جامعة بوليتكنك فلسطين

كلية الهندسة و التكنولوجيا
دائرة الهندسة المدنية و المعمارية

مشروع تخرج

تحليل وتقييم الانهيارات الإنشائية للمباني الخرسانية بسبب الحرائق
ـ حالة خاصة ـ " مصنع الجمل للإسفنج/الخليل "

فريق العمل

محمد عبد الرحمن السعدي **رامي خضر بلوط**

إشرف
د. نبيل الجولاني

الخليل ـ فلسطين

حزيران ،٢٠٠٤

جامعة بوليتكنك فلسطين

كلية الهندسة والتكنولوجيا
دائرة الهندسة المدنية و المعمارية

مشروع تخرج

تحليل وتقييم الانهيارات الإنشائية للمباني الخرسانية بسبب الحرائق
ـ حالة خاصة ـ " مصنع الجمل للإسفنج/الخليل "

فريق العمل

محمد عبد الرحمن السعدي **رامي خضر بلوط**

إشرف
د. نبيل الجولاني

الخليل ـ فلسطين

حزيران ،٢٠٠٤

جامعة بوليتكنك فلسطين

الخليل ـ فلسطين

كلية الهندسة والتكنولوجيا

دائرة الهندسة المدنية و المعمارية

اسم المشروع

تحليل و تقييم الانهيارات الإنشائية للمباني الخرسانية بسبب الحرائق

ـ حالة خاصة ـ" مصنع الجمل للإسفنج/ الخليل"

فريق العمل

محمد عبد الرحمن السعدي **رامي خضر بلوط**

بناء على نظام كلية الهندسة والتكنولوجيا و إشراف ومتابعة المشرف المباشر على المشروع وموافقة أعضاء اللجنة الممتحنة تم تقديم هذا المشروع إلى دائرة الهندسة المدنية والمعمارية وذلك للوفاء بمتطلبات درجة البكالوريوس في الهندسة تخصص هندسة المباني

توقيع المشرف

.....

توقيع اللجنة الممتحنة

....

توقيع رئيس الدائرة

.....

الملخص
(ABSTRACT)

عندما يتعرض أي منشأ خرساني للحريق تبدو الصورة رهيبة، فالأعصاب الخرسانية مغطاة بالسواد والأعضاء من الصلب انبعجت، والخشب تفحم، وتعطي هذه الصورة انطباعاً بأن هذا المنشأ لن يصلح للعمل ولا بد من إزالته، ولكن التسرع في اتخاذ قرار الإزالة ليس هو الأسلوب العملي السليم لمواجهة أثار الحريق، فكثير من المنشآت الخرسانية التي تعرضت للحريق تم إصلاحها وتعمل الآن بكفاءة، ولكن الحكم على سلامة منشأ تعرض للحريق واقتراح أنسب طرق للإصلاح يحتاج إلى معرفة وخبرة، معرفة بتأثير درجات الحرارة العالية على خواص الخرسانة وحديد التسليح، ومعرفة نسبة انخفاض مقاومة القطاعات الخرسانية عند درجات الحرارة المختلفة، وكيفية اختبار الأعضاء الخرسانية، ولتوفير هذه المعرفة تم العمل على إنجاز هذا المشروع.

ويستعرض هذا المشروع، طبيعة الحرائق وأسبابها كما يدرس تأثير الحرارة الشديدة على الخرسانة المسلحة، ومن الاختبارات التي تمت للحالة الخاصة (مصنع الجمل للإسفنج)، الفحوصات البصرية، اختبار الامتصاص الطبيعي للحجر والخرسانة، اختبار مطرقة شميدت، واختبار تحمل إجهاد الضغط باستخدام عينات أخذت بجهاز القلب الخرساني (Core Test)، بالإضافة لذلك فقد أجريت تجارب مخبرية لمعرفة مقدار التماسك بين الخرسانة وحديد التسليح باختلاف درجات الحرارة.

وقد بينت نتائج الفحوصات المختلفة أن هناك بعض العناصر الإنشائية في مصنع الجمل قابلة للمعالجة وبعضها الآخر يحتاج لإعادة إنشاء من جديد.

الإهداء

مع اطلالة كل فجر.....

مع اشراقة كل شمس.....

مع تغريد كل طير في سماء فلسطين الحبيبة.

نهدي هذا البحث :

إلى الشمعة التي تحترق لتنير لي الطريق

أمي وأبي الذين لم يتوانوا عن تقديم يد العون والمساعدة لي في كل شيء.

إلى أخواتي وإخواني.....

إلى أساتذتي الذين علموني كل حرف.

إلى كل اللحظات السعيدة التي قضيناها داخل أسوار هذه الجامعة الغراء.

إلى كل شهداء فلسطين الذين قدموا دمائهم من أجل فلسطين ومن أجل القدس.

إلى كل شيء طاهر جميل في هذا الوطن المعطاء.

الباحثون:

- رامي بلوط
- محمد السعدي

الشكر والتقدير

نتقدم بالشكر الجزيل و العرفان لجامعة بوليتكنك فلسطين، ولكلية الهندسة والتكنولوجيا، كما نخص

بالشكر دائرة الهندسة المدنية والمعمارية

كذلك نتقدم بالشكر إلى كل من:

د.نبيل ألجولاني المشرف الرئيسي على البحث.

د. ماهر عمرو لدعمه ومساعدته لنا في إنجاح هذا البحث

الأستاذ عماد الدويك مسئول مختبرات الهندسة المدنية.

الأستاذ أحمد الشريف لتحمله أعباء العمل في المختبرات

كما نتقدم بالشكر لجميع مدرسي كلية الهندسة والتكنولوجيا في جامعة بوليتكنك فلسطين

والذين كان لهم فضل كبير في إثراء هذا العمل ودعمه.

لائحة المحتويات

الصفحة الرئيسية (Cover)..... I

صفحة التوقيع..... II

الملخص III

صفحة الإهداء..... IV
الشكر والتقدير..... V
لائحة المحتويات..... VI
لائحة الجداول..... X
لائحة الأشكال XI
لائحة الصور..... XII
المراجع..... XIV

الفصل الأول المقدمة

١ـ١ المقدمة..... ١
١ـ٢ طبيعة الحريق..... ٢
١ـ٣ أساسيات عن الحرائق..... ٢
١ـ٤ ميكانيكية انتشار الحريق..... ٣
١ـ٥ أهمية المشروع..... ٤
١ـ٦ أهداف الدراسة..... ٥

الفصل الثاني الدراسات السابقة

٢ـ١ المقدمة..... ٦
٢ـ٢ تأثير الحرارة الشديدة على الخرسانة..... ٦
٢ـ٣ مقاومة الخرسانة للضغط..... ٩
٢ـ٤ تغير لون الخرسانة أثناء الحريق..... ١٠
٢ـ٥ معايير المرونة ومعايير القص للخرسانة..... ١٠
٢ـ٦ التمدد الحراري الحر للخرسانة..... ١٠
٢ـ٧ تساقط الخرسانة السطحية..... ١١
٢ـ٨ التشرخ..... ١١
٢ـ٩ تأثير نوع الركام..... ١٢

٢-١٠ تأثير الحريق على حديد التسليح..... ١٢
٢-١١ تأثير الحرارة الشديدة على الأعضاء الخرسانية..... ١٥
٢-١٢ حالة مبنى كان يستخدم لتصنيع وتعبئة غاز القداحات تعرض للحريق..... ١٦

الفصل الثالث وصف المبنى (مصنع الإسفنج)

٣-١ وصف المبنى (مصنع الإسفنج)..... ٢٢
٣-٢ الأضرار الإنشائية بسبب الحريق..... ٢٣
٣-٢-١ وصف عام للحدث..... ٢٣
٣-٢-٢ الأضرار الإنشائية في الطابق الأرضي من مبنى (ب) و (ج)..... ٢٣
٣-٢-٣ الأضرار الإنشائية في الطابق الأرضي من مبنى (أ)..... ٢٦
٣-٢-٤ الأضرار الإنشائية في الطابق الأول من مبنى(ج)..... ٢٧
٣-٢-٥ الأضرار الإنشائية في الطابق الأول من مبنى(ب)..... ٢٨
٣-٢-٦ الأضرار الإنشائية في الطابق الأول من مبنى(أ) ٣٢

الفصل الرابع طرق تقييم المنشآت الخرسانية المحترقة وتصنيفها

٤-١ مقدمة..... ٣٤
٤-٢ تخطيط عمل مجموعة الحكم على سلامة المنشأ..... ٣٥
٤-٣ أسلوب تقييم الحالة..... ٣٥
٤-٤ معاينة مكان الحريق..... ٣٦
٤-٥ حمل الحريق (المواد القابلة للاشتعال)..... ٣٦
٤-٦ فحص المواد الموجودة..... ٣٦
٤-٧ مقارنة الأدلة وتصنيف التصدع..... ٣٩
٤-٧-١ حالة الخرسانة..... ٣٩
٤-٧-٢ حالة حديد التسليح..... ٣٩

الفصل الخامس الفحوصات المخبرية

٥ـ ١ مقدمة..... ٤٣
٥ـ ٢ اختبارات الخرسانة..... ٤٣
٥ـ ٢ـ ١ الفحص البصري..... ٤٣
٥ـ ٢ـ ٢ المطرقة المرتدة (Schmidt Hammer)..... ٤٣
٥ـ ٢ـ ٣ اختبار القلب الخرساني (core test)..... ٤٦
٥ـ ٣ اختبار الامتصاص الطبيعي للأحجار و الخرسانة..... ٥٣
٥ـ ٣ـ ١ اختبار الامتصاص الطبيعي للأحجار..... ٥٣
٥ـ ٣ـ ٢ اختبار الامتصاص الطبيعي للخرسانة..... ٥٥
٥ـ ٤ اختبارات حديد التسليح..... ٥٦
٥ـ ٤ ـ ١ اختبار الشد..... ٥٦
٥ـ ٥ اختبار السحب (Pull Out Test)..... ٥٨

الفصل السادس تحليل النتائج المخبرية ومناقشتها(الخاصة بمصنع الجمل)

٦ـ ١ المقدمة..... ٦٣
٦ـ ٢ تقييم العناصر الإنشائية بعد الحريق..... ٦٣

الفصل السابع التكلفة التقديرية لأعمال الهدم والترميم

٧ـ ١ مقدمة..... ٦٦
٧ـ ٢ تكلفة أعمال الهدم..... ٦٦
٧ـ ٣ تكلفة أعمال إزالة الردم خارج الموقع..... ٦٧

٧ـ ٤ تكلفة أعمال البناء..... ٦٧
٧ـ ٥ تكلفة أعمال الترميم..... ٦٧
٧ـ ٦ تكلفة أعمال التمديدات الكهربائية..... ٦٧
٧ـ ٧ تكلفة أعمال التمديدات الصحية..... ٦٨
٧ـ ٨ تكلفة أعمال الحديد للأبواب والشبابيك..... ٦٨
٧ـ ٩ تكلفة أعمال كحلة الجدران الحجرية..... ٦٨
٧ـ ١٠ التكلفة الإجمالية..... ٦٩

الفصل الثامن النتائج والتوصيات

٨ـ ١ النتائج عامة..... ٧٠
٨ـ ٢ النتائج الخاصة – لحالة الدراسة- (مصنع الجمل للإسفنج)..... ٧٠
الملاحق..... ٧٢

لائحة الجداول

جدول (٢-١) تأثير الحرارة الشديدة على الخرسانة..... ٧
جدول (٢-٢) تأثير الحرارة الشديدة على حديد التسليح..... ٨

جدول (٢-٣) مراحل تعرض الأعضاء الخرسانية للحريق والتأثير المحتمل..... ١٥
جدول (٤-١) تصنيف التصدع لعدة أعضاء خرسانية مختلفة وطريقة الإصلاح المناسبة لكل مستوى..... ٤١
جدول (٥-١) متوسط القراءات لمناطق مختلفة من المبنى بواسطة مطرقة شميدت..... ٤٥
جدول (٥-٢) متوسط القراءات لمناطق مختلفة من المبنى بواسطة مطرقة شميدت بعد التحويل..... ٤٦
جدول (٥-٣) اختبار الضغط على العينات المختلفة من مصنع الاسفنج..... ٥١
جدول (٥-٤) الوزن الرطب والجاف لاختبار الامتصاص الطبيعي للأحجار التي تعرضت للحريق..... ٥٣
جدول (٥-٥) الوزن الرطب والجاف لاختبار الامتصاص الطبيعي للأحجار التي لم تتعرض للحريق..... ٥٤
جدول (٥-٦)الوزن الرطب والجاف لاختبار الامتصاص الطبيعي للخرسانة المحروقة وغير المحروقة.... ٥٥
جدول (٥- ٧) نتائج فحوصات عينات حديد التسليح..... ٥٧
جدول (٥-٨) متطلبات المواصفات الفلسطينية لحديد التسليح..... ٥٧
جدول (٥-٩) نتائج اختبار تحميل العينات باستخدام جهاز (UTM)..... ٥٩
جدول (٥-١٠) نتائج اختبار مقاومة السحب (Pull Out) للعينات باستخدام جهاز(UTM)..... ٥٩
جدول (٧-١) العناصر الإنشائية المطلوب هدمها بالمتر المكعب..... ٦٦
جدول (٧-٢) تكلفة أعمال الحديد للأبواب و الشبابيك التقديرية بالشيقل..... ٦٨
جدول (٧-٣) التكلفة الكلية التقديرية لجميع البنود السابقة بالشيقل..... ٦٩

لائحة الأشكال

شكل (٢-١) تأثير الحرارة الشديدة على مقاومة الضغط للخرسانة مع بيان التحول اللوني للخرسانة..... ٩
شكل (٢-٢) تأثير الحرارة الشديدة على خضوع حديد التسليح في المختبر عند درجات الحرارة العالية..... ١٣

شكل (٢-٣) تمدد حديد التسليح عند درجات الحرارة المرتفعة..... ١٤
شكل (٥-١) العلاقة بين درجة الحرارة ومقدار التماسك بين الخرسانة وحديد التسليح..... ٦٢
شكل (A1)..... A1
شكل (A2)..... A2
شكل (A3)..... A3
شكل (A4)..... A4
شكل (A5)..... A5
شكل (A6)..... A6
شكل (A7)..... A7
شكل (A8)..... A8
شكل (A9)..... A9
شكل (A10) الطابق الأرضي..... A10
شكل (A11) الطابق الأول..... A11
شكل (A12) الطابق الثاني..... A12
شكل (A13) الموقع العام لمصنع الإسفنج..... A13
شكل (A14) لائحة التعريفات..... A14

لائحة الصور

صورة رقم (٢-١) التصدع الكامل لخرسانة الأعمدة (مصنع القداحات..... ١٧
صورة رقم (٢-٢) الانبعاج وزيادة مساحة مقطع الأعمدة (مصنع القداحات)..... ١٧

صورة رقم (٢-٣) زيادة مساحة مقطع الأعمدة وإضافة الحديد (مصنع القداحات).....١٨
صورة رقم (٢-٤) ترميم الأعمدة الوسطية (عمل الجاكيت)- في مصنع القداحات.....١٨
صورة رقم (٢-٥) ترميم الأعمدة والجسور (مصنع القداحات).....١٩
صورة رقم (٢-٦) الجسور بعد عملية الترميم (I-Section)- في مصنع القداحات.....١٩
صورة رقم (٢-٧) الأعمدة بعد عملية الترميم (مصنع القداحات).....٢٠
صورة رقم (٢-٨) المبنى بعد الترميم من الداخل (مصنع القداحات).....٢٠
صورة رقم (٢-٩) واجهة المبنى بعد عملية الترميم (مصنع القداحات).....٢١
صورة رقم (٣-١) الجسور والعصب في الطابق الأرضي من مبنى (ب) و (ج).....٢٤
صورة رقم (٣-٢) تشويه الحديد الطولي والكانات في جسور الطابق الأرضي من مبنى (ب) و (ج).....٢٤
صورة رقم (٣-٣) الأعمدة والعصب في الطابق الأرضي من مبنى (ب) و (ج).....٢٥
صورة رقم (٣-٤) التصدع الجزئي للغلاف الخرساني لحديد التسليح السفلي في الجسور والعصب في الطابق الأرضي من مبنى (أ).....٢٦
صورة رقم (٣-٥) تصدع الجدران الخرسانية العمودي بسبب التمدد الحراري.....٢٧
صورة رقم (٣-٦) تصدع الجدران الخرسانية الأفقي بسبب التمدد الحراري العمودي.....٢٨
صورة رقم (٣-٧) الجسور والعصب في الطابق الأول من مبنى (ب).....٢٩
صورة رقم (٣-٨) الجسور والعصب في الطابق الأول من مبنى (ب).....٢٩
صورة رقم (٣-٩) انفصال الواجهة الحجرية عن الخرسانة في الجدران الخرسانية.....٣٠
صورة رقم (٣-١٠) التصدع الكامل لخرسانة الأعمدة.....٣١
صورة رقم (٣-١١) انفصال الواجهة الحجرية عن الخرسانة في الجدران الحجرية.....٣١
صورة رقم (٣-١٢) الجسور وعصب العقدة في الطابق الأول من مبنى (أ).....٣٢
صورة رقم (٣-١٣) ازدياد عمق الفاصل الإنشائي.....٣٣
صورة (٤-١) شكل الالتواء والتشويه الذي حدث لحديد الحماية للشبابيك نتيجة الحريق.....٣٧
صورة (٤-٢) شكل التكشف والتشويه الذي حدث لحديد التسليح نتيجة الحريق.....٣٨
صورة رقم (٥-١)استخدام مطرقة شميدت لتقدير مقاومة الخرسانة.....٤٤
صورة رقم (٥-٢) جهاز استخراج القلب الخرساني.....٤٧
صورة رقم (٥-٣) استخراج عينة من جسر عقدة الطابق الأول مبنى (ب).....٤٧
صورة رقم (٥-٤) مكان استخراج عينة القلب الخرساني من الأعمدة.....٤٨
صورة رقم (٥-٥) بعض العينات التي كسرت أثناء استخراجها من العناصر الإنشائية.....٤٩
صورة رقم (٥-٦) بعض العينات التي تم إجراء فحص مقاومة إجهاد الضغط عليها.....٤٩

صورة رقم (٥-٧) جهاز قياس قوة تحمل الخرسانة للضغط (UTM).....٥٠
صورة رقم (٥-٨) قياس قوة تحمل عينات القلب الخرساني للضغط.....٥٠
صورة رقم (٥-٩) العينات بعد كسرها باستخدام جهاز قياس مقاومة الضغط.....٥٢
صورة رقم (٥-١٠) شكل الكسر بعد انهيار العينة (انفلاقي).....٥٢
صورة رقم (٥-١١) قطع الحجارة التي تم فحصها.....٥٤
صورة رقم (٥-١٢) جهاز اختبار حديد التسليح.....٥٦
صورة رقم (٥-١٣) اختبار حديد التسليح باستخدام جهاز الشد للحديد.....٥٨
صورة رقم (٥-١٤) العينات التي تم إجراء اختبار التماسك عليها.....٦٠
صورة رقم (٥-١٥) العينات التي تم إجراء اختبار السحب عليها بعد الحرق.....٦١
صورة رقم (٥-١٦) الجهاز الذي تم استخدامه لإجراء اختبار السحب.....٦١
صورة رقم (٥-١٧):العينات بعد إجراء اختبار السحب عليها (بعد سحب الحديد من العينة).....٦٢

المراجع

(١). شريف أبو المجد وحسن حسني، حرائق المنشات الخرسانية، دار النشر للجامعات العربية (مكتبة الوفاء)، ١٩٩٤م.

(٢). مؤسسة المواصفات والقاييس الفلسطينية، كانون أول، ١٩٩٧.

(٣). LANGDON-THOMAS G.J, Fire safety in buildings, A and C. Black London, 1972

(٤). Hadeel O. Tamimi & Mona Abu Awad," Effect of Fire On The Strength Of Concrete", Palestine Polytechnic University, Hebron, Palestine, 2001.

(٥). " Annual Book Of ASTM Standareds" – "Section 4"- 1998

(٦). www.firenet.com

(٧). www.fireline.com

(٨).www.bfrl.nist.gov/info/summaries/1996/sc-5html

(٩). www.concretehomes.com

الفصل الأول
المقدمة

١-١ المقدمة
٢-١ طبيعة الحريق
٣-١ أساسيات عن الحرائق
٤-١ ميكانيكية انتشار الحريق
٥-١ أهمية المشروع
٦-١ أهداف الدراسة

١-١ المقدمة:

إن مجرد ذكر كلمة (النار) يصاب الإنسان بالذعر، وقد أصابت النار الإنسان البدائي في فجر الخليقة بالرعب، ثم طوع الإنسان **النار** لاستخداماته لأن الله سخرها له، وهذا ما يميز الإنسان عن الحيوان الذي ما زال يخشى **النار**، ولا يستطيع استخدامها، و رغم مرور آلاف السنين على استخدام **النار** في التدفئة و الطهي و الصناعة و غيرها فما زالت **النار** تخيف الإنسان و تدمر حياته و ممتلكاته في حالة حدوث حريق.

و من المتعارف عليه أن الخرسانة المسلحة تتميز بمقاومتها الجيدة للحريق بالمقارنة مع المواد الأخرى مثل الخشب والحديد، و كان ذلك أحد أسباب استخدامها كمادة إنشائية منذ أواخر القرن الماضي، و ترجع مقاومة الخرسانة العالية للحرائق أساساً إلى انخفاض معامل التوصيل الحرارة داخلها - ١مم / ثانية –و هذا يحد من عمق توغل التصدع نتيجة الحريق و يحمي حديد التسليح لعدة ساعات، حسب سمك الغطاء الخرساني، ولكن ذلك لا يعني أنها لا تتصدع إذا تعرضت لحريق يدوم عدة ساعات.

و قد بدأت التجارب المعملية لدراسة تأثير الحريق على مواد البناء منذ عدة قرون، ولكن التجارب الدقيقة التي تتبع مواصفات محددة لم تبدأ إلا في بداية القرن العشرين، وقد قطعت الدول المتقدمة شوطاً بعيداً في دراسة تأثير الحريق على مواد البناء وفي وضع كود لحماية المباني من خطر الحريق، ولكن في منطقتنا العربية ما زالت الأبحاث و التجارب قاصرة عن مواكبة التقدم العالمي في مجال الوقاية من الحريق، وما زالت الكثير من الدول العربية لم يصدر فيها كود حماية المباني من الحريق.

و بالرغم من تطور وسائل السيطرة على الحريق في المنشآت فما زالت الحرائق تمثل خطراً كبيراً، و هذا الخطر لا يهدد سلامة المنشأ فقط، و إنما يهدد سلامة البشر – وهي أشد أهمية –تهديداً خطيراً، ولقد كانت الحرائق قديماً تنتشر سريعاً نتيجة استعمال مواد في الإيواء و البناء كلها قابلة للاشتعال، مثل استعمال الأقمشة في عمل الخيام و الأخشاب في بناء البيوت، و رغم استعمال الطوب و الخرسانة المسلحة في بناء المنشآت في العصور الحديثة فما زالت الحرائق تسبب قلقاً شديداً و خسائر فادحة حتى يومنا هذا، ولا شك أن طريقة تصرف الناس حيال هذه المشكلة هو أحد أهم أسباب تفاقمها، فمعظم الناس لا تهتم بوسائل الوقاية من الحريق ولا تستطيع التعامل مع الحرائق بالشكل السليم في حال حدوثها، فالحريق أو اشتعال النار هو تفاعل كيميائي تتحد فيه المواد القابلة للاشتعال مع الأكسجين الموجود في الهواء، و يصدر عن هذا الإتحاد حرارة و ضوء و صوت.

١-٢ طبيعة الحريق:

إن تطويع الإنسان للنار حدث منذ القدم – قبل التاريخ المسجل - ولا شك أن احتياج البشرية للنار يفوق احتياجات الطهي و التدفئة فقط ، فأي مجتمع نام يحتاج الطاقة الحرارية في الصناعة و بعض وسائل النقل، ورغم طول مدة تعامل الإنسان مع **النار** فما زال الإنسان يدفع ضريبة استخدام **النار** من الألم و الموت و التدمير و الخسارة المادية التي تسببها الحرائق رغم أن فهم الإنسان للنار و كيفية احتراقها أصبح كافياً لتطوير تكنولوجيا السيطرة عليها، و في الواقع فإن فشلنا في الحد من خطورة استعمال **النار** لا يرجع إلى نقص علمي و إنما يرجع إلى أسلوب اجتماعي أو شخصي في المعيشة والعادات وسياسات الإسكان والأمن الصناعي.

١-٣ أساسيات عن الحرائق:

لفهم طبيعة الحرائق و تأثيرها و للحكم على كيفية نموها و تطورها لا بد من فهم بعض الأساسيات عن الحريق، فالحريق أو اشتعال النار هو تفاعل كيميائي تتحد فيه المواد القابلة للاشتعال مع الأكسجين الموجود في الهواء، ويصدر عن هذا الإتحاد حرارة وضوء وصوت، وهناك ثلاثة عناصر لازمة لحدوث الاشتعال، مادة قابلة للاشتعال و أكسجين و مصدر حرارة مبدئي، و إزالة أي عنصر منها سيؤدي إلى إخماد الحريق.

*** تصنيف الحرائق:**

تصنف الحرائق كمايلي:

- حرائق ساخنة أو شديدة – و هي ذات درجة حرارة عالية جداً.
- حرائق سريعة – أي سريعة الاشتعال.
- حرائق بطيئة – أي بطيئة الاشتعال.
- حرائق ذات لهب و دخان.
- حرائق ذات دخان كثيف بدون لهب.

و نوع الحريق يعتمد بالدرجة الأولى على المواد المشتعلة ويعتمد بالدرجة الثانية على التهوية المتاحة و حجم غرفة الاحتراق.

أما من ناحية الحرارة اللازمة لبدء الاشتعال- وهي أهم عنصر من عناصر الحريق – فقد تكون مجرد لهب بسيط ولكنه يبعث قدراً كافياً من الغازات – وذلك في حالة وجود سائل قريب قابل للاشتعال -، بحيث يؤدي

اشتعال هذه الغازات إلى اشتعال معظم المواد الصلبة، وقد تكون حرارة بدء الاشتعال مصدراً مضيئاً مثل طرف السيجارة أو الشرارة، ولكنها تصل إلى مادة صلبة سريعة الاشتعال فتصبح حريقاً في ثوان، وقد تكون هذه الحرارة نتيجة التسخين الزائد عن الحد- مثل تسخين الزيت إلى درجة الاشتعال – وتعرف بأنها الحالة التي يتم فيها فقد الحرارة بنفس سرعة توليدها فيحدث التسخين الزائد عن المطلوب.

ولزيادة فهم طبيعة الحرائق نتعرض لطرق انتقال الحرارة وهي ثلاثة:

- انتقال الحرارة بالتوصيل: **(conduction of heat)** بحيث تنتقل الحرارة خلال جسم صلب من منطقة ساخنة إلى منطقة باردة.
- انتقال الحرارة بالحمل: **(convection of heat)** بحيث تنتقل الحرارة في/ أو بواسطة سائل أو غاز يتحرك في وسط معين.
- انتقال الحرارة بالإشعاع: **(radiation of heat)** بحيث تنتقل الحرارة خلال غاز أو حيز مفرغ.

١-٤ ميكانيكية انتشار الحريق:

- بداية الاشتعال:

عادة ما يبدأ الحريق باشتعال الغازات التي تنبعث من الأجسام الصلبة عند تسخينها، ومرحلة بداية الاشتعال هامة أيضاً حتى بعد أن يبدأ الحريق، وذلك لأن انتشار الحريق يكون عادة مرتبطا باشتعالات جديدة. وميكانيكية الاشتعال تمضي كالتالي: عندما تصل الحرارة إلى مادة ما فإن جزءاً منها تمتصه هذه المادة بداخلها، أما باقي الحرارة التي لم تمتص فتبقى قرب السطح وترفع درجة حرارته، عندئذ تنبعث غازات قابلة للاشتعال، ولكن يلزم لاشتعالها وجود أي لهب ولو صغير، أما إذا لم يوجد أي لهب فإنه يلزم تسخين المادة لدرجة حرارة أعلى حتى تصل الغازات لدرجة الاشتعال الذاتي.

- انتشار اللهب و الحريق:

يمكن أن ينتشر اللهب أو الحريق من مصدر الاشتعال إلى باقي المبنى بأحد الوسائل التالية:

أ- انتشار اللهب على أسطح مستمرة قابلة للاشتعال:

حيث ينتشر الحريق باتجاهين الأفقي و الرأسي، ومن المهم إدراك العلاقة بين سمك مواد التغطية القابلة للاشتعال وسرعة انتشار اللهب، فكلما قل سمك هذه المادة كلما زادت سرعة انتشار الحريق.

ب- انتشار الحريق عبر وقود متصل:

ويقصد بالوقود هنا المواد القابلة للاشتعال كلها، وهذه هي وسيلة انتشار الحريق من الأرضية إلى السقف أو الجدران، إذ تحترق مواد تغطية الحوائط عندما ترتفع حرارة الغرفة بدرجة كافية، ومن ثم يشتعل السقف، ومن المهم هنا إدراك أنه كلما انخفضت كثافة المادة القابلة للاشتعال كلما قلت الحرارة المطلوبة لاحتراق وحدة الحجم، وكلما زادت سرعة انتشار الحريق، أي أن المواد الرغوية (Foam) مثلاً لا تحتاج لحرارة عالية لإشعالها، وينتشر فيها الحريق بسرعة كبيرة.

ج – انتشار الحريق عبر وقود غير متصل:

وفي هذه الحالة لكي يتقدم الحريق فلا بد له من القفز عبر المسافة الفاصلة بين المواد القابلة للاشتعال، وممكن أن يتم هذا القفز بطريقتين، إما أن ترتفع درجة حرارة الغرفة ارتفاعاً يؤدي إلى اشتعال المواد غير المتصلة بالحريق اشتعالاً ذاتياً، أو أن ينتشر الحريق على السقف ثم يحدث الإشعاع الحراري لأسفل مما يؤدي إلى انتشار الحريق على مساحة أوسع، وفي هذه الحالة ينتشر الحريق بسرعة كبيرة.

١-٥ أهمية المشروع:

تعتبر الحرائق من أكبر الأخطار التي تواجه المنشآت الخرسانية و المعدنية، و كثيراً ما تكون الأضرار و الخسائر الناتجة عن الحرائق كبيرة جداً بحيث لا تتوقف عند الخسائر المادية، بل تتعدى ذلك لتصل الخسائر البشرية إذ أننا كثيراً ما نسمع عن أرواح تزهق بسبب الحرائق و النيران، ولا نريد أن نتطرق هنا إلى الأسباب التي أدت إلى حدوث الحريق، ولكنها غالباً ما تكون بسبب الإهمال و قلة التوعية، و مما يساعد على انتشار الحرائق عدم استخدام العوازل التي من شأنها تقليل سرعة انتشار النيران، كذلك عدم استخدام وسائل الوقاية و الأمان في كثير من مؤسساتنا و مصانعنا مما يؤدي إلى حدوث كوارث و مصائب لا ينسينا إياها إلا الزمن، ونظراً لعدم وجود دراسات

لحالات خاصة لمرافق المباني الخرسانية المحترقة في فلسطين ولكي تساعد في التعرف على أسباب الحرائق وآثارها وطرق الوقاية منها، جاءت أهمية هذا البحث.

وفي هذا المشروع " مصنع الجمل للإسفنج " نحمد الله انه لم يكن هناك خسائر بشرية، لهذا ارتأينا أن نتطرق لدراسة تحليل و تقييم الانهيارات الإنشائية الناتجة عن الحرائق في المنشآت الخرسانية، بحيث ندرس حالة خاصة حدثت في مجتمعنا، وسوف يتم استخلاص النتائج والعبر من هذه الحالة وعمل التوصيات اللازمة التي قد تخدم مؤسسات أخرى في فلسطين وتجنبها الآثار المدمرة للحرائق.

١-٦ أهداف الدراسة:

- **ألأهداف العامة:**

١- دراسة أنواع الأضرار و الانهيارات الناتجة عن الحرائق في المنشآت بشكل عام و المنشآت الخرسانية بشكل خاص.

٢- وضع أسس لتقييم الوضع الإنشائي للأعضاء الخرسانية المحترقة من أجل الالتزام بها عند تصميم المنشآت الخرسانية التي تعرضت للحريق.

- **الأهداف الخاصة:**

١- معرفة مدى التصدع و انخفاض المقاومة للأعضاء الإنشائية لمصنع الإسفنج، الذي تعرض للحريق وسوف تشمل الدراسة أخذ عينات من الأعمدة والجسور والأعصاب والعقدات والحجر وفحصها وتحليل النتائج.

٢- مقارنة نتائج الفحوصات العملية لمصنع الإسفنج مع الدراسات السابقة لمعرفة مدى الأضرار الإنشائية التي لحقت به.

٣- اقتراح بعض وسائل المعالجة الخاصة بمصنع الإسفنج في ضوء نتائج الفحوصات.

الفصل الثاني
الدراسات السابقة

٢-١ مقدمة

٢-٢ تأثير الحرارة الشديدة على الخرسانة

٢-٣ مقاومة الخرسانة للضغط

٢-٤ تغير لون الخرسانة أثناء الحريق

٢-٥ معايير المرونة ومعايير القص للخرسانة

٢-٦ التمدد الحراري الحر للخرسانة

٢-٧ تساقط الخرسانة السطحية

٢-٨ التشرخ

٢-٩ تأثير نوع الركام

٢-١٠ تأثير الحريق على حديد التسليح

٢-١١ تأثير الحرارة الشديدة على الأعضاء الخرسانية

٢-١٢ حالة خاصة مبنى كان يستخدم لتصنيع وتعبئة غاز القداحات تعرض للحريق

٢-١ مقدمة:

عندما تتعرض الخرسانة المسلحة لدرجات حرارة عالية - أثناء الحريق – تتعدى ٣٠٠ درجة مئوية فإنها تفقد مقاومتها للضغط بسرعة، وكذلك فان صلب التسليح يفقد نصف مقاومته للشد عندما تصل درجة الحرارة ما بين ٥٠٠-٦٠٠ درجة مئوية ولكنه يستعيدها إذا لم تتعدى درجة الحريق ٧٠٠ درجة مئوية أي أن الخرسانة المسلحة في حالة الحريق تضعف مقاومتها للأحمال إلى حد كبير – يصل إلى نصف المقاومة الأصلية -، و الخرسانة سابقة الإجهاد ليست أحسن حالاً و إنما على العكس، فتأثير الحريق على كابلات الشد أخطر من تأثيره على صلب التسليح، بحيث تفقد الكابلات نصف مقاومتها عند درجة مئوية ٤٠٠، و الأخطر من ذلك أن تفقد هذه الكابلات قوة الشد الموجودة بها نتيجة الزحف عند درجات الحرارة المرتفعة، وفي المقابل فإن الخرسانة الخضراء – التي لم يمض على صبها يوم أو يومان – تقاوم الحريق مثل الخرسانة الناضجة تقريباً، بحيث أن انخفاض معامل انتشار الحرارة داخل الخرسانة الخضراء يقلل إحساس قلب الخرسانة بالحرارة التي يحس بها سطحه مما يحصر التصدع في الطبقات الخارجية. [1]

٢-٢ تأثير الحرارة الشديدة على الخرسانة:

تتأثر مقاومة الخرسانة للضغط بالارتفاع الشديد لدرجة الحرارة تأثراً كبيراً، و تعتمد حدة هذا التأثر على العوامل التالية:

١- درجة الحرارة القصوى.
٢- معدل ارتفاع درجة الحرارة.
٣- طول مدة الحريق (مدة تعرض الخرسانة للحريق).
٤- هل الخرسانة المعرضة للحريق محملة (معرضة للإجهادات) أم لا.
٥- نوعية الركام.
٦- رتبة الخرسانة (مقاومتها للضغط).
٧- نسبة الماء إلى الأسمنت في الخلطة.

فالخرسانة بصورة عامة تفقد جزءاً من مقاومتها عندما تتعدى درجة الحرارة ٢٥٠ درجة مئوية و لكن التصدع يبدأ من درجة حرارة ٣٠٠ درجة مئوية، وتستمر زيادة الفاقد في المقاومة مع ارتفاع درجة الحرارة و تستمر كذلك عند

تبريدها أثناء إطفاء الحريق، و إذا لم تزد درجة الحرارة المعرضة لها الخرسانة عن ٣٠٠ درجة مئوية فإنها غالباً ما تستعيد معظم مقاومتها مع الوقت.

و نتيجة لانخفاض معامل انتشار الحرارة داخل الخرسانة فإن درجة الحرارة داخل القطاع الخرساني تقل بسرعة عن درجة حرارة السطح، وبذلك ينحصر التصدع في الطبقات السطحية إلا إذا دام الحريق عدة ساعات، و يقل معاير المرونة كذلك مع ارتفاع درجة الحرارة ولكن من المعتقد أنه يسترجع قيمته في حالة عدم الوصول إلى درجة حرارة ٥٠٠ درجة مئوية.

و يمكن تلخيص تأثير الحرارة الشديدة على الخرسانة وحديد التسليح في جدول (٢-١)، (٢-٢) و فيما يلي عرض لهذا التأثير على الخواص المختلفة بالتفصيل:[1].

	الخاصية	درجة الحرارة	التأثير
تأثير الحرارة الشديدة على الخرسانة	مقاومة الضغط	أقل من ٣٠٠مْ	انخفاض إلى ٣٠% من القيمة الأصلية
		من ٥٠٠-٦٠٠مْ	انخفاض من ٦٠-٨٠%
	تغير اللون	٣٠٠م فأكثر	وردي
		٦٠٠-٩٠٠مْ	رمادي فاتح
		٩٠٠مْ فأكثر	كريمي غامق
	معايير المرونة	حوالي ٣٠٠مْ	انخفاض إلى ٣٠% من القيمة الأصلية
		حوالي ٦٠٠مْ	انخفاض من ٨٠-٨٥ % القيمة الأصلية
	معايير القص	حوالي ٣٠٠مْ	انخفاض إلى ٤٠% من القيمة الأصلية

_ التشرخ	---------	شروخ عشوائية نتيجة فرق معاملات التمدد بين الصلب والخرسانة.

جدول (٢-١) تأثير الحرارة الشديدة على الخرسانة

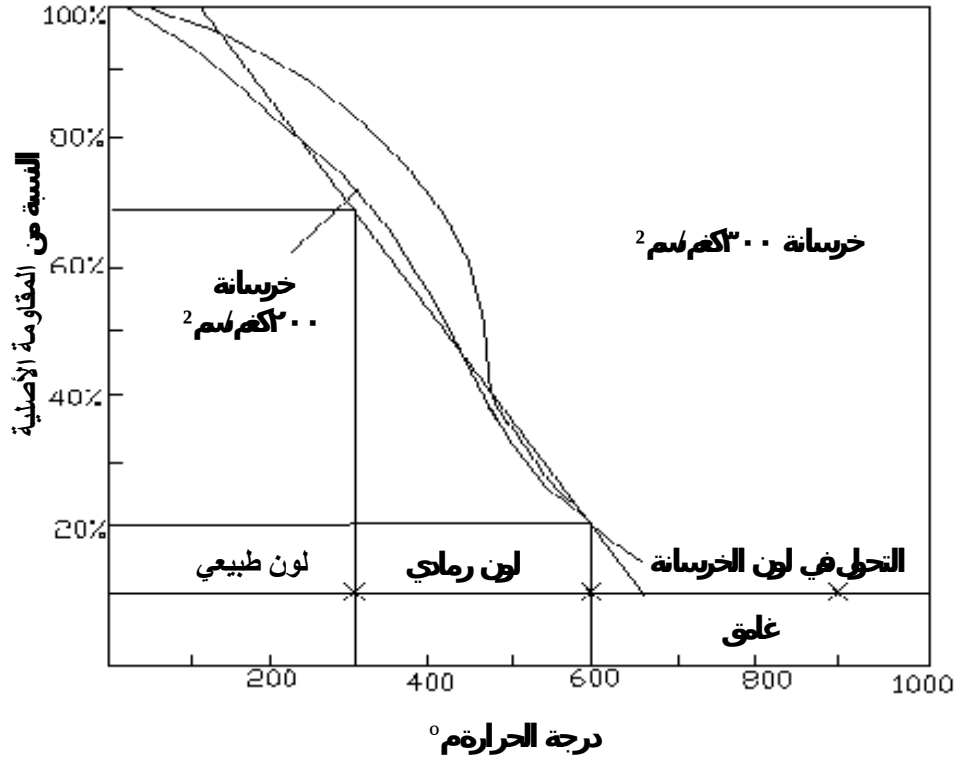
الخاصية		درجة الحرارة	التأثير
تأثير الحرارة الشديدة على حديد التسليح	مقاومة الخضوع	مدلفن على البارد حوالي ٥٥٠مْ	تقل من ٤٠-٥٠%من القيمة
		حوالي ٨٠٠مْ	تقل إلى ٨٠ % من القيمة
		مدلفن على الساخن حوالي ٥٥٠مْ	تقل من ٣٠-٤٠ % من القيمة
		حوالي ٧٠٠مْ	تقل إلى ٧٠ % من القيمة
	المقاومة القصوى	حوالي ٤٠٠مْ	تقل إلى ٢٠ % من القيمة
		حوالي ٧٠٠مْ	تقل إلى ٨٠ % من القيمة
	معايير المرونة	حوالي ٤٨٠مْ	يقل خطياً إلى ٢٠ % من القيمة
		حوالي ٧٠٠مْ	يقل بسرعة كبيرة

جدول (٢-٢) تأثير الحرارة الشديدة على حديد التسليح

جدول (٢-١)، (٢-٢) :[1]

٢-٣ مقاومة الخرسانة للضغط:

تنخفض مقاومة الخرسانة للضغط عند تعرضها لدرجات الحرارة المرتفعة، كما هو موضح في شكل (٢-١)، ويكون هذا الانخفاض أكثر حدة إذا تعرضت الخرسانة لدرجات حرارة أعلى من ٣٠٠ درجة مئوية، ففي حين لا يتعدى الانخفاض في مقاومة الضغط عند تعرض الخرسانة لحرارة أقل من ٣٠٠ درجة مئوية، ٣٠ % من المقاومة الأصلية، فإن الخرسانة إذا ما تعرضت لدرجات حرارة أعلى من ٥٠٠-٦٠٠ درجة مئوية، فإن مقاومتها تنخفض بشدة وتصبح مجرد جزء بسيط من مقاومتها الأصلية (٢٠-٤٠ %)، وعند ذلك فمن غير المحتمل أن تقوم هذه الخرسانة بوظيفتها الإنشائية ويلزم استبدالها. ودرجة القص في المقاومة تعتمد على العوامل المذكورة في قسم ٢-٢.



شكل (٢-١) تأثير الحرارة الشديدة على مقاومة الضغط للخرسانة،
مع بيان التحول اللوني للخرسانة[4]

٢-٤ تغير لون الخرسانة أثناء الحريق:

عندما تبرد الخرسانة يساعد تقدير عمق التحول في لونها في تقدير أقصى درجة حرارة تعرضت لها أثناء الحريق، ولكن درجة وضوح هذا التغير في اللون يعتمد على نوعية كل من الركام الصغير و الركام الكبير، فالخرسانة المصنوعة من الركام السيليسي يتغير لونها إلى اللون الوردي عند درجة حرارة ٣٠٠ درجة مئوية، وهذا التغير في اللون هام جداً في تحديد درجات حرارة طبقات الخرسانة الداخلية ومدى تأثرها بالحريق، لأن درجات الحرارة الأقل من ٣٠٠مئوية، لا تدمر الخرسانة ولكنها تخفض قوة تحملها للضغط بنسبة ٣٠ %فقط، أما درجات الحرارة الأعلى من ذلك فإنها تخفض قوة تحملها بنسبة أكبر بحيث لا تصبح صالحة للعمل كمادة إنشائية.

٢-٥ معايير المرونة ومعايير القص للخرسانة:

يحدث انخفاض ملحوظ في معايير المرونة أثناء الحريق، وقد بينت التجارب البريطانية أن معايير المرونة قد يصل إلى ٦٠ % من قيمته الأصلية عند درجة حرارة ٣٠٠ درجة مئوية، ويصل إلى ١٥ % من القيمة الأصلية عند درجة حرارة ٦٠٠ درجة مئوية، وتتفق التجارب الأمريكية مع هذه النتائج إلى حد كبير، ورغم هذا الانخفاض الكبير في معايير المرونة فإن الزيادة التي تحدث في الترخيم والتشكل المرن نتيجة هذا الانخفاض وحده لن تكون ملموسة بالمقارنة بتأثير العوامل الأخرى كخضوع الحديد مثلاً أو انخفاض مقاومته للشد.[2]

٢-٦ التمدد الحراري الحر للخرسانة:

تبين جميع الأبحاث و الدراسات السابقة أن كل أنواع الخرسانة تتمدد بالحرارة –إذا لم تكن تحت تأثير أحمال الضغط – ما عدا خرسانة الحجر الخفاف فهي تنكمش بشدة عند درجات حرارة أعلى من ٣١٥ درجة مئوية، و يعتمد تمدد الخرسانة على العوامل التالية:

١- نوع الركام.
٢- عمر الخرسانة.
٣- محتوى الاسمنت والماء.

٢-٧ تساقط الخرسانة السطحية:

هناك نوعان من التساقط يمكن ملاحظتهما بعد الحريق : التساقط الانشطاري وهو يحدث للخرسانة التي بها محتوى رطوبة معين، بحيث يحدث في نصف الساعة الأولى من الحريق، ويتكون من انشطارات متتالية (كالانفجارات) للطبقات السطحية الرفيعة واحدة وراء الأخرى عند التعرض لدرجات حرارة مرتفعة، بحيث يزيل كل انشطار طبقة رفيعة من سطح الخرسانة فتلتهب الطبقة التي انكشفت وهكذا، أما النوع الثاني فيمكن تسميته بالتقشير، وهو انفصال تدريجي وغير عنيف للطبقات السطحية، وهو يحدث عادة في الأعمدة والكمرات، وذلك عند حدوث شروخ متوازية تسبب انفصال جزء من الخرسانة عند مستوى من مستويات الضعف – مستوى صلب التسليح مثلاً –ثم سقوطه، وقد يؤثر نوع الركام أحيانا على نوع التساقط الذي يحدث للخرسانة، فالخرسانة ذات الركام الجيري تتساقط عادة على شكل طبقات رفيعة وتمر مستويات الانفصال بالركام الجيري نفسه، أما الخرسانة المصنوعة من الزلط فتنفصل طبقاتها حول الزلط مخلفة سطحاً لامعاً عند أماكن الزلط المكشوف.

وخطورة تساقط الخرسانة السطحية أثناء الحريق أنه يعرض طبقات أعمق للحرارة العالية مما يزيد من معدل انتقال الحرارة إلى الداخل فتصل إلى صلب التسليح، كما قد يحدث قدر كبير من التساقط السطحي عندما يخمد الحريق ويبرد السطح، ولكن الأعضاء التي لم يتساقط سطحها بعد انتهاء الحريق تكون قد احتفظت بغطائها الخرساني مدة كافية لحماية صلب التسليح والخرسانة الداخلية من الحرارة العالية.

٢-٨ التشرخ:

عند درجات الحرارة العالية يكون التمدد الحر لصلب التسليح أكبر كثيرا من تمدد الخرسانة، وتؤدي احاطة الخرسانة بالصلب وتماسكها معه إلي اجهادات انفصالية عالية وشروخ حول أسياخ الصلب وخاصة في الأعضاء الخرسانية كثيفة التسليح، وقد أظهرت الخبرة السابقة أن هذه الشروخ تتركز في الأماكن التي كانت بها شروخ رفيعة أصلاً قبل الحريق – نتيجة الانكماش أو اجهادات الانحناء العالية أو غير ذلك من أسباب شروخ الخرسانة.

كما أن اختلاف معاملات التمدد الحراري للركام ومونة الاسمنت يؤدي إلى حدوث شروخ عند التعرض لدرجات الحرارة العالية، هذه الشروخ تكون عادة في صورة شروخ سرطانية عشوائية.

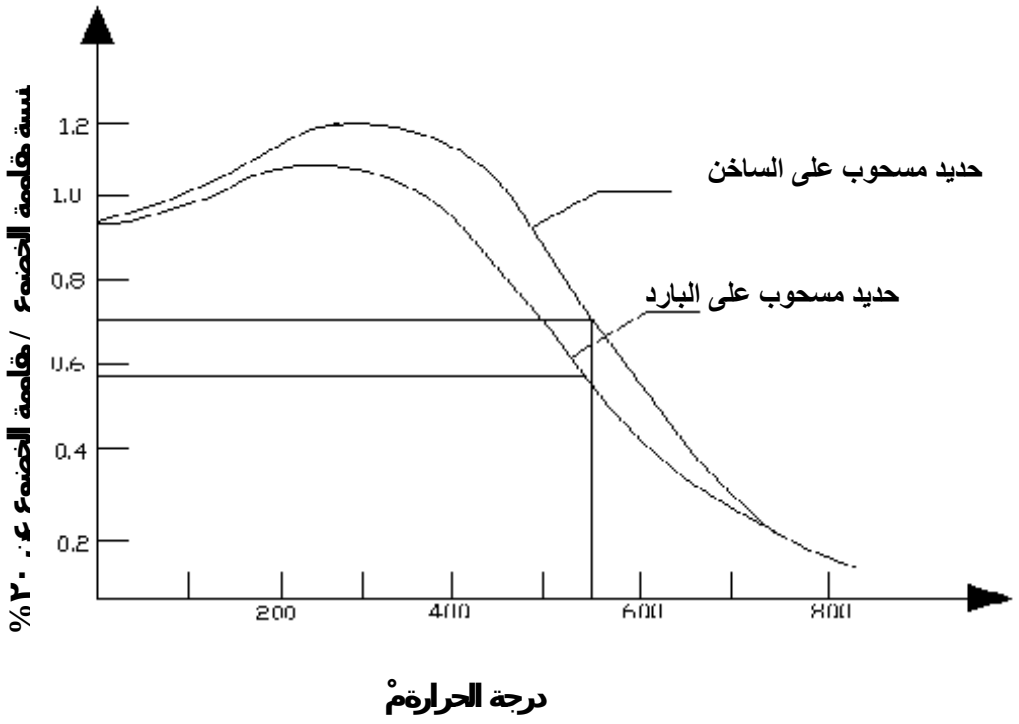
٢-٩ تأثير نوع الركام:

بالإضافة إلى تأثير نوع الركام على شكل التساقط السطحي،فإن له أيضاً أثر كبير على الخواص الحرارية للخرسانة، فمثلاً معامل التمدد الحراري للخرسانة المصنوعة من ركام الحجر الجيري حوالي نصف معامل تمدد الخرسانة المصنوعة من الزلط، كما أن احتمالات تساقط الخرسانة المصنوعة من الركام الخفيف يعطي خرسانة أفضل من حيث خواص (المقاومة – الحرارة)، وأفضل من حيث أنها أقل نقلاً لحرارة الخارج إلى الداخل.

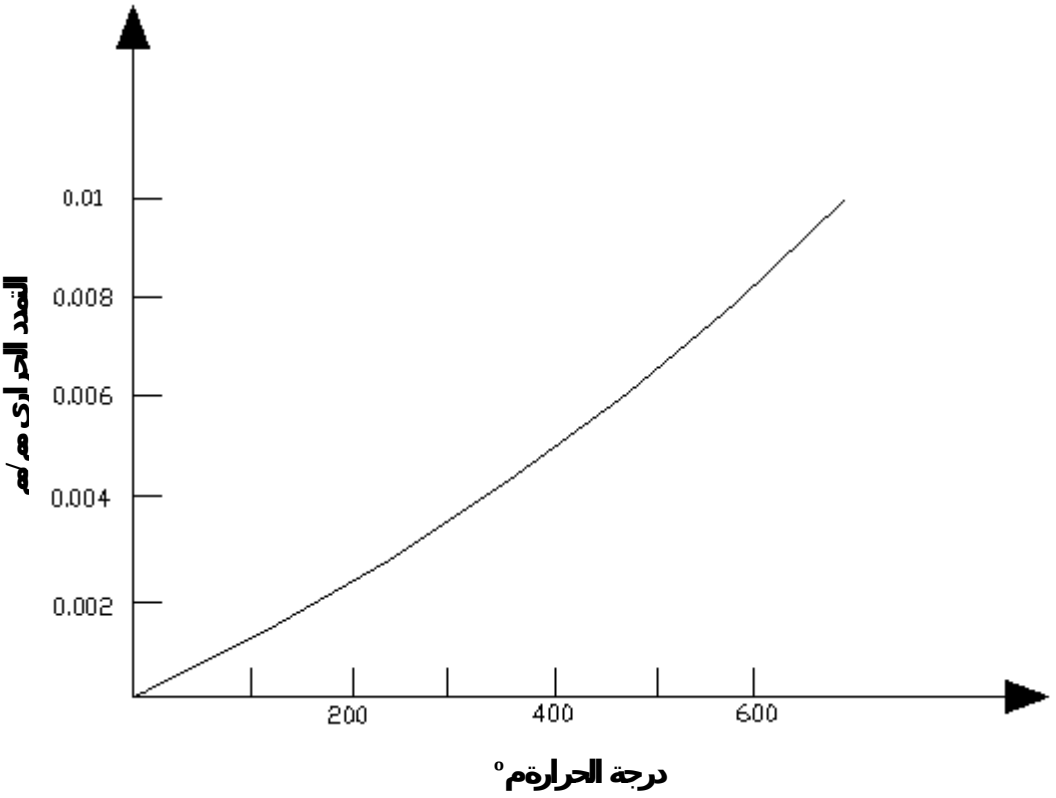
٢-١٠ تأثير الحريق على حديد التسليح:

يتأثر حديد التسليح بدرجات الحرارة العالية، وكذلك بدرجات الحرارة بعد انخفاضها – بعد انتهاء الحريق – فمقاومة الحديد تنخفض عند درجات الحرارة العالية إلى نصف مقاومة الخضوع الأصلية، بحيث أنه كلما ارتفعت درجة الحرارة، كلما انخفضت مقاومة الحديد، وهذا الانخفاض في مقاومة الحديد هو المسئول عن زيادة الترخيم والتشكل أثناء الحريق، والعامل الأكثر تأثيراً بالنسبة لزيادة الترخيم هو نسبة الأحمال الفعلية الموجودة أثناء الحريق إلى أحمال التصميم، فكلما زادت الأحمال الفعلية عن أحمال التصميم كلما كانت الزيادة في الترخيم أثناء الحريق أكبر.

ورغم ذلك فإن الحديد يستعيد مقاومته كلها – تقريباً – بعد أن يبرد وذلك لدرجات حرارة لا تتعدى ٧٠٠درجة مئوية، وقد يحدث فقدان للمطولية عند التعرض لدرجات حرارة أعلى من ذلك، وعادة ما يحدث انبعاج لأسياخ التسليح بسبب اجهادات الضغط العالية التي تنجم عن القيد على التمدد الحراري لهذه الأسياخ أثناء الحريق. ويبين الشكل (٢-٢) تمدد حديد التسليح عند درجات الحرارة المرتفعة.



شكل (٢-٢) تأثير الحرارة الشديدة على خضوع حديد التسليح في المختبر عند درجات الحرارة العالية [1]



شكل (٢-٣) تمدد حديد التسليح عند درجات الحرارة المرتفعة [1]

٢-١١ تأثير الحرارة الشديدة على الأعضاء الخرسانية:

الجدول التالي يبين مراحل تأثر الخرسانة بارتفاع درجة الحرارة أثناء الحريق.

المرحلة	التأثير المحتمل
عند التعرض للحرارة الشديدة:	
١- ارتفاع حرارة السطح.	* شروخ عشوائية.
٢- انتقال الحرارة للخرسانة الداخلية.	* فقد المقاومة-التشرخ-سقوط الغطاء الخرساني.
٣- وصول الحرارة إلى صلب التسليح (تزداد سرعتها عند سقوط الغطاء).	* انخفاض مقاومة الخضوع، انبعاج محتمل، و/أو زيادة الترخيم و التشكيل.
عندما تبرد الأعضاء (بعد الحريق):	
٤- يبرد صلب التسليح.	* استعادة مقاومة الخضوع كلها للصلب المدلفن على الساخن طالما أن درجة الحرارة لم تتعد ٧٠٠درجة مئوية، الأسياخ التي انبعجت تظل منبعجة.
٥- تبرد الخرسانة.	* الشروخ تغلق، مع استمرار فقد المقاومة، لا يستعيد العضو كل الترخيم الناجم عن الحريق، يبقى ترخيم ملحوظ وخاصة في الحرائق الشديدة.
٦-بعدما تبرد الخرسانة.	* الخرسانة تكون شديدة الجفاف فتمتص الرطوبة من الجو بشراهة مما يسبب زيادة في التشكل و التشريخ.

جدول (٢-٣) مراحل تعرض الأعضاء الخرسانية للحريق والتأثير المحتمل [1]

٢-١٢ حالة خاصة- مبنى كان يستخدم لتصنيع وتعبئة غاز القداحات تعرض للحريق-:

يقع المبنى (مصنع القداحات) في بئر حرم الرامة- مدينة الخليل_فلسطين، حيث تعرض لحريق ضخم بتاريخ ١٩٩٩/١٠/٢١.

حيث لقيت ١٤ عاملة مصرعهن اثر اندلاع حريق هائل في مصنع للقداحات، وكان الحادث وقع عندما سقطت قداحة من السدة العلوية للمصنع على مدخله فانفجرت وأدت إلى اشتعال النيران بشكل سريع في المواد القابلة للاشتعال بالمصنع حيث لم يكن بامكان العاملات الخروج منه لعدم وجود مدخل آخر غير مدخله الرئيسي الأمر الذي أدى إلى تفحم العاملات ووفاة ١٤ عاملة منهن.

وقد قمنا بزيارة المبنى خلال عملنا في هذا المشروع، حيث وجدنا المبنى قد تم ترميمه وأصبح محلاً تجارياً من نوع آخر لصناعة وبيع المفروشات، فتم التقاط بعض الصور له، كما قمنا بالحصول على عدد من الصور والتي كان صاحب المبنى قد التقطها خلال عملية الترميم.

فقد تم ترميم الأعمدة بعمل" جاكيت" مسلح سماكة ٢٠سم، ورممت الجسور بعمل جسور مدلية (Drop Beam) باستخدام حديد (I- section) ، وتوضح الصور (٢-١)، (٢-٢)، (٢-٣)، (٢-٤)، (٢-٥)، المبنى خلال عملية الترميم، وتوضح الصور (٢-٦)، (٢-٧)، (٢-٨)، (٢-٩)، (٢-١٠)، المبنى بعد انتهاء عملية الترميم بفترة من الزمن، وهذه الحالة توضح ضرورة عدم الحكم المباشر على المباني الخرسانية التي تعرضت للحريق قبل فحصها وتحليلها بشكل علمي.

صورة رقم (٢-١):

التصدع الكلي لخرسانة الأعمدة (مصنع القداحات)

صورة رقم (٢-٢)

الانبعاج وزيادة مساحة مقطع الأعمدة (مصنع القداحات)

صورة رقم (٢-٣)

زيادة مساحة مقطع الأعمدة وإضافة الحديد (مصنع الفداحات)

صورة رقم (٢-٤)

ترميم الأعمدة الوسطية (عمل الجاكيت)-في مصنع الفداحات

صورة رقم (٢-٥)

ترميم الأعمدة والجسور (مصنع القداحات)

صورة رقم (٢-٦)

الجسور بعد عملية الترميم (I-Section)-في مصنع القداحات

صورة رقم (٢-٧)

الأعمدة بعد عملية الترميم (مصنع القداحات)

صورة رقم (٢-٨)

المبنى بعد الترميم من الداخل (مصنع القداحات)

صورة رقم (٢-٩)

واجهة المبنى بعد عملية الترميم (مصنع القداحات)

الفصل الثالث

وصف المبنى (مصنع الإسفنج)

٣-١ وصف المبنى (مصنع الإسفنج)

٣-٢ الأضرار الإنشائية بسبب الحريق

٣-٢-١ وصف عام للحدث

٣-٢-٢ الأضرار الإنشائية في الطابق الأرضي من مبنى (ب) و (ج)

٣-٢-٣ الأضرار الإنشائية في الطابق الأرضي من مبنى (أ)

٣-٢-٤ الأضرار الإنشائية في الطابق الأول من مبنى(ج)

٣-٢-٥ الأضرار الإنشائية في الطابق الأول من مبنى(ب)

٣-٢-٦ الأضرار الإنشائية في الطابق الأول من مبنى(أ)

٣-١ وصف المبنى (مصنع الإسفنج):

يقع مبنى شركة الجمل الصناعية التجارية في منطقة الفحص جنوب مدينة الخليل، تم تشييد هذا المبنى على أرض تقدر مساحتها ب ١٦٠٠ متر مربع وبشكل مستطيل وعلى ثلاث طبقات، بدأ تشييد هذا المبنى عام ١٩٩٤ و حتى عام ٢٠٠٢على مراحل، و قد تعرض المبنى لحريق هائل بتاريخ ٢٠٠٣/٩/٢٨ بحيث تجاوزت مدة الحريق الخمس ساعات في بعض أجزاء المبنى. العناصر الإنشائية تعرضت بسبب الحريق إلى أضرار مما يستدعي إعادة التقييم الإنشائي لهذه العناصر؛ ويتكون المبنى من ثلاثة أجزاء مفصولة عن بعضها البعض بفواصل إنشائية كما هو موضح في الخرائط المرفقة، اللوحات (A10,A11,A12)، ضمن الملاحق.

يتكون كل جزء من أجزاء المبنى من طابقين تم تشييدها بمناسيب مختلفة، كما هو موضح في الخرائط المذكورة أعلاه. و تبلغ مساحة المبنى الكلية ٣ آلاف متراً مربعاً و قد تم استخدام هذه المساحات لأغراض التصنيع و التخزين و الإدارة و العرض.

* العناصر الإنشائية تم تشييدها من الخرسانة المسلحة حيث تم استخدام قضبان تسليح ذات قوة خضوع تساوي ٤٢٠٠كغم/سم^2. النظام الإنشائي للمبنى يحتوي على العناصر التالية:

١- العقدات:

استخدمت عقدات أعصاب ذات اتجاه واحد، بالاتجاه العرضي للمبنى وقد تم استخدام أنواع طوب مختلفة في العقدات و يبلغ سمك العقدة ٣٢ سم، أما الجسور فقد تم تشييدها بالاتجاه الطولي و العرضي في العقدة و جميعها عبارة عن جسور مسحورة داخل العقدة ويبلغ عرض الجسور (٨٠)سم.

٢- الأعمدة:

الأعمدة الخارجية ذات أبعاد ٦٠x ٣٥سم، أما المسافة ما بين الأعمدة فتتراوح ما بين ٥ إلى ٨ أمتار، أما الأعمدة الداخلية فقد تم تشييدها بطريقتين إما ظاهرة أو مسحورة في نطاق الجدار الخارجي.

الجدران الخارجية:

الجدران الخارجية تم تشييدها من الخرسانة و الحجر في بعض الأماكن و في البعض الآخر تم تشييدها فقط من الخرسانة و بسماكة كلية مقدارها ٢٥سم.

٣- الأساسات:

الأعمدة تم تشييدها على أساسات منفردة و الجدران الخارجية و جدران بيت الدرج تم تشييدها على جسور أرضية، أما الطابق الأرضي فيحتوي على مدة أرضية مسلحة بسمك ١٥سم.

٣-٢ الأضرار الإنشائية بسبب الحريق:

٣-٢-١ وصف عام للحدث:

تعرض المبنى بالكامل للحريق بتاريخ ٢٠٠٣/٩/٢٨ وقد كانت الأضرار متفاوتة في المبنى وذلك بسبب:

- اختلاف كمية تخزين المواد القابلة للحريق من موقع إلى آخر.
- اختلاف ارتفاع مناسيب العقدات حيث يختلف ارتفاع العقدة من جزء إلى آخر من أجزاء المبنى.
- اختلاف سرعة إطفاء الحريق من موقع إلى آخر أي اختلاف استمرار مدة الحريق.

٣-٢-٢ الأضرار الإنشائية في الطابق الأرضي من مبنى (ب) و (ج):

- **الجسور:**

تعرضت الجسور لدرجات حرارة عالية مما أدى إلى تصدع الغطاء الخرساني السفلي الواقي لقضبان التسليح حيث أن الحديد السفلي قد تعرى تماماً من الغطاء الخرساني الواقي بالكامل كما هو مبين في الصورة رقم (٣-١) و(٣-٢). بسبب الحريق تصدعت طبقة الخرسانة المحيطة بالقضبان الفولاذية بحيث أنه لا يوجد تماسك ما بين الخرسانة والحديد السفلي ولا تنتقل أي قوى بينهما.

- حديد التسليح الطولي تعرض إلى تشويه بسبب التمدد الحراري مما أدى إلى تقوسه للأسفل أو الجانب، الكانات فقدت غطاءها الخرساني الواقي وتعرضت إلى درجات حرارة عالية مما أدى إلى تقوسها للأسفل صورة رقم(٣-٢). الجسور تعرضت إلى تشويه شاقولي حيث أنها منحنية إلى الأسفل.

- **العصب:**

بسبب الحريق تصدع الغطاء الخرساني الواقي لحديد التسليح السفلي بشكل جزئي صورة رقم (٣-١) و (٣-٢). تعرض العصب لدرجات حرارة عالية أدى إلى كسر الغطاء الخرساني السفلي وفصله عن حديد التسليح السفلي بسهولة، أما طوب العقدة فقد تعرض إلى درجات حرارة عالية حيث أن الطبقة السفلية من الطوب تساقطت كما هو مبين في صورة رقم (٣-١) و (٣-٢).

صورة رقم (٣-١):

الجسور والعصب في الطابق الأرضي من مبنى (ب) و (ج)

صورة رقم (٣-٢):

تشويه الحديد الطولي والكانات في جسور الطابق الأرضي من مبنى (ب) و (ج)

- **الأعمدة:**

تعرضت الأعمدة إلى درجات حرارة مرتفعة مما أدى إلى تصدع الغطاء الخرساني الواقي لحديد التسليح صورة رقم (٣-٣)، وأدى تمدد الجسور و تعرض الأعمدة إلى درجات حرارة عالية إلى ظهور تشويه أو انحناء عبر الخط الطولي للأعمدة.

صورة رقم (٣-٣):
الأعمدة والعصب في الطابق الأرضي من مبنى (ب) و (ج)

- **الجدران:**

يفصل المبنى ب عن المبنى ج فاصل تمدد حيث أن درجات الحرارة العالية أدت إلى ازدياد عمق الفاصل من الأسفل إلى الأعلى حيث أن هذا الفاصل كان ظاهراً بوضوح في نطاق العقدة.
وبسبب تعرض الجدران إلى درجات حرارة عالية أدى إلى ظهور تشققات شاقولية فيها وخاصة في نقاط الضعف في نطاق الأبواب والشبابيك ونقاط التقاء الجدران صورة رقم (٣-٥) و (٣-٦).

٣-٢-٣ الأضرار الإنشائية في الطابق الأرضي من مبنى (أ):

الأضرار الناتجة في هذا المبنى لم تكن كبيرة مثل الأضرار التي نتجت في مبنى ج و ب حيث تم ملاحظة مايلي.

- **العصب:**

تصدع الغطاء الخرساني السفلي في العصب كان جزئيا ويظهر هذا التصدع بوضوح في تطاق الأعمدة، الطبقة السفلية من الطوب تصدعت بشكل جزئي صورة رقم (٣-٤). العقدة تعرضت بسبب درجات الحرارة العالية إلى شقوق عمودية.

صورة رقم (٣-٤):

التصدع الجزئي للغلاف الخرساني لحديد التسليح السفلي في الجسور والعصب في الطابق الأرضي من مبنى (أ)

- **الأعمدة:**

نتيجة تعرض العقدة و الأعمدة إلى درجات حرارة عالية أدى إلى تقوس الأعمدة وخاصة الأعمدة الوسطية غير المسحورة، كما أن الطبقة السطحية من الخرسانة التي تعرضت لدرجات حرارة عالية ممكن فصله عن نواة المقطع الخرساني بسهولة .

٣-٢-٤ الأضرار الإنشائية في الطابق الأول من مبنى(ج):

هذا الجزء من المبنى يستخدم كمنجرة ويفصل الطابق الأول من مبنى ب عن مبنى ج حائط خرساني حيث منع هذا الحائط امتداد النار بالشكل الكثيف إلى جميع أنحاء المنجرة، الأضرار الإنشائية بسبب الحريق في نطاق المنجرة كانت بسيطة ولم تتعرض العناصر الإنشائية لدرجات حرارة عالية كما هو الحال في الطابق الأرضي أو الأجراء الأخرى من المبنى. لم يلاحظ أي تصدع للغطاء الخرساني للجسور أو العصب أو الأعمدة. لم يلاحظ أيضا أي تشويه في العقدة أو الجسور.

صورة رقم (٣-٥):

تصدع الجدران الخرسانية العمودي بسبب التمدد الحراري الأفقي

صورة رقم (٣-٦):

تصدع الجدران الخرسانية الأفقي بسبب التمدد الحراري العمودي

٣-٢-٥ الأضرار الإنشائية في الطابق الأول من مبنى(ب):

- **الجسور:**

تصدع الغطاء الخرساني السفلي بسبب درجات الحرارة العالية حيث ظهر حديد التسليح الطولي والكانات كما هو موضح في الصورة رقم (٣-٧) و (٣-٨). حديد التسليح الطولي وحديد الكانات تعرضوا إلى تشويه.

- **العصب:**

تصدع الغطاء الخرساني السفلي في العصب كان جزئيا وظهر في أنحاء مختلفة من عقدة الطابق. طوب العقدة تعرض إلى تصدع الطبقة السفلية منه بسبب تعرضه لدرجات حرارة العالية صورة رقم (٣-٧) و (٣-٨). لعقدة تعرضت إلى تشويه عمودي واضح.

صورة رقم (٣-٧):

الجسور والعصب في الطابق الأول من مبنى (ب)

صورة رقم (٣-٨):

الجسور والعصب في الطابق الأول من مبنى (ب)

- **الجدران:**

بسبب درجات الحرارة العالية نتجت شقوق عمودية وأفقية في الجدران الخارجية وانفصل الحجر عن الطبقة الخرسانية بسبب التمدد والتقلص الحراري صورة رقم (٣-٩)،(٣-١١).

صورة رقم (٣-٩):

انفصال الواجهة الحجرية عن الخرسانة في الجدران الخرسانية

- **الأعمدة:**

تعرضت الأعمدة إلى درجات حرارة عالية حيث تصدع الغطاء الخرساني وتعرضت الأعمدة إلى شقوق عمودية بسبب التشويه الناتج في الجسور والعقدة صورة رقم (٣-١٠).

صورة رقم (٣-١٠):

التصدع الكامل لخرسانة الأعمدة

صورة رقم(٣-١١):

انفصال الواجهة الحجرية عن الخرسانة في الجدران الحجرية.

٣-٢-٦ الأضرار الإنشائية في الطابق الأول من مبنى(أ) :

- **الجسور**:

تعرضت الجسور إلى درجات حرارة عالية ولم يتم تصدع الغطاء الخرساني السفلي بشكل عميق بحيث أن الكانات كانت ظاهرة كما هو موضح في الصورة رقم (٣-١٢). الحديد الطولي لم يظهر بشكل كلي في نطاق هذا المبنى ولكن بشكل جزئي، الجسور تعرضت إلى تشويه عمودي.

- **العصب:**

تعرض العصب إلى تشققات طولية وعرضية وتصدع الغطاء الخرساني بشكل سطحي وغير عميق، كما تعرضت العقدة إلى تشويه عمودي، سطح العقدة العلوي تعرض إلى تشققات طولية وعرضية.

صورة رقم (٣-١٢):

الجسور وعصب العقدة في الطابق الأول من مبنى (أ)

- **الأعمدة**:

أدت درجات الحرارة العالية إلى تصدع سطحي لخرسانة الأعمدة وظهور تشويه عبر الخط الطولي للأعمدة.

- **الجدران**:

في الجدران ظهرت شقوق عمودية و أفقية بسبب التمدد والتقلص الحراري، بحيث كانت الشقوق العمودية اكبر من الأفقية كما توضح الصور السابقة رقم (٣-٥)، و (٣-٦)، كذلك درجات الحرارة العالية أدت إلى فصل الواجهة الحجرية عن الواجهة الخرسانية، وازدياد عمق الفاصل الإنشائي صورة رقم (٣-١٣)،و تم ملاحظة فراغ ما بين الحجر والكلين بعمق ٤سم. أما جدران بيت الدرج فقد تعرضت إلى تشققات كثيرة وتصدعات ذات أبعاد كبيرة كما في الصورة السابقة رقم (٣-٩).

صورة رقم (٣-١٣):

ازدياد عمق الفاصل الإنشائي

الفصل الرابع

طرق تقييم المنشآت الخرسانية المحترقة وتصنيفها

٤-١ مقدمة

٤-٢ تخطيط عمل مجموعة الحكم على سلامة المنشأ

٤-٣ أسلوب تقييم الحالة

٤-٤ معاينة مكان الحريق

٤-٥ حمل الحريق

٤-٦ فحص المواد الموجودة

٤-٧ مقارنة الأدلة وتصنيف التصدع

٤-١ مقدمة:

عندما يتعرض أي منشأ للتصدع – سواء نتيجة الحريق أو غيره – يصبح التقييم الموضوعي للحالة و الحكم على سلامة المنشأ في غاية الأهمية، وذلك لأن العلاج السليم لا بد أن يبدأ بالتشخيص السليم، لأن التشخيص الخاطئ ينتج نوعين من الأخطاء:

١- الخطأ في المبالغة في تقدير التصدع: وهذا يؤدي إلى إزالة أجزاء كبيرة من الأعضاء الخرسانية المحترقة ويسبب فقدان في الأموال وضياعا في الوقت.

٢- الخطأ في التهوين من درجة التصدع وعدم القدرة على معرفة الأعضاء التي أصبحت غير صالحة إنشائياً، فارتفاع درجة حرارة الخرسانة مثلاً إلى ٦٠٠م° يخفض مقاومتها إلى ٣٠% من المقاومة الأصلية كما ورد سابقا في بعض الدراسات السابقة، وهذا يؤدي إلى انهيار جزئي أو كلي للمنشأ المحترق ويسبب فقداً في الأرواح وهو أخطر كثيراً من الخطأ الأول.

وعادة ما يكون شكل المنشأ رهيبا بعد التعرض لحريق دام عدة ساعات، فمن تساقط للغطاء الخرساني إلى تشوه كبير للبلاطات والكمرات إلى انبعاج لحديد التسليح، وكل الأعضاء الخرسانية مغطاة بالسواد، وهذا الشكل الرهيب يعطي انطباعاً لغير المتخصصين أن هذا الجزء من المنشأ أصبح عديم الفائدة ولا بد من إزالته، ولكن اليأس من إصلاح الخرسانة التي تعرضت للحريق ليس له ما يبرره، فقد تم إصلاح العديد من المنشآت الخرسانية التي تعرضت للحرائق في كثير من دول العالم وعمرت سنوات طويلة بعد إصلاحها (وسبق الإشارة إلى حالة مصنع القداحات في مدينة الخليل) وحتى الخرسانة التي لم يمض على صبها سوى يوم واحد أو يومان نجحت في مقاومة آثار الحريق وتم إصلاحها ولم يحتاج الأمر إلى إزالتها.

ولهذا فمن الأهمية بمكان أن تتحلى مجموعة الحكم على سلامة المنشأ بالموضوعية وتتسلح بالخبرة في تأثير الحريق على الخرسانة، ولا يتأثر حكمها بشكل الأعضاء الخرسانية المحترقة، ولا بد كذلك أن تقوم بإجراء التجارب اللازمة لكي يخرج حكمها على المنشأ سليماً من الناحية العلمية دقيقاً من الناحية العملية، فلا بد أن يبنى التقييم على الاختبار الدقيق ثم يمر بالتحليل العميق حتى يصل إلى الرأي الصائب،وهذا هو النهج الذي اتبع في هذا البحث، هذا الرأي الذي لا يبالغ في تقدير حجم التصدع فيضيع المال، ولا يهون من حجم الفقد في المقاومة فيضيع الأرواح.

وسنركز في هذا الباب على أعمال معاينة مكان الحريق ثم عمل تقييم وصفي فتقييم كمي لحالة الأعضاء الإنشائية مما يمكن الاستشاري من إعادة التحليل الإنشائي للمبنى على أساس الواقع الجديد.

٤-٢ تخطيط عمل مجموعة الحكم على سلامة المنشأ:

يمكن تقسيم الحكم على سلامة المنشأ بعدد من النقاط طبقاً للبرنامج الآتي:

١) الحكم على درجة التصدع لكل عضو على حدة و للمنشأ ككل.
٢) تقييم جدوى الإصلاح – بالمقارنة بالإزالة وإعادة البناء.
٣) تحديد أفضل سبل إصلاح كل عضو.
٤) إعداد برنامج عمل لإصلاح المبنى.
٥) اعتماد هذا البرنامج من المالك و الوحدة المحلية و شركة التأمين.
٦) عمل تسلسل لخطوات الإصلاح مع مراعاة ظروف المبنى و درجة التصدع.
٧) إعداد رسومات تدعيم المنشأ أثناء إصلاحه مع توضيح أحمال الدعامات المؤقتة عليها.
٨) تحديد مدى الإصلاح المطلوب لكل عضو أو مجموعة أعضاء بدقة.

٤-٣ أسلوب تقييم الحالة:

بالرجوع إلى تخطيط عمل لجنة الحكم على سلامة المنشأ –قسم ٤- ٢- يمكن تقسيم أسلوب تقييم الحالة إلى ثمانية مراحل كالتالي:

١) مسح مبدئي للمنشأ المحترق لتقدير الأمان و اتخاذ إجراءات فورية لتأمين السلامة العامة إذا احتاج الأمر، وكذلك للتخطيط للفحص الشامل.
٢) الفحص الشامل وتقييم الحالة وصفياً.
٣) حساب الفقد في المقاومة – أو المقاومة المتبقية – لكل عضو أصابه تصدع مؤثر.
٤) مقارنة الأدلة ومراجعتها للتأكد من الاستنتاجات التي بنيت عليها.
٥) مقارنة البدائل المختلفة لتقوية وإصلاح المنشأ لاستعادة مقاومة الأحمال ومقاومة الحريق وتحديد الطريقة الأنسب لكل عضو حسب حالته.
٦) مناقشة طرق الإصلاح مع المقاولين المتخصصين للتأكد من قابلية الأعضاء للطرق المقترحة و التكلفة.
٧) تقدير تكلفة الإصلاح.
٨) إعداد تقرير الحالة متضمناً تكلفة الإصلاح لاتخاذ قرار الإصلاح أو الإزالة وإعادة البناء.

٤-٤ معاينة مكان الحريق:

يجب أن يقوم فريق التحري بزيارة مكان الحريق بأسرع ما يمكن وفي أقرب فرصة متاحة دون التعرض للخطر، لأنه عادة ما تزال الأنقاض و المخلفات التي قد تكون هامة في معرفة سبب الحريق ومساره ودرجة الحرارة التي وصل إليها، وعند العثور على مخلفات هامة فيجب ألا يقفز فريق التحري إلى النتائج وإنما يدرك أن تجميع المعلومات من كل المصادر المتاحة وتحليلها معا وعمل التجارب المعملية اللازمة هو الطريق العلمي للوصول إلى النتائج السليمة.

٤-٥ حمل الحريق (المواد القابلة للاشتعال):

أول ما ينبغي تحريه هو مقدار المواد القابلة للاشتعال التي كانت موجودة، لأن درجة حرارة غرفة الاحتراق يعتمد على كمية هذه المواد ونوعها، لكن يجب الأخذ في الاعتبار أن هذه المواد احترقت بالكامل (احتراق كلي)، أو احتراق جزئي، سواء نتيجة تدخل رجال الإطفاء أو لأسباب تتعلق بالتهوية.

٤-٦ فحص المواد الموجودة:

الألمنيوم – يعتبر الألمنيوم الآن من أكثر المعادن استخداماً في أعمال تشطيبات المباني، وإذا وجدنا بقايا من الألمنيوم ذائبة في مكان الحريق فإن درجة حرارة الألمنيوم لا بد أن تكون قد وصلت إلى ٦٥٠مْ، مما يعني أن درجة حرارة الهواء المحيطة كانت بين ٧٠٠-٧٥٠مْ.

النحاس – نقطة ذوبان النحاس حوالي ١٠٨٠مْ.

الحديد – أعضاء الحديد غير المحمية –الشبابيك و الأبواب- تنهار بمجرد وصول درجة حرارتها إلى الدرجة الحرجة، وهي تعني الدرجة التي ينخفض عندها إجهاد الخضوع إلى مستوى إجهاد التشغيل، والدرجة الحرجة تنخفض كلما ازداد مستوى الإجهاد الواقع على الحديد، ولكن قبل الوصول إلى الدرجة الحرجة فإن الأعضاء من الحديد تتشوه بشدة صورة (٤-١)،(٤-٢) ولا يساعد هذا التشوه في تحديد درجة حرارة الحريق إلا إذا عرف إجهاد التشغيل في الحديد وقت حدوث الحريق بدقة، وبوجه عام فإن درجة حرارة الجو المحيط تكون أعلى من درجة حرارة الحديد بحوالي ١٠٠مْ، ولعل تلون اللهب على سطح الحديد هو أكثر ما يساعد على تقدير درجة حرارة الحريق، فاللون الأزرق يعني وصول درجة الحرارة من ٣٠٠ - ٤٠٠مْ واللون الأزرق يختفي بعد ذلك، أما إذا

تلون اللهب بلون أصفر / أخضر على سطح الحديد المجلفن فهذا يعني احتراق الزنك الذي يحترق عند درجة ٨٠٠مْ ما يدل أن درجة حرارة الجو المحيط وصلت إلى ٩٠٠مْ.

صورة (٤-١)

شكل الالتواء والتشويه الذي حدث لحديد الحماية للشبابيك نتيجة الحريق

صورة (٤-٢)

شكل التكشف والتشويه الذي حدث لحديد التسليح نتيجة الحريق

الزجاج- تنفجر الأواني الزجاجية في بداية الحريق ويصعب استنتاج حرارة الحريق من شظايا الزجاج، أما إذا وجدت مساحات كبيرة من الزجاج المسطح سليمة- مثل زجاج النوافذ- فإن ذلك يعني أن درجة الحرارة لم تتعد ٤٠٠-٥٠٠مْ، وتصل درجة حرارة ذوبان الزجاج السيليسي إلى ١٠٠٠مْ.

البياض- بياض السقف عادة ما يتساقط في المراحل الأولى من التعرض للحريق، ويصعب الاستدلال من ذلك على حدة الحريق.

الخرسانة- يمكن تعيين عمق الخرسانة الداخلية التي وصلت درجة حرارتها إلى ٣٠٠مْبقياس أقصى عمق للتحول في لون الخرسانة إلى اللون ألبني، وهذا العمق لا يقل في أغلب الأحيان عن ١٠-١٥مم إلا إذا حدث تساقط أو تقشير للخرسانة السطحية فيقل عن ذلك، ويتيح قياس أقصى عمق لتحول لون الخرسانة تقدير مدى شدة الحريق، فعمق الخرسانة التي وصلت إلى ٣٠٠مْ يتيح تقدير زمن التعرض لحريق قياسي، كذلك من الممكن أن يتيح عمق التشققات الطولية أو العشوائية للخرسانة معرفة درجة الحرارة التي وصل إليها الحريق وأثره على الخرسانة، وقد تم بيان ذلك سابقا في فصل الدراسات السابقة، حيث تم وضع جدول يبين العلاقة بين لون الخرسانة و درجة الحرارة.

٤-٧ مقارنة الأدلة وتصنيف التصدع:

لا بد من تجميع الأدلة في صورة تسهل المقارنة بينها والحكم على درجة الثقة في دقتها، وفيما يلي قائمة **Check List** للأدلة التي يجب الحصول عليها لرسم صورة دقيقة عن المنشأ المتصدع، هذه الأدلة يمكن بعد ذلك تجميعها كمايلي:

٤-٧-١ حالة الخرسانة:

- درجة الحرارة التي وصل إليها العضو وتوزيعها داخله.
- عمق التصدع نتيجة الحريق.
- المقاومة المتبقية.
- نسبة القطاع المحتاج إلى إصلاح.

وتجمع الأدلة من:

درجة حرارة الحريق.

مدة الحريق.

الفحص البصري والدق على السطح.

عمق التحول اللوني.

تساقط الغطاء.

التجارب المختلفة.

٤-٧-٢ حالة حديد التسليح:

* درجة الحرارة التي وصل إليها.
* نسبة الأسياخ المنبعجة.
* نسبة الخفض في:
  - ❖ منطقة الخضوع.
  - ❖ المقاومة القصوى.
  - ❖ معاير المرونة.

- ❖ مقاومة التماسك.
- نسبة فقد إجهاد الشد.

وتجمع الأدلة من:

فقد الغطاء الخرساني مبكراً.

لون الخرسانة المحيطة.

اختبارات معملية إذا زادت درجة الحرارة عن ٤٥٠مْ.

ويبين جدول(٤-١) تصنيف التصدع لعدة أعضاء خرسانية مختلفة وطريقة الإصلاح المناسبة لكل مستوى.

درجة التصدع	الأعمدة	الأسقف	الكمرات	الإصلاح المطلوب
المستوى الأول	سطح [illegible] ير البياض وسواد الدخان.	ة الخر ض دع المصمتة، كشـ ليمة، ا انة السطحية.	طحية اهر، د حـ والخرسانة مغطاة بالسواد. أ لاتقويـ	ائي للخرسانة المتساقطة.
المستوى الثاني	اض، ر عرية اقط بسيط للخرسانة السطحية.	ات اقط اب د اقط ات ف ١٠% ل ع ا	شـ [illegible] روح ى دم ود /وردي.	اكن اء الخرساني مع تنظيف الأسطح. تعادة [illegible] تنظيف [illegible]

جدول (٤-١) تصنيف التصدع لعدة أعضاء خرسانية مختلفة وطريقة الإصلاح المناسبة لكل مستوى.

درجة التصدع	الأعمدة	الأسقف	الكمرات	الإصلاح المطلوب
المستوى الثالث	طح امق، اء ض اقي وف ن اج سيخ واحد.	اء ع اق انة، انة ود/ ف ن ١٠%- ١٥% ي متة، لا يوجد ترخيم شديد.	ب و ال والبلاطة. والي ٥٠% ن محيط الأسياخ الظاهرة ما زال ، حـ جد وشروخ أو كسو رات، لا يوجد ترخيم شديد.	ر في مقاومة الخرسانة والحديد.
المستوى الرابع	اقط ر ا ن دث يخ ه انبعاج .	ن ي ن انة اب أو متة، رخيم شديد للبلاطة	ت ب ة ل وظ ياخ تسليح رئيسي حدث لـ اج ي/ رمادي.	إصلاح إنشائي "تقوية" لية ب الظروف الآتية: إذا كان الاعوجاج شديداً أ انة ٨٠% ن و فقدت الخرسـ مقاومتها، أو فقدت كابلات الشد قوتها ينصح بالإزالة. اورة إضلاح إنشائي إزالة سلباً يتم إصلاحه. تبدال

الفصل الخامس

الفحوصات المخبرية

٥-١ مقدمة

٥-٢ اختبارات الخرسانة

٥-٣ اختبار الامتصاص الطبيعي لحجارة البناء و الخرسانة

٥-٤ اختبارات حديد التسليح

٥-٥ اختبار السحب (Pull Out Test)

٥-١ مقدمة:

عندما تتعرض الخرسانة للحريق فإن التصدع الظاهري يكون شديداً وشكل المنشأ يبدو مخيفاً، ولكن الضرر الفعلي قد يكون أقل من التصدع الظاهري، والمقاومة المتبقية قد تكون أكثر مما يعتقد الناظر، وتقدير مدى الضرر الناتج والقدرة المتبقية في المنشأ لا يمكن أن يتم إلا بعمل الاختبارات اللازمة، كما أن تقدير أنسب أسلوب للإصلاح المطلوب يعتمد بدرجة كبيرة على نتائج هذه الاختبارات، ورغم ذلك فإنه كثيراً ما يتخذ قرار بإزالة مبنى خرساني تصدع بالحريق، أو إزالة الأعضاء التي تبدو في حالة سيئة، بواسطة مهندس البلدية أو الحكومة أو المالك أو حتى الاستشاري على أساس عاطفي أو كرد فعل لشكل المنشأ المحترق بدون الاستفادة من تقدير الحالة الدقيق الذي يستطيع المتخصصون تقديمه بعد الاختبارات اللازمة، وعادة ما تكون هذه القرارات غير المبنية على اختبارات قرارات متعجلة، وهذه القرارات المتعجلة ينتج عنها تكلفة أكثر وعطلة للعمل داخل المنشأ أطول، ويمكن تقليل التكلفة والإسراع بفتح المبنى للعمل إذا أظهرت التجارب أن المنشأ قابل للإصلاح، وإذا حددت الأماكن التي تتطلب إصلاحاً إنشائياً والتي لا تتطلب إلا إعادة التشطيب.

٥-٢ اختبارات الخرسانة:

لسوء الحظ أن هناك العديد من الاختبارات غير المتلفة والتي تجرى على الخرسانة التي تعرضت للحريق غير متوفرة في بلادنا مثل، الموجات فوق الصوتية، والصوت والصدى، والأشعة المغناطيسية، والرادار، والإشعاع الضوئي، وغيرها... حيث تعمل هذه الاختبارات على تقدير المقاومة المتبقية وتقدير التصدع الداخلي للخرسانة، لذلك عملنا على إجراء اختبارات الخرسانة بثلاثة طرق:-

٥-٢-١ الفحص البصري: ويشمل الطرق على الخرسانة، فالطرق على الخرسانة السليمة يحدث رنيناً، أما الطرق على الخرسانة الضعيفة ينتج صوتاً أجوفاً، وقد تم عمل الفحص البصري بشكل كامل مرفق بالصور التوضيحية اللازمة ضمن فصل المقدمة من هذا المشروع،بحيث كانت النتائج متباينة من مكان لآخر،وكذلك من عضو لآخر.

٥-٢-٢ المطرقة المرتدة (Schmidt Hammer):-

يعتبر استخدام جهاز مطرقة شميدت من الطرق الحديثة والمنتشرة في تقدير مقاومة الخرسانة صورة رقم (٥-١)، وتقوم فكرة هذا الاختبار عن طريق اصطدام زنبرك مقياس بواسطة دافعة ملاصقة مباشرة للسطح المختبر، ثم ارتداد هذا الزنبرك مرة أخرى، ثم قياس مقدار هذا الارتداد وتصنيفه إلى أرقام تسمى رقم الارتداد (R). بحيث توجد علاقة بين رقم الارتداد وقيمة مقاومة الضغط للخرسانة تعمل على تحويل رقم الارتداد (R) إلى قيمة تحمل الضغط (Compressive Strength) ب Kg/cm^2، موجودة ضمن

الملاحق (Table2). ومن شروط هذا الاختبار أنه يجرى على أجزاء الأسطح الناعمة والمنتظمة أي الخالية من النتوءات أو التعشيش، ويتم الاختبار على مساحة تقريبية ١٠ اسم٢، وتكون بأخذ ١٥ قراءة على الأقل لرقم الارتداد بين كل موضع للقراءة والأخرى، بحيث يتم استبعاد القراءات غير المتقاربة والتي يزيد الفرق بينها عن ٥، وقد تم إدخال معامل تصحيح للقراءات (Ra) التي لم يتم أخذها بشكل أفقي، موجودة ضمن الملاحق (Table1).

صورة رقم (٥-١)

استخدام مطرقة شميدت لتقدير مقاومة الخرسانة

تم أخذ العديد من القراءات باستخدام هذه المطرقة لكل منطقة من المبنى كما هو واضح في الجدول (٥-١)- والجدول (٥-٢)، حيث تعبر كل قيمة عن متوسط عدد كبير من القراءات التي تم أخذها من نفس المبنى، فكلما قلت قراءة المطرقة كلما زادت درجة التصدع.

منطقة إجراء الفحص	الأعمدة (قيمة متوسط الارتداد) (R)	العقدات (قيمة متوسط الارتداد) (R+Ra)	الجدران (قيمة متوسط الارتداد) (R)
الطابق الأرضي مبنى (أ)	٢٨	٣٠	٢٥
الطابق الأرضي مبنى (ب)	٣٣	٢٨	٢٢
الطابق الأرضي مبنى (ج)	٣٠	٢٨	٢٤
الطابق الأول مبنى (أ)	٢٩	٣٢	٢٨
الطابق الأول مبنى ب)	٢٦	٣٥	٣٠
الطابق الأول مبنى (ج)	٣٣	٢٧	٣٥
الطابق الثاني مبنى (أ)	٢٨	٣٨	٢٥
بيت الدرج	--------	٢٤	-------
المدة الأرضية	--------	٣٣	٣٣

جدول(٥-١)

متوسط القراءات لمناطق مختلفة من المبنى بواسطة مطرقة شميدت

بعد عملية تحويل قيم متوسط الارتداد إلى قوى تحمل ضغط (Compressive Strength)ب Kg/cm^2 اعتمادا على (Table2) المرفق ضمن الملاحق، تصبح النتائج كالتالي:

منطقة إجراء الفحص	الأعمدة (قيمة متوسط الارتداد) (Kg/cm^2)	العقدات (قيمة متوسط الارتداد) (Kg/cm^2)	الجدران (قيمة متوسط الارتداد) (Kg/cm^2)
الطابق الأرضي مبنى (أ)	٢٠٦	٢٣٦	١٦٣
الطابق الأرضي مبنى (ب)	٢٨٥	٢٠٦	١٢٤
الطابق الأرضي مبنى (ج)	٢٣٦	٢٠٦	١٤٩
الطابق الأول مبنى (أ)	٢٢١	٢٦٩	٢٠٦
الطابق الأول مبنى ب)	١٧٧	٣١٨	٢٣٦
الطابق الأول مبنى (ج)	٢٨٥	١٩١	٣١٨
الطابق الثاني مبنى (أ)	٢٠٦	٣٧٠	١٦٣
بيت الدرج	--------	١٤٩	-------
المدة الأرضة	--------	٢٨٥	٢٨٥

جدول (٥-٢)

متوسط القراءات لمناطق مختلفة من المبنى بواسطة مطرقة شميدت بعد التحويل

٥-٢-٣ اختبار القلب الخرساني (core test):-

يعتبر من أصلح الطرق للحصول على نتائج يمكن الاعتماد عليها عن درجة تصدع الخرسانة التي تعرضت للحريق وعن المقاومة المتبقية فيها. ويتم بأخذ عينات الخرسانة المتصدعة ثم اختبارها لتحديد عمق التصدع ونوعه ودرجته، تم أخذ هذه العينات بقطع اسطوانة بقطر ١٠ سم ± ٠.٥ سم عن العضو الخرسانة عن طريق جهاز ثقب، صورة (٥-٢) مزود برأس قاطعة من الألماس، ويكون القطع بعمق ١٠ سم على الأقل.

وقد تم أخذ ما يقارب ١٠ عينات من أماكن مختلفة من المصنع (أعمدة، جسور/عقدات، جدران) كما هو واضح في الصور (٥-٣)، (٥-٤).

صورة رقم (0-٢):

جهاز استخراج القلب الخرساني

صورة رقم (0-٣):

استخراج عينة من جسر عقدة الطابق الأول مبنى (ب)

صورة رقم (٥-٤):

مكان استخراج عينة القلب الخرساني من الأعمدة

وبالرغم من الصعوبات الكبيرة التي واجهتنا في اخذ العينات واستخراجها بشكل كامل وصحيح بالطول المناسب دون تكسر، حيث توضح الصورة رقم (٥-٥) بعض العينات التي تكسرت عند استخراجها، فقمنا باستصلاح ١٠ عينات صورة رقم (٥-٦) تم أخذها من أماكن مختلفة من المصنع.

صورة رقم (0-0):

بعض العينات التي كسرت أثناء استخراجها من العناصر الإنشائية

صورة رقم (0-٦):

بعض العينات التي تم إجراء فحص مقاومة إجهاد الضغط عليها

وبعد عملية تسوية السطح للعينات المأخوذة بمونة الاسمنت، تم كسرها باستخدام جهاز قياس مقاومة الضغط (Universal Testing Machine) الموضح في الصورة رقم (٥-٧)، (٥-٨).

صورة رقم (٥-٧):

جهاز قياس قوة تحمل الخرسانة للضغط (UTM)

صورة رقم (٥-٨):

قياس قوة تحمل عينات القلب الخرساني للضغط

ويبين الجول (5-٣) نتيجة الاختبار والخواص لكل عينة، بحيث تم ترقيم العينات كالتالي:

عينة رقم (١) : من عمود – الطابق الأرضي

عينة رقم (٢) : من عقدة – الطابق الأرضي

عينة رقم (٣) : من عمود – الطابق الأرضي

عينة رقم (٤) : من جدار – الطابق الأرضي

عينة رقم (٥) : من جدار – الطابق الأول

عينة رقم (٦) : من عقدة – الطابق الأرضي

عينة رقم (٧) : من عقدة – الطابق الأول

عينة رقم (٨) : من عمود – الطابق الأول

عينة رقم (٩) : من جدار – الطابق الثاني

عينة رقم (١٠) : من عمود – الطابق الثاني

رقم العينة	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠
مكان استخراج العينة	عمود	عقدة	عمود	جدار	جدار	عقدة	عقدة	عمود	جدار	عمود
اتجاه القب (الحفر)	أفقي	عمودي	أفقي	أفقي	أفقي	عمودي	عمودي	أفقي	أفقي	أفقي
قطر العينة سم	١٠.٤	١٠.٤	١٠.٤	١٠.٤	١٠.٤	١٠.٤	١٠.٤	١٠.٤	١٠.٤	١٠.٤
طول العينة سم	١٠.٤	١٠.٧	١٠.٦	١٢.٧	١٢.٩	١٤.٩	١٣.٣	١١	١٣	١٢
النسبة بين طول العينة وقطرها	١	١.٠٣	١.٠٢	١.٢٢	١.٢٤	١.٤٣	١.٢٨	١.٠٦	١.٢٥	١.١٥
معامل تصحيح القوة	٠.٨٧	٠.٨٨	٠.٨٧	٠.٩٢	٠.٩٣	٠.٩٥	٠.٩٣	٠.٨٨	٠.٩٣	٠.٩١
مساحة مقطع العينة سم^2	٨٤.٩	٨٤.٩	٨٤.٩	٨٤.٩	٨٤.٩	٨٤.٩	٨٤.٩	٨٤.٩	٨٤.٩	٨٤.٩
حمل الكسر KN	٢٤٠	٢١١	٩٨	١١٩	١٤٠	١٢٩	١٢٣	١٠٠	١٣٠	١٢٠
شكل (نوع) الكسر	اقلاقي	اقلاقي	اقلاقي	اقلاقي	اقلاقي	اقلاقي	اقلاقي	اقلاقي	اقلاقي	اقلاقي
قوة تحمل الضغط (Kg/cm^2)	٢٨٣	٢٤٨	١١٦	١٤٠	١٦٥	١٥٢	١٤٥	١١٨	١٥٣	١٤١
حمل الضغط المكافيء لمكعب ١٠ سم*١٠ سم*١٠ سم (Kg/cm^2)	٣٥٠	٣٠٨	١٤٣	١٧٤	٢٠٥	١٨٨	١٨٠	١٤٦	١٨٩	١٧٥

جدول (5-٣)

اختبار الضغط على العينات المختلفة من مصنع الإسفنج

وتبين الصور رقم (٥-٩)، (٥-١٠)، عينات الخرسانة التي تم فحصها مع توضيح شكل الكسر الناتج.

صورة رقم (٥-٩):

العينات بعد كسرها باستخدام جهاز قياس مقاومة الضغط

صورة رقم (٥-١٠):

شكل الكسر بعد انهيار العينة **(لفافي)**

٥-٣ اختبار الامتصاص الطبيعي للأحجار و الخرسانة:

إن الغرض من هذا الاختبار هو حساب الامتصاص الطبيعي للأحجار، حيث يعطي فكرة غير مباشرة عن مقاومة الحجر أو الخرسانة للمؤثرات الجوية ومقاومته لتحمل الضغط، فبالتالي اختبار الامتصاص هو تعبير عن حجم المسامات الموجودة في الخرسانة أو الحجارة، حيث أن درجة الحرارة تؤدي إلى التمدد بين حبيبات المادة، بحيث يؤدي التمدد إلى توسيع المسامات، فان درجة الامتصاص تعتبر مؤشر لمدى تعرض الخرسانة للحرارة وتضررها، فكلما زاد الامتصاص كلما قلت المقاومة.
بحيث يجب أن لا تزيد نسبة الامتصاص الطبيعي لحجارة البناء عن ٢%.

$$\text{النسبة المؤية للامتصاص الطبيعي} = \frac{\text{الوزن الرطب} - \text{الوزن الجاف}}{\text{الوزن الجاف}}$$

٥-٣-١ اختبار الامتصاص الطبيعي للأحجار:

تم أخذ ٥ عينات من الحجر الذي تعرض للحريق بالإضافة إلى ٤ عينات أخرى من الحجر الذي لم يتعرض للحريق من أماكن مختلفة من المصنع، صور رقم (٥-١١)، بحيث تم غمر العينات بالماء لمدة يوم كامل للحصول على الوزن الرطب، ثم وضعت في فرن تجفيف ليوم أخر للحصول على الوزن الجاف، وكانت النتائج كما هو واضح في الجدول(٥- ٤) ،(٥ - ٥).

رقم العينات المحروقة	الوزن الرطب (gm)	الوزن الجاف (gm)	الامتصاص الطبيعي %
1	٤٩٩.٥	٤٨٦.٨	٢.٦
2	٧٦٠.١	٧٤٩.٥	١.٤
3	٣٦٩.٣	٣٥٧.٦	٣.٣
4	٥٤٥.٦	٥٣١.٤	٣.٣
5	٢١٨	٢١١.٣	٣.٢

جدول (٥-٤)

الوزن الرطب والجاف لاختبار الامتصاص الطبيعي للأحجار

رقم العينات غير المحروقة	الوزن الرطب (gm)	الوزن الجاف (gm)	الامتصاص الطبيعي %
1	٤٤٧.٤	٤٣٧.٢	٢.٣
2	٦٣٠.٨	٦٢٠.٦	١.٦
3	٤٧٥.٤	٤٦١.٢	٣.١
4	٥٢٠.٣	٥٠٦.٤	٢.٧

جدول (٥-٥)

الوزن الرطب والجاف لاختبار الامتصاص الطبيعي للأحجار

صورة رقم (٥-١١):

قطع الحجارة التي تم فحصها

٥-٣-٢ اختبار الامتصاص الطبيعي للخرسانة :

تم أخذ" ٦" عينات من الخرسانة التي تعرضت للحريق بالإضافة إلى" ٤" عينات أخرى من الخرسانة التي لم تتعرض للحريق من أماكن مختلفة من المصنع، بحيث تم غمر العينات بالماء لمدة يم كامل للحصول على الوزن الرطب، ثم وضعت في فرن تجفيف ليوم أخر للحصول على الوزن الجاف، وكانت النتائج كما هو واضح في الجدول(٥-٦).

رقم العينات المحروقة وموقعها	الوزن الرطب (gm)	الوزن الجاف (gm)	الامتصاص الطبيعي %
1 -عمود	٤١١.٧	٣٧٩.٨	٨.٤
2 -عمود	٣٤٧.٢	٣٢٢.٢	٧.٧٦
3 -عمود	٥٠٧.٣	٤٦٥.٧٢	٨.٩١
4-عقدة	٤٨١.٧	٤٣٧.٣	١٠.١٥
5-عقدة	٣٥١.١	٣٢٢.٤	٨.٩
6 -عمود	٥٦٠.٨	٥٠٩.٥	١٠.٠٧
رقم العينات غير المحروقة وموقعها	الوزن الرطب (gm)	الوزن الجاف (gm)	الامتصاص الطبيعي %
1 -عمود	٣٢١.٢	٣٠٠.١	٧.٠٣
2 -عمود	٥٥٠.٥	٥٢٠.٠	٥.٨
3-عقدة	٣٤٠.٣	٣١٩.٥	٦.٥
4-عقدة	٤٤٣.٧	٤٢٠.٥	٥.٥٢

جدول (٥-٦)

الوزن الرطب والجاف لاختبار الامتصاص الطبيعي

للخرسانة المحروقة وغير المحروقة

٥-٤ اختبارات حديد التسليح:

عندما تزيد درجة الحرارة عن ٤٠٠ درجة مئوية (للحديد المدلفن على البارد) أو ٦٠٠ درجة مئوية (للحديد المدلفن على الساخن) فان الحديد يفقد مقاومته بسرعة، وتجرى تجارب على حديد التسليح الذي تعرض للحريق للتأكد من المقاومة المتبقية فيه تمهيدا لحساب مقاومة القطاع وزيادة حديد التسليح من أجل تحسين وزيادة مقاومة الخرسانة إذا كان ذلك ضروريا.

٥-٤-١ اختبار الشد:

حيث تم أخذ العديد من عينات الحديد بأقطار مختلفة ومن أماكن مختلفة تعرضت للحريق (جسور، أعمدة، عقدات) وبدرجات حرارة مختلفة وصل إليها الحريق.
و من ثم قمنا بإجراء اختبار الشد المحوري على عينات الحديد المأخوذة باستخدام جهاز الشد صورة (٥-١٢)، (٥-١٣) كما يوضح الجدول (٥-٧) أقطار عينات الحديد ونتائج الفحوصات التي تم التوصل إليها، كما ويبين جدول (٥-٨) متطلبات المواصفات الفلسطينية لحديد التسليح.

صورة رقم (٥-١٢):
جهاز اختبار حديد التسليح

٥	٤	٣	٢	١	رقم العينة specimen No.
١٨	١٨	١٢	٨	٨	القطر الاسمي للعينة (mm)
١٧.٨	١٨.١	١١.٨	٨	٧.٩	القطر المكافئ للعينة (mm)
٢.٠٠٠	٢.٠٠٠	٠.٨٨٨	٠.٣٩٥	٠.٣٩٥	وزن المتر الطولي (Kg/m)
١٦٧.٦٤	١٦٤.٣٧	٦٣.٩٤	٣٠.٩٥	٣٠.٣١	حمل الكسر (KN)
١٧.٥	١٧.٨	١١.٦	٧.٩	٧.٨	القطر بعد عملية الشد(mm)
١٠.٣	٩.٥	٢٨.٨	١٦.٢	١٣.٧	الاستطالة %
٣٩٢.٩	٢٧٣.٥٢	١٢٢.٠٣	٣٢٠.٠٣	٣٧٠.٠٧	إجهاد الخضوع (N/mm^2)
٦٥٨.٧٩	٦٤٥.٩٦	٥٦٥.٣٨	٦١٥.٨٨	٦٠٣.١٧	إجهاد الشد الأعظم (N/mm^2)

جدول (٥- ٧) نتائج فحوصات عينات حديد التسليح

البيانات	القطر ¢8	القطر ¢ 10	القطر ¢ 12	القطر ¢ 18
وزن المتر الطولي Kg/m	0.395	0.617	0.888	2.00
إجهاد الخضوع Mpa	500 - 400	500 - 400	500 – 400	500 – 400
إجهاد الشد Mpa	500 min	500 min	500 min	500 min
الاستطالة %	12 min	12 min	12 min	12 min

جدول (٥-٨) متطلبات المواصفات الفلسطينية لحديد التسليح

Palestinians Specification Requirements

صورة رقم (0-١٣):

اختبار حديد التسليح باستخدام جهاز الشد للحديد

- **كما أرفق في الملاحق رسماً** بيانياً لكل عينة من عينات الحديد التي تم فحصها، تبين العلاقة بين قوة تحمل الشد لقضيب الحديد ومقدار الاستطالة الحاصلة له، حيث نستطيع إيجاد مقدار نقطة (Yield Point) إجهاد الخضوع لكل عينة، وبالتالي مقارنتها بالقيمة المطلوبة حسب **المواصفات** الفلسطينية.

0-0 اختبار السحب (Pull Out Test):

قد يؤدي الفارق في تمدد الخرسانة والصلب وانكماشها أثناء التسخين والتبريد إلى ضعف قوة التماسك بين الأسياخ والخرسانة المحيطة، ويستحسن إجراء اختبار **ا**لتماسك لتحديد الفاقد في مقاومة التماسك بعد الحريق ويجري هذا الاختبار إما على جزء من عضو خرساني ستتم إزالته، فيقطع جزء منه بالآلات الكهربائية (**منشار الخرسانة**) ثم يجري عليه اختبار التماسك، أو يجري الاختبار على عينة اختبار التماسك القياسية بعد تعريضها لدرجة حرارة مكافئة للحريق، وهذا ما تم عمله خلال هذا المشروع.

ونتيجة لعدم رغبة صاحب المصنع (**مصنع الإسفنج**) بأن نقوم بأخذ جزء من الخرسانة **المسلحة وإجراء** اختبار التماسك له، تم العمل على عمل (٨) عينات على شكل مكعب (٠ **اسم*** ٠ **اسم*** ٠ **اسم**) **مع غرز**

قضيب حديد ٨ ملم بطول ٢٠سم داخل مركز مكعب الخرسانة ليبقى نصفه (أي ١٠ سم) خارج من القطعة لإجراء عملية السحب له، صورة رقم (5- ١٤)، وقد تم تحضير العينات باستخدام نسبة خلط ١:٢:٤ (اسمنت، رمل، ركام خشن)، وذلك لإجراء اختبار التماسك لها، بحيث تم حرقها داخل فرن خاص على درجات حرارة مختلف وهي: (٣٠٠م°، ٦٠٠م°، ٠٠٠ م°) صورة رقم (5- ١٥)، وأخرى لم يتم حرقها.
تم الاختبار باستخدام جهاز الشد لفحص حديد التسليح بعد عملية تصميم قطعة من الحديد والخشب وتثبيتها على الجهاز لعمل الاختبار صورة رقم (5- ١٦)، (5- ١٧).
بالإضافة لعمل (٤) عينات مكعبة (١٠ سم* ١٠ سم* ١٠ سم) من نفس الخلطة، تم كسر اثنين منهما بعد مدة أسبوع من المعالجة، واثنين آخرين بعد مدة أسبوع من المعالجة ومن ثم الحرق على ٦٠٠م°.
فكانت النتائج كما هو واضح في الجدول (5-٩)، والجدول (5- ١٠).

رقم العينة	درجة حرارة الحرق (م°)	حمل الكسر بعد أسبوع (KN)	حمل الكسر بعد أربعة أسابيع (KN)	إجهاد الكسر بعد أربعة أسابيع (Kg/cm^2)
١	.....	١٠٠	١٥٠	١٥٠
٢	.....	٩٥	١٤٢.٥	١٤٢.٥
٣	٦٠٠	٥١	٧٦.٥	٧٦.٥
٤	٦٠٠	٤٧	٧٠.٥	٧٠.٥

جدول (5-٩)
نتائج اختبار تحميل العينات باستخدام جهاز (UTM)

رقم العينة	درجة حرارة الحرق (م°)	حمل السحب (KN)	إجهاد السحب (Kg/cm^2)
١	بدون حرق	١٣.٤٤	٥٣.٥
٢	بدون حرق	١٤.٢٣	٥٦.٦
٣	٣٠٠	٨.٠١	٣١.٨٨
٤	٣٠٠	٧.٥	٢٩.٨٥
٥	٦٠٠	٣.٩٧	١٥.٨
٦	٦٠٠	٣.٤٩	١٣.٨
٧	١٠٠٠	٠.٠	٠.٠
٨	١٠٠٠	٠.٠	٠.٠

جدول (5-١٠)
نتائج اختبار مقاومة السحب (Pull Out) للعينات باستخدام جهاز (UTM)

ملاحظة:

*- مساحة القضيب ثابتة = ٥٠.٢٦ ملم٢، حيث تم استخدام قضيب قطر ٨ ملم.

*- لمعرفة حمل الكسر من عمر أسبوع إلى عمر أربعة أسابيع، تضرب القيمة في (١.٥).

*- تم تحويل القيمة من (KN) إلى (Kg/cm^2)، وذلك بإيجاد مساحة تماسك قضيب الحديد مع الخرسانة حيث: مساحة التماسك بين الحديد والخرسانة = (٢ * ٣.١٤ * نصف قطر القضيب * طول الجزء المغروز)

= (٢*٣.١٤*٠.٤*١٠) = ٢٥.١٣سم٢.

صورة رقم (٥-١٤):

العينات التي تم إجراء اختبار التماسك عليها

صورة رقم (0-١٥):

العينات التي تم إجراء اختبار السحب عليها بعد الحرق

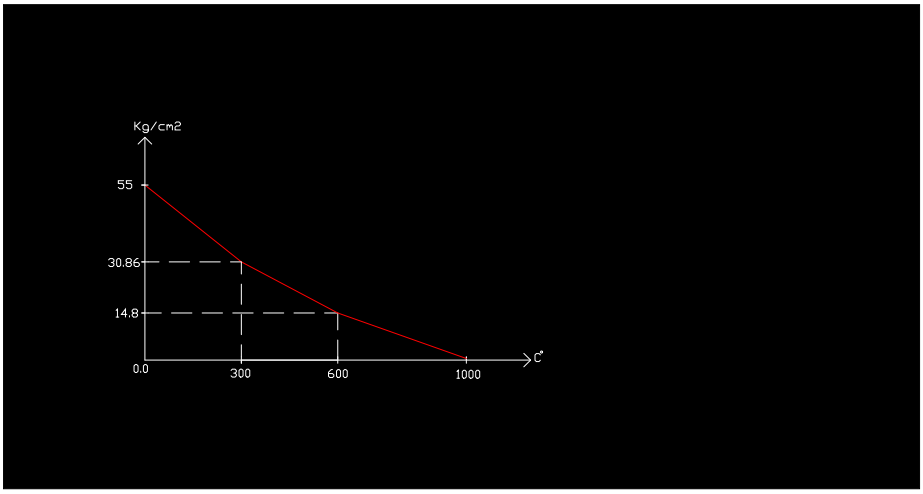
صورة رقم (0-١٦):

الجهاز الذي تم استخدامه لإجراء اختبار السحب

صورة رقم (٥-١٧):

العينات بعد إجراء اختبار السحب عليها (بعد سحب الحديد من العينة)

- تم عمل علاقة بين درجة الحرارة (م°) ومقدار مقاومة السحب بين الخرسانة وحديد التسليح (Kg/cm^2) تبعا للعينات التي تم إجراء الفحص لها، كما في الشكل (٥-١).



شكل (٥-١)

العلاقة بين درجة الحرارة ومقدار التماسك بين الخرسانة وحديد التسليح

الفصل السادس

تحليل النتائج المخبرية ومناقشتها(**الخاصة بمصنع الجلى**)

٦-١ مقدمة

٦-٢ تقييم العناصر الإنشائية بعد الحريق

1. **الأسلست**
2. **الأعمدة**
3. **الجسور والعصب**
4. **الجدران**

٦-١ مقدمة:

خلال هذا المشروع تم إجراء عدد من الفحوصات المخبرية،- فحوصات خرسانة، حديد التسليح- اللازمة لتقييم الوضع الإنشائي لأي مبنى تعرض للحريق حيث تم إجراء الفحوصات التالية لتقييم حالة المصنع (مصنع الجمل) من الناحية الإنشائية.

- أولاً : الفحص البصري (Visual Inspection).
- ثانياً : المطرقة المرتدة (Schmidt, Hammer).
- ثالثاً: اختبار القلب الخرساني (Core Test).
- رابعاً: اختبار الامتصاص الطبيعي لحجارة البناء والخرسانة (Absorption Test).
- خامساً: اختبار الشد لحديد التسليح (Tensile Test).
- سادساً: اختبار السحب (Pull Out Test) لحديد التسليح من الخرسانة المسلحة.

تم إجراء جميع الفحوصات المذكورةسابقا ضمن حل الدراسة المذكورة لدينا (مصنع الجمل)، في الفصل الخامس من هذا المشروع.

فمن خلال الفحص البصري تبين أن المبنى تعرض لدرجات حرارة عالية بسبب الحريق بجميع أجزاءه عدا الطابق الأول من مبنى ج (طابق المنجرة)، حيث أدى ارتفاع درجات الحرارة إلى تصدع الغطاء الخرساني الواقي لحديد التسليح السفلي في الجسور والعصب وأدى إلى تصدع سطحي لخرسانة الأعمدة وإلى تشققات وتصدعات في الجدران.

كما تصدع الغطاء الخرساني المحيط بحديد التسليح السفلي في الجسور والعصب بحيث أدى إلى تعرض الحديد لدرجات حرارة عالية مما أدى إلى انخفاض معامل المرونة لحديد التسليح وانعدام المقاومة لقوى الشد كما هو الحال في الحديد السفلي في الجسور وقوى القص كما هو الحال في الكانات.

٦-٢ تقييم العناصر الإنشائية بعد الحريق:

اعتمادا على نتائج الفحوصات المخبرية والموضحة بشكل مفصل ضمن الفصل الخامس فقد تم تقييم العناصر الإنشائية للمصنع على النحو التالي:

١-الأساسات:

أساسات المبنى لم تتأثر بالحريق حيث أنه يمكن استخدامها لتحميل العناصر القائمة أو عناصر إنشائية جديدة، فالأساسات كانت محمية بمدة أرضية سمكها ١٥سم وتأثير الحريق يكون عادة من الأسفل إلى الأعلى وليس من

الأعلى إلى الأسفل، لذلك فأساسات المبنى ليست بحاجة إلى ترميم وكذلك المدة الأرضية الموجودة، حيث أعطت نتيجة الفحص لمقدار تحمل إجهاد الضغط لخرسانة المدة الأرضية باستخدام المطرقة المرتدة ما يقارب ٢٠٠ كغم/سم^2، (جدول 0-٢) وهي نتيجة مقبولة (مطابقة للمواصفات).

٢-الأعمدة:

التصدع السطحي للغطاء الخرساني لحديد التسليح أدى إلى نقصان مساحة المقطع الخرساني وتمدد الحديد بشكل عام، بحيث بينت نتيجة الفحص لخرسانة الأعمدة باستخدام القلب الخرساني متوسط تحمل إجهاد ١٦٠ كغم/سم^2، (جدول 0-٣)، وهي نتيجة غير مقبولة (غير مطابقة للمواصفات)، بحيث لا يقل مقدار تحمل خرسانة الأعمدة للإجهاد في العادة عن ٢٠٠ كغم/سم^2، ورغم ذلك فإن إمكانية ترميم الأعمدة واردة عن طريق عمل جاكيت مسلح سمكه 0 اسم، فيتم بذلك تعويض كمية الفقد الحاصل قي قوة تحمل الإجهاد لخرسانة وحديد التسليح.

٣-الجسور والعصب:

بشكل عام فقد تصدع الغطاء الخرساني السفلي الواقي لحديد التسليح السفلي، مع انخفاض معامل المرونة بشكل كبير عند ارتفاع درجة حرارة حديد التسليح لأكثر من ٣٠٠م°، بحيث أن حديد التسليح غير قادر على تحمل قوى شد. فحديد التسليح في الجسور والعصب في النطاق السفلي من العقدة تعرض لدرجات حرارة عالية وتشويه كبير، ونتيجة الفحوصات المخبرية لحديد التسليح (اختبار للشد)في الجسور والعصب على اختلاف أنواعه ومقارنتها بما هو مطلوب ضمن المواصفات الفلسطينية (كما هو واضح ضمن الفصل الخامس من هذا البحث)، جدول (0-٧) و (0-٨)، بحيث أنه ضمن متطلبات المواصفات الفلسطينية لحديد التسليح يجب أن لا يقل إجهاد الخضوع عن ٤٠٠ N/mm^2، حيث بينت نتائج فحوصات عينات التسليح جدول (0-٧)،قيمة إجهاد خضوع أقل مما هو مطلوب، وبالتالي فإن حديد التسليح أصبح غير مطابق للمواصفات و الاستخدام، فهذا الحديد غير قادر على تحمل قوى شد ونقل القوى إلى الخرسانة، كذلك نتيجة الفحوصات المخبرية لخرسانة الجسور والعصب باستخدام (فحص القلب الخرساني)، بينت النتائج بأن متوسط تحمل إجهاد الضغط ١٨٥كغم/سم^2، والموضحة ضمن جدول (0-٣)، وهي نتيجة غير مطابقة للمواصفات، فالجسور والعقدات تعرضت إلى تشويه عمودي بحيث أنه من الصعب إعادة وضع الخرسانة وحديد التسليح إلى الوضع الذي كان قائماً قبل نشوب الحريق.

٤- الجدران:

درجات الحرارة العالية التي تعرض لها المبنى أدت إلى تصدع الجدران حيث أنه نتجت تشققات أفقية وعمودية ذات عمق كبير ٢سم وأكثر. الواجهة الحجرية انفصلت عن المبنى الكلي بسبب التمدد الحراري، بحيث بينت نتيجة

الفحوصات التي أجريت على الحجر المستخدم في البناء قبل وبعد الحريق كان معامل الامتصاص الطبيعي للحجارة قبل الحريق من ٢-٢.٥ %، موضحة ضمن جدول (٥-٤)، (٥-٥)، أما بعد الحريق فارتفعت لتصل من ٢.٥-٣ %، وفي كلتا الحالتين فان الامتصاص الطبيعي لحجارة البناء لا يجب أن يزيد عن ٢%، فبالتالي يعتبر الحجر غير مطابق للمواصفات ولا يصلح للاستخدام مرة أخرى.

ونتيجة الفحوصات التي أجريت على خرسانة الجدران باستخدام القلب الخرساني والتي أعطت متوسط تحمل إجهاد ضغط ١٥٠ كغم/سم^2، جدول (٥-٣)، وهي نتيجة مقبولة، فالجدران بشكل عام عناصر إنشائية غير حاملة ولكن التشويه الناتج يجب أن يرمم، وترميم الجدران يجب أن يتم بعد إزالة الواجهة الحجرية.

كذلك تم إجراء اختبار سحب حديد التسليح من عينات خرسانية (مكعبات)، بعد تعريض العينات الخرسانية المسلحة لدرجات حرارة عالية وصلت إلى ١٠٠٠ درجة مئوية، وقد بينت نتائج هذا الاختبار أن التماسك بين الخرسانة وحديد التسليح يتناقص بشكل سريع وكبير ابتداءا من درجة حرارة ٣٠٠مْ، وينعدم التماسك تماماً في حدود درجة ٤٠٠مْ،شكل رقم (٥-١).

فهذه النتيجة مهمة وتوضح بشكل كبير درجات الحرارة التي وصلت إليها القطاعات المختلفة من المبنى، ويتضح ذلك من خلال الانفصال الذي حصل بين الحديد والخرسانة، ومن هنا يمكن القول بأن درجات الحرارة في بعض أنحاء المبنى الذي تعرض للحريق فاقت ٦٠٠مْ.

الفصل السابع

التكلفة التقديرية لأعمال الهدم والترميم

٧-١ مقدمة

٧-٢ تكلفة أعمال الهدم

٧-٣ تكلفة أعمال إزالة الردم خارج الموقع

٧-٤ تكلفة أعمال البناء

٧-٥ تكلفة أعمال الترميم

٧-٦ تكلفة أعمال التمديدات الكهربائية

٧-٧ تكلفة أعمال التمديدات الصحية

٧-٨ تكلفة أعمال الحديد والشبابيك

٧-٩ تكلفة أعمال كحلة الجدران الحجرية

٧-١٠ التكلفة الإجمالية

٧-١ مقدمة:

يتضمن هذا الفصل التكلفة الإجمالية التقديرية لإعادة بناء وترميم مبنى مصنع الجمل للإسفنج، وكذلك بعض التوصيات بشأن بعض الأجزاء من المبنى التي يمكن ترميمها، وتعتمد التكلفة الإجمالية على نتائج ما تم التوصل إليه واعتماده من إعادة بناء بعض أجزاء المصنع أو هدمها اعتمادا على نتائج الفحوصات المخبرية الموضحة في الفصل الرابع من هذا البحث. بالإضافة لتقييم إمكانية ترميم العناصر الإنشائية من حيث، الجدران، الأساسات، الأعمدة، الجسور والعصب.

٧-٢ تكلفة أعمال الهدم:

تقدر تكلفة أعمال الهدم ب٢٠ شيقل لكل متر مكعب، كما تقدر كمية الهدم في هذا المبنى ب ١٣٦٠ متر مكعب وذلك اعتمادا على الكميات المدرجة في الجدول التالي (٧-١):

العنصر	كمية الهدم (متر مكعب)
عقدات	٨٩٠
جدران وأعمدة	٤٥٠
بيوت الدرج	٢٠
المجموع	**١٣٦٠**

جدول (٧-١)

العناصر الإنشائية المطلوب هدمها بالمتر المكعب

وتقدر تكاليف الهدم اعتمادا على هذه الكمية ب ١٣٦٠* ٢٠ = ٢٧٢٠٠ شيقل.

٧-٣ تكلفة أعمال إزالة الردم خارج الموقع:

تقدر أعمال إزالة الردم خارج الموقع ب ١٥ شيقل لكل متر مكعب أيضا، واعتمادا على كمية الهدم البالغة ١٣٦٠ متر مكعب فإن التكلفة الإجمالية لهذا البند،

١٣٦٠ * ١٥ = ٢٠٤٠٠ شيقل.

٧-٤ تكلفة أعمال البناء:

تقدر مساحة المبنى الجديد المراد إنشاؤه ب ٢٢٠٠متر مربع، وتقدر تكلفة البناء لكل متر مربع ب٤٠٠ شيقل بحيث يتم استخدام الأساسات القائمة في البناء لأنها لم تتأثر بالحريق، بحيث تكون تكلفة البناء الإجمالية،

٢٢٠٠ * ٤٠٠ = ٨٨٠٠٠٠ شيقل.

٧-٥ تكلفة أعمال الترميم:

تتضمن أعمال الترميم المنوي تنفيذها ٢٦٠متر مربع في الجزء الواقع أسفل المنجرة، وهو الجزء الذي كان أقل ضررا بسبب الحريق عن غيره، بحيث تشمل أعمال الترميم الأعمدة والجدران واستبدال السقف القديم بآخر جديد بعد هدمه وتقدر كلفة هذا البند ب ٤٥٠ شيقل لكل متر مربع، فتكون التكلفة الكلية لأعمال الترميم،

٢٦٠ * ٤٥٠ = ١١٧٠٠٠ شيقل.

٧-٦ تكلفة أعمال التمديدات الكهربائية:

تتم أعمال التمديدات الكهربائية بإشراف مهندس مختص بحيث تشمل هذه الأعمال تركيب لوحات التوزيع والتحكم، وكذلك تركيب معدات الإنارة والتوزيع في كامل المصنع بحيث تقدر هذه الأعمال بمبلغ إجمالي مقطوع وقدره،

٤٦٠٠٠ شيقل.

٧-٧ تكلفة أعمال التمديدات الصحية:

تقدر هذه الأعمال بمبلغ إجمالي وقدره ١٥٠٠٠ شيقل.

٧-٨ تكلفة أعمال الحديد للأبواب والشبابيك:

وتشمل هذه الأعمال ثلاثة بنود مدرجة في الجدول التالي (٧-٢):

الأعمال	التكلفة بالشيقل
١- حماية الشبابيك	٣٥٠٠
٢- فاصونات الشبابيك	٩٠٠٠
٣- الأبواب	١١٢٠٠
٤-أعمال دهان البنود السابقة	٤٠٠٠
الإجمالي	**٢٧٧٠٠**

جدول (٧-٢)

تكلفة أعمال الحديد للأبواب و الشبابيك التقديرية بالشيقل

٧-٩ تكلفة أعمال كحلة الجدران الحجرية:

تقدر أعمال الكحلة للحجر ب ١٠ شيقل للمتر المربع شاملة الأجرة و المواد، كما وتقدر مساحة الجدران المراد تكحيلها ب ٢٠٤٠متر مربع، وبهذا تكون الكلفة الإجمالية لهذا البند،

٢٠٤٠ * ١٠ = ٢٠٤٠٠شيقل.

٧-١٠ التكلفة الإجمالية:

تقدر التكلفة الإجمالية لجميع البنود السابقة كما في الجدول التالي:

البند	التكلفة بالشيقل
١- أعمال الهدم	٢٧٢٠٠
٢- أعمال الإزالة	٢٠٤٠٠
٣- إعادة البناء	٨٨٠٠٠٠
٤- أعمال الترميم	١١٧٠٠٠
٥- أعمال التمديدات الكهربائية	٤٦٠٠٠
٦- التمديدات الصحية	١٥٠٠٠
٧- أعمال الحديد	٢٧٧٠٠
٨- أعمال الكحلة	٢٠٤٠٠
الإجمالي	**١١٥٣٧٠٠**

جدول (٧-٣)

التكلفة الكلية التقديرية لجميع البنود السابقة بالشيقل

وتعادل التكلفة الإجمالية ما قيمته ٣٦٠٠٠٠ دولار أمريكي.

الفصل الثامن
النتائج والتوصيات

٨-١ النتائج عامة
٨-٢ النتائج الخاصة – لحالة الدراسة (مصنع الجلى للإسفنج)

النتائج والتوصيات:

تم تقسيم النتائج إلى قسمين:

٨-١النتائج العامة:

١- عدم الحكم على أي منشأ تعرض للحريق إلا بعد عملية أخذ العينات وإجراء الفحوصات اللازمة، وليس بشكل فوري.
٢- انخفاض مقدار التماسك بين حديد التسليح والخرسانة بشكل كبير بارتفاع درجة الحرارة، - بعد درجة حرارة ٥٠٠مْ.
٣- ارتفاع معدل الامتصاص الطبيعي لحجارة البناء، والخرسانة بشكل كبير بعد عملية الاحتراق.
٤- انخفاض إجهاد الخضوع لحديد التسليح بعد تعرضه للحريق.
٥- تقدير درجة الحرارة التي وصل إليها حريق في مكان معين من خلال المواد الموجودة داخله.
٦- يجب العمل على الوقاية من أخطار الحريق خلال مرحلة التخطيط.
٧- لا ينصح بإطفاء الحريق باستخدام الماء، بحيث أن التبريد المفاجيء للخرسانة يمكن أن يعمل على تفتتها، لذلك ينصح باستخدام مواد أخرى لإطفاء الحرائق في المنشآت الخرسانية كالرغوة أو الغازات.

٨-٢النتائج الخاصة – لحالة الدراسة (مصنع الجلى للإسفنج):

١- ترميم الجسور والعقدات التي تعرضت لدرجات حرارة عالية عبارة عن عملية مكلفة وينصح بالهدم وإعادة البناء. اعتماداً على ما تقدم من تقييم للأضرار فإننا ننصح بهدم وإعادة بناء أجزاء المبنى (أ و ب).
٢ - الطابق الأول من مبنى (ج) لم يتعرض لدرجات حرارة عالية والأضرار الإنشائية محدودة بحيث أن الجسور والعصب ليست بحاجة إلى ترميم لأنها حافظت على غطائها الخرساني السفلي ودرجات الحرارة في هذا الجزء من المبنى كانت منخفضة بسبب الجدار الفاصل ما بين المبنى (ج و ب) وسرعة إطفاء الحريق. لهذا ننصح بإعادة ترميم مبنى ج على النحو التالي:

- ✓ ترميم الأعمدة في الطابق الأرضي حيث يتم عمل جاكيت سمكه ١٥سم.
- ✓ هدم عقدة الطابق الأرضي مع الجسور.
- ✓ إعادة بناء عقدة الطابق الأرضي أو أرضية المنجرة مع الأخذ بعين الاعتبار أن الجسور سوف ترتكز على جاكيت الأعمدة.

- ✓ ينصح باستخدام الجسور الفولاذية **(I- Section)**، أسفل العقدات وذلك لتعويض النقص في إجهاد الخضوع لحديد التسليح في المبنى ولتقوية عقدات المبنى من جديد.

٣- إتباع وسائل الوقاية من الحريق في مرحلة التخطيط والتي تتمثل بتقليل المساحة في كلا الاتجاهين من أجل احتواء الحريق، مع ضرورة توفير منافذ وصول للمطافيء إلى مكان الحريق .

٤- تصميم المبنى بنظام التجزئة أي تجزئته إلى أجزاء يمكن حصر الحريق فيها (أبواب مقاومة للحريق، جدران خرسانية بسماكة ٣٠سم مع إضافة مواد للخرسانة عازلة ومقاومة للحرارة).

٥- ضرورة وجود نظام إطفاء أوتوماتيكي يعمل في حالة نشوب حريق.

٦- توفير مسالك ومنافذ للهروب بحيث تكون كافية وواضحة (يسهل الوصول إليها محمية من الحريق والدخان).

٧- تصميم وتركيب مصادر الطاقة (الكهرباء والغاز)، في أماكن بعيدة عن المواد القابلة للاشتعال.

الملاحق

لائحة التعريفات

- **التقشير:**

هو عبارة عن انفصال تدريجي غير عنيف للطبقات السطحية يحدث في الأعمدة والكمرات.

- **معامل التوصيل الحراري:**

عبارة عن قدرة المادة على توصيل الحرارة من خلالها خلال فترة زمنية محددة.

- **قوة القص:**

هي محصلة لكافة القوى العمودية المؤثرة على العتبة في مقطع معين والتي تحاول قطع العتبة، بحيث تولد هذه القوى إجهادات أفقية و عمودية.

- **الحديد المدلفن على البارد:**

وهو الحديد الذي يتم سحبه وتصنيفه بدون استخدام الحرارة، بحيث يعطي قوة تحمل إجهاد أكبر من الحديد المدلفن على الساخن.

- **الحديد المدلفن على الساخن:**

وهو الحديد الذي يستخدم عادة في معظم المباني العادية بحيث يتم سحبه وتصنيعه باستخدام الحرارة.

- **التشرخ:**

هي عبارة عن التشققات العشوائية التي تحدث على سطح الخرسانة وخاصة عند تعرضها لدرجات حرارة عالية (أكبر من ٣٠٠ مْ)، وذلك نتيجة اختلاف معامل التمدد الحراري بين الخرسانة وحديد التسليح.