات حرارية يقلل من قياسات العناصر والسماكة الدنيا للتغطية المطلوبة.**

3- **أما فى حالة استخدام الخرسانة الثقيلة ذات الركام السليسى فان قياسات العناصر تكون اكبر وسمك التغطية أيضا اكبر, ويمكن ضمان مقاومة اكبر للنيران فى عناصر المنشأ بزيادة سماكة طبقة الحماية, لكن الزيادة الكبيرة قد تؤدى إلى استخدام شبكات تسليح بأقطار صغيرة فى طبقة الحماية, وبشكل عام يمكن اعتماد القيم الدنيا المعطاة فى الكود والمواصفات المختلفة**

[٢٣,٢٢,٢١,٤,١]وذلك تبعا لنوع العنصر ونوع الخرسانة و الجهة من العنصر التى تتعرض للحريق.

ويجب ألا تقل المسافة الوسطية للتغطية حتى محور التسليح عن القيم المعطاة فى الكود, وتقاس هذه المسافة من اقرب سطح معرض للتسخين (سفلى أو جانبى) وتحدد من العلاقة:

$$a = \frac{A_1.a_1+A_2a_2+\ldots\ldots+A_na_n}{A_1+A_2+\ldots\ldots+A_n}$$

و ينصح بوضع التسليح ابعد ما يمكن عن الزوايا باعتبارها أكثر تأثرا بالحرارة ويفضل وضع القضبان ذات الأقطار الكبيرة بعيدا عن زوايا المقطع كما هو موضح على الشكل (7).

4- يجب الأخذ فى الاعتبار تأثير عدم الاتزان الاستاتيكى على مقاومة الحريق فى العناصر غير المتزنة استاتيكيا وذلك بمراعاة الشروط والمتطلبات التالية:

ا- يجب تمديد مالا يقل عن 20% من حديد التسليح العلوى عند الركائز إلى منتصف القطاع.

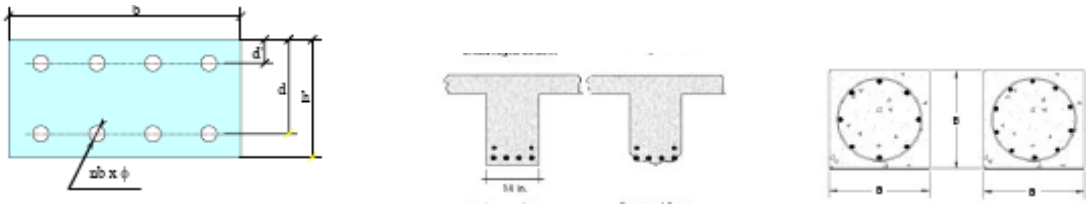
ب- يجب تمديد حديد التسليح العلوى فى الركائز الطرفية لمسافة لا تقل عن 0.4 من طول البحر اعتبارا من الركيزة وبعد ذلك يتم وقفها.

ج- يجب تمديد أسياخ التسليح العلوية فوق جميع الركائز المرحلية فى البحور لمسافة لا تقل عن 0.15 من طول البحر للكمرة وبعد ذلك توقفها تدريجيا.

د- يعتمد البعد الأصغر للعمود من الخرسانة الثقيلة أو الخفيفة المعرضة للتأثيرات الحرارية من جميع الجوانب وكذلك الأعمدة الواقعة فى الحوائط والمعرضة للنيران

من جهة واحدة حيث يكون البعد(b) عندها عائدا إلى الأعمدة ذات الأسطح المسخنة والواقعة فى نفس المنسوب مع الحوائط أو الأجزاء البارزة عن الحوائط والمعرضة للأحمال وفق ما تحدده الكود والمواصفات ويفترض انه لا يوجد فتحات فى الحوائط قرب الأعمدة فى اتجاه البعد الأصغر (b) وفى حالة الأعمدة الدائرية المصمتة يؤخذ البعد مساويا القطر.

هـ- وينصح بالا تزيد نحافة العمود عن ($l_0/b \leq 25$) فى حالة تطبيق الأحمال لا مركزيا أو كانت الأحمال مطبقة مع لا مركزية طارئة وألا تزيد نسبة التسليح عن 3% من المقطع الخرسانى مع تامين ثبات الركائز.



شكل (7) توزيع حديد التسليح فى المقاطع العرضية للعناصر المعرضة للحريق

الحد الأدنى للغطاء الخرسانى فى المنشآت التى قد تتعرض للحريق يلزم مراعاة ألا تقل أبعاد سمك الغطاء الخرسانى التى يحتمل تعرضها للحريق عن القيم الواردة بالجدول رقم (6-4) فى الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية 1995

جدول (6 - 4) أبعاد الخرسانة المطلوبة لمقاومة الحريق.

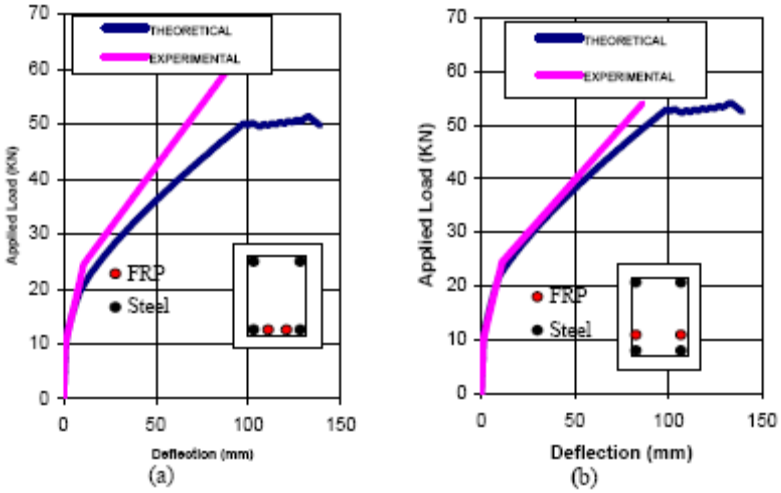
الحالة	الأبعاد الدنيا للخرسانة (مم) لتعطى مقاومة للحريق التى تحتمل استمرارها لفترات (بالساعات)					
	4	3	2	1.5	1	0.5
0 - خرسانة ظاهرة ذات ركام سليسى 1 - متوسط سمك الغطاء الخرسانى حول صلب التسليح 2 - عرض الكمرة	مم 65* 280	مم 55* 240	مم 45* 180	مم 35 140	مم 25 110	مم 15 80
0 - خرسانة مغطاة بطبقة من البياض من المونة الأسمنتية والجير أو الجبس بتخانة 15مم 1 - متوسط سمك الغطاء الخرسانى حول صلب التسليح 2 - عرض الكمرة	50* 250	40 210	30 170	20 110	15 85	15 70
0 - خرسانة مغطاة بطبقة من مونة الجبس والفيروموكليت أو الاسبتسوس بسمك المرشوش 15مم 1 - متوسط سمك الغطاء الخرسانى حول صلب التسليح 2 - عرض الكمرة	25 170	15 145	15 125	15 85	15 60	15 60

ربما استدعى الأمر إضافة شبكة من صلب التسليح لحفظ الغطاء الخرسانى.

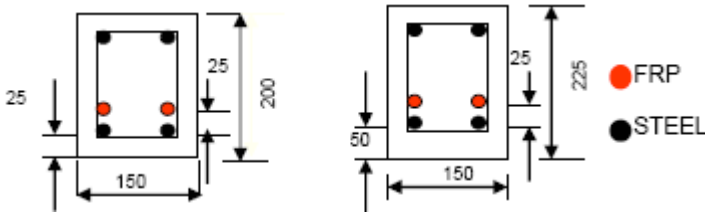
ثانيا: مقارنة لبعض الاختبارات التى اجريت لزيادة الغطاء الخرسانى لمقاومة تاثير الحريق

تاثير الحريق

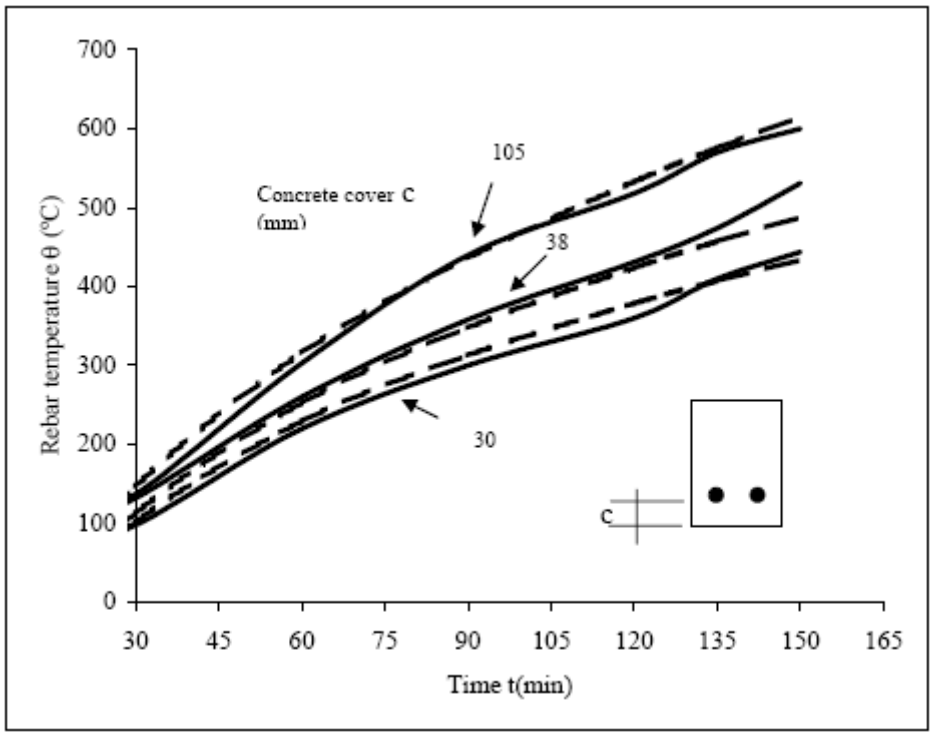
من خلال بعض الأبحاث التى أجريت لمتابعة تأثير زيادة الغطاء الخرسانى فى مقاومة الحريق.



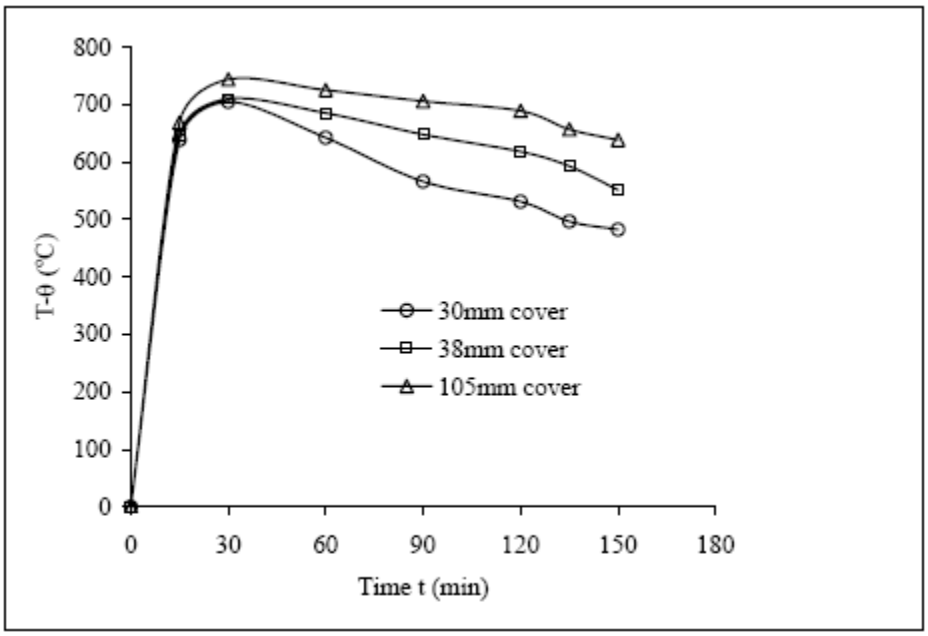
شكل (8) مقارنة تأثير ترتيب حديد التسليح على مقاومة الخرسانة للضغط



شكل (9) تأثير زيادة الغطاء الخرسانى والمسافة بين الأسياخ على مقاومة الحريق



شكل (10) تأثير مدة تعرض الخرسانة للحريق على الغطاء الخرسانى



شكل(11) تأثير زيادة الغطاء الخرسانى ومدة تعرض الخرسانة للحريق

ثالثا: إزالة بقع الحريق

يتم إزالة بقع الحريق باستخدام الحجر الخفاف أو الرمال أو الحصى أو عن طريق حك السطح جيدا بقطعة من القماش المبللة بمحلول فوسفات ثلاثى الصوديوم.

وذلك بعد إجراء جميع الاختبارات السابقة والتأكد من صلاحية المبنى للاستمرار فى الاستخدام وصلاحية حديد التسليح بعد تعرضه لتلك الدرجات العالية من كفاءة استمراره لفترة كافية دون اللجوء لتدمير المبنى واعدة بناؤه .