Reinforced Concrete Structures Evaluation And Behavior Analysis Due to Explosions and Accidental Hazards

Dr. E. Esam Melhem **Eng. Ali Hasan**

Summery:

Engineering structures are generally subjected to a set of factors that affect these structures during utilizing period, these factors consumes the structure Capacity and structural members resistance by influencing construction materials and structural systems of these structures.

Effects in structures appears in the form of cracks and deflections in members، which differ in patterns and dimensions, and vary from tiny cracks to considerable deformations and sometimes structural failure.

Engineers always work on engineering structures maintenance، in order to avoid defects that may happen, plus working on rehabilitation of these structures.

Engineers worked during the last few years on rehabilitation of structures and analyzing defects that appear due to normal effects (execution problems, age, soil problems, et…), besides problems and defects due to accidental hazards (Earthquakes, Tornado, Winds..). But Since September 11th 2001 a new trend in structural science appeared, which is restoration and rehabilitation of structures that are damaged by accidental hazards (Explosions).

Shells and explosions have huge destructive effects on structures and buildings, and when a building is damaged by an explosion there are few basic concepts must be considered in order to start work, such as exploring the building and investigating the problems by analyzing effects in the location.

This research expresses the basic methods and concepts in structures evaluation, plus investigating damages that happened due to traditional and Accidental hazards. Also analyzing the structural behavior of reinforced concrete structures due to direct and indirect effect of explosions, besides methods of rehabilitation of structures.

تقييم سلامة منشآت البيتون المسلح

وتحليل سلوكها بفعل الانفجارات والكوارث الطارئة

د.م. عصام ملحم **م. علي الحسن**

ملخص البحث:

تتعرض المنشآت الهندسية مع مرور الزمن لمجموعة من العوامل التي تؤثر عليها خلال فترة استثمارها، هذه العوامل تؤدي إلى استهلاك طاقة المنشآت واستنفاذ قدرة تحمل العناصر وذلك بالتأثير على مواد الإنشاء والهياكل الحاملة لهذه المنشآت.

تظهر الآثار في المنشآت بشكل شقوق وتصدعات بالإضافة لظهور سهوم في العناصر، وتختلف في أشكالها وأبعادها وتتنوع من تشققات شعرية غير ملحوظة وحتى ظهور تشوهات واضحة تلحظ بالعين المجردة وانهيار في بعض العناصر.

وقد سعى الزملاء المهندسون كثيراً للعمل على صيانة المنشآت الهندسية وتدارك العيوب الحاصلة فيها والعمل على إصلاحها وإعادة المنشآت للاستثمار مجدداً.

على أية حال وخلال السنوات الماضية كان المهندسين يعملون على إصلاح المنشآت ودراسة العيوب الناتجة بتأثير العوامل الطبيعية (سوء التنفيذ، العمر، مشاكل التربة....)، بالإضافة إلى العيوب الناتجة عن الكوارث الطارئة المتوقعة (رياح، زلازل)، لكن وبعد حادثة 11/ أيلول 2001 ظهر هناك توجه جديد في علوم الهندسة الإنشائية، وهو تدعيم وصيانة المنشآت الهندسية المعرضة لفعل كوارث طارئة غير متوقعة (التفجيرات).

تعد التفجيرات والقذائف ذات آثار تدميرية هائلة على العناصر الإنشائية في المباني ويجب عند حصول ضرر في مبنى معين بتأثير انفجار ما معرفة مجموعة من المبادئ الأساسية في العمل من حيث دخول المبنى وتوصيفه ومعرفة الوقائع من الآثار والدلائل في موقع الحادثة.

يستعرض البحث طرائق وأساسيات العمل في مجال تقييم سلامة المنشآت و توصيف الأضرار الحاصلة بفعل العوامل التقليدية والكوارث غير المتوقعة (التفجيرات)، ودراسة سلوك منشآت البيتون المسلح بنتيجة التعرض للكوارث بشكل مباشر وغير مباشر، بالإضافة إلى طرائق تقييم المنشآت والأساليب المختلفة لمعالجة هذه الآثار.

تقييم سلامة منشآت البيتون المسلح

وتحليل سلوكها بفعل الانفجارات والكوارث الطارئة

1- مقدمة:

تعد التفجيرات والقذائف ذات آثار تدميرية على منشآت المباني، ونظراً للأخطار الناجمة عنها في موقع الانفجار و المنشآت القريبة منه فقد توجب العمل على دراسة أنواع الأضرار الحاصلة في المنشآت وتصنيفها بغرض تقييم السلامة الإنشائية لهذه المنشآت. ويجب عند حصول ضرر في مبنى معين بتأثير انفجار ما معرفة مجموعة من المبادئ الأساسية في العمل من حيث دخول المبنى وتوصيفه ومعرفة الوقائع من الآثار والدلائل في موقع الحادثة.

تم إجراء دراسات عديدة حول العالم عن آثار الانفجارات على المباني ولكن أغلب هذه الدراسات تعرضت للأضرار الناجمة عن الانفجارات غير المقصودة ولم تتطرق إلى الانفجارات الناجمة عن أعمال إرهابية و عن القذائف والشظايا المؤثرة بشكل مباشر على المنشآت.

سنستعرض في هذا البحث طرائق وأساسيات العمل في مجال تقييم سلامة المنشآت و توصيف الأضرار الحاصلة بفعل العوامل التقليدية والكوارث غير المتوقعة (التفجيرات)، ودراسة سلوك منشآت البيتون المسلح بنتيجة التعرض للكوارث بشكل مباشر وغير مباشر، بالإضافة إلى طرائق تقييم المنشآت والأساليب المختلفة لمعالجة هذه الآثار.

2- الكوارث الطارئة غير المتوقعة على المنشآت:

تتمثل الكوارث الطارئة غير المتوقعة في جملة من الأحداث التي تؤثر بشكل مباشر على المباني حيث تصنف إلى نوعين من الأحداث:

- انفجارات ناجمة عن حوادث (حوادث محطات الوقود، حوادث منشآت الطاقة والمنشآت الصناعية، حوادث صهاريج الوقود).
- انفجارات ناجمة عن أعمال إرهابية (عبوات ناسفة، قذائف، سيارات مفخخة).

3-مصادر حمولات الانفجارات (العسكرية والمدنية)

تصنف مصادر الانفجارات إلى نوعين أساسيين، الانفجارات التقليدية والانفجارات النووية، ويبين الجدول التالي مصادر كل نوع من الانفجارات: [1]

جدول -1-: مصادر الانفجارات التقليدية والنووية.

الانفجارات التقليدية	الانفجارات النووية
1- المواد الكيميائية والوقود	1- الحوادث النووية (في المنشآت)
2- البخار	2- الأسلحة النووية (في الحروب والتفجيرات)
3- المساحيق القابلة للاحتراق	
4- أوعية الضغط	
5- المتفجرات	
6- المتفجرات الشديدة	

ونوضح في الجدول التالي مقارنة بين الوسائل النووية و وسائل التفجير التقليدية من حيث الناتج والطاقة المتولدة: [1]

جدول -2-: مقارنة بين الوسائل النووية و وسائل التفجير التقليدية من حيث الناتج والطاقة المتولدة.

	الوسائل النووية:	**وسائل التفجير التقليدية:**
الناتج	تنتج عن هذه الوسائل كميات تكافئ عدة أمثال من الـ TNT ما يعادل (أمثال الكيلو طن للأسلحة التكتيكية) و (أمثال الميغا طن للأسلحة الاستراتيجية).	ما يعادل 1 كغ إلى 15 طن من مادة الـ TNT.
الطاقة	تحرر هذه الوسائل كميات هائلة من الطاقة (الإشعاع – الحرارة العالية – موجة الصدمة – الموجة الكهرطيسية وغيرها) وذلك ضمن فترة زمنية متناهية في الصغر لا تتعدى 1 ميكروثانية مؤثرة على مساحات شاسعة.	تحرر هذه الوسائل كميات من الطاقة اقل من سابقتها (موجة صدمة، شظايا، حرارة ..) وذلك خلال فترة زمنية صغيرة جداً تصل حتى 2 ميكروثانية مؤثرة على مساحات صغيرة.

4-العوامل التدميرية للانفجار:

ينتج عن التفجير أربعة آثار رئيسية شكل /1/ وهي: [3]

1- موجة الصدمة:

وهي عبارة عن انضغاط كبير في الهواء يؤثر على الأشياء بشكل موجة ضغط ذات قوة كبيرة جداً يتبعها تخلخل خاصة في الدائرة القريبة من موقع الانفجار، حيث تؤدي لتطاير الأشياء والمواد ورميها في الهواء وحتى بعض الأشخاص، بينما تؤدي لتصدعات في العناصر الإنشائية أو غير الإنشائية والإكساءات (تكسر في الزجاج و الأبواب والنوافذ) في المباني. (وتمثل موجة الصدمة العامل الأهم في آثار الانفجارات). كما هو موضح في الأشكال /2-3-4/.

2- الحرارة العالية:

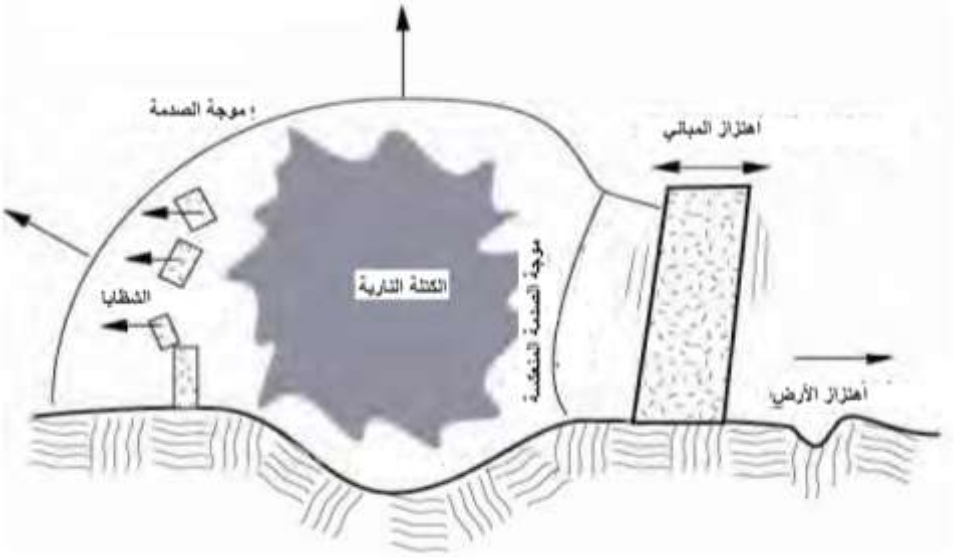
يتولد عن الانفجار ضمن الدائرة القريبة من موقع الانفجار طاقة حرارية عالية تتمثل بلهب حارق بدرجات حرارة مرتفعة، قد يكون هذا اللهب لحظياً ومركزاً، لكن في حالات أخرى قد يؤدي لاشتعال حرائق في المباني تستمر لزمن طويل نسبياً مما يؤثر سلباً على خصائص مواد الإنشاء.

3- الشظايا:

ينتج عن الانفجار أيضاً وبسبب الضغط العالي شظايا متطايرة من المادة المتفجرة بالإضافة إلى شظايا وأجزاء من موقع الانفجار تتطاير بشكل عشوائي، وهي ذات خطورة كبيرة على الأحياء والمنشآت، حيث أنها قد تصطدم بأجزاء من العناصر الإنشائية مؤدية لتكسرها أو الإضرار بها جزئياً أو كلياً بالإضافة لتكسير مواد الإكساء في المنشآت.

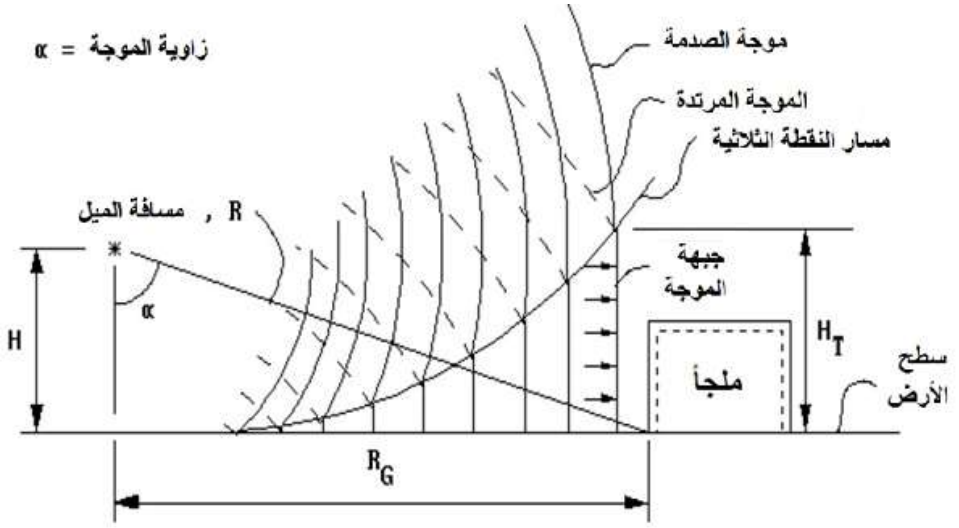
4- موجة الصوت:

الأثر الرابع الذي ينتج عن الانفجار هو الصوت العالي والذي لا يعد من الآثار المدمرة كثيراً نسبة إلى الآثار الثلاثة السابقة.

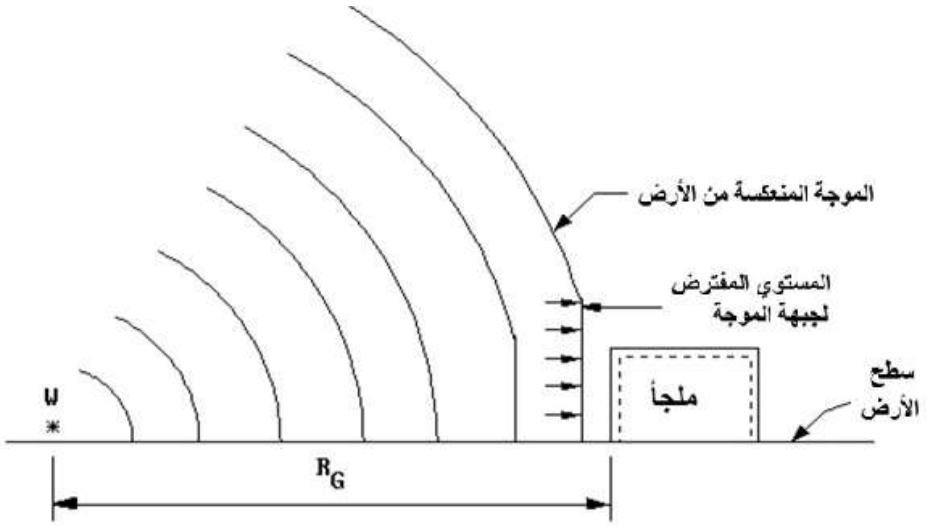


شكل /1/ : الآثار الناتجة عن التفجير

شكل /2/ : أنواع الانفجارات والقذائف المؤثرة على المباني



شكل /3/ : طبيعة وعوامل الانفجار في الهواء (بعيد عن سطح الأرض)



شكل /4/ : طبيعة وعوامل الانفجار عند سطح الأرض

5-المصاعب التقنية:

عند التعامل مع المنشآت المعرضة للانفجارات تواجه المهندسين والتقنيين القائمين على العمل مجموعة من المصاعب [3]، بحاجة إلى عين ويد خبيرة وتحليل منطقي ودقيق للمشكلة بهدف الوصول إلى الحلول الأنسب، وتتلخص هذه المصاعب بالبنود التالية:

- الحمولة: حيث تعد الحمولة مرتبطة بأربعة إحداثيات P(X،Y،Z،t) وهي الإحداثيات الفراغية الثلاثة في المكان، بالإضافة إلى عامل الزمن وتقدير قيمة الحمولة ليس بالشيء السهل.
- سلوك إنشائي ديناميكي لا خطي: يتمثل بتغيرات في المواصفات الهندسية (الأبعاد والمقاسات) بالإضافة لخواص مواد الإنشاء.
- تفاعل المركبات الإنشائية: ويتمثل بتغير بعض الوظائف الإنشائية لبعض العناصر الحاملة بسبب السلوك الديناميكي لعناصر أخرى غيرها ومحاولة المنشأة تدوير العزوم وموازنة نفسه مجدداً.
- قابلية المواد للتكسر أو البقاء بعد الانفجار حسب طبيعتها وديمومتها.
- صعوبة توصيف الأضرار الحاصلة لكامل عناصر المنشأة بدقة.

ومعظم هذه البنود ليس من السهل تصنيفها أو توصيفها.

6-مخطط ضغط النبضة:

تنتج موجة الصدمة عن الانفجار وتصطدم بالمبنى بحيث تؤثر بشكل نبضة مكونة من طورين الطور الموجب والطور السالب شكل /5/, و تعتمد الاستجابة الإنشائية للعناصر على النسبة t_d/T حيث أن:

t_d: مدة تطبيق الحمولة.

T: الدور الطبيعي للعنصر.

المحاور الثلاثة للسلوك والاستجابة: [1]

$$t_d \sim T \quad ، \quad t_d << T \quad ، \quad t_d >> T$$

يمكن المقارنة بين حوادث الانفجارات المختلفة باستخدام مبدأ المجال الموزون الموضح بالعلاقة (1):

$$\lambda = R / W^{1/3} \qquad (1)$$

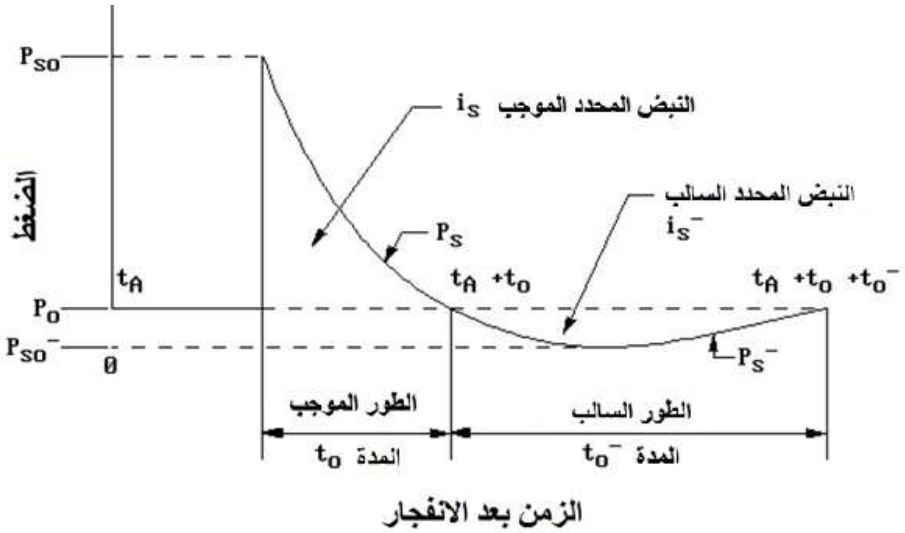
حيث:

λ: المجال الموزون.

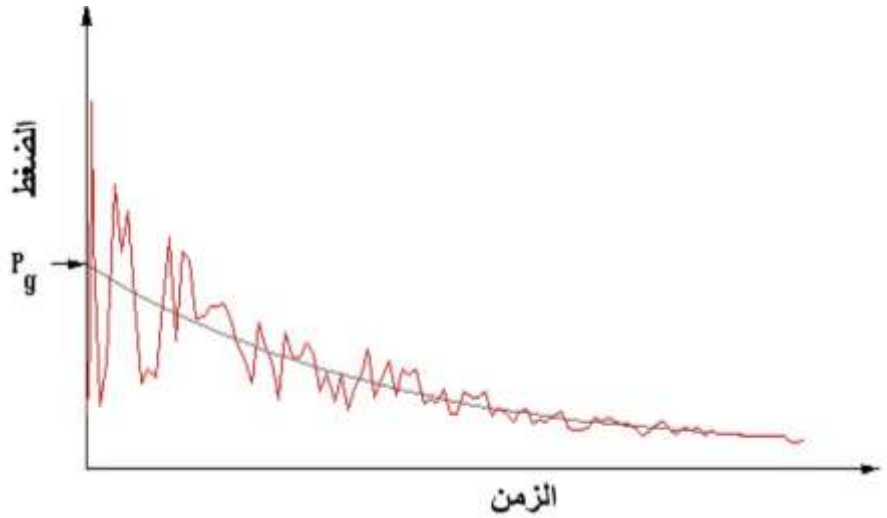
R: المسافة بالأمتار.

W: الوزن المكافئ للمادة المتفجرة من الـ TNT بالكيلوغرام.

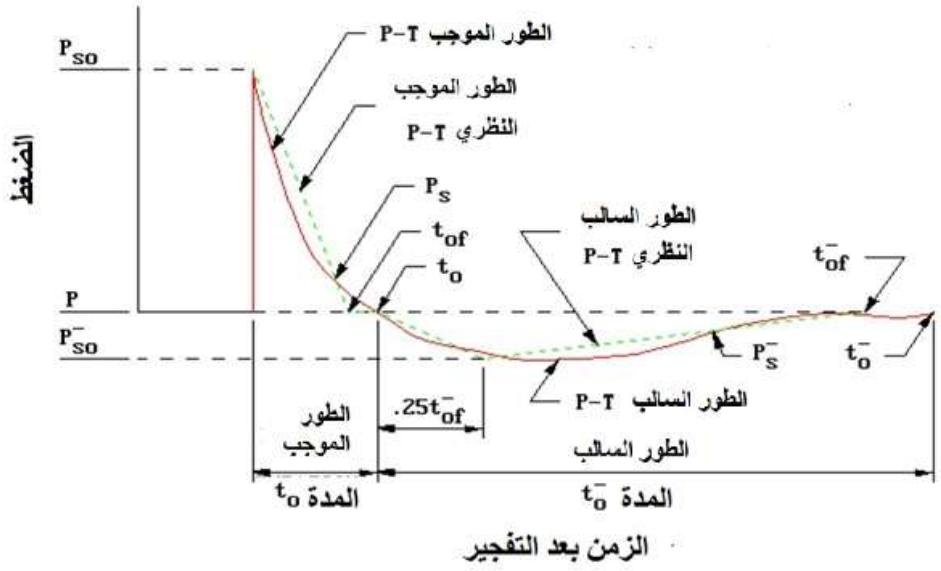
وهكذا يمكن نسبة الضرر إلى المجال الموزون.



شكل /5/ : المخطط العام لتطور ضغط الانفجار الحر مع الزمن



شكل /6/ : مخطط تطور الضغط مع الزمن لانفجار ضمن مكان مفتوح جزئياً

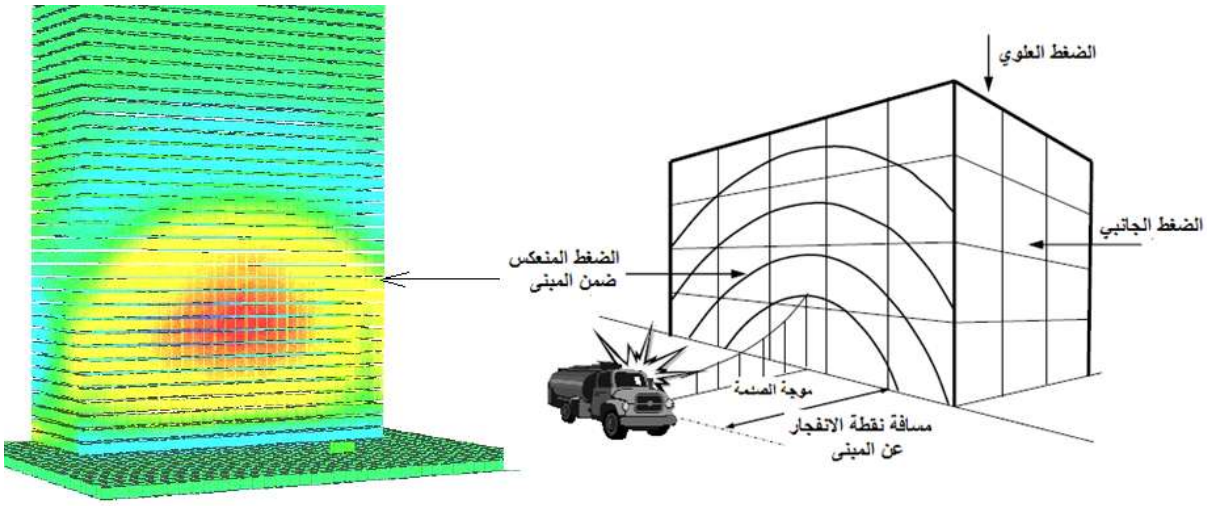


شكل /7/ : المخطط النظري لتغير الضغط مع الزمن

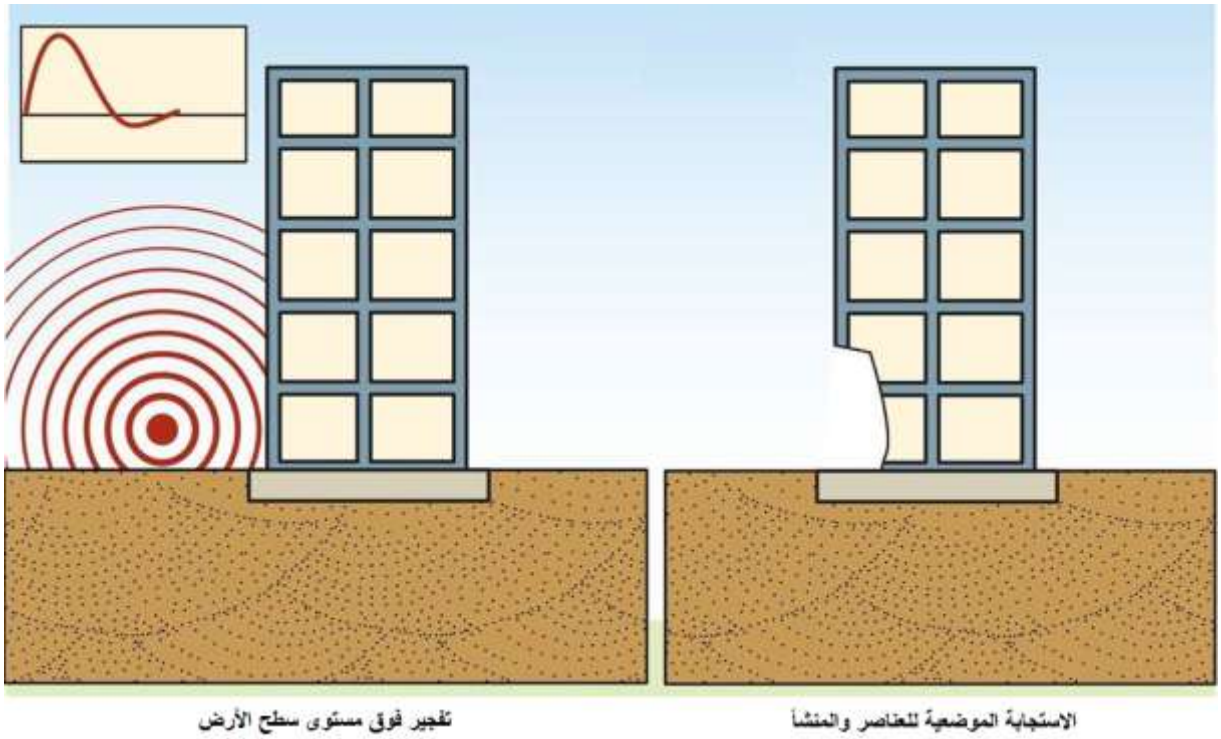
7-تصنيف الضرر في منشآت البيتون المسلح:

تتأثر المنشآت عادة بالانفجارات بشكل متفاوت وذلك وفقاً للعناصر المعرضة للانفجار وعدد هذه العناصر والضرر الحاصل لكل منها. [2]

وتؤثر الانفجارات على المباني عن طريق موجة الصدمة بشكل أساسي شكل /8-9/



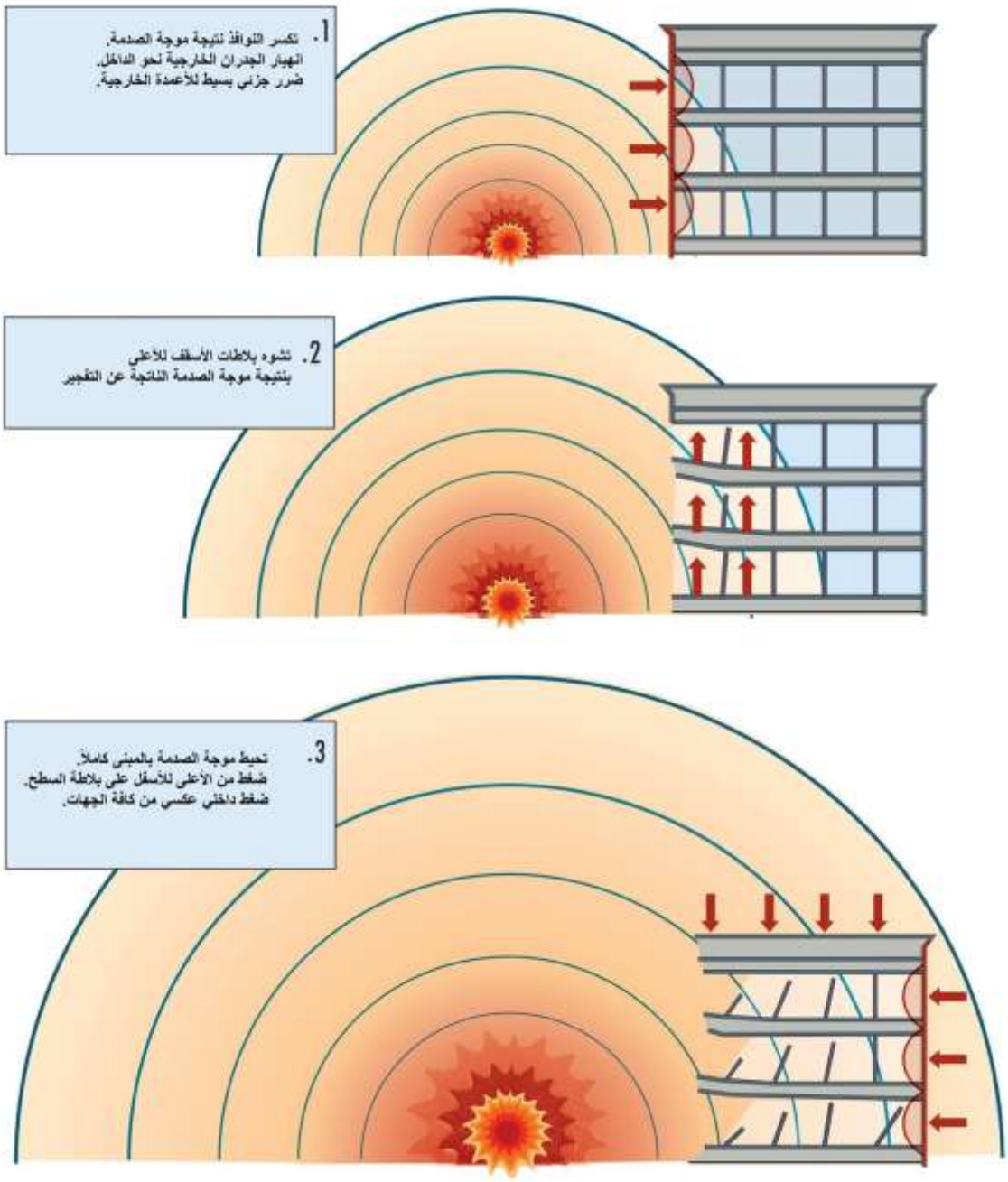
شكل /8/ : أحمال الانفجارات على المباني



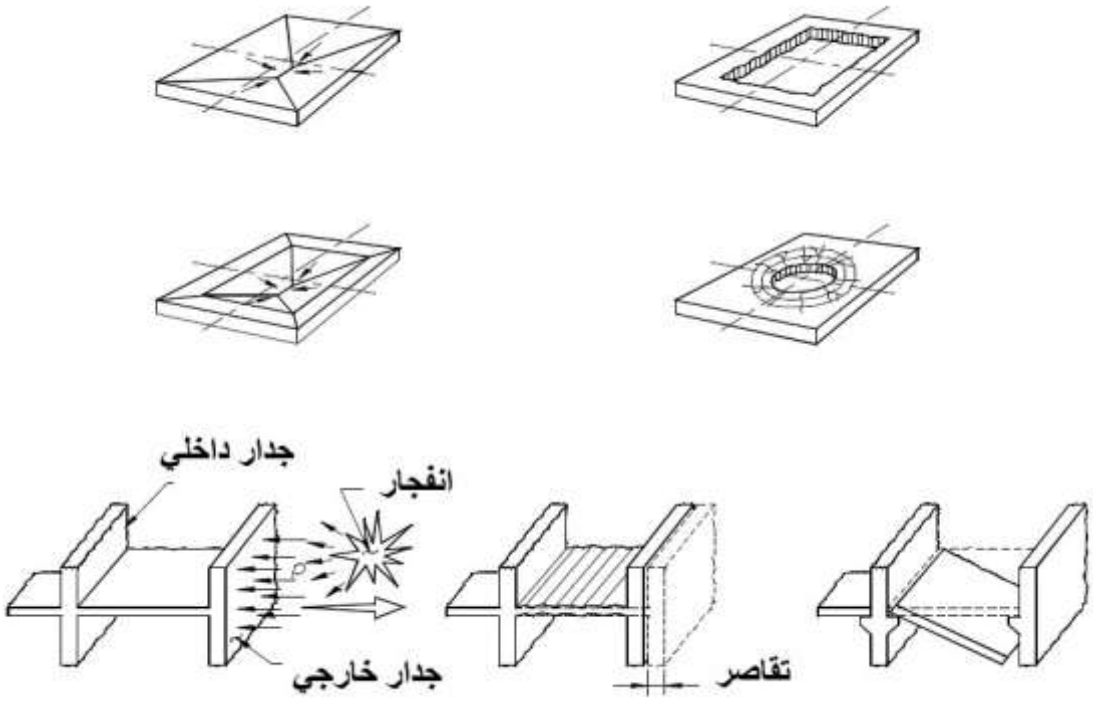
شكل /9/ : تأثير ضغط الانفجارات على المباني

تسلك منشآت البيتون المسلح أنماطاً مختلفة من السلوكيات والاستجابات لأحمال الانفجارات شكل /10-11/، ويعود الاختلاف في أنماط الاستجابة لموجة الصدمة الناجمة عن التفجير لعدة عوامل[2] وهذه العوامل هي:

1- نموذج الهيكل الإنشائي للمبنى وقياساته وأبعاده (تباعدات عناصر الهيكل ومقاسات هذه العناصر).
2- مادة الإنشاء للعناصر الإنشائية المختلفة في المبنى (تجانس المادة وعيارات مواد الإنشاء).
3- مسافة التفجير عن المبنى و موقع الانفجار (تفجير فوق الأرض أو عند سطح الأرض).
4- مصدر الانفجار ونوعه (قذيفة، شظية، شحنة متفجرة، ...).
5- الموقع العام لمكان التفجير (وجود مخمدات أو منشآت قريبة تساعد في تخفيف الصدمة).



شكل /10/ : استجابة المبنى لأحمال الانفجارات



شكل /11/ : استجابة البلاطات في المباني لأحمال الانفجارات

وقد قمنا باعتماد أسس تصنيف الضرر بناء على المشاهدات العينية والكشوفات الحسية وتقييمها بالقياس على أرض الواقع ولك لعدد كبير من الحالات (400 حالة)، كما يوضح الجدول التالي:

جدول -3-: تصنيف الضرر الهندسي في عناصر منشآت البيتون المسلح.

العنصر الإنشائي	نوع الضرر	السبب المحتمل	صور توضيحية
بلاطات	فتحات في البلاطة.	قذيفة مباشرة.	
	تكسر في حواف البلاطة.	قذيفة مباشرة. شظية.	
	تشققات على الوجه السفلي مع تشوهات ملحوظة.	ضغط انفجار من الأعلى.	
	تشققات على الوجه العلوي	ضغط انفجار من الأسفل. حريق.	

جوائز	تكسر في جسد الجائز.	قذيفة مباشرة. شظية.	
	تشوهات وسهوم في الجائز.	ضغط انفجار.	
أعمدة	تكسر في جسم العمود.	قذيفة مباشرة. شظية.	
	تشوه في العمود مع تشققات عرضية.	ضغط انفجار.	

جدران قص	تكسر وفتحات في جسم الجدار.	قذيفة مباشرة. شظية.		
	تشوه معامد لجسم الجدار.	ضغط انفجار.		

ملاحظة:

لم نرد على ذكر الأساسات كون الانفجارات التي نتعرض لها تؤثر على العناصر المكشوفة فوق سطح الأرض فقط.

8-تقييم الضرر في منشآت البيتون المسلح:

يتم تقييم الضرر في منشآت البيتون المسلح اعتماداً على عدة عوامل وهي:

- درجة الأمان الإنشائي للمبنى.
- نوع المبنى والوظيفة الاستثمارية للمبنى.
- إمكانية تأهيل المبنى وإعادة استثماره.

وعليه سيتم اعتماد مبدأ تقييم الضرر الهندسي في عناصر منشآت البيتون المسلح بناء على نسبة الضرر في العناصر. [1]

نسبة الضرر وعلاقتها بدوران المساند في حالة الجوائز والبلاطات:

جدول -4-: تصنيف الضرر في عناصر منشآت البيتون المسلح نسبة لدوران المساند.

دوران المساند (بالدرجات)	تصنيف الضرر
< 2	خفيف
$2 \longleftarrow 5$	متوسط
$5 \longleftarrow 12$	شديد

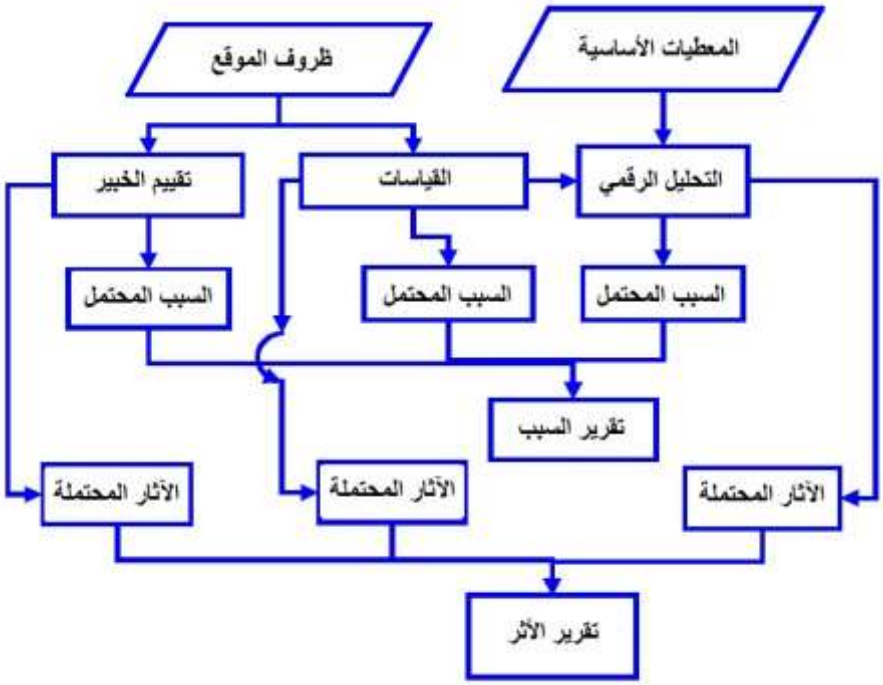
معايير الضرر: [5]

يتم تقدير الضرر كنسبة مئوية للعناصر المتضررة بالنسبة للمبنى, حيث يتم التفريق بين الضرر الحاصل في العناصر حسب نوع كل عنصر والإجهادات التي يتعرض لها (انعطاف, قص, ضغط).

جدول -5-: تقييم الضرر في عناصر منشآت البيتون المسلح.

العنصر الإنشائي	نوع الأثر	الضرر الخفيف	الضرر المتوسط	الضرر الشديد
بلاطات	انعطاف	%4	%8	%15
	قص	%1	%2	%3
جوائز	انعطاف	%4	%8	%15
	قص	%1	%2	%3
أعمدة	ضغط	%1	%2	%4
جدران حمالة	ضغط	%1	%2	%4
جدران قص	ضغط أو قص	%1	%2	%3

بناء على ما سبق نعتمد المخطط النهجي التالي *شكل /12/* لتوضيح عملية التقييم الهندسي للضرر وتحديد الآثار المحتملة في المنشآت، ليتم عليه تقييم السلامة الإنشائية واتخاذ الإجراءات اللازمة.



شكل /12/ : **المخطط النهجي لعملية التقييم الهندسي للضرر وتحديد الآثار في المنشآت**

9-تقييم السلامة الإنشائية لمنشآت البيتون المسلح:

لتقييم السلامة الإنشائية للمبنى يلزم اتخاذ بعض الإجراءات و وضع استمارة خاصة لتوصيف الحالة العامة للمبنى، حيث توضح هذه الاستمارة المعلومات الأساسية والحالة العامة للمبنى.

تم اعتماد نوعين من الاستمارات لمعاينة المبان المتضررة [انظر الملحق -1-]، حيث توضح الاستمارة المختصرة بعض المعلومات الأساسية اللازمة لتقرير الحالة للمبنى بشكل آني وسريع بينما يتم تعبئة الاستمارة التفصيلية بشكل أكثر دقة عند توفر الوقت الكافي.

10- الإشارات والدلائل التحذيرية لتحديد نوع التفجير:

عند الكشف على المنشآت المتضررة والمعرضة لفعل الكوارث وخاصة منها الطارئة (التفجيرات) ينبغي الإشارة إلى مجموعة من الدلالات والآثار التي تظهر بشكل واضح والتي تساعد في تسهيل عملية الكشف ومعرفة آلية حدوث الانفجار والضرر.

10-1-لون العناصر:

تؤدي الحرارة العالية والحريق إلى حدوث أضرار في العناصر، ويمكن التمييز بين الحريق العالي والحرارة الشديدة وبين الحرارة غير العالية.

يشير اللون الأسود في العناصر إلى تعرضها لحريق خفيف واللون الأسود يكون بسبب الدخان بسبب الاحتراق غير الكامل لبعض المواد في المبنى. شكل /13/

أما اللون الأبيض فيشير إلى تعرض العناصر إلى حرارة شديدة ويزداد الضرر في العناصر الإنشائية كلما اشتد اللون الأبيض. شكل /14/

***شكل /13/ :* الحريق الخفيف في المنشآت**

***شكل /14/ :* الحريق الشديد في المنشآت**

10-2-اتجاه التشوه في العنصر:

يعطي اتجاه التشوه في العناصر الإنشائية المتضررة فكرة واضحة عن اتجاه الصدمة المؤثرة على هذه العناصر وبالتالي يساهم في معرفة الأضرار المتوقع حدوثها في بعض العناصر المجاورة. شكل /15/

***شكل /15/ :* التشوه والانحناء في العمود**

10-3-اتجاه الشظايا:

تتسبب الشظايا المتطايرة بحدوث خدوش في العناصر الإنشائية وغير الإنشائية من المبنى، يكون اتجاه هذه الخدوش بشكل متشعب ومتباعد شكل /16/، ويساعد هذا النوع من الآثار بتحديد مصدر وموقع التفجير بشكل جيد بالإضافة لتوقع الآثار الغير واضحة وذلك بتقدير دائرة التفجير و موجة الصدمة.

***شكل /16/ :* اتجاه آثار الشظايا**

10-4-اتجاه انحناء قضبان التسليح في العناصر:

تتسبب الصدمة والشظايا عند تكسر البيتون في العناصر بتكشف قضبان فولاذ التسليح، وعادة تتشوه هذه القضبان بشكل مساير لموجة الصدمة وانحناء العنصر المتضرر، لكن في بعض الحيان يبقى التشوه مستمراً في العنصر بعد انتهاء صدمة الانفجار ويكون ذلك ناتجاً عن عدم قدرة العناصر على تحمل الأحمال الدائمة المؤثرة عليها بالإضافة إلى تلدن فولاذ التسليح في بعض الأحيان. شكل /17/

***شكل /17/ :* تحنيب قضبان التسليح الطولي في الأعمدة نتيجة استمرار التشوه**

10-5-جدران البلوك والقواطع الخفيفة:

تعتبر هذه العناصر من العناصر الضعيفة والتي لا تتحمل ضغط الانفجار لكنها تساعد بشكل كبير على تخفيف صدمة الانفجار عن العناصر الواقعة خلفها، بالإضافة إلى التشققات التي تحصل في القواطع عند عدم انهيارها والتي تشير إلى اتجاه صدمة التفجير. شكل /18/

***شكل /18/ :* تكسر جدار من البلوك بنتيجة موجة الصدمة**

10-6-نقطة تأثير القذيفة:

في حالة القذائف المباشرة تساعد نقطة الاصطدام (نقطة تأثير القذيفة) على معرفة نوع القذيفة المؤثرة بالإضافة إلى متابعة الشظايا واتجاهاتها وتقدير الضرر بشكل مباشر. شكل /19/

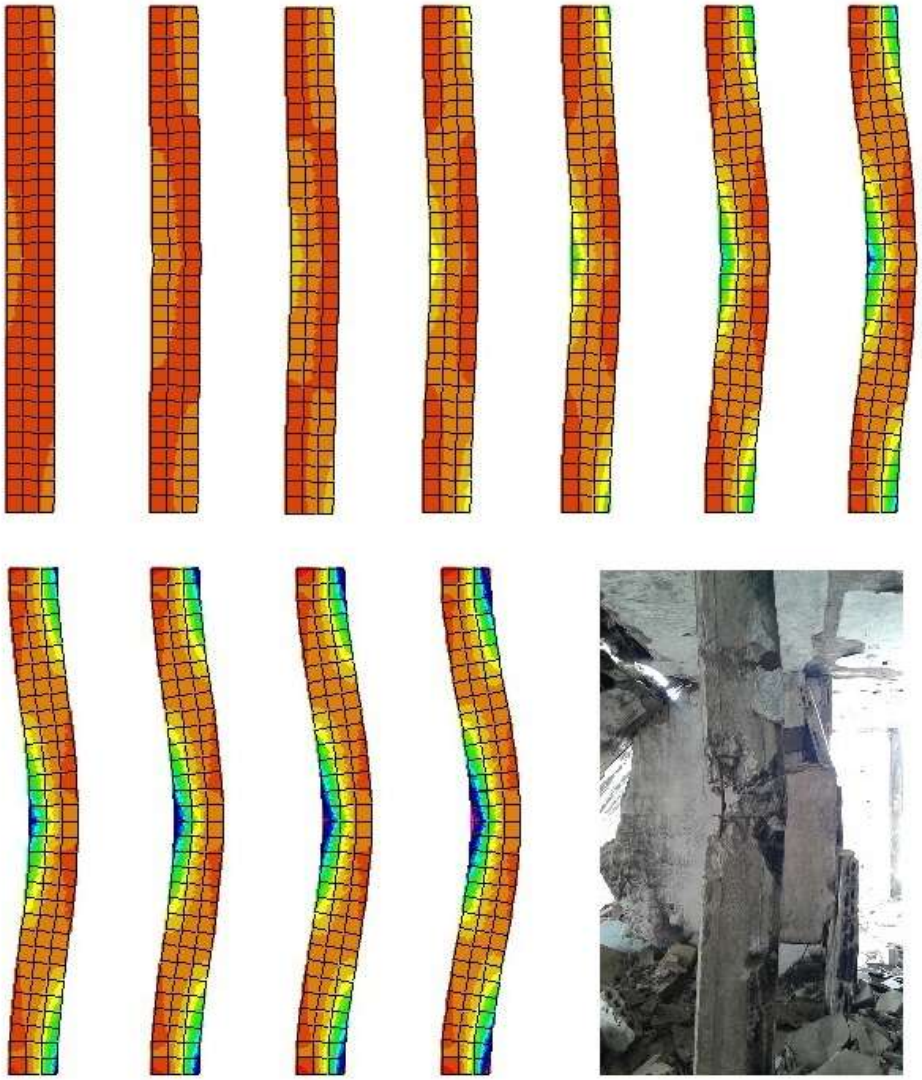
***شكل /19/ :* نقطة تأثير القذيفة المباشرة**

11- حساب وتقدير حمولة الانفجار المطبقة على عناصر المنشآت:

11-1-حمولة ضغط الانفجار على المنشآت:

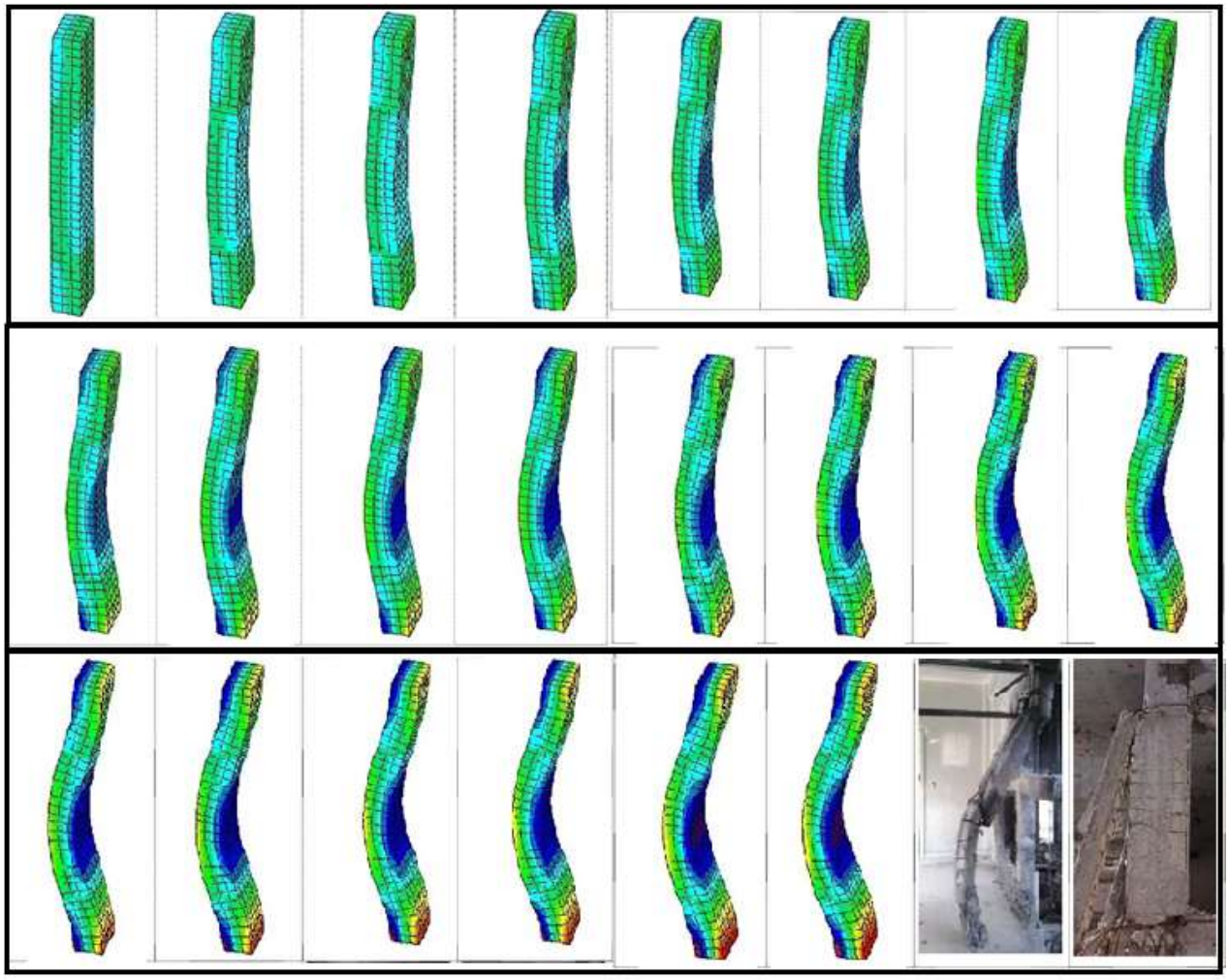
يمكن تقدير حمولة الانفجار المؤثرة على عناصر المنشأة باستخدام التقنيات الحديثة في النمذجة الحاسوبية، وذلك شريطة ألا ينهار العنصر.

يتم نمذجة العنصر الإنشائي بناء على قياسات الواقع، ثم قياس التشوه الحاصل في العنصر وتطبيق هذا التشوه على النموذج الحاسوبي، وبقراءة تشوهات النموذج الحاسوبي لمطابقة الواقع بالإمكان استنتاج القوة المؤثرة التي أدت لحدوث التشوه. شكل /20/.



***شكل /20/ :* المحاكاة الحاسوبية لتشوه العمود في الواقع**

بالإمكان باستخدام هذه الطريقة معرفة تطور الاجهادات ضمن العنصر المعرض لضغط الانفجار أثناء تزايد الضغط الناجم عن موجة الصدمة. شكل /21/



***شكل /21/ :* المحاكاة الحاسوبية لتشوه العمود في الواقع**

11-2-حساب وتقدير كتلة المادة المتفجرة:

يمكن عند معرفة موقع الانفجار القيام بدراسة الآثار الناتجة على أرض الواقع، وباستخدام المحاكاة الحاسوبية بالنمذجة للتشوهات الناتجة في العناصر المتضررة بالإمكان معرفة الضغط المؤثر على العناصر.

بالرجوع بشكل عكسي وبدراسة مسافة العنصر عن موقع الانفجار ومعرفة قيمة الضغط المتولد عن موجة الصدمة يمكن معرفة الكتلة التقريبية للمادة المتفجرة. حيث يتم تقدير كتلة المادة المتفجرة كمكافىء لأمثال مادة ال TNT المتفجرة.

12- استخدام النمذجة الحاسوبية للتنبؤ بالنقاط الخطرة في المنشآت المتضررة بفعل الانفجارات:

تعتبر الخبرة العملية من المسائل الهامة في تقدير درجة أمان المنشأة وتوقع النقاط الخطرة التي تتأثر بالانفجار بشكل غير مباشر، وذلك بسبب إعادة توزيع الأحمال ضمن المنشأة عند تضرر أجزاء معينة منه. فمثلاً يؤدي خروج أحد الأعمدة عن الاستثمار في المنشأة إلى حدوث هبوط في طرف الجائز المستند على هذا العمود حيث يقوم الجائز برفع العمود مما يؤدي لتعرضه لقوة شد، إضافة لتعرض العمود الذي يعلوه إلى قوة شد صافي بسبب عدم وجود مسند أسفله مما يؤدي لحدوث تشققات أفقية ناجمة عن الشد فيه. شكل /22/

***شكل /22/ :* التشققات الناجمة عن الشد بسبب انهيار العمود السفلي**

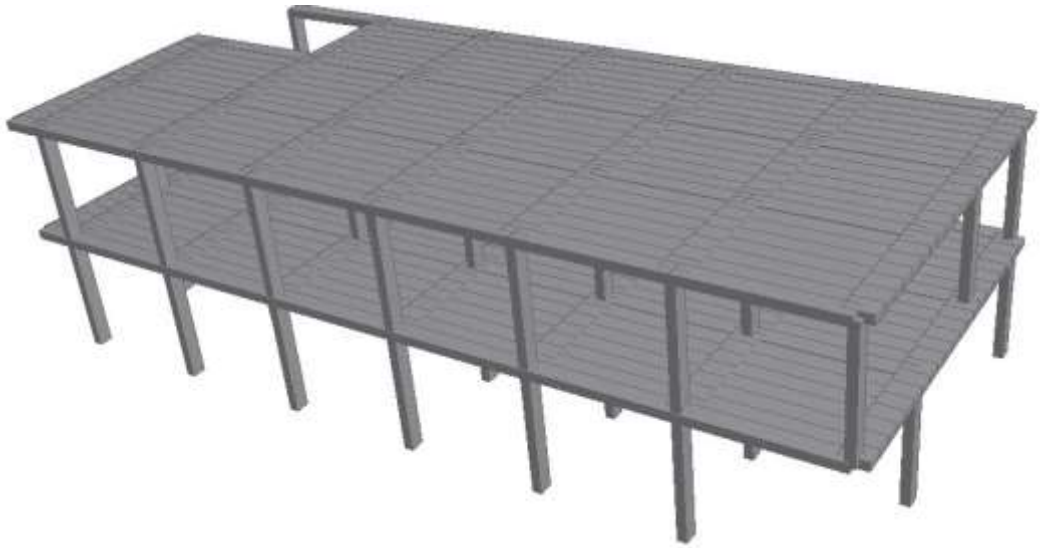
أما في مجال الأضرار الناجمة عن الانفجارات فقد توجب علينا البحث عن طرائق متقدمة لتقدير الضرر العام للمبنى، ولمعرفة أمان المبنى فقد قمنا باعتماد النمذجة الحاسوبية وذلك بتطبيق محاكاة كاملة للمبنى بعد حدوث الضرر، وتطبيق الأحمال الاستثمارية المطبقة عليه.

تعطي هذه الطريقة فكرة واضحة عن السلوك الفراغي الكامل لكافة عناصر المنشأة مما يساعد على التنبؤ بأماكن تركيز الاجهادات المحتملة والتي تظهر بشكل طارئ نتيجة إعادة توزيع الأحمال في العناصر بناء على ظروف المنشأة الجديدة.

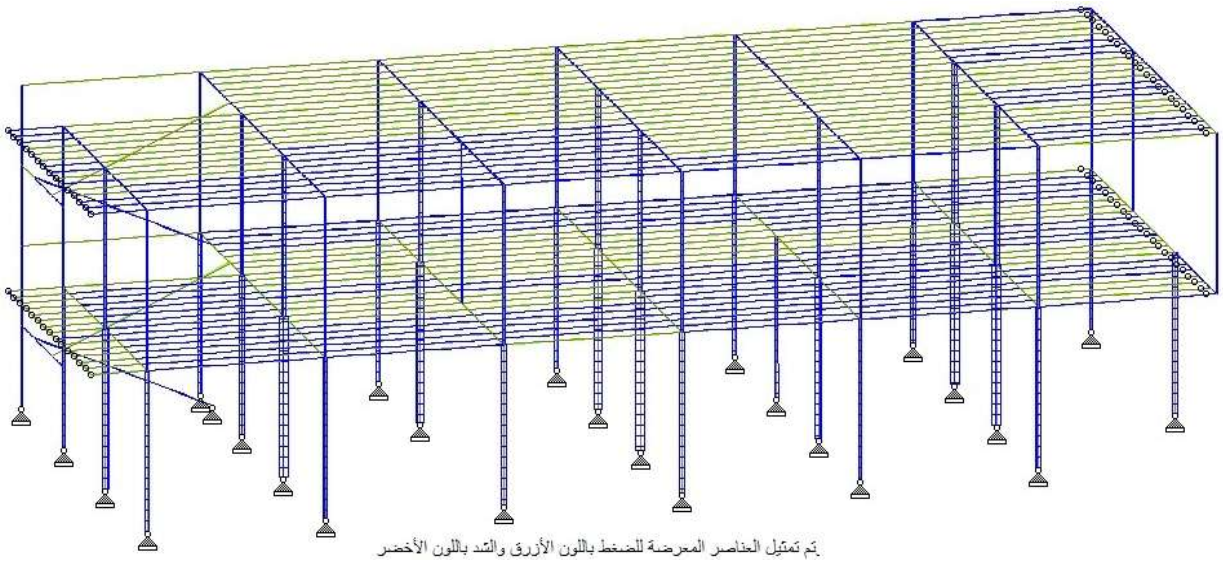
ونبين فيما يلي حالة بناء هيكلي مؤلف من طابقين حيث تعرض هذا المبنى لعدد من القذائف أدت لحدوث مجموعة متنوعة من الأضرار تراوحت بين فتحات في بلاطات الأسقف و خروج أعمدة بشكل كامل عن الاستثمار و تشققات وأضرار موضعية في بعض الأعمدة. شكل /23/

شكل /23/ : الأضرار الحاصلة في المبنى الهيكلي

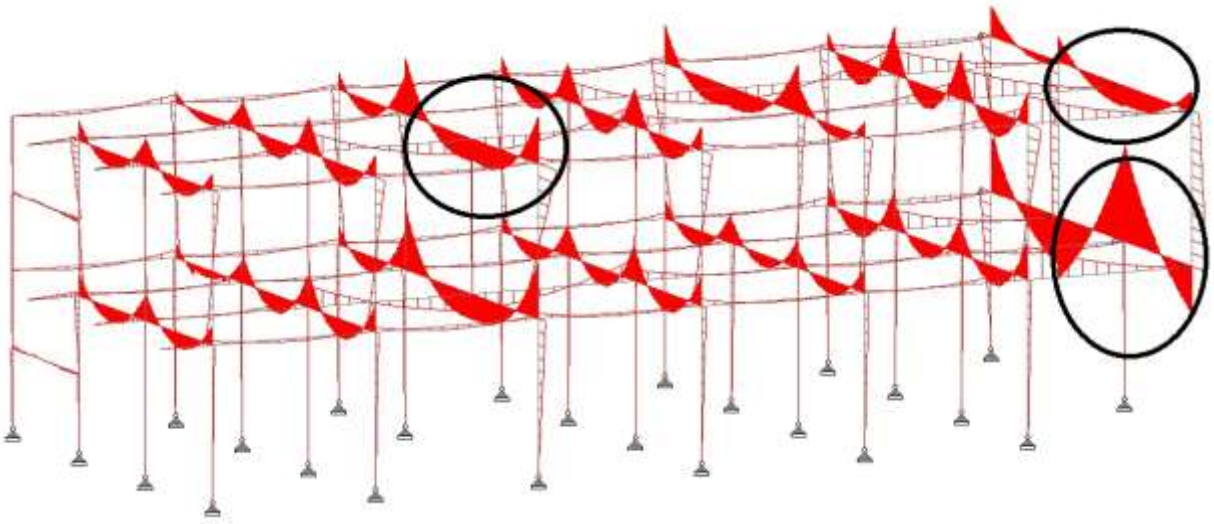
تم إنجاز نموذج حاسوبي للمنشأة باستخدام برنامج التحليل والتصميم الإنشائي STAAD Pro شكل /24/، ثم قمنا بتطبيق الأضرار الحاصلة لمحاكاة الواقع و من ثم تطبيق الأحمال المؤثرة على المبنى (في هذه الحالة الوزن الذاتي فقط)، وتحليل المنشأة لدراسة التشوهات والآثار الناتجة من عزوم انعطاف و قوى قاصة. شكل /25/-/26/.



شكل /24/ : **النموذج الحاسوبي للمبنى**

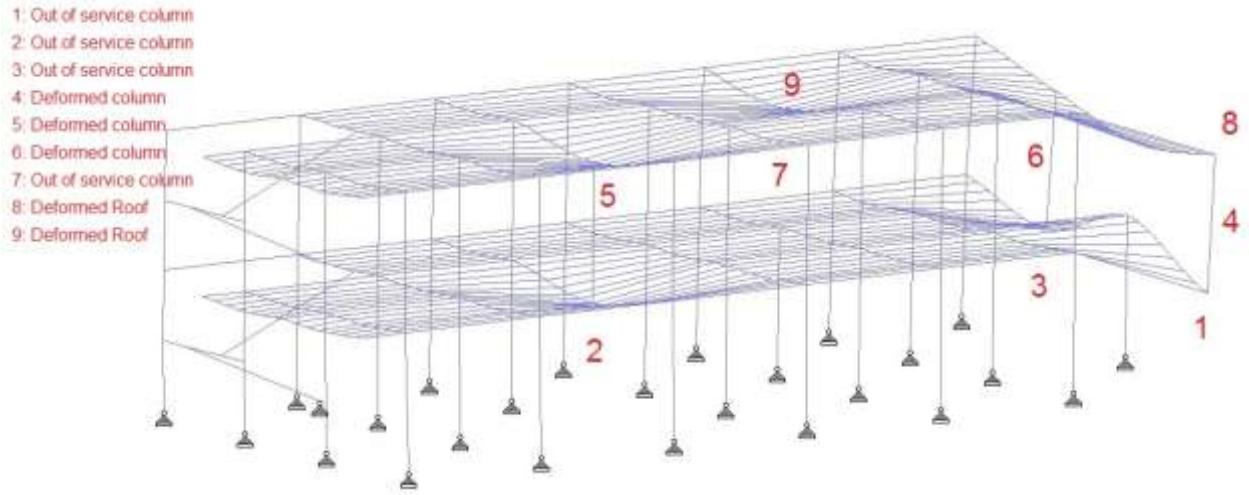


شكل /25/ : **القوى المحورية (ضغط وشد) في العناصر**



شكل /26/ : **مخطط عزم الانعطاف في العناصر المشكلة لهيكل المبنى**

يؤدي تغير ظروف استناد بعض العناصر في المنشأة إلى تغير ملحوظ في سلوك العناصر الحاملة له، حيث تشير الدوائر في الشكل /26/ إلى ظهور عزوم انعطاف في مواضع لم يكن المبنى مصمماً لمقاومتها، بالإضافة إلى ظهور عزم سالب كبير في زاوية المبنى بسبب سلوك هذا الجزء من المبنى كظفر نتيجة لانهيار العمود الذي يستند إليه. شكل /27/



***شكل /27/ :* التشوهات في العناصر المشكلة لهيكل المبنى**

باستخدام النموذج الحاسوبي السابق و التدقيق فيه يمكن إجراء الفحص الكامل للمبنى حاسوبياً وبناء عليه يتم اقتراح الأسلوب الأنسب لعملية تدعيم العناصر في المبنى، حيث يمكن وبكل سهولة تطبيق حلول التدعيم بشكل حاسوبي وتقييم الحل الأنسب لاعتماده وتنفيذه على أرض الواقع.

13- الملخص والنتيجة:

- يعد تقييم أضرار الانفجارات من المسائل الصعبة.
- تستخدم المعطيات للحصول على علاقات مناسبة للمسبب والأثر الناتج عنه، بالإضافة إلى النماذج الرقمية التي تساعد في تحليل سلوك الاستجابة.
- تعد نشاطات التقييم مستهلكة للزمن بشكل كبير لذلك يتوجب السعي لإيجاد طرق تساعد في اختصار الوقت.
- من الضروري جداً العمل على تطوير معدات وآلية التقييم لأضرار الانفجارات بشكل عملي.

الملحق رقم -1-

استمارات معاينة المباني المتضررة [4] و [5] و [6]

1- الاستمارة المختصرة:

الجمهورية العربية السورية					**نقابة المهندسين السوريين – فرع حمص**		
استمارة معاينة مبنى							
المهندس:			**القطاع:**				
موقع المبنى:							
الرقم:	الشارع:		الحي:		المدينة:		
تاريخ الإنشاء:							
معلومات خاصة (إن وجدت):							
وصف المبنى:							
مبنى هيكلي: ☐	جدران حاملة:(أسقف من جوائز فولاذية): ☐						
القبو أعمدة أو جدران: ☐	أسقف خرسانية مسلحة: ☐						
مادة الإنشاء:							
خرسانة مسلحة: ☐	فولاذ: ☐		حجر: ☐				
بلوك اسمنتي: ☐	بلوك قرميدي: ☐		غير ذلك: ☐				
عدد الطوابق الإجمالي:			عدد الطوابق المتضررة:				
مساحة الطابق:							
المباني الملاصقة:							
من ثلاث نواحي: ☐	من ناحيتين: ☐		من ناحية واحدة: ☐		لا يوجد: ☐		
ملاحظات الفحص البصري:							
المبنى ككل:							
هل هناك ميل في المبنى:	في أي اتجاه:		مقداره:				
هل زادت المسافة بينه وبين المبنى الملاصق:			مقدار الزيادة:				
هل المبنى معرض لحريق:			مقدار التأثر بالحريق:				
التشققات في المبنى:							
تشققات أفقية وشاقولية فاصلة بين المباني والأعمدة والجوائز:				مكانها:			
تشققات مائلة في المباني:				مكانها:			
تشققات مائلة عند حواف الأبواب والنوافذ:				مكانها:			
تشققات أفقية عريضة في المباني:				مكانها:			

التشققات في الأعمدة:							
مكان التشققات:			شكلها:				
التشققات في الجوائز:							
مكان التشققات:			شكلها:				
تصنيف المباني والمنشآت القائمة ضمن فئات حسب الخطورة الهندسية							
☐ **الفئة (0):**	**سليمة، لايوجد اي مظاهر خطورة فيها،** الوثائق الهندسية (مذكرات حسابية، مخططات، تقارير تربة،..) كاملة وسليمة.						
☐ **الفئة (1):**	سليمة مع وجود بعض المؤشرات البسيطة، توجد بعض الشقوق الشعرية في العناصر الإنشائية، الوثائق الهندسية كاملة وسليمة.						
☐ **الفئة (2):**	**سليمة بتحفظ،** وهي ممائلة للحالتين السابقتين ولكن لاتوجد وثائق هندسية كاملة أو يوجد تحفظ على هذه الوثائق.						
☐ **الفئة (3):**	**خطرة خطورة بسيطة،** توجد مؤشرات متعددة في العناصر غير الإنشائية وبعض المؤشرات في العناصر الإنشائية الأساسية.						
☐ **الفئة (4):**	**خطرة بحاجة إلى معالجة سريعة،** توجد مؤشرات متعددة في العناصر الإنشائية.						
☐ **الفئة (5):**	**خطرة وبحاجة إلى معالجة إسعافية،** توجد مؤشرات على بداية حدوث انهيار وشيك.						
القرار:							
.....							
المهندس:			**التاريخ:**				

2- الإستمارة التفصيلية:

استمارة معاينة مبنى

1- موقع المبنى:

رقم: ..... شارع: ..... حي: ..... مدينة: .....

تاريخ الإنشاء: .....

معلومات خاصة ((إن وجدت)): .....

2- وصف المبنى:

مبنى هيكلي ☐ جدران حاملة: أسقف من جوائز فولاذية ☐

هل القبو أعمدة أو جدران ..... أسقف خرسانية مسلحة ☐

مادة الإنشاء:

خرسانة مسلحة ☐ فولاذ ☐ حجر ☐ بلوك اسمنتي ☐

بلوك قرميدي ☐ أخرى ☐

عدد الطوابق: ....

مساحة الطابق: .....

المباني الملاصقة: .....

من ثلاث نواحي ☐ من ناحيتين ☐ من ناحية واحدة ☐

لا توجد مباني ملاصقة ☐

3- وصف الدرج:

موقع الدرج: في منتصف المبنى☐ في أحد جانبي☐ أخرى :.....

مادة الإنشاء:

أ) خرسانة مسلحة: الدرج داخل نواة خرسانية ☐ لا توجد نواة خرسانية ☐

ب) درج حجري: ☐ بنظام الحجر المصنع أخرى: .....

ت) الدرج خرسانة عادية فوقها موازييك:

الدرج بنظام الحجر المصنع ☐ الدرجات مرتكزة على جوائز ☐

4- ملاحظات الفحص البصري في المباني الهيكلية:

الطابق الأرضي والطوابق المتكررة:

<u>الأرضيات</u>: ((هل يوجد هبوط في الأرضية: ..... أين: .....))

((هل يوجد انتفاخ وتقوس بالأرضية: .....أين: .....))

الأعمدة: تشققات رأسية قرب الطرف: ..... مكانها: .....

تشققات شاقولية في وسط العمود: ..... مكانها: .....

تشققات أفقية عند اتصال العمود بالجائز: ..... مكانها: .....

تشققات أفقية أخرى في عرض العمود: ..... ارتفاعها: ..... مكانها: .....

تشققات مائلة ((قص)) في أعلى العمود: ..... مكانها: .....

الجوائز: تشققات أفقية في وسط الجائز أو عند الركن: ..... مكانها: .....

تشققات مائلة في جانب الجائز: ..... ارتفاعها: ..... مكانها: .....

تشققات مائلة قرب العمود:

هذا الميل موازي للقضبان المكسحة: ..... هذا الميل عمودي عليها: ..... مكانها: .....

تشققات شاقولية قرب المنتصف ((عرض الشق أكبر عند وسط الجائز)): .....

تشققات شاقولية رفيعة ملتفة حول الجائز ومتكررة: ..... مكانها: .....

الأسقف: تشققات متوازية ومتعامدة: ..... هل توجد بقع صدأ: .....

شق طولي واحد: ..... مكانه: .....

بشكل خطوط كسر البلاطة: .....

سهم ملحوظ: ..... مكانه: .....

المباني : تشققات أفقية وشاقولية فاصلة بين المباني وبين الأعمدة والجوائز: ..... مكانها: .....

تشققات مائلة في المباني: ..... مكانها:.....

تشققات مائلة في المباني عند حواف الأبواب والشبابيك: ..... مكانها: .....

شققات أفقية عريضة في المباني: ..... مكانها: .....

السـطح

التصوينة : تشققات شاقولية فقط تشققات شاقولية وأفقية ☐

التصوينة مستقرة عند دفعها للخارج التصوينة غير مستقرة ☐

الأعمدة: تشققات قص ((أفقية)) في الأعمدة الحاملة لبلاطة غرفة محركات المصاعد أو بلاطة الخزانات ((عند اتصال العمود بالبلاطة)): .....

ميل في الأعمدة: .....

ميل في بلاطة غرفة المحركات أو بلاطة الخزانات: .....

هل المصاعد تحتك بالقضبان عند حركتها: .....

العزل: هل خرسانة السطح معزولة ضد الرطوبة: .....

المبنى ككل :

هل هناك ميل في المبنى: ..... في أي اتجاه: ..... مقداره: .....

هل المسافة بينه وبين الجار الملاصق زادت: ..... مقدار الزيادة: .....

5- ملاحظات الفحص البصري لمباني الجدران الحاملة:

الطابق الأرضي :

الأرضيات: هل يوجد هبوط في الأرضية: ..... أين: .....
هل يوجد انتفاخ و تقوس في الأرضية: .....أين: .....

الجدران: تشققات شاقولية في الجدران: ..... عرضها: ..... مكانها: .....
تشققات أفقية في الجدران: ..... عرضها: ..... مكانها: .....
تشققات مائلة في الجدران: ..... عرضها: ..... مكانها: .....
تقوس في الجدار: ..... مكانها: .....
تآكل في الحجارة وضعف شديد في المونة: .....

الأسقف : تشققات طولية في الأسقف: .....
سقوط الدهان وتآكل في أعصاب السقف: .....
سهم ملحوظ: .....

الطوابق المتكررة

الأرضيات: حركة واهتزاز في الأرضيات عند القفز عليها: ..... مكانها: .....
انفصال الأرضية عن أحد الجدران: ..... مكانها: .....
هبوط أو ميل للخارج في أرضية الأبراج الظفرية: .....

الجدران : التشققات السابقة نفسها التي في جدران الطابق الأرضي ويضاف عليها:
تشققات تفصل بين الجدران المتعامدة في الأطراف: .....
تشققات شاقولية في تصوينة البلكونة: ..... عرضها: ..... مكانها: .....
هل هناك حركة خارج المستوي في الجدران المتصدعة: ..... مكانها: .....

الأسقف: الأسقف الخرسانية تتبع أنواع تشققات أسقف المباني الهيكلية ذاتها، أما الأسقف من جوائز الفولاذ فتتبع تصدعات الطابق الأرضي ذاتها.

الأدراج:

تشققات أفقية بين درجات الدرج: ..... مكانها: .....
تشققات أو كسر في بطنية أحجار الدرج أو الميدة: ..... مكانها: .....
تشققات أفقية عند التقاء الدرج بالجدار: ..... مكانها: .....
تشققات شاقولية في جدار الدرج: ..... مكانها: .....
هبوط ملحوظ في الدرج: ..... مكانها: .....

السـطح :

التصوينة : تشققات شاقولية فقط ☐ تشققات رأسية و أفقية ☐

هل التصوينة مستقرة ☐

العزل: هل هناك عزل لسقف آخر طابق: .....

المبنى من الخارج:

هل هناك ميل في المبنى ((لاحظ المباني الملاصقة)): ..... في أي اتجاه: .....

هل المسافة بين المبنى والمباني المجاورة زادت: ..... مقدار الزيادة: .....

هل هناك تشققات شاقولية في الجدران الخارجية:

بارتفاع المبنى كله: ..... بارتفاع عدة طوابق: .....

هل هناك ميل في الأبراج الظفرية أو البلكونات: ..... مكانه: .....

هل التشققات في الجدران الخارجية متكررة بالنمط ذاته في الطوابق: .....

إن كانت الإجابة بـ ((لا)) فيرسم شكل الشقوق (الشروخ) في الجدران الخلفية .

14- المراجع:

[1]. Prof. Ted Krauthammer. The Pennsylvania State University - **(EXPLOSION DAMAGE ASSESSMENT) .** /First Structural Forensic Engineering Seminar on University of Toronto 11-12 January 1999/.

[2]. T. Ngo، P. Mendis، A. Gupta & J. Ramsay، *The University of Melbourne، Australia (***Blast Loading and Blast Effects on Structures – An Overview**)

[3]. Joseph E Shepherd- California Institute of Technology، Pasadena، CA USA 91125 (**Explosion Effects**)

[4]. د.م. أحمد سليمان الحسن–نقابة المهندسين – دمشق."الكشف على المباني والمنشآت القائمة ومراقبتها وتعيين أسباب التصدعات والأضرار فيها".

[5]. د.م .أحمد سليمان الحسن – نقابة المهندسين – دمشق. "معايير تقييم المباني والمنشآت القائمة المتضررة لتقرير إعادة تأهيلها أو إعادة إعمارها".

[6]. نقابة المهندسين في الجمهورية العربية السورية – "الدليل الإرشادي للكشف والمراقبة على المباني والمنشآت الهندسية لضمان سلامتها الإنشائية." – دمشق – 2012