مجلة جامعة الملك عبد العزيز : العلوم الهندسية ، م٢ ص ص ٣ - ٢٤ (١٤١٠هـ / ١٩٩٠م)

تقـــويم المنشآت الخرسانيـــة المتعرضـــة للحريق

محمد حسن سالم و فيصل فؤاد وفا

كبير المهندسين بشركة دانييل الدولية العربية السعودية (مشروع جامعة الملك عبد العزيز) ؛
وأستاذ مشارك ، قسم الهندسة المدنية ، كلية الهندسة ، جامعة الملك عبد العزيز ،
جـــدة ، المملكة العربية السعودية

كثيرًا ما يقرر أصحاب المنشآت الخرسانية المتعرضة للحريق ، نظراً للمظهر البشع الذي تبدو عليه عادة بعد الحريق ، أن أفضل الحلول لإصلاح منشآتهم إزالة الجزء المتضرر منها بأكمله ، وإعادة بنائه من جديد . إلّا أن معظم المنشآت الخرسانية المتعرضة للحريق يمكن إعادة إصلاحها بكلفة أقل كثيراً من كلفة إعادة بنائها .

يعتمد مدى تضرر المنشآت الخرسانية على عدة عوامل ، منها أعلى درجة حرارة وصلت على سطح الخرسانة ، ومدة استمرار الحريق ، والشكل الهندسي للأجزاء التي تعرضت للحريق وسماكتها ، والمواد المشتعلة ونوعيتها . ولتحديد مدى الضرر اللاحق بكل جزء من أجزاء المبنى لابد من معاينة هذه الأجزاء بدقة وطبقاً لطريقة محددة وإجراء التجارب المعملية المناسبة وإجراء التجارب غير المتلفة على الأجزاء المتضررة ، ووضع برنامج شامل للإصلاح في ضوء هذه التجارب .

يتضمن هذا البحث سرداً للخطوات المتبعة في دراسة المنشآت الخرسانية المتعرضة للحريق ، والتجارب المتبعة عادة لتقويم قوة تحمل هذه المنشآت ، ويتضمن البحث دراسة عملية لإحدى المنشآت التي تعرضت للحريق ، ووصفاً للمراحل المتبعة أثناء المعاينة والاختبارات التي تمت على الخرسانة وقضبان التسليح من كسر عينات قلوب خرسانية وقراءات باستعمال جهاز الموجات فوق الصوتية ومطرقة شميت ، واختبار الأحمال الساكنة لبعض أجزاء المنشأ المتضررة ، وكذلك عملية إصلاح الأضرار التي لحقت بالمنشأ .

١ - مقدمـــــة

تتعرض المنشآت الخرسانية للحرائق ، إما خلال إنشائها أو خلال فترة استعمالها ، نظراً لسهولة اشتعال المواد الحديثة المستخدمة وكثرة استعمالها . وتعتبر المنشآت الخرسانية من أفضل أنواع المنشآت التي لا تتأثر كثيراً بدرجة الحرارة العالية مقارنة بالمنشآت الأخرى المصنوعة من الحديد أو من الخشب . ولو أجرينا إحصاءات مفصلة عن المنشآت الخرسانية التي تعرضت للحريق لوجدنا أن معظم هذه المنشآت لم يتعرض لأضرار جسيمة ، وأنه تم إصلاحها وإعادتها للخدمة خلال فترات زمنية قصيرة . غير أن المنشآت المتعرضة للحريق غالباً ما تظهر بمظهر سيئ للغاية عقب الحريق مباشرة ، خصوصاً إذا كانت بقايا المواد المشتعلة مازالت في موضعها ، أو بعض أجزاء الخرسانة قد تساقط بفعل الحرارة العالية أو التبريد السريع بمياه الإطفاء ، أو أن لون الخرسانة قد تغيَّر ، وربما ظهرت بعض التشوهات الواضحة للعين المجردة مثل الانحناء والالتواء في بعض الأجزاء وفي قضبان التسليح . وتعتمد درجة الضرر التي يتعرض لها المنشأ على شدة الحرارة وامتداد فترة الحريق وعلى نوع الخرسانة وصغر عمرها وسماكة الطبقة الواقية لحديد التسليح وغيرها . ونظراً للمظهر السيئ للأضرار الناتجة عن الحريق ، فإنه كثيراً ما يكون رد فعل صاحب المنشأ أن يفكر في هدم الجزء المتضرر وإعادة بنائه من جديد . هذا القرار المتسرع عادة ما يسبب خسائر مادية كبيرة وتعطيلا لاستخدام المنشأ لفترة طويلة . لذلك ، لابد من فحص المنشأ بصورة دقيقة وعلمية لكى يتم تقويم مدى الأضرار التي لحقت به وتحديد مقدرة المنشأ على تحمل الحمولات والقوى التي صمم وفقا لها . في ضوء هذا التقويم والدراسة يتم وضع برنامج مفصل لإجراء الإصلاحات اللازمة مع وضع برنامج زمني لذلك .

٢ - تأثير الحرارة العالية على الخرسانة وحديد التسليح

تتعرض المونة الأسمنتية بفعل الحرارة العالية إلى الانكماش نتيجة تبخر الماء الحر منها ويلاحظ حدوث تشققات صغيرة ناتجة عن هذا الانكماش[١] . وطالما أن درجة الحرارة لم تتجاوز ١٠٠ درجة مئوية لا يحصل فقدان للماء المتحد كيماوياً في المونة الأسمنتية حتى ولو تعرضت للحرارة لفترة طويلة . ولكن إذا ارتفعت الحرارة عن ١٠٠ درجة مئوية ، فإن الماء المتحد كيماويا يبدأ بالتبخر مما يؤدي إلى نقص قوة المونة الأسمنتية متناسباً مع كمية الماء المفقودة . وتتوقف هذه الظاهرة عند إطفاء الحريق وهبوط درجة حرارة الخرسانة . وإذا ما ارتفعت درجة الحرارة عن ٤٠٠ درجة مئوية ، فإن سيليكات الكالسيوم تبدأ بالتحلل إلى كلس سريع وسيليكا . وتؤدي هذه العملية إلى نقص قوة المونة الأسمنتية ، وتؤدي بالنهاية - عند انخفاض درجة الحرارة - إلى تشبع الكلس بالرطوبة ، وبالتالي زيادة حجمه وتفتته . وقد تستمر هذه الظاهرة بعد برودة الخرسانة حتى تأتي على جميع الأجزاء المتحللة كيماويًا[١-٤] .

يعتمد مدى تأثر الخرسانة بالحرارة العالية على نوع الركام المستعمل . فمثلاً ، يكون تأثير الحرارة العالية

على الركام المأخوذ من صخور بركانية كالجرانيت والبازلت قليلاً جدًّا حتى لو ارتفعت درجة الحرارة إلى ١٠٠٠ درجة مئوية ، وقد يحدث بعض التقشر السطحي عند تعرض الركام لتغيرات مفاجئة في درجات الحرارة . أما الركام الناتج عن صخور السيليكا كحجر الصوان ، فإنه يحصل له زيادة مفاجئة في حجمه عند درجة جرارة تتراوح من ٢٥٠-٥٧٥ درجة مئوية ، مسببة نقصاً في مقاومة الخرسانة بشكل واضح . أما الركام الناتج عن صخور كِلْسية ، فإنه يحصل له زيادة متدرجة في حجمه عند ارتفاع درجة الحرارة ولا تسبب أضراراً ظاهرة ، غير أنه يتحول إلى كِلْس سريع عند درجة حرارة ٤٠٠ درجة مئوية ، وعند التبريد يمتص الكِلْس السريع الرطوبة ويتحول إلى هيدروكسيد الكالسيوم مما يتسبب في نقص كبير في قوة تحمل الخرسانة[١] .

إذا لم تتجاوز درجة الحرارة ٥٠٠ درجة مئوية ، فلا تأثير يذكر لارتفاع درجة الحرارة على حديد التسليح . غير أنه يلاحظ نقص واضح في قوة الحديد عندما تصل درجة الحرارة من ٥٠٠ إلى ٨٠٠ درجة مئوية ، خصوصاً عندما تكون عملية التبريد بشكل بطيء[٥] . ويلاحظ في هذه الحالة أن نقطة الخضوع قد تنقص إلى ٧٠ في المائة من القيمة الأصلية ، وأن قوة الشد العظمى قد تنقص إلى ٨٠ في المائة من القيمة الأصلية .

٣ - الخطوات المتبعة في تقويم متانة المنشآت الخرسانية المتعرضة للحريق

لتقويم متانة المنشآت الخرسانية المتعرضة للحريق ، هناك خطوات يجب اتباعها من أجل الحصول على نتائج صحيحة وبطريقة علمية .

٣,١ دراسة تاريخ المنشأ

من أجل معرفة الوضع الأصلي للمنشأ يجب الحصول على المخططات التصميمية والتنفيذية ، كما يجب معرفة أية تعديلات تمت أثناء عملية التنفيذ حتى تتم المقارنة على أساس ثابت . يجب الحصول على المعلومات التصميمية الخاصة بالأحمال التي صمم المبنى على أساسها (حمل حي ، حمل ميت ، حمل جانبي) وقيم عوامل الأمان المستعملة ، ومعرفة الغرض الذي يستخدم المبنى من أجله في الوقت الحالي . ومحاولة الحصول على معلومات تنفيذية خاصة بالمنشأ مثل تاريخ صب الخرسانة ، نوعية ومكونات الخرسانة ، تقرير اختبار العينات ، حديد التسليح المستخدم ، والمشاكل التي حدثت أثناء التنفيذ . ولمعرفة درجة الحرارة التي تعرض لها المنشأ يجب معرفة المواد المعمارية والأثاث والأجهزة التي كانت في المنشأ لحظة حدوث الحريق[٤] .

٣,٢ مسح لحالة المبنى

بعد الانتهاء من جمع المعلومات الخاصة بتاريخ المنشأ يجب زيارة المنشأ ودراسة خواصه الهندسية ومعاينة

الأضرار التي لحقت بالمنشأ بالعين المجردة وتصوير وتدوين ورسم جميع ما يتعلق بها . والدراسات التي يجب أن تجرى هى[٦] :

٣,٢١ قياس أبعاد الأجزاء الإنشائية (جائز ، بلاطة ، عمود) بدقة كبيرة ومقارنة هذه القياسات بالخرائط التنفيذية ودراسة تأثير الاختلاف إن وجد على المنشأ ومعرفة مسبباته .

٣,٢٢ دراسة المواضع التي بها تشققات خرسانية وقياس عرض تلك الشقوق وعمقها وطولها ووصفها وموضعها في المبنى مع إرفاق رسومات لأشكالها . دراسة التفتت الخرساني أو أي عيوب سطحية أخرى . دراسة تغير لون الخرسانة ودرجة هذا التغير حيث يمكن تقدير الدرجة التقريبية للحرارة التي تعرض لها المبنى من تفاوت ألوان الخرسانة .

٣,٢٣ دراسة التأثر الذي حدث لحديد التسليح وسقوط الغطاء الخرساني ومدى تعرض الحديد للحرارة المباشرة وتقدير الضرر .

٣,٢٤ دراسة التشوهات التي حدثت للمبنى نتيجة لانحناء بعض الأعضاء الإنشائية ومعرفة إن كان سببها الأحمال الموجودة على المنشأ أو نتيجة الحريق .

٣,٣ تقـــويم متانـــة المنشأ

بعد الانتهاء من تجميع المعلومات الخاصة بالمنشأ ، يتم تقدير درجة الضرر الذي حدث للمنشأ وإمكانية إصلاحه من عدمها . في حالة وجود شك في متانة جزء من المنشأ ، يحدد الجزء الذي يجب فحصه ودراسته بالتفصيل ، ويحسب الحمل المأمون التقديري للمبنى ، وتوزيع الأحمال التي ستستخدم عند التحليل والاختبار . ولتقدير متانة المنشآت الخرسانية القائمة هنالك طريقتان ، الطريقة التحليلية وطريقة الأحمال الساكنة[٧] .

٣,٣١ الطريقـة التحليلية

تتم هذه الطريقة باستخدام إحدى الطرق التصميمية المعروفة . ولإجراء عملية التحليل الإنشائي للمبنى يجب توافر أبعاد الأعضاء الإنشائية ، التسليح ، التفاصيل ، مقاومة الخرسانة ، جودة التنفيذ ، ومقدار تأثر المبنى نتيجة لتدهور حالته . عند وجود أي شك في قيمة مقاومة الخرسانة ، فإنه يجب إجراء تجارب متلفة عن طريق أخذ قلوب خرسانية من الأجزاء المشكوك في قوتها واختبارها حسب إحدى المواصفات العالمية (ASTM C-42) . يجب إجراء عدد من الاختبارات غير المتلفة بالإضافة إلى الاختبارات المتلفة[٧٠١] ، وإجراء عملية مقارنة يبنى على أساسها الربط بين الاختبارات غير المتلفة ومقاومة الخرسانة . والاختبارات الخرسانية غير المتلفة هى : الموجات فوق الصوتية ، الطرق الإشعاعية (الأشعة السينية أو أشعة جاما) ، طرق قياس صلابة السطوح مثل مطرقة شميدت أو أية طرق أخرى[٧] . أما

بالنسبة لحديد التسليح فيجب معرفة خواص حديد التسليح سواء بالاختبارات المتلفة ، مثل اختبار الشد ، أو غير المتلفة[٥،٨] مثل استخدام الطرق الإشعاعية .

٣٢ ,٣ طريقة الأحمال الساكنة

يتم تحميل المنشأ بطريقة الأحمال الساكنة في حالة صعوبة أو عدم إمكانية إجراء الطريقة التحليلية لإيجاد قوة المنشأ نتيجة تعقد التصميم ، أو لعدم توافر مواصفات الأجزاء الإنشائية[٧] . وتجرى للأجزاء الإنشائية المعرضة أساساً لعزوم الانحناء (Flexural Member) . وعند إجراء اختبار التحميل يجب اتباع الخطوات التالية :

١ - تحليل ابتدائي تقريبي للجزء الذي سيتم اختباره للتأكد من الخطوات التي تتبع وطرق التحميل ومعرفة تأثير تلك الأحمال على المنشأ .

٢ - على المهندس أن يقرر فيما إذا كان من الممكن إجراء الاختبار بأمان قبل إجراء عملية الإصلاح والترميم .

٣ - يُحسب حمل الاختبار قبل الشروع في عملية التحميل ، ويجب أن يشتمل حمل الاختبار على الحمل الكلي (بما فيه الحمل الميت الموجود) بما يعادل ٠,٨٥ (١,٤ الحمل الميت + ١,٧ الحمل الحي) .

٤ - تُجهَّز منطقة الاختبار بالأجهزة الخاصة لقياس الانحناء في الأعضاء الإنشائية وكذلك لقياس أية حركة للمساند .

٥ - يجب تدعيم المناطق التي سيتم اختبارها قبل إجراء عملية الاختبار لحماية المنشأ في حالة حدوث أي انهيار أو هبوط للجزء المختبر .

٦ - عند التحميل توضع الأحمال بدون إحداث صدمات أو هزات للمنشأ .

٧ - تُضاف الأحمال على عدة مراحل متساوية (لا تقل عن أربع مراحل) .

٨ - يُعرَّض المنشأ لحمل يعادل الأحمال الميتة غير الموجودة وقت التحميل ، ويجب أن تترك مكانها حتى يتم الانتهاء من اختبار التحميل . بعد الانتهاء من التحميل الميت ، يجب أخذ جميع القراءات وملاحظة حدوث أية تشققات ثم يحمل الحمل الحي .

٩ - بعد كل مرحلة من مراحل التحميل ، تؤخذ قراءات الانحناء على فترات زمنية متساوية حتى ينتهي الانحناء (يُعتبر الانحناء منتهياً إذا لم يزد عن ١٠٪ خلال قراءتين أُخذتا على مرحلتين متتاليتين الفرق الزمني بينهما ساعتان) .

١٠ - يجب إيقاف التحميل فوراً إذا بلغ الانحناء أو زادت قيمته عن الانحناء المحسوب سابقاً .

١١ - بعد انتهاء عملية التحميل يُترك الحمل الكلي لمدة ٢٤ ساعة ، وتؤخذ القراءة المبدئية (الانحناء الأكبر) . بعد ذلك يزال الحمل على مراحل لا تزيد على ضعف النسبة التي استخدمت في عملية

التحميل . ويجب أخذ القراءات قبل وبعد كل إزالة . بعد إزالة جميع الأحمال بمدة ٢٤ ساعة تؤخذ قراءة الانحناء النهائية .

١٢ - إذا لم تظهر خلال عملية التحميل أية تشققات كبيرة أو تفتت أو أي شكل آخر من أشكال الانهيار ، فإن المنشأ يعتبر آمناً إذا لبى الشرطين التاليين :

أولاً : إذا كان الانحناء الأكبر لجائز أو بلاطة أقل من ($ب^2$ / ٢٠٠٠٠س)

حيث ب : بحر الجزء المحمل ، وهو البحر الأصغر للبلاطات المستوية والبلاطات المسنودة على أربعة جوانب ، وهو للجيزان المسافة بين مركز المساند أو المسافة الصافية بين المساند زائداً سمك العضو أيهما أصغر ، وهو للكابولي ضعف المسافة بين المساند ونهاية الكابولي بالمليمتر (بوصة) .

س : السمك الكلي للعضو الإنشائي بالمليمتر (بوصة) .

ثانياً : إذا زاد الانحناء الأكبر لجائز أو بلاطة عن ($ب^2$ / ٢٠٠٠٠س) ، وكان الانحناء المردود بعد ٢٤ ساعة من إزالة أحمال الاختبار لا يقل عن ٧٥٪ من الانحناء الأكبر للخرسانة المسلحة أو ٨٠٪ للخرسانة سابقة الاجهاد .

١٣ - إذا لم ينجح المنشأ في اختبار التحميل ولم يظهر عليه أية آثار انهيار فإما أن تجرى له جميع التغييرات والإصلاحات اللازمة لجعله صالحاً للاستخدام ، وإما أن يستخدم المنشأ لأحمال أقل من الأحمال الأصلية التي صمم على أساسها .

٤ - إصلاح وترميم المنشآت المتعرضة للحريق

بعد حصر الأضرار الموجودة في المنشأ ومعرفة نوعيتها (تلف بعض الأعضاء الإنشائية ، تشقق ، تفتت ، انحناء) ، وبعد دراسة مستفيضة لتحليل نتائج الاختبارات التي أجريت ، هناك خياران : الأول أن المبنى متضرر كثيراً نتيجة للحريق وإصلاحه مكلف جداً ، لذا يجب إزالته . والآخر أن المبنى حدث به بعض التضرر ويمكن إصلاحه وإعادته إلى وضعه الأصلي بكلفة معقولة . إذا تم اتخاذ القرار بإجراء عملية ترميم وإصلاح المنشأ ، فإنه يجب عندئذ عمل دراسة كاملة للخطوات التي ستتبع في إصلاح المنشأ كإعداد السطوح لعملية الإصلاح واختبار مواد الإصلاح[٨-١٠] .

٤,١ إعداد السطوح الخرسانية لعملية الإصلاح والترميم

قبل البدء في عملية الإصلاح والترميم ، يجب أن يتم إعداد الخرسانة المتضررة لاستقبال مواد الترميم كالتالي[١٠،١] :

١١ ,٤ إزالة جميع الأجزاء غير المتماسكة وكذلك الأعضاء المنهارة والزوايا الحادة والنتوءات الظاهرة

والخرسانة الضعيفة حتى الوصول إلى سطح نظيف ومتماسك ويستخدم في ذلك المطرقة أو أية معدات أخرى .

٤ , ١٢ إزالة حديد التسليح المتضرر وإضافة حديد إذا احتاج الإصلاح إلى ذلك . في حالة تكشُّف أكثر من نصف محيط حديد التسليح ، يفضل إزالة الخرسانة دائرياً حول محيط الحديد وإعادة صب تلك المنطقة للتأكد من الحصول على تماسك جيد . يجب أن يكون الحديد نظيفاً وخالياً من الصدأ والغبار .

٤ , ١٣ تُنظَّف المناطق المتضررة بالماء ، أو الهواء المضغوط ، أو الرمل المضغوط ، أو بهواء - ماء مضغوط حتى تُزال جميع الأجزاء الضعيفة .

٤ , ١٤ عند إجراء إصلاحات كبيرة قد يحتاج الأمر إلى عمل شدات وقوالب خاصة لاستخدامها عند صب الخرسانة .

٤,٢ مـــواد الإصـــلاح والترميم

يعتمد اختيار مواد الإصلاح على نوع التضرر الذي لحق بالمنشأ والظروف الأخرى المحيطة به . وفيما يلي بعض المواد المستخدمة في عملية الترميم والإصلاح[١،٢،٨،١٠] :

٤ , ٢١ استخدام خلطات خرسانية بورتلاندية

تستخدم عند إزالة بعض الأعضاء الإنشائية بكاملها نتيجة لتضررها الشديد ، ويجب أن يكون لها نفس خواص الخرسانة القديمة لتقليل حدوث تغيُّر حجمي بين السطحين . يوصى باستخدام ركام أكبر وماء خلط أقل من الخلطة القديمة لتقليل انكماشها .

٤ , ٢٢ استخدام الخرسانة المدفوعة Shotcrete

لإصلاح السطوح المتضررة ذات السماكة القليلة من الأسقف والأعمدة .

٤ , ٢٣ عجينة أسمنتية

تستخدم يدوياً للمساحات الصغيرة وعلى طبقات وبسماكة حتى ٣٠ مم .

٤ , ٢٤ عجينة ناشفـة Drypack

تُستخدم لملء الفراغات القليلة وللشقوق الصغيرة ، نسبة الماء القليلة بها تقلل من الشقوق نتيجة الجفاف .

٤ , ٢٥ تكسيـــة Overlay

وهى إعادة صب طبقة خرسانية رقيقة فوق سطح الأرضيات وخلافه يتراوح سمكها من ٢٥ - ١٠٠مم . ولتدعيم وتقوية بعض الأرضيات ، قد يحتاج العمل لإضافة شبكة حديدية تثبت في الخرسانة الأصلية ثم تصب الطبقة الجديدة حسب السماكة المطلوبة .

٢٦ , ٤ طبقـــة دهـــان

أسمنت بورتلاندي مخلوط بالرمل يتم وضعه على شكل طبقات رقيقة باليد أو بالآلة للأغراض المعمارية فقط . لا تزيد سماكة هذه الطبقة عادة عن ٢٥ مم .

٢٧ , ٤ مونة أو خرسانة مصنوعة من مستحلب اللاتكس المعدل Latex Modified Mortar Concrete

إضافة اللاتكس للخرسانة وللعجينة الأسمنتية تقلل من نسبة الماء إلى الأسمنت مما يؤدي إلى الحصول على خرسانة لها نفس خواص الخرسانة العادية ، إضافة إلى أنها مقاومة لبعض الأملاح . وتستخدم لتغطية الأسطح الخرسانية والمقاطع الكبيرة بسماكة لا تقل عن ١٣ مم .

٢٨ , ٤ غراء الراتينج Epoxy Resin

من خواص غراء الراتينج شدة الالتصاق وعلو مقاومة الشد ، إلا أن له معامل تمدد أعلى من الخرسانة الأسمنتية البورتلاندية ، مما يؤدي عند تعرضه للحرارة المرتفعة إلى تضرر حافة سطح الالتصاق ، غير أن إضافة الركام تقلل من أضرار التغير الحجمي . ويستخدم غراء الراتينج بالحقن .

٥ - دراســـة عملية لأحـــد المنشآت المتعرضة للحريق

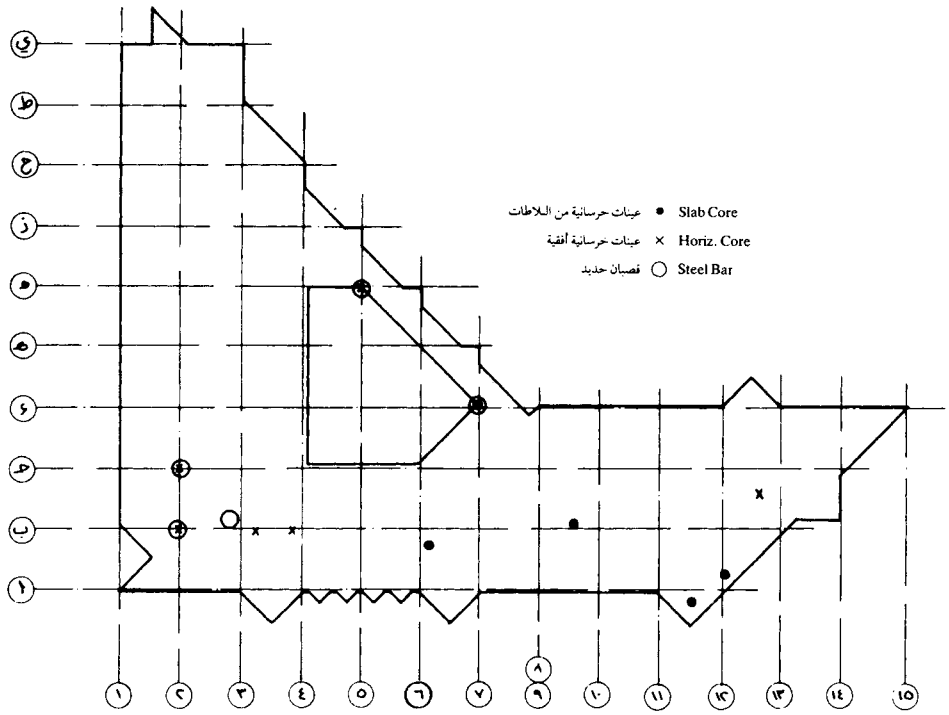
تعرض أحد المنشآت العامة في مدينة جدة ، أثناء تشييده ، إلى حريق كبير استمر لمدة ثلاث ساعات ، وأتى على جميع المواد القابلة للاشتعال الموجودة في الدورين الثاني والثالث وأهمها الشدات الخشبية ، وامتد إلى أجزاء من الدورين الأول والأرضي وقد ساعد على شدة الحريق وانتشاره درجة حرارة الصيف المرتفعة ووجود رياح شديدة مع انخفاض نسبة الرطوبة في ذلك اليوم . يتكون المبنى من أربعة أدوار ظاهرة وقبو . ويتكون المنشأ من هيكل من الخرسانة المسلحة مدعم بحوائط من الخرسانة المسلحة حول فتحات الدرج والمصاعد . تم فحص المنشأ عقب الحريق من قبل لجنة شكلت لهذا الغرض بقصد التعرف على مدى الأضرار التي لحقت بالمبنى من حيث سلامـــة المبنى الإنشـائية ووضـع الحلول العملية لإصـلاح هذه الأضرار . اتبعت اللجنة المكلفة بمعاينة المبنى الخطة التالية في دراستها :

- زيارة الموقع وعمل مسح شامل للمبنى وأخذ الصور الفوتوغرافية وتحديد أماكن الأضرار الظاهرة .
- أخذ قلوب أسطوانية من الخرسانة في أماكن متفرقة واختبارها من أجل التعرف على قوة تحمل الخرسانة ، وأخذ قراءات عن قوة الخرسانة في أماكن متفرقة بوساطة جهاز الموجات فوق الصوتية وبوساطة مطرقة شميت .
- أخذ عينات من قضبان التسليح المتأثرة بالحريق والتعرف على قوة شدها وخواصها الميكانيكية .
- اللجوء إلى تحميل بعض أجزاء المنشأ التي يشتبه بأنها تضررت بالحريق ومراقبة هذه الأجزاء مراقبة دقيقة أثناء تعرضها للحمولات .

■ الدراسة الفنية لنتائج الاختبارات السابقة ووضع التوصيات والحلول العملية .

٥,١ معاينـــة المبنى

أجرت اللجنة مسحاً شاملاً للأضرار التي تعرض لها المنشأ نتيجة لهذا الحريق . وقد تم تقسيم كل طابق إلى مناطق وتمت دراسة كل منطقة دراسة تفصيلية . يظهر شكل (١) خريطة أحد الأدوار المتكررة في المبنى . تركزت معظم الأضرار الإنشائية في الدورين الثاني والثالث كمايلي :



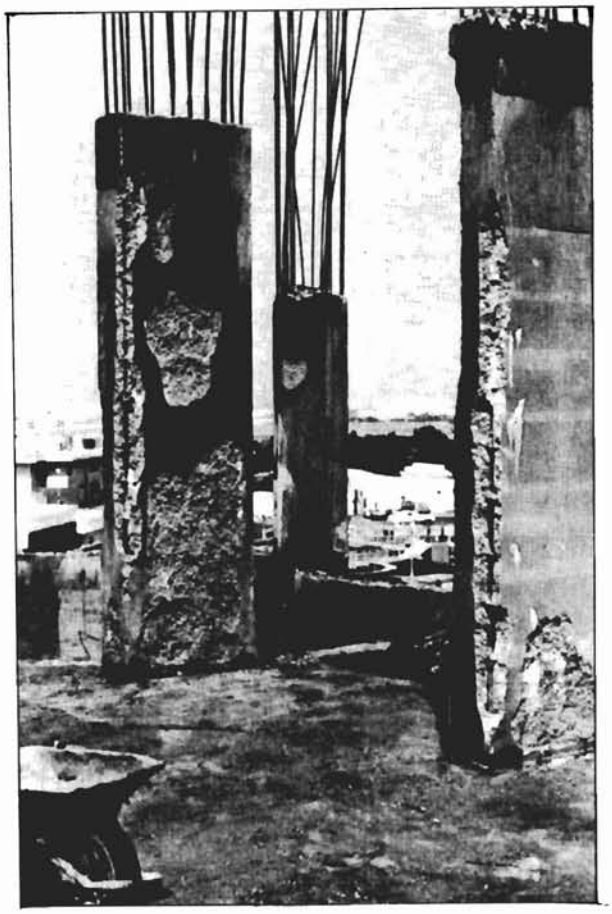
شكل (١) : مخطط الدور المتكرر في المبنى ومواقع العينات

٥,١١ الأعمـــدة

تعرضت الأعمدة في الدور الثاني إلى حرارة شديدة نتيجة لوقوعها تحت الشدات الخشبية التي أتت عليها النار تماماً . ويمكن القول إن الجزء العلوي من جميع الأعمدة في هذا الدور وبارتفاع حوالي متر إلى متر ونصف قد تضرر كثيراً (شكل ٢) . كما تأثرت الأعمدة في الدور الثالث نتيجة للحريق . وتسببت الحرارة الشديدة في انحناء حديد التسليح الخارج من أعلى الأعمدة وأصبح لون الخرسانة مائلاً للاحمرار . يحصر جدول (١) مدى الأضرار التي لحقت بالأعمدة في المناطق المختلفة من المبنى والإصلاحات الواجبة لها .

٥,١٢ الجـــيزان

نظراً لكبر مقاطع معظم الجيزان (٣٠ × ٨٠سم) فقد كان تأثير الحريق عليها محصوراً في الطبقة



شكل (٢) : بعض أعمـــدة الدور الثاني المتضررة

الخارجية فقط . لكن ظهر في بعض المواضع تقشر الخرسانة بسماكة ٤ سم (شكل ٣) وأصبح لونها مائلاً للاحمرار .

٥ , ١٣ حوائط فتحات المصاعـــد

كانت أكثر الأجزاء تضرراً هى الحوائط المحيطة بفتحات المصاعد حيث أدت الحرارة الشديدة إلى تقشر وسقوط الخرسانة مما أدى بدوره إلى تعرية حديد التسليح وانحنائه في عدة مواضع (شكل ٤) .

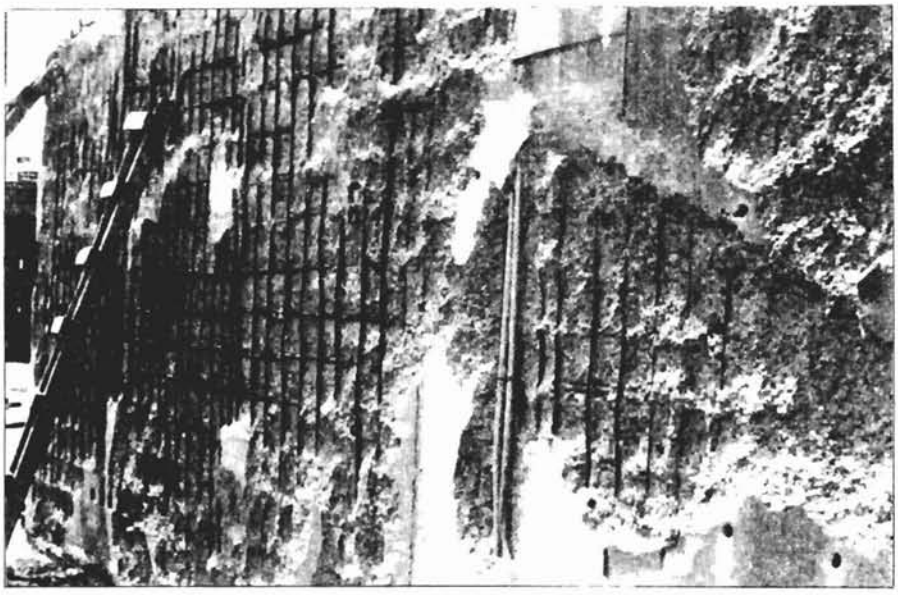
٥ , ١٤ الـــــدرج

ظهرت آثار الحريق بوضوح على وجهي بلاطات الدرج في عدة مناطق ، وازدادت درجة التضرر في المناطق التي كان فيها خشب الشدات (شكل ٥) . وقد أدى سوء الصَّنعة ووجود تعشيش في الخرسانة إلى مضاعفة آثار الحريق .

جـــدول ١ : حصر مدى الأضرار التي لحقت بالأعمدة وحوائط الدرج والاصلاحات الواجبة

موقع العمود أو الحائط	مـــدى الأضرار ووصفها	الإصلاحات الواجبـــة
١ أ ، ١ب ، ١جـ ، ١د ، ١هـ ، ١و	الجزء العلوي بطول ١ م	يزال هذا الجزء بطول ١ م
٢ أ ، ٢ب ، ٢جـ	معظم أجزاء العمود	تزال الأعمدة كلها
٢د ، ٢و	الجزء العلوي بطول ٥٠ سم	يزال الجزء بطول ٥٠ سم
٣ أ ، ٣جـ	معظم أجزاء العمود	يزال العمودان
٣د ، ٣هـ ، ٣و	الجزء العلوي بطول ٥٠ سم	يزال الجزء بطول ٥٠ سم
٤ أ ، ٤جـ ، ٤د ، ٤هـ ، ٤و	الجزء العلوي بطول ٥٠ سم	يزال الجزء بطول ٥٠ سم
٥ أ	الجزء العلوي بطول ٥٠ سم	يزال الجزء بطول ٥٠ سم
٥ب	معظم أجزاء العمود	يزال العمود بأكمله
٦ أ	أعلى العمود وكذلك الزاوية الشمالية الغربية	يزال العمود بأكمله
٦ب	الجزء العلوي بطول ٣ متر	يزال العمود بأكمله
٦جـ	معظم أجزاء العمود	يزال العمود بأكمله
٧ أ ، ٧ب	الجزء العلوي بطول ٥٠ سم	يزال الجزء بطول ٥٠ سم
٧جـ	معظم أجزاء العمود	يزال العمود بأكمله
٨جـ	الجزء العلوي بطول ٢ متر	يزال العمود بأكمله
٨ أ ، ٨ب	أجزاء مختلفة	يزال أعلى العمود ويصلح الباقي
٩ أ ، ٩ب ، ٩جـ ، ٩د	عدة بقع متفرقة ، مادة الحشو في فاصل التمدد قد احترقت تماماً	تصلح البقع المتأثرة ويجرى إعادة مادة الحشو
١١ أ ، ١٢ أ ، ١٠ب	الجزء العلوي من الوجه الجنوبي بطول ١,٥ متر	يجب إصلاح الوجه المتضرر
١١ب	الزاوية الجنوبية الغربية على طول العمود	يجب إصلاح القسم المتضرر
حائط الدرج عند الزاوية ١ أ	الجزء العلوي ابتداءً من بلاطة الدرج	تصلح الأضرار
الحائط على خط الأعمدة ب بين ٣ و ٤	معظم السطوح الخارجية للحائط	يزال الحائط كله
الحائط الواقع على خط الأعمدة ١٢ بين ب ، جـ	هناك منطقة متضررة جداً	تصلح الأضرار

شكل (٣) : تفشر الخرسانة وتعرية حديد التسليح في بلاطـة الدور الثالث



شكل (٤) : حوائط فتحة المصاعد في الدور الثاني

شكل (٥) : جزء من أضرار بلاطة الدور الأول والدرج الموصل له

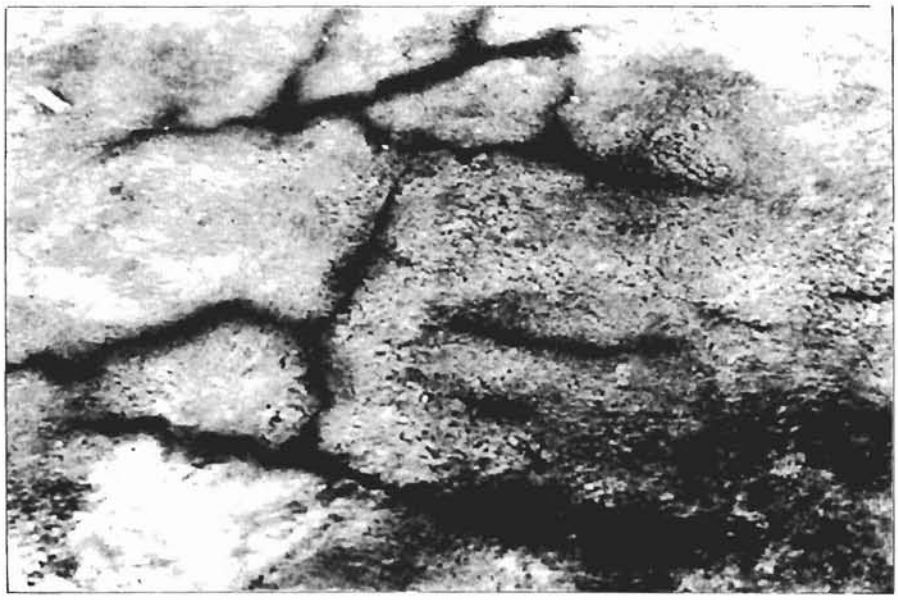
٥,١٥ البـــلاطات

ظهر تشقق وتقشر وتفتت في الوجه العلوي لبلاطات الدور الثالث بسماكة تتراوح من ١ إلى ٢ سم ، ولكن لم يظهر حديد التسليح . أما الوجه السفلي ، فإنه تأثَّر تأثرًا شديدًا بالحريق ، مما أدى إلى تفتت الخرسانة وأتى في بعض المناطق على الغطاء الخرساني لحديد التسليح (شكل ٥ و ٦) . وقد لوحظ عند أخذ القلوب الخرسانية من هذه البلاطة أن سماكة الخرسانة السليمة قد أصبحت ٩ سم بدلاً من السماكة الأصلية وهى ١٢ سم . تضرر بلاطات الدور الثاني شبيه بتضرر بلاطات الدور الثالث ماعدا أن الحريق كان في الوجه العلوي للبلاطة فقط مما أدى إلى تقشر الوجه العلوي (شكل ٧) . وبلغ سمك البلاطة السليمة من ٥,٩ إلى ١١ سم بدلاً من السمك الأصلي وقدره ١٢ سم . انحصرت أضرار بلاطات الدور الأول في المناطق القريبة من الدرج ولوحظ تقشرها . كما حدث انهيار كلي في الخرسانات المستخدمة في الأغراض المعمارية في الدور الأول (شكل ٥) .

٥,٢ اختبـــارات القـــلوب الخرسانيـــة

تم اختيار ٢٣ موضعـاً في مختلف أجزاء المبنى لأخذ عينات القلوب الخرسانية بحيث تشمل معظم الأمـاكن المتضررة بالحـريق والأمـاكن غير المتضررة من أجل المقارنة . كما روعى في الاختيار أن تكون العينات شاملة لجميع أنواع الأجزاء الإنشائية للمبنى من بلاطات وأعمدة وحوائط وجيزان . يعطى جدول (٢) ملخصاً لمواقع العينات المأخوذة .

شكل (٦) : منظر للوجه السفلي لبلاطـة الدور الثالث



شكل (٧) : التشققات في وجه البلاطـة العلوية للدور الثاني

جـدول ٢ : مواقـع عينات القلوب الخرسانيـة

رقم الدور	البلاطات	الجيزان	الأعمدة	الحوائط	العدد الكلي
الثالث	٥	٣	-	-	٨
الثاني	٥	-	٣	٣	١١
الأول	٣	١	-	-	٤
المجمـوع الـكلي					٢٣

تمت عملية أخذ القلوب الخرسانية واختبارها طبقاً للمواصفات الأمريكية (ASTM C 42-77) . وترواح قطر القلوب الخرسانية من ٥ إلى ١٠ سم . وقد تم استعمال جهاز الموجات فوق الصوتية في تفادي مواضع حديد التسليح عند أخذ العينات . يظهر شكل (٨) بعض القلوب الخرسانية المأخوذة من المبنى قبل اختبارها . يحتوى جدول (٣) على نتائج اختبار القلوب الخرسانية وأماكنها (شكل ٩) .

شكل (٨) : بعض العينات الأسطوانية المأخوذة في المبنى قبل اختبارها

أشارت المواصفات الخاصة بالمشروع إلى أن الخرسانة المستخدمة تتكون من ركام بازلتى ورمل مستخرج من وادي فاطمة . كانت معظم إجهادات كسر هذه العينات أكثر من قيمة إجهاد التحمل المنصوص عليها في المواصفات وهى ٢٨ ميجا بسكال . ووجد أن تسع عينات كانت قيمتها أقل من القيمة المطلوبة ، إذ كانت أصغر قيمة إجهاد كسر للعينات هى ٢٢ ميجا بسكال أو ٧٩٪ من القيمة المطلوبة ، وأن متوسط

جـدول ٣ : نتـائج اختبـار القـلوب الخرسانيـة

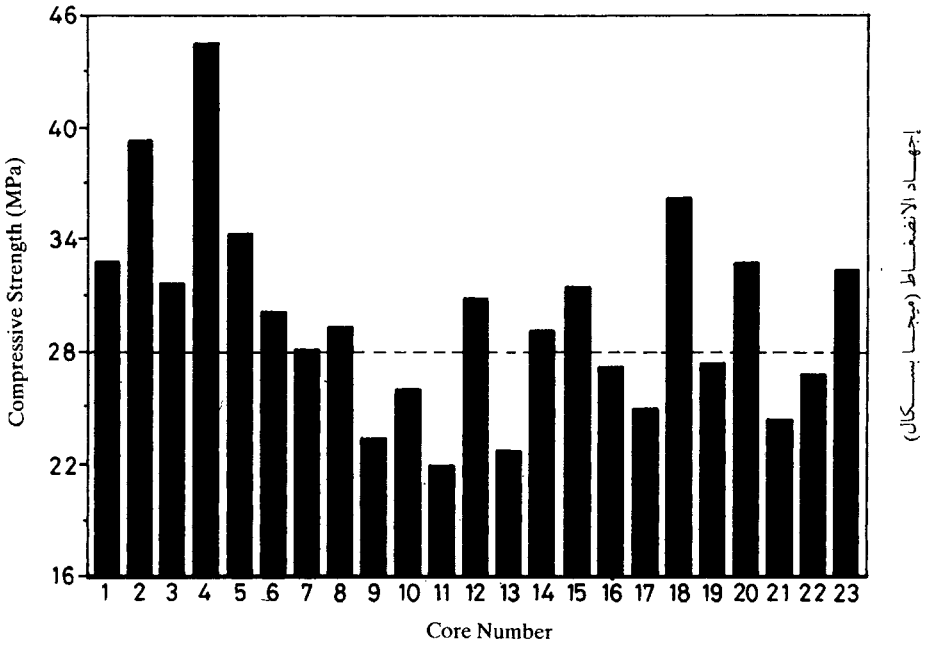
مسلسل	الدور	مكان العينة	قوة تحمل العينة (ميجا بسكال)	قوة تحمل الخرسانة الأصلية (ميجا بسكال)	
١	الثالث	البلاطة	٣٢,٨	٣٦,٣	
٢	الثالث	البلاطة	٣٩,٢	٣٦,٣	
٣	الثالث	البلاطة	٣١,٧	٣٦,٣	
٤	الثالث	البلاطة	٤٤,٥	٣٦,٣	
٥	الثالث	البلاطة	٣٤,٣	٣٦,٣	لم تتعرض للحريق
٦	الثالث	الجائز	٣٠,٢	٣٦,٣	
٧	الثالث	الجائز	٢٨,٢	٣٦,٣	
٨	الثالث	الجائز	٢٩,٤	٣٦,٣	
٩	الثاني	الحائط	*٢٣,٥	٣٦,٠	
١٠	الثاني	الحائط	*٢٦,١	٣٦,٠	
١١	الثاني	العمود	*٢٢,٠	٣١,٩	
١٢	الثاني	العمود	٣٠,٩	٣١,٩	
١٣	الثاني	العمود	*٢٢,٧	٣٦,٠	لم تتعرض للحريق
١٤	الثاني	الحائط	٢٩,٢	٣١,٩	
١٥	الثاني	البلاطة	٣١,٥	٣٢,٠	
١٦	الثاني	البلاطة	*٢٧,٣	٣٢,٠	
١٧	الثاني	البلاطة	*٢٥,٠	٣٢,٠	
١٨	الثاني	البلاطة	٣٦,٢	٣١,٢	
١٩	الثاني	الدرج	*٢٧,٥	٣٦,٠	
٢٠	الأول	البلاطة	٣٢,٧	٣٢,٦	
٢١	الأول	البلاطة	٣٢,٥	٣٢,٦	
٢٢	الأول	الجائز	*٢٤,٥	٣٢,٦	
٢٣	الأول	الدرج	*٢٦,٩	٣٦,٠	

* أقل من القيمة المطلوبة (٢٨,٠ ميجا بسكال)

العينات التسع كان ٢٥,٣ ميجا بسكال أو ٩١٪ من القيمة المطلوبة . وهذه النتائج مقبولة إذ يشترط عادة أن لا تقل قوة أقل عينة عن ٧٥٪ من القيمة المطلوبة على أن لا يقل متوسط نتائج كل العينات عن ٨٥٪ من القيمة المطلوبة .

٥,٣ اختبـارات قضبـان التسليـح

جرى اختبار ٢٢ عينة من قضبان التسليح التي تعرضت للحريق والقضبان السليمة بقصد المقارنة .



شكل (٩) : نتائج اختبار القلوب الخرسانية (الإجهاد التصميمي في المواصفات ٢٨ ميجا بسكال)

وتراوحت أقطار القضبان من ١١,٥ مم وحتى ٢٤ مم ، وجرى تسجيل منحنيات الإجهاد والانفعال . وكان متوسط إجهاد الكسر للعينات التي تعرضت للحريق هو ٤٦٢ ميجا بسكال مقارناً بالقيمة المطلوبة في المواصفات وهى ٤٢٠ ميجا بسكال . كما استدل من منحنيات الإجهاد والانفعال على أن العينات التي تعرضت للحريق مازالت تحتفظ بخواصها الميكانيكية من حيث المرونة واللدانة وقوة الشد . وعليه ، فإن تَعرُّض قضبان التسليح للحريق لم يؤثر على سلامة المنشأ . يوضح جدول (٤) نتائج اختبارات قضبان التسليح (شكل ١٠) .

٥,٤ اختبـــارات تحمـــل المبنى

على ضوء نتائج اختبار العينات الخرسانية ، تقرر إجراء اختبار تحميل بعض أجزاء المبنى الأكثر تضرراً بالحـريق . وقـد تم اختيار موضعين في الدور الثالث ليتم إجراء التحميل عليهما وفق مواصفات معهد الخرسانة الأمريكي[٧] بحيث يتم تحميل المنشأ بالحمولات الكاملة التي يحتمل أن يتعرض لها المبنى في المستقبـل من حمولات حية أو ميتة ، مع الأخذ في الاعتبار عامل الأمان . وعليه ، جرى تحميل المنشأ بأوزان من أكياس الأسمنت على عشرة مراحل وبشكل متزايد حتى بلغت أعلى قيمة للحمولات ١٠٠٠

جـدول ٤ : نتـــائج اختبـــارات قضبـــات التسليـــح

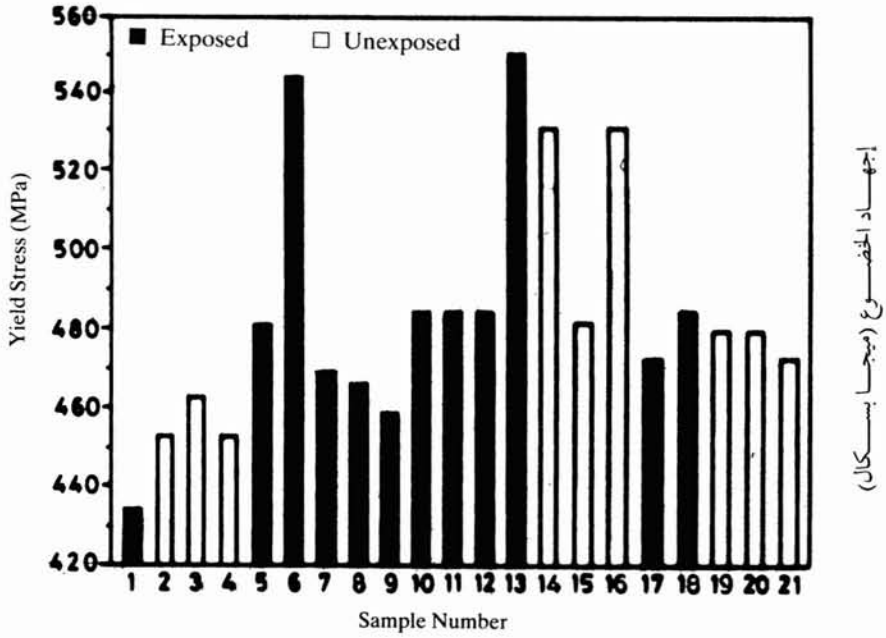
رقم العينة	قـــطر العينـــة مم	إجهـــاد الخضـــوع (ميجا بسكال)	ملاحـــــظات
١	٢٤*	٤٣٣,٧	تعرضت للحريـــق
٢	٢٤*	٤٥٣	لم تتعرض للحريـــق
٣	٢٤*	٤٦٢,٦	لم تتعرض للحريـــق
٤	٢٤*	٤٥٣	لم تتعرض للحريـــق
٥	٢٠	٤٨١,٠	تعرضت للحريـــق
٦	٢٠	٥٤٣,٦	تعرضت للحريـــق
٧	٢٠	٤٦٨,٤	تعرضت للحريـــق
٨	٢٠	٤٦٥,٥	تعرضت للحريـــق
٩	٢٠	٤٨٤,٣	تعرضت للحريـــق
١٠	٢٠	٤٨٤,٣	تعرضت للحريـــق
١١	٢٠	٤٨٤,٣	تعرضت للحريـــق
١٢	٢٠	٤٨٤,٣	تعرضت للحريـــق
١٣	٢٠	٥٤٩,٩	تعرضت للحريـــق
١٤	٢٠	٥٣٠,٨	لم تتعرض للحريـــق
١٥	٢٠	٤٨١	لم تتعرض للحريـــق
١٦	٢٠	٥٣١,١	لم تتعرض للحريـــق
١٧	١١,٥	٤٥٨,١	تعرضت للحريـــق
١٨	١١,٥	٤٧٢,٢	تعرضت للحريـــق
١٩	١١,٥	٤٧٩,٣	لم تتعرض للحريـــق
٢٠	١١,٥	٤٧٩,٣	لم تتعرض للحريـــق
٢١	١١,٥	٤٧٢,٢	لم تتعرض للحريـــق

* لم يكن بالإمكان اختبار العينات ذات القطر ٢٤ مم وإنما تم تشكيل عينات قياسية منها بقطر ١٨ مم ثم جرى اختبار العينات القياسية .

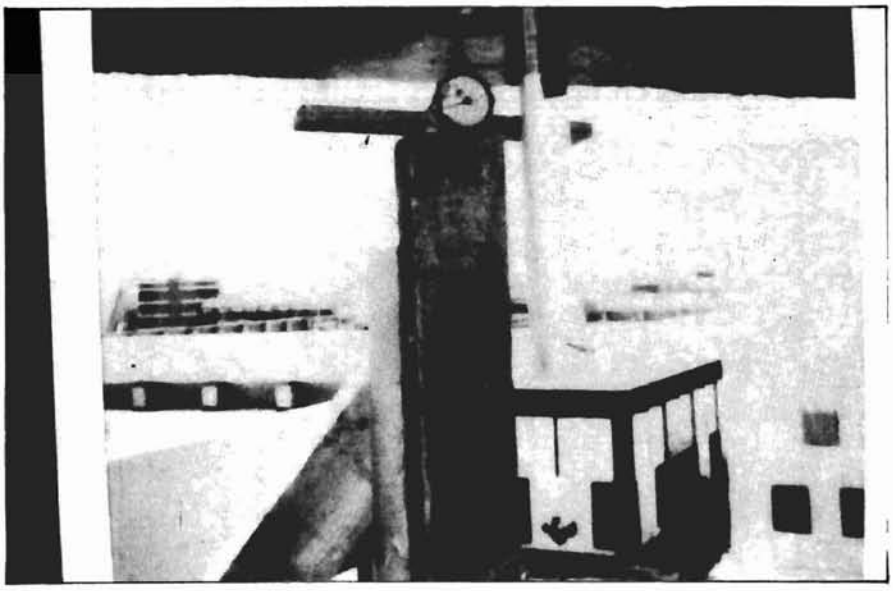
كجم/م^{٢} . وتمت مراقبة إزاحات المبنى تحت التحميل بأجهزة ميكانيكية باستطاعتها تسجيل تغيرات قيمتها ١/٤٠ من المليمتر (شكل ١١) وكانت النتائج كمايلي :

٥,٤١ منطقـة الكابولي المثلثة

ذو بحر مقداره ٤م ، كانت أعلى قيمة لانخفاض الكابولي عند رأس المثلث هى ٥,٤ مم في مرحلة التحميل العاشرة (١٠٠٠ كجم/م^{٢}) . ولم يلاحظ وجود تشققات في الخرسانة نتيجة هذا التحميل ، وقد عاد الكابولي إلى وضعه الأصلي بعد رفع الحمولات عنه دون وجود تشوهات دائمة مما يدل على أن الكابولي مازال في المرحلة المرنة تحت هذه الحمولات (قيمة انخفاض الكابولي هذه أقل من ب^{٢}/٢٠٠٠٠ س) .



شكل (١٠) : نتائج اختبار الشد لقضبان التسليح (القيمة المطلوبة في المواصفات ٤٢٠ ميجا بسكال)



شكل (١١) : جهاز قراءة انخفاض المنشأ تحت الحمولات وقد وضع على شدة مستقلة

٤٢ ,٥ منطقــة الجائز الداخلي

ذو بحر مقداره ٧,٢ م ، كانت أعلى قيمة لانخفاض الجائز في منتصفة ٢,٠ مم في مرحلة التحميل العاشرة (١٠٠٠ كجم/م^{٢}) . ودلت النتائج على أن الجائز عاد لوضعه الأصلي بعد رفع الحمولات ولم يتعرض لأية تشوهات دائمة وأنه مازال في المرحلة المرنة (قيمة انخفاض الجائز أقل من ب^{٢}/٢٠٠٠٠ س) .

٥,٥ مناقشـــة نتائج الدراســـة العمليـــة

دلت نتائج الاختبارات ، سواء كانت نتائج كسر القلوب الخرسانية في الضغط أو نتائج كسر عينات قضبان التسليح في الشد ، على أنه بالرغم من أن شدة الحريق كانت عالية نسبياً ، حيث قدرت درجة الحـرارة القصوى من ٢٠٠ إلى ٣٠٠ درجة مئوية ، إلّا أن مدة الحريق كانت قصيرة نوعاً ما (حوالي ٣ ساعات) بحيث لم تحدث أضرار كثيرة للخرسانة التي ظلت محتفظة بقوتها . كما أن الخرسانة استمرت في تشكيل طبقة واقية لحديد التسليح . ومما يدعم هذا الاعتقاد أن نتائج اختبارات التحميل قد أثبتت أن المنشأ مازال في المرحلة المرنة ، وليس هناك ما يدل على حدوث تشوهات دائمة فيه نتيجة للحرارة العالية . ولربما كان لوجود نسبة عالية من حديد التسليح في المبنى ، وكذلك المقاطع الخرسانية الكبيرة نسبياً ، أثر فعال في عدم تعرض المنشأ للأضرار الدائمة .

وبناءً على نتائج الاختبارات الحقلية والمعملية ، تمت التوصية بإجراء الإصلاحات اللازمة لإعادة المبنى إلى وضعه الأصلي ، وبناء على تلك التوصيات تم إجراء الإصلاحات التالية :

٥١ ,٥ الأجـــزاء الشديـــدة التضرر

تمت إزالة تلك الأجزاء (المناطق العلوية لبعض الأعمدة وحوائط فتحات المصاعد) وإعادة صبها من جديد مع أخذ الاحتياطات اللازمة لسلامة التحام الأجزاء الحديثة الصبِّ مع تلك المصبوبة سابقاً .

٥٢ ,٥ الأجـــزاء القليـــلة التضرر

تم تنظيف السطوح الخرسانية الضعيفة بخليط من الرمل المضغوط حتى تم الحصول على سطوح نظيفة وقوية وخالية من الأجزاء الهشة . وقد استخدم غراء الراتينج في معالجة التشققات الموجودة في الأعمدة والجيزان والسـطوح السفلية من البـلاطـات ، كما استخدمت مونة اللاتكس المعدل في إصلاح سطوح الأرضيات . وبعد انتهاء الإصلاحات ، تمت معاينة المنشأ مرة أخرى للتأكد من حسن تنفيذ تلك الأعمال ووجد أنها تمت بصورة جيدة .

٦ - الخلاصـــــــة

تعتبر المنشآت الخرسانية من أفضل أنواع المنشآت تحملاً للحرارة العالية ، إلّا أن المظهر السيئ لهذه

المنشآت بعد الحرائق قد يوحى بوجود أضرار إنشائية بالغة بها . وفي أغلب الأحيان ، تكون كلفة إصلاح هذه المنشآت أقل بكثير من كلفة هدمها وإعادة بنائها . وقد تم في هذا البحث سرد الخطوات المتبعة في تقييم المنشآت المتعرضة للحريق من دراسة لتاريخ المنشأ ، ومسح لحالة المبنى ، وإجراء الاختبارات المتلفة وغير المتلفة ، للحصول على الوضع الحقيقي لحالة المنشأ المتضرر ، وسرد الخطوات المتبعة في إصلاح الأجزاء المتضررة في المنشأ والمواد المستخدمة في عمليات الإصلاح . كما تم في هذا البحث دراسة حقلية لأحد المنشآت الخرسانية في مدينة جدة تعرض لحريق كبير أثناء مرحلة الإنشاء . وقد اتبعت الخطوات السابقة الذكر في عملية تقويم سلامة المنشأ ، ودلت التجارب المتلفة وغير المتلفة على أن مكونات المبنى من خرسانة وحديد تسليح لم تتأثر كثيراً بتلك الحرارة . وتمت معالجة بعض الأضرار التي لحقت ببعض الأجزاء وإعادتها إلى وضعها الأصلي .

المـــراجـــع

[١] **Perkins, P.H.,** *Concrete Structures: Repair, Waterproofing, and Protection,* Applied Science Publishers, London, 302 p. (1978).

[٢] **Johnson, S.M.,** *Deterioration, Maintenance, and Repair of Structures,* Robert E. Krieger Publishing Co., New York, 373 p. (1981).

[٣] **Gerard de Lange,** Structural Repair of Fire Damaged Concrete, *ACI Concrete International,* **2**(9): 27-29 (1980).

[٤] **Hertz, K.D.,** Residual Properties of Concrete Heated Rapidly, SP 92-8, American Concrete Institute, Detroit, pp. 143-174 (1986).

[٥] **Edwards, W.T.** and **Gamble, W.L.,** Strength of Grade 60 Reinforcing Bars After Exposure to Fire Temperatures, *ACI Concrete International,* **8**(10): 17-19 (1986).

[٦] **ACI Committee 201,** *Guide for Making a Condition Survey of Concrete in Service,* (ACI 201-IR-68), Revised 1984, American Concrete Institute, Detroit, 14 p. (1984).

[٧] **ACI Committee 437,** *Strength Evaluation of Existing Concrete Building,* (ACI 437R-67) (Revised 1982), American Concrete Institute, Detroit, 7 p. (1982).

[٨] **Tovey, A.K.,** Assessment and Repair of Fire-Damaged Concrete Structures – An Update, SP 92-4, American Concrete Institute, Detroit, pp. 47-62 (1986).

[٩] **ACI Committee 201,** Guide to Durable Concrete, (ACI 201-2R-77) (Reaffirmed 1982), *ACI Journal,* **74**(12): 573-609 (1977).

[١٠] **ACI Committee 224,** Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures, (ACI 224-IR-84), *ACI Journal,* **81**(3): 211-230 (1984).

Strength Evaluation of Reinforced Concrete Structures Subjected to Fire

MOHAMMAD H. SALEM AND FAISAL F. WAFA
Chief Project Engineer, Daniel International, King Abdulaziz University; and
Associate Professor, Department of Civil Engineering, King Abdulaziz University, Jeddah, Saudi Arabia.

ABSTRACT. Owners of buildings subjected to fire often make a hasty decision to demolish their buildings and start all over again. This is due primarily to the severe conditions of burned-out nonstructural elements after the fire is extinguished. However, most reinforced concrete buildings subjected to fire could be repaired at a cost much less than building new ones. The extent of damage to reinforced concrete structures depends on several factors, *e.g.* the highest temperature reached at concrete surface, fire duration, the geometric shape and thickness of structural elements and the type and properties of the combustible materials that existed on the structure. The extent of damage to each portion of the structure could be determined based on a carefully planned and detailed site as well as laboratory testing program. Repairs can then be ordered based on the results of the detailed investigation.

This study describes the steps followed in a recent case study in which a reinforced concrete structure was subjected to intense but short fire. It outlines the method used in field investigation studies, non-destructive as well as laboratory testing. The testing program included ultrasound, Schmitt hammer, concrete core, damaged reinforcing steel testing and field load testing of a portion of the damaged structure. It also outlines the program used for repairing the various portions of the structure based on their location and the extent of their damage.