ورقة بحثية مجلة مفتوحة الوصول

أساسيات التصميم المقاوم للزلازل، استجابة مباني محافظة اللاذقية لزلزال 6 شباط 2023

Fundamentals of earthquake resistant design The response of the buildings of Lattakia Governorate to the earthquake of February 6, 2023

الدكتور المهندس بسام حويجة*

*محاضر في قسم الهندسة المدنية ، جامعة المنارة ، البريدالإلكتروني: (Bassam.Hwaije@manara.edu.sy)

الملخص

إن التصميم الإنشائي للأبنية الواقعة في مناطق زلزالية، معني بالدرجة الأولى بتأمين السلامة الإنشائية أثناء حدوث الزلازل الهامة، ولكنه أيضاً يعالج مسألة قابلية الاستثمار وزيادة أداء هذه الأبنية وخاصة التي لها أهمية خاصة، إضافة للحد قدر الإمكان من الخسائر الاقتصادية. وفي كل الأحوال، يجب ألا يحصل أي خسارة أو ضياع لقدرة تحمل المنشآت للحمولات الشاقولية (قوى الجاذبية) عندما تقاوم الزلازل.

عند دراسة المباني لمقاومة الحمولات الديناميكية من زلازل ورياح، تولد مسألة هندسية ثالثة تتمثل بفعل الاهتزازات، إضافة لمعالجة مسألتي القص والانعطاف، فإذا انزاح المبنى كثيراً يكون ذلك على حساب راحة الشاغل، إضافة لما ينجم عن انهيار العناصر غير الإنشائية من خسائر بشرية وأضرار مادية.

يرتبط الضرر الإنشائي الناجم عن الزلازل بعوامل مختلفة منها، تسارع حركة التربة، مدة أو فترة الحركة، المحتوى الترددي (Frequency content)، ظروف وطبيعة تربة الموقع (تشكل ظاهرة الإسالة Liquefaction عند مرور الأمواج عبر الترب الحبيبية الناعمة والمغمورة – زيادة سعة الحركات الأرضية في طبقات الغضار الناعم بمقدار أكبر من حالة الترب الحبيبية) ودورها الطبيعي، المسافة بين بؤرة الزلزال والمنشأة، التشكلات الجيولوجية وتداخلاتها، والدور الطبيعي للمنشأة وتخامدها (نوع الجملة الانشائية)، فضلاً على إمكانية تشكل ظاهرة "الطنين – Resonance" التي ينجم عنها تضخم في الاستجابة (دمار كبير في المباني لحالة زلزال مدينة مكسيكو عام 1985م، بالرغم من صغر التسارعات وبعد بؤرة الزلزال عن المدينة 365 كلم).

في هذه المقالة سيتم عرض ومناقشة وتقييم استجابة مجموعة من المنشآت على المستوى العالمي (التي خضعت لزلازل مهمة)، وكذلك استجابة المباني على امتداد جغرافية اللاذقية لزلزال 6 شباط 2023م، وبيان أسباب الأضرار الحاصلة (انهيار كامل أو تضررات جزئية)، بهدف الوصول إلى جملة من النتائج والتوصيات التي ستساهم في تحسين أداء المباني والمنشآت لمقاومة الزلازل القادمة.

كلمات مفتاحية: الزلازل، الجمل الإنشائية، السلوك الديناميكي للتربة والمنشآت، الضرر الإنشائي.

I. مقدمة وآراء عامة

إنّ تصميم المنشآت هو نشاط عقلي إبداعي ينتج عنه منشآت تحقق الأمان المطلوب، وتكون قابلة للاستثمار، وتحقق متطلبات أخرى خلال عمرها الخدمي، ويمكن بناؤها بشروط اقتصادية. إن النشاط الإبداعي هو ببساطة النشاط الذي ينتج عنه شيء لم يكن موجوداً من قبل، وهذا الشيء يجب أن يحقق عدداً من المتطلبات الوظيفية التي تحسن من حياة البشر. وأفضل طريقة توضح النشاط العقلي هي وضعه بجانب النشاط التجريبي الذي يستفيد من التجربة والأخطاء [1،2]

في الواقع، إن المنطق يقتضي استخدام مبادئ الميكانيك للتنبؤ بسلوك العنصر الإنشائي المصمم تحت تأثير الحمولات وغيرها من التأثيرات الخارجية بهدف جعل العنصر يحقق الغاية المطلوبة منه. وبهذا المعنى اتبع المهندسون الرومانيون القدماء على الأغلب التصميم التجريبي، وبالرغم من أنهم أشادوا منشآت مدهشة استمر بعضها في أداء وظيفته حتى يومنا هذا فإن علم الميكانيك لم يكن معروفاً لديهم، وبالتالي لم يكن بإمكانهم التنبؤ أو الحساب المسبق لسلوك منشآتهم تحت تأثير الحمولات وإنما كان عليهم الاعتماد على الخبرة في معرفة ما هو جيد. للحصول على منشأة مقاومة للأفعال الخارجية سواء كانت عادية أم استثنائية، يتوجب الاهتمام بشكل كبير بتطبيق كافة الشروط العلمية على كل مرحلة من مراحل البناء منذ اللحظة الأولى في المرحلة التخطيطية، مروراً بالدراسة الجيوتكنيكية لتربة التأسيس، وصولاً إلى المرحلة المعمارية ومن ثم المرحلة الإنشائية (ابتداءً من اختيار مواد البناء إلى تحديد الهيكل الحامل للمنشأة حتى مرحلة التنفيذ)، وبعدها مرحلة الاستثمار من خلال تقديم الصيانة المناسبة للعناصر الإنشائية أو غير الإنشائية، وتوعية المستثمرين بعدم تغيير معالمه الإنشائية.

يتوجب على المهندس المصمم تحقيق شروط الأمان للمنشآت، مع مراعاة كافة النواحي الإنشائية والجمالية والاقتصادية لتلك المنشآت، وبالتالي يجب عليه تحديد كافة القوى والأفعال الخارجية التي يتوقع أن تطبق على المنشأة المدروسة ضماناً لمتانتها واستقرارها وتحديد طرائق وأساليب مقاومة تلك الحمولات عن طريق جملة إنشائية ما (الهيكل الحامل) مكونة من مادة ما، مع الإشارة إلى القاعدة الأمريكية العامة التي تقول: إن أحداً لا يستطيع أن يتنبأ بشكل دقيق بكون مادة ما مناسبة أكثر لمشروع محدد حيث إن كل حالة يجب أن تقوّم وفقاً لخصائصها [1،2]

إن منشآت الهندسة المدنية، وفقاً لطبيعتها ونوعها وهيكلها الحامل وموقعها والطبيعة الجيولوجية المحيطة بها، تتعرض بشكل عام إلى عدة أنواع من الحمولات منها حمولات شاقولية مصدرها الحمولات الدائمة الناجمة عن الوزن الذاتي (الميتة) بالإضافة إلى الحمولات المتولدة عن استثمارها (الإضافية) والتي يمكن أن يكون لها طابع استاتيكي أو ديناميكي، فضلاً على الحمولات الخارجية الأفقية، غالباً ذات طابع ديناميكي، الناتجة عن الرياح أو الزلازل أو الضغوط الناجمة عن الانفجارات أو الصدم، أو القوى الناجمة عن التيارات المائية والأمواج، والضغوط الناجمة عن حجز التربة أو تخزين السوائل والمواد، وعلاوة على تلك الحمولات، فهناك تأثير التغيرات الحرارية وكذلك الأفعال الناجمة عن فروق الهبوطات في تربة التأسيس. في الواقع، يجب أن تدرس هذه الحمولات بدقة عند التصميم وفقاً لأهمية تلك المنشآت من جهة، ولما تسببه من جهود وقوى داخلية في عناصر هذه المنشآت من جهة أخرى.

قبل أن نبدأ بفهم فلسفة التصميم المقاوم للزلازل، ارتأينا أن نعرض أهم الاعتبارات العامة المحققة لشرط الأمان أو السلامة الإنشائية لمبنى أو منشأة ما خاضعة لحمولات استثمارية عادية:

- قدرة الهيكل أو الجملة الانشائية على تحمل كافة الأحمال المطبقة.
- تأمين مسار أحمال آمن بحيث يتم نقل الحمولات الشاقولية إلى التربة عن طريق أساسات وقواعد ثابتة وسليمة.
- الديمومة وعدم حدوث هبوطات أو انتقالات تسبب عيوب وتشققات (نطاق الاستثمار).

وعند تعرض المنشأة لأفعال وحمولات استثنائية كالرياح والزلازل فإنه يجب تحقيق جملة من المتطلبات الأساسية الإضافية لما

ورد أعلاه (اشتراطات واحتياطات) بهدف تحقيق السلامة الإنشائية.

المقاومة: قدرة المادة والعنصر على تحمل الجهود دون انهيارها.

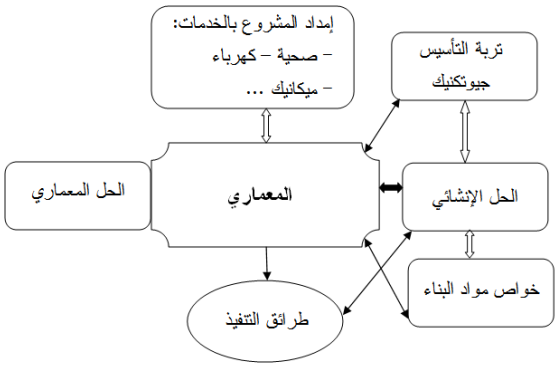
المطاوعة: امتصاص ونشر الطاقة مع الحفاظ على الصلابة والمقاومة (تشكل مفاصل لدنة).

الصلابة: خاصية البناء للحد من الانتقالات الأفقية الطابقية، لتأمين سلامة القواطع والاكساءات والعناصر غير الإنشائية.

ويتحقق ذلك بتأمين مايلي:

- وجود نظام إنشائي ملائم لمقاومة الأحمال الرأسية المطبقة على المنشأة طيلة عمرها الافتراضي (التصميمي).
- وجود نظام إنشائي ملائم لمقاومة الأحمال الجانبية الناجمة عن الزلازل أو الرياح التي يحتمل أن تتعرض لها طيلة عمرها الافتراضي.
- تنفيذ العناصر غير الإنشائية بصورة مناسبة، وتأمين الربط المناسب لها مع الهيكل الحامل.
- تأمين التنفيذ السليم لجميع العناصر الإنشائية وغير الإنشائية، والتأكد جودة المواد كافة.
- تأمين الترابط العام بين هذه العناصر بصورة تضمن كفاءة إضافية للنظام الإنشائي تتعلق بمقاومته ومطاوعته.

يوضح المخطط النهجي التالي (الشكل 1)، العلاقة المتبادلة بين المهندس المعماري وبقية الاختصاصات.



الشكل 1. العلاقة المتبادلة بين المعماري وبقية الاختصاصات

بهدف تخفيف الخطر الزلزالي، أكدت كافة الدراسات والتجارب والدروس المستفادة على ضرورة مشاركة المهندس الإنشائي للمصمم المعماري عند دراسة مشروع ما (مبنى أو منشأة واقعة في منطقة زلزالية) بتحديد شكل الجمل الإنشائية المناسبة لمقاومة الأفعال الشاقولية والأفقية (أعمدة، جدران، المواد المستخدمة، ارتفاعات الطوابق والتراجعات..)، ليتم تثبيت مواقع القواطع والعناصر غير الإنشائية وأشكال الواجهات وموادها، وكذلك مواقع بيوت الدرج والمصاعد.

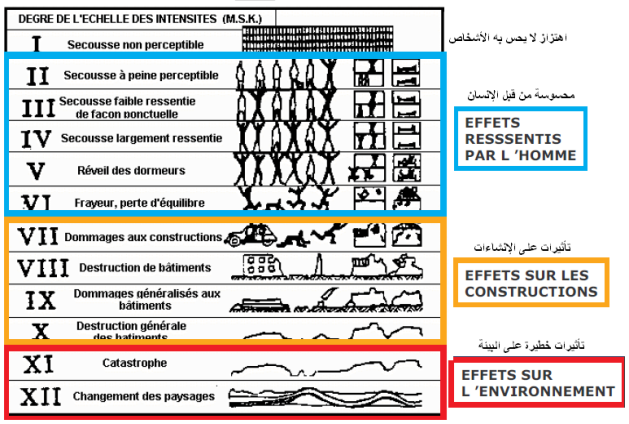
II. آراء في فلسفة التصميم الزلزالي

ينشأ الزلزال عندما يحصل انكسار وانفلاق مفاجئ لكتل وأحجام هائلة في الطبقات الصخرية الأرضية نتيجة عدم قدرتها لتحمل القوى التكتونية المسلطة عليها داخل الغلاف الصخري حيث تتحرر إثر ذلك طاقة حركية ضخمة جداً تنطلق معظمها على شكل اهتزازات تنتقل بسرعات مختلفة في باطن الأرض وعلى سطحها مسببة بذلك الكوارث والدمار للبيئة والإنسان، ونسمي الهزة الأساسية الموافقة للزلزال بالصدمة الرئيسية. وفي بعض الأحيان يسبق الصدمة الرئيسة مجموعة من الاهتزازات الصغيرة تعرف باسم الصدمات السابقة، وفي جميع الأحوال يتبع الصدمة الرئيسة مجموعة كبيرة من الاهتزازات الصغيرة والمتوسطة الحجم والتي تسمى بالصدمات اللاحقة (الهزات الارتدادية) [5,6,7,8].

ونظراً لتعدد العوامل المتعلقة بالزلزال: الشدة وزمن الحدوث وفترة الاهتزاز وأقصى طاقة متحررة. الخ، يعتبر قياس زلزال ما أو تقييمه بمقياس وحيد أو بطريقة دقيقة تعبر عن كمية الطاقة المتحررة من خلاله أمراً على درجة من الصعوبة. لذلك اقترحت عدة مقاييس لتقييم الزلزال وتحديد مدى التدمير الناتج عنها، ويستخدم حالياً وبشكل واسع اصطلاحان لقياس الزلزال هما اصطلاح الشدة (Intensity)، واصطلاح المقدار أو القوة (Magnitude)، وفي حالات أخرى يستخدم اصطلاح العزم الزلزالي (Seismic Moment).

يعتبر مقياس الشدة (Intensity scale) مقياساً وصفياً حيث إن شدة الزلزال تتحدد بدرجة الاهتزاز المرتبطة به، وبالتالي بالأضرار الميدانية والإنشائية الحاصلة، ويتم التحري عن ذلك من المعاينات الميدانية للأضرار البيئية والإنشائية الناتجة من خلال مشاهدات الأشخاص في المنطقة، حيث يتم رسم الخرائط

التي تبين مدى الأضـــرار التي لحقت بالمنطقة، ويســـتخدم لهذا الغرض مقيـــاس أطلق عليـــه مقيـــاس ميركـــالي المعـــدل (Modified Mercali Intensity Scale) حيث يتدرج من I (الشدة البسيطة) إلى XII (الشدة المدمرة) ، للدلالة على مدى الأضـرار المتعلقة بالزلزال (يرمز للشـدات بأرقام رومانية). وهناك مقاييس أخرى للشـــدة الزلزالية، مشـــابهة لمقياس ميركالي المعدل نذكر منها (R–F, MSK & JMA)، ويبين الشـــكل 2 مقياس (MSK).



الشكل 2. مقياس الشدة الزلزالي (M.S.K)

ويمكن تحديد قيمة التســـارع اللأرضـــي الأعظمي (PGA=a) بدلالة الشدة الاسمية (ميركالي المعدل MMI)، بشكل تقريبي من العلاقة التالية (الجدول 1):

$$\log_{10} a(cm/s^2) = \frac{MMI}{3} - \frac{1}{2}$$

$$MMI = III = 3 \Rightarrow a = 3.2\,cm/s^2$$

$$MMI = V = 5 \Rightarrow a = 14.7\,cm/s^2$$

$$MMI = 9 \Rightarrow a = 316.2\,cm/s^2$$

أما مقياس المقدار أو القوة الزلزالية (Magnitude Scale)

مقارنة مقياس ميركالي المعدل بمقاييس أخرى للشدة الزلزالية

a, cm/s^2	MMI, Modified Mercalli	R–F, Rossi–Forel	MSK, Medvedev–Sponheuer–Karnik	JMA, Japan Meteorological Agency
0.7	I	I	I	0
1.5	II	I–II	II	I
3	III	III	III	II
7	IV	IV–V	IV	II–III
15	V	V–VI	V	III
32	VI	VI–VII	VI	IV
68	VII	VIII–	VII	IV–V
147	VIII	VIII+ to IX–	VIII	V
316	IX	IX+	IX	V–VI
681	X	X	X	VI
(1468)*	XI	—	XI	VII
(3162)*	XII	—	XII	

*a values provided for reference only. MMI > X are due more to geologic effects.

قيم مرجعية، حيث يكون المسارع مرتبط بالتأثيرات الجيولوجية عندما MMI > X

الجدول 1. مقارنة مقياس ميركالي المعدل بمقاييس أخرى للشدة الزلزالية

والمعروف بمقياس ريختر، فهو يقيس سعة أقصى موجة زلزالية موافقة للزلزال، إنه قياس فيزيائي اعتمده الباحث ريختر للمقارنة بين الطاقات المتحررة عن زلازل حدثت في ولاية كاليفورنيا حيث يعتمد هذا المقياس على قياس أكبر سعة لموجة زلزالية مسجلة في السجل الزلزالي لأي زلزال وذلك على مسافة محددة من مركز الزلزال السطحي (Epicenter). ويعرف مقدار الزلزال (M) وفق هذا المقياس (مقياس ريختر) بأنه اللوغاريتم العشري لأقصى سعة اهتزازية مسجلة عن الزلازل يقع على بعد 100km حيث يتم قياس سعة الاهتزاز بالميكرون، وبالرغم من استخدام هذا النظام بشكل شبه عالمي لتعيين درجة الزلزال إلا أنه لا يخلو من نواقص منها: أننا نستطيع تعيين أقصى سعة لأمواج الضغط (p–wave) أو أمواج القص (S–Wave) والأمواج السطحية (Surface Waves) التي تتولد عن زلزال ما مما يجعل تعيين المقدار عملية معقدة يمكن أن ينتج عنها أكثر من تقدير لنفس الحدث. فضلاً عن ذلك، أن معظم معادلات المقدار لا تأخذ فترة الزلزال بعين الاعتبار وبالتالي فإن ميكانيكية وديناميكية التفلق وتحرر الطاقة الزلزالية يبقى غير محتسب.

نتيجة لدراسة عدد كبير من الزلازل توصل ريختر، سنة 1958م، إلى علاقة وصـــفية بين درجة الزلزال والطاقة الناتجة عنه كما يلي: $\log_{10} E = 11.4 + 1.5M$ ، حيث إن وحدة قياس الطاقة الناتجة هي الجول (ergs) ودرجة الزلزال وفق ريختر، ونلاحظ من العلاقة هذه الزيادة بمقدار 1 في درجة الزلازل يقابلها زيادة بمقدار 32 ضـــعف في الطاقة. وقد بلغت أعلى درجة ســـجلت

للزلازل حسب مقياس ريختر بين (8.6) و (8.8). ولا يمكن عملياً أن تتجاوز درجة الزلزال وفق مقياس ريختر الدرجة 9 بسبب استحالة تحمل الصخور لطاقة تتجاوز هذا المقدار، (يرمز للدرجة في هذا السلم بأرقام عربية). وفي عام 1966، قام باث بتعديل معادلة ريختر لتصبح: $\log_{10} E = 12.24 + 1.44M$ ، وكذلك تم تعديلها من قبل توشير (سنة 1958)، وبونيلا (سنة 1967) وهوسير (سنة 1969)، لتصبح: $\log_{10} L = 1.02M - 5.77$ حيث L: طول الفالق المتصدع بالكيلومتر.

تنخفض كمية الطاقة لموجة زلزالية عندما تنتشر في الصخر، وهذا ما يدعى بالتهوين (Attenuation) (جيومتري وداخلي). تتأثر ظاهرة التهوين بالعوامل التالية: خط مسار الموجة، طول المسار، طبيعة التشكلات الجيولوجية المقطوعة، عمق المركز الجوفي للزلزال (البؤرة)، وموقع مركز الزلزال السطحي.

عندما يراد دراسة طبيعة الحركات الأرضية القريبة من السطح، يجب فهم العوامل التالية: فترة الزلزال، الدور المسيطر للتسارع، والسعة الأعظمية للحركة. وغالباً ما تكون فترة الزلزال مساوية للزمن اللازم لوصول الفالق إلى التصدع. تحدد سرعة انتشار الفالق تقريباً $3.2 km/\sec$، بالتالي يمكن تحديد قيمة فترة الزلزال بعد معرفة طول الفالق، بالعلاقة التالية: $t = \frac{L(km)}{3.2} (\sec)$. إن دور الزلزال يشير إلى الدور المسيطر للموجة الزلزالية، الذي يتم تحديده من تحليل فوريه لأمواجه. بالتالي، عند دراسة استجابة منشأة ما على الزلازل يجب معرفة ثلاثة أدوار: الدور الطبيعي أو الأساسي لتربة التأسيس، الدور الطبيعي للمنشأة المدروسة، وأخيراً دور الزلزال. ويحدد الدور الطبيعي للتربة من المعطيات الجيوتكنيكية، وأما للمنشأة فيتم تحديده من خلال تحليلها.

كما ذكرنا أعلاه فإن مقياس ميركالي يعتمد على توصيف شدة الأضرار الناتجة عن الزلزال، بينما يعتمد نظام ريختر على قياس سعة أقصى موجة زلزالية موافقة للزلزال، بالتالي ليس هنالك أية أسس منطقية لربط هذين المقياسين معاً وبشكل علمي. ونشير هنا إلى وجود محاولات ودراسات كثيرة حول هذا الموضوع، التي اعتمدت على مقارنة زلازل فعلية في مناطق محددة، إلا أن هذه المحاولات تعطي فروقاً كبيرة إذا ما طبقت في مناطق مختلفة مما يجعل الاعتماد عليها غير مستند إلى أي أساس علمي مقبول.

يهدف مفهوم الحماية الزلزالية إلى الحفاظ على الحياة البشرية، بالتالي حماية الهيكل الحامل للبناء أولاً، وتأتي سلامة العناصر غير الإنشائية بالدرجة الثانية. وعند حصول زلزال قدره عالياً نسبياً فإنه يمكن أن يسلم هيكل البناء دون حصول أضرار تذكر، بينما نلاحظ انهيار شبه كامل للعناصر غير الإنشائية. وانطلاقاً من أن هذه العناصر غالية جداً، وبانهيارها أيضاً يتم إيقاف مؤقت لاستثمار البناء الذي بدوره يسبب خسائر مادية وحيوية وخاصة للمؤسسات الحيوية سواء أكانت خدمية أم إنتاجية فإنه أمر جوهري الاهتمام بهذه العناصر.

يوجد جملة من المفاهيم والقواعد التي تعمل على تخفيف الخطر الزلزالي، من خلال توضيح مفهوم فلسفة التصميم المقاوم للزلازل، المعتمدة في المراجع والكودات العالمية، ومنها الكود السوري، وذلك من أجل تحقيق ما يلي:

- منع انهيار الأبنية أثناء وقوع الزلزال للحفاظ على سلامة المستثمر.
- الحد من الأضرار لضمان استمرارية العمل أثناء وبعد الزلزال.

بالرغم من التطور السريع والفهم الجيد للسلوك الإنشائي للمنشآت المعرضة لأفعال زلزالية، فإنه يوجد فوارق كبيرة في معظم البلدان بين نظريات الهندسة الزلزالية وتطبيقاتها، وذلك على المستوى التصميمي والتطبيقي، فنلاحظ مثلاً الكثير من الأبنية المتضررة أو المنهارة نتيجة عدم احترام ما ورد في الكودات الزلزالية العالمية: انهيارات نتيجة اعتماد الطابق الأرضي اللين، انهيارات نتيجة التطويق السيئ للتسليح الطولاني في الأعمدة، وانهيارات في عقد الوصل الضعيفة (المناطق الحرجة). في الواقع، إن آليات الانهيار السابقة لا توافق قطعاً فلسفة التصميم الزلزالي التي تهدف إلى رفع الكفاءة الإنشائية وتحسين سلوك العناصر من خلال التركيز على مفهوم **المطاوعة** بدلاً من الاعتماد على مفهوم المقاومة فقط، حيث أضحت الاستجابة الإنشائية غير المرنة حقيقة حية للتصميم الإنشائي المقاوم للزلازل، ويتم البحث

عن مواقع معينة في العناصر الإنشائية لإحداث تشوهات انعطاف غير مرنة (مفاصل لدنة) [9,10]، مع تأمين مقاومة جيدة على القص أكبر من المقاومة المطلوبة للانعطاف بهدف تجنب أنماط الانهيار الهشة الناجمة عن القص، ولقد بات معلوماً أن التعامل مع الزلازل في الطور المرن غير اقتصادي وغالباً ليس ضرورياً، ففي المناطق ذات الشدات الزلزالية العالية يمكن أن تولد الاستجابة المرنة تسارعات جانبية عالية تصل لحد 1.0 (g)، وإن الكلفة الناجمة عن تأمين المقاومة المطلوبة لمثل هذه القوى باهظة جداً لدرجة غير معقولة (g تسارع الجاذبية الأرضية).

فيما يلي نلخص أهم العوامل المؤثرة عند تصميم المنشآت والمباني المقاومة للزلازل:

- الخطر المقبول المرتبط بتردد الزلازل: تصميم المنشآت الهامة كالجسور والمشافي على شدات زلزالية كبيرة بعكس المباني السكنية مثلاً (تكرار الزلازل العنيفة أقل من الزلازل الضعيفة).
- اعتبارات اقتصادية: يتغير اختيار الشدة التصميمية من بلد إلى آخر لأسباب مختلفة مثل الكلفة الأولية للإنشاء، تكاليف الصيانة، الخسارة الناجمة عن تدهور حالة البناء قيد الاستثمار وتكاليف الضمان.
- أهمية البناء والعواقب الناجمة عن تضرره أو انهياره: محطة نووية مقارنة ببيت سكني مثلاً.

ويتم حساب القوى الزلزالية التصميمية بطرائق مختلفة نذكر منها: تحليل ديناميكي غير مرن، أطياف الاستجابة (تراكب الأنماط)، أو التحليل الستاتيكي المكافئ. وهذه الأخيرة سهلة الاستخدام، وأكثر انتشاراً في المكاتب الهندسية عندما تكون الأبنية المدروسة منتظمة أفقياً وشاقولياً، وهي موجودة في معظم كودات البناء العالمية. وتفترض هذه الطريقة ما يلي:

- تملك المنشآت مستوى محدداً للمطاوعة يعمل على تخفيض القوى الزلزالية بسبب نشر الطاقة أثناء تشكل التشوهات غير المرنة.
- تعتمد دور الاهتزاز الطبيعي لنمط الاهتزاز الأول.

في التحليل الستاتيكي المكافئ، تحسب قوة القص القاعدية $(V = \alpha W)$، كحاصل جداء عامل القص القاعدي (α) بوزن الحمولات الدائمة ونسبة من الإضافية الداخلة في تحديد الفعل الزلزالي (W)، وتوزع على ارتفاع البناء باعتماد نمط الاهتزاز الأول الذي غالباً ما يكون خطياً للأبنية التي لا تزيد عن عشرة طوابق (مطبقة في مركز الثقل). يرتبط عامل القص القاعدي α ، بجملة من العوامل التي تمثل كلاً من: المنطقة الزلزالية المدروسة، أهمية المنشأة، السلوك اللامرن للمنشأة، استجابة المنشأة الديناميكية للاهتزازات الناجمة خلال زلزال ما، وأخيراً العامل المتعلق بالتفاعل المشترك بين المنشأ و تربة التأسيس (Soil–Structure Interaction, SSI). وعلى سبيل المثال تتراوح قيمة هذا العامل بين 4% كقيمة أصغريه للإطارات المطاوعة المقامة على أرض صلبة و 16% كقيمة أعظميه تخص الإطارات غير المطاوعة.

ويمكن التخفيف من مفعول القوى الزلزالية، إضافة لعامل المطاوعة، عن طريق تحسين الاستجابة الزلزالية للمنشأ باختيار الشكل المعماري المناسب والإنشائي: البساطة، التناظر، تجنب المساقط على شكل T,L,U وتقسيمها إلى أشكال أبسط (مستطيلة مثلاً) مع وجود فواصل زلزالية لتحاشي ظاهرة الطرق، التخفيف من أثر الفتل عن طريق تصغير المسافة الفاصلة بين مركز الصلابة و مركز الثقل (توزع منتظم للعناصر الحاملة)، الانتظام الشاقولي من حيث الأبعاد وصلابات الطوابق (استمرارية العناصر من السقف إلى الأسفل، اتصال الأعمدة بالجوائز بشكل محوري مع تقارب فعلي في عرضها، الاختيار الأمثل لأبعاد وتوضعات الفتحات في البلاطات والجدران، الحد من نحافة البناء بهدف السيطرة على الانتقالات الأفقية وتلافي المشاكل المتعلقة بعزوم الانقلاب، مبدأ العمود القوي و الجائز الضعيف.

يمكننا تصنيف عدم الانتظام الإنشائي للأبنية وفق نوعين اثنين: عدم انتظام شاقولي وعدم انتظام أفقي. ويجب على المصمم ألا يعتبر أن المنشأة مكونة فقط من مجموعة أجزاء وعناصر مثل الجدران والأعمدة والعناصر الشبكية وغيرها، بل إنها عبارة عن نظام كامل ومتكامل له استجابة خاصة إزاء القوى الجانبية.

يتم توزيع الحمولات الجانبية في كل منسوب من المبنى على العناصر الشاقولية عبر الأرضيات وديافرامات الأسقف، وهذه الأرضيات أو الديافرامات تستجيب إلى الحمولات الأفقية كجائز عميق بحيث تشكل البلاطة جزع الجائز الذي يقاوم القص، ويكون العصب المحيطي أو الجدار هو بمثابة جناح هذا الجائز الذي سيقاوم الانعطاف. ونبين فيما يلي العوامل الثلاثة المهمة في تصميم الديافرامات [10,11]:

- يجب أن يكون الديافرام ملائماً وقادراً على مقاومة الاجهادات الناجمة عن العزم والقص، وأن يعمل ككتلة واحدة (كافة العناصر مربوطة أو مكتفة).
- يجب أن تكون عناصر التجميع والربط كافة (مجمعات) قادرة على نقل الحمولات من الديافرام إلى العناصر الشاقولية للجملة المقاومة للأفعال الأفقية.
- الفتحات والزوايا الداخلة في الديافرام يجب أن تتوضع بدقة وتسلح بشكل صحيح.

إن التوضعات غير الملائمة أو وجود الفتحات الكبيرة مثل بيوت الأدراج والمصاعد...، يخلق مشاكل مماثلة لتلك الفتحات المتوضعة في جزع الجائز المؤثرة حكماً على سلوكه الإنشائي، وهذا الأمر يخفض من إمكانية الديافرام لنقل القوى وبالتالي حدوث الانهيار.

وبالنسبة للأدراج التي تعاني الكثير من الأضرار الزلزالية نتيجة إعاقتها للانتقال بين البلاطات المتصلة، فإنه يمكن التخفيف من هذه الأضرار عن طريق تزويدها بفواصل انزلاق عند الطرف السفلي لكل شاحط بهدف إلغاء فعل التكتيف لبلاطة الدرج، أو عن طريق ربطها بجدران قص.

من الطبيعي اعتبار مستويات حماية مختلفة أثناء التصميم الزلزالي وذلك تبعاً لوظيفة البناء، الأضرار المقبولة، اعتبارات اقتصادية، منع حدوث خسارة في الأرواح. من هنا نلاحظ أن المصمم يواجه تحديات كبيرة للحصول على الحل الأمثل الذي يحقق درجة الحماية المطلوبة بكلفة أقل.

في الواقع، إن قوى الزلازل هي قوى عطالة بشكل أساسي تنجم عن التشوهات الناتجة عن مقاومة عطالة المنشأة للحركات الزلزالية، وإن مقدار القوى الزلزالية تابع لكتلة المنشأة.

إن الأدبيات الزلزالية والقواعد والكودات المحلية والعالمية تهدف إلى أن تكون المنشآت الواقعة في مناطق زلزالية قادرة على مقاومة:

- الزلازل الخفيفة (شدة زلزالية ضعيفة)، دون أضرار تذكر.
- الزلازل المتوسطة (شدة زلزالية متوسطة)، مع إمكانية نشوء أضرار إنشائية طفيفة وأضرار غير إنشائية.
- الزلازل الكبيرة (شدة زلزالية عالية)، حصول أضرار إنشائية وغير إنشائية، دون حصول الانهيار.

وفي كل الأحوال، يجب ألا يحصل أي خسارة أو ضياع لقدرة تحمل المنشآت للحمولات الشاقولية (قوى الجاذبية) عندما تقاوم الزلازل.

باختصار، عندما نريد تصميم المنشآت لمقاومة الزلازل يجب أن نلحظ تأثير مجموعة من العوامل، نذكر أهمها:

- ☒ نوع وأهمية وطبيعة المنشأة موضوع التصميم.
- ☒ المعطيات الزلزالية للمنطقة (الخارطة الزلزالية، وخواص تربة الموقع...).

يمكننا تخفيض الأضرار الزلزالية في العناصر غير الإنشائية المكونة للمباني والمنشآت من خلال اعتماد إحدى، "أو أكثر"، التقنيات والوسائل التالية [12,13,14]:

1- تزويد العناصر غير الإنشائية بتفصيلات خاصة أو عزلها لتصبح أكثر ملائمة مع الحركة، وبالتالي تخفيض الأضرار.
2- يتم التقليل من تكسر زجاج النوافذ عن طريق تأمين مسافات واضحة عند الأطراف بحيث تسمح بتشكل انحرافات في الإطار.
3- يمكن استبعاد الأضرار في العناصر غير الإنشائية (الصلبة كالقواطع) عن طريق تزويدها بتفصيلات خاصة في الأعلى وعند الجوانب، بحيث تسمح بالحركة النسبية بين هذه العناصر والعناصر الإنشائية المتجاورة.
4- في مجال التمديدات، غالباً ما يتم ملائمة حلقات التمدد والفواصل المرنة التي تصمم من أجل أن تتوافق مع تغيرات الحرارة، للتعامل مع التشوهات الزلزالية النسبية بين التجهيز المجاور المرتبط بالأرضية.
5- تثبيت الرفوف جيداً بالجدران لمنعها من السقوط.

أخيراً نذكر أن الحالة الحدية الأكثر أهمية في التصميم هي حالة الحفاظ على حياة الإنسان، حتى لو كانت الشدة الزلزالية للموقع كبيرة. علماً أنه في هذه الحالة سوف يحصل تشوهات كبيرة غير مرنة بحيث لا تسبب أضراراً معتبرة على سعة تحملها للقوى الأفقية وأن يبقى المنشأ قادراً على تحمل القوى الشاقولية.

III. مفهوم المطاوعة للجملة الإنشائية

لكي نستطيع اعتماد عامل تخفيض القوة الزلزالية الذي يعتبر الاستجابة غير المرنة للمنشآت عند تعرضها لأفعال زلزالية يجب أن نضمن جملة إنشائية مطاوعة وذلك باتخاذ إجراءات معينة تخص المادة والمقطع [9,15,16,17].

- **مطاوعة المادة (التشوهات، μ_ε):** إن قابلية المواد المكونة للعناصر الإنشائية (فولاذ + بيتون) لإبداء تشوهات كبيرة دون خسارة مهمة في مقاومتها تمثل المصدر الأساسي للمطاوعة (تشكل المفاصل اللدنة)، وتعطى مطاوعة المادة من خلال العلاقة: $\mu_\varepsilon = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y}$ ، حيث: ε_u : التشوهات القصوى ، ε_y : التشوهات عند بدء الخضوع أو عند الحد التناسبي.

من التعريف السابق للمطاوعة يتبين أن الفولاذ هو مادة مطاوعة مع عامل يساوي 20 أو أكثر. بالنسبة للبيتون فإن التشوهات على الضغط محدودة جداً ولكن يمكن زيادتها عن طريق التطويق الفعال وكذلك باستخدام الألياف الفولاذية بنسب حجميه وعوامل رشاقة مدروسة.

هذا وقد بينت التجربة أن خواص هذه المواد تتحسن مع زيادة سرعة التحميل أي بازدياد القدرة الزلزالية، ولكن تهمل هذه الزيادة أثناء التصميم بهدف التبسيط.

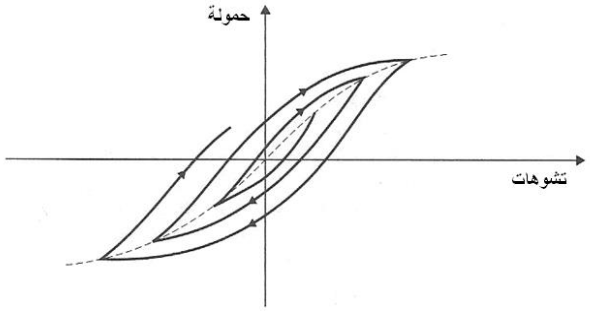
- **مطاوعة المقطع (الانعطاف، μ_ϕ):** إنها قابلية المقطع للدوران (المفاصل اللدنة)، وهي تمثل المصدر الأساسي والمهم للتشوهات، وتعطى مطاوعة الانعطاف من خلال العلاقة: $\mu_\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y}$ ، حيث :

ϕ_u : الانعطاف الأعظمي المتوقع، ϕ_y : الانعطاف عند بدء الخضوع للتسليح .

تزداد مطاوعة الانعطاف بزيادة التشوهات الأعظمية على الضغط عن طريق التطويق أو بتخفيض نسبة التسليح.

- **مطاوعة الجملة (الانتقال، μ_Δ):** تعتبر مطاوعة الجملة من أكثر المعايير استعمالاً في تقدير الاستجابة الإنشائية، ويعبر عنها كما يلي: $\mu_\Delta = \frac{\Delta}{\Delta_y}$ ، حيث: $\Delta = \Delta_y + \Delta_p$ هو الانتقال الحدي وإن: Δ_y : الانتقال عند بدء الخضوع للتسليح ، Δ_p : الانتقال اللدن.

يمكن الحد من ظاهرة انخفاض الصلابة أو المقاومة الحدية للعناصر البيتونية المسلحة الخاضعة لحمولات زلزالية، من خلال اتخاذ بعض الإجراءات الخاصة بترتيبات التسليح التي توصي بها الكودات الناظمة والمتعلقة بالمناطق الحرجة (مناطق تشكل المفاصل اللدنة في العناصر والعقد والوصلات)، بحيث يمكن الحصول على منحني يشبه منحني السلوكية الكلاسيكي تحت تأثير حمولات مستمرة متصاعدة كما هو مبين في الشكل 3 [18].



الشكل 3. العلاقة بين الحمولة الدورية (تحميل وتفريغ) والتشوهات مع الحفاظ على الصلابة والمقاومة

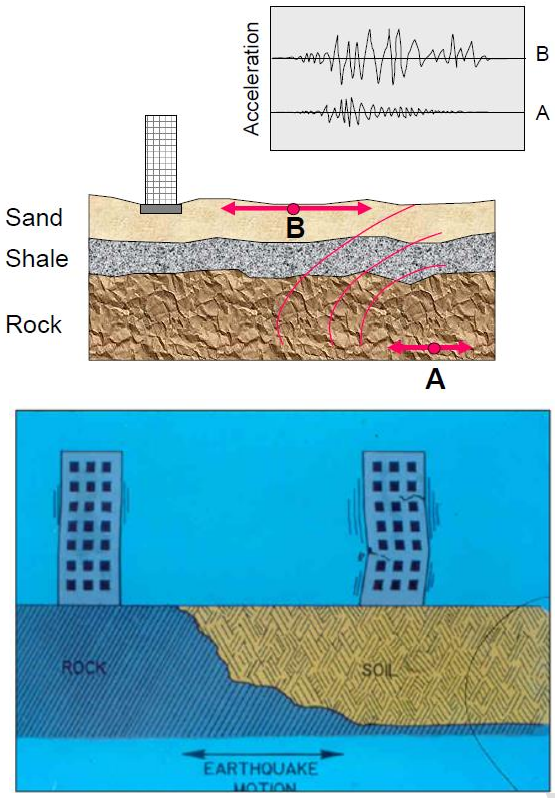
بناءً على ما تقدم يمكن القول بأن تصميم منشأة ما، لا يرتبط فقط بعامل الاستقرار ضد الانهيار، بل يوجد عوامل أخرى تؤكد الطابع الكيفي لهذه المسألة كالديمومة وقابلية الاستثمار والحفاظ على الأرواح، وكذلك بنوعية المواد المشكلة للهيكل الحامل وبدرجة عدم التقرير بالتالي حدوث ظاهرة التكيف تحت تأثير الحمولات الكبيرة وإعادة توزيع للجهود أكثر ملاءمة من التوزيع الأول. **بالنتيجة إن مسألة التصميم هي مسألة خبرة عملية ومنطق سليم.**

IV. الركائز الأساسية للتصميم المقاوم للزلازل

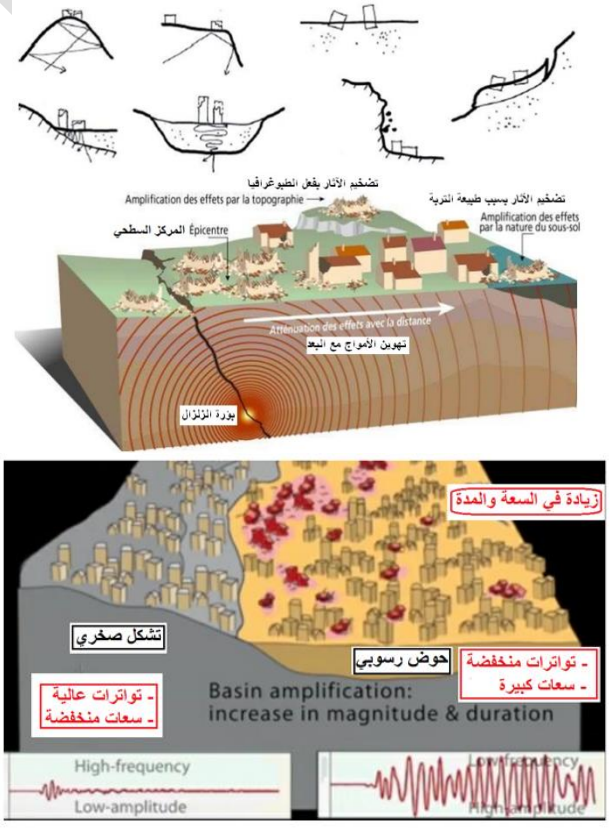
نبين فيما يلي أهم الركائز الأساسية الواجب دراستها وفهمها بعمق للحصول على منشأة مقاومة للزلازل [1,20,21].

أ. اختيار الموقع:

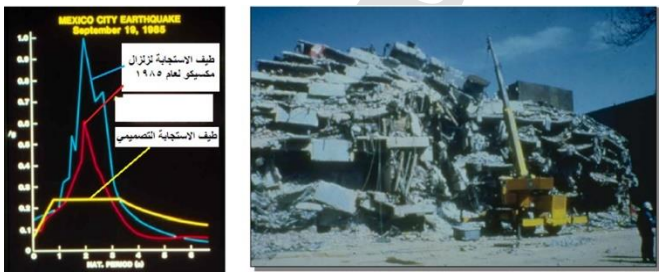
يمكن أن يحصل تضخيم للموجة الزلزالية عند مرورها في تربة الموقع أو نتيجة الفعل المتبادل بين التربة والمنشأة، ويحصل تضخيم اهتزازات التربة في المرتفعات وفي أعلى المنحدرات الواقعة بين التربة الصخرية والرخوة (الشكل 4). في حالة الموقع غير المستقر أو التربة القابلة للانزلاق أو في حالة وجود فوالق، فإن المنشآت الهندسية المصممة بأفضل الطرق لا تستطيع أن تدوم تحت تأثير الهزة. يوضح الشكل 4 بعض الحالات التي تعمل على تضخيم الآثار الناجمة عن انتشار الأمواج الزلزالية في الموقع وتغير خواصها، والتي قد تسبب أضرار وانهيارات غير محمودة وغير مرغوبة في المنشآت الهندسية.



الشكل 4. تأثيرات الموقع على الحركات الأرضية
(تغير خواص الأمواج الزلزالية)



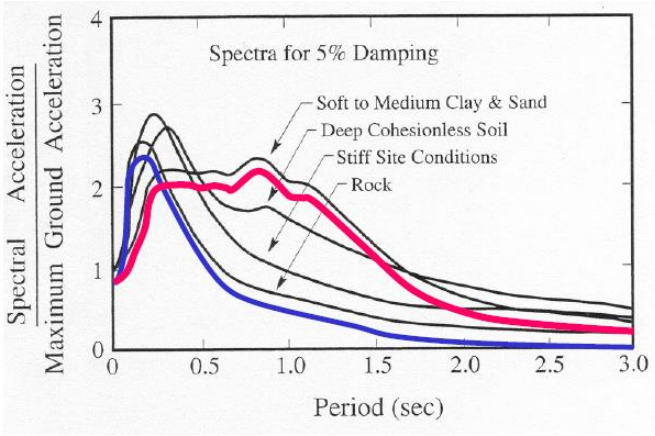
يوجد ظاهرة تسمى "الطنين – Resonance"، يجب أخذها بالحسبان عند إعداد الدراسة الزلزالية، والتي ينجم عنها تضخم في الاستجابة. يحصل الطنين عندما تتقارب قيم كل من أدوار الزلزال وتربة الموقع والمنشأة المدروسة من بعضها بعضاً، وكمثال على خطورة هذه الظاهرة ما حصل في زلزال مدينة مكسيكو عام 1985م وتدمير الكثير من أبنيتها، بالرغم من صغر التسارعات وبعد بؤرة الزلزال عن المدينة (حوالي 365 كلم). (انظر الشكل 5).



الشكل 5. انهيار مشفى بمدينة مكسيكو نتيجة ظاهرة الطنين

(زلزال مكسيكو سيتي لعام 1985)

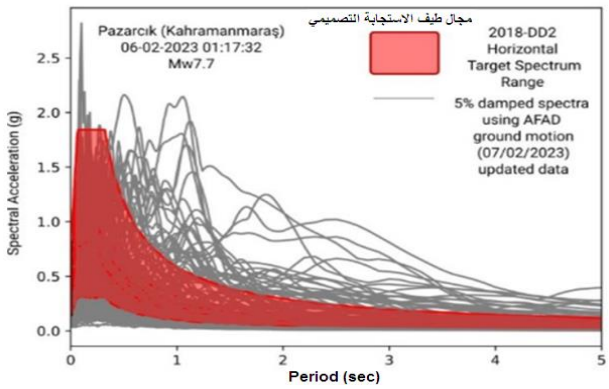
يبين الشكل 6 تأثير نوع تربة الموقع على طيف الاستجابة.



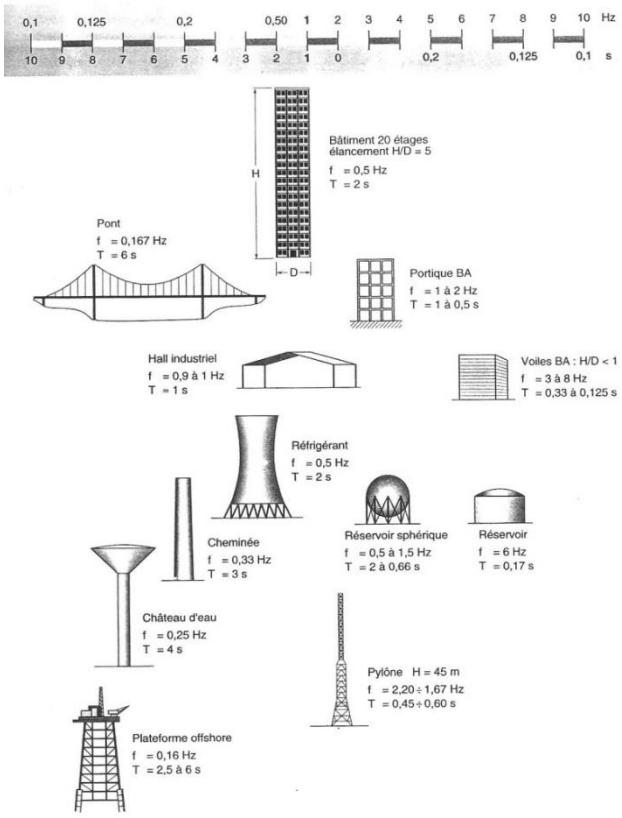
الشكل 6. تأثير نوع تربة الموقع على طيف الاستجابة

يوضح الشكل 7 الفروق الكبيرة بين أطياف استجابة زلزال 6 شباط 2023 بتركيا مقارنة مع مجال طيف الاستجابة التصميمي.

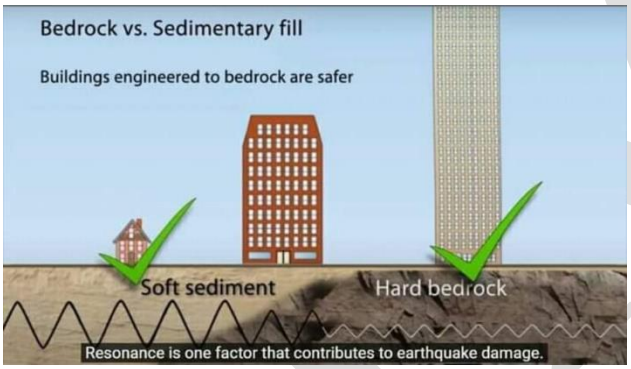
بشكل عام تتراوح قيم الدور الطبيعي للمنشآت الهندسية بين $(0.1 to 6 \sec)$، (انظر الشكل 8). وفيما يخص التربة تقل قيمة الدور بازدياد متانتها وقوامها، فتتراوح قيم الدور للترب الجيدة والصخرية بين $(0.1 to .3 \sec)$، وتزداد للترب الضعيفة $(0.5 to 2 \sec)$. بالتالي، ولتجنب حصول ظاهرة الطنين يكون من الأفضل إقامة المنشآت ذات النظام الإنشائي الصلب لحالة الترب الضعيفة، وفي حالة الترب الجيدة والصخرية يستحسن تنفيذ منشآت مطاوعة. (الشكل 9).



الشكل 7. الفروق الكبيرة بين أطياف استجابة زلزال 6 شباط 2023 بتركيا مقارنة مع مجال طيف الاستجابة التصميمي



الشكل 8. الدور الطبيعي لبعض المنشآت الهندسية

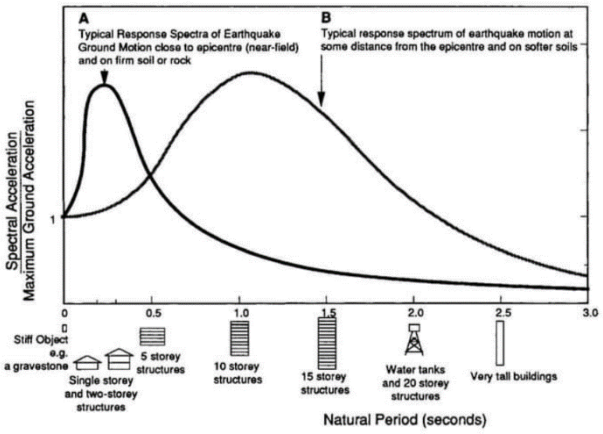


الشكل 9. اختيار نوع المبنى وفق تربة الموقع لتجنب ظاهرة الطنين

يبين الشكل 10 الفرق الكبير في طيف الاستجابة النمطي لحالتين: A وهي حالة طيف لمواقع قريبة من مركز الزلزال السطحي مع ترب تأسيس صخرية أو بقوام جيد، وأما الحالة B فهي تمثل طيف استجابة لمواقع بعيدة عن المركز لكن مع ترب قوامها ضعيف (مثلاً موقع بلدة كسب مقارنة بالمشروع العاشر باللاذقية). ومن ناحية أخرى، يؤثر الزلزال عل الأداء الإنشائي لتربة التأسيس من خلال تشكل ظاهرة الإسالة أو التميع (Liquefaction) عند مرور

الأمواج عبر الترب الحبيبية الناعمة والمغمورة، وتعرف هذه الظاهرة الخطيرة بالانخفاض الفجائي والدرامتيكي لمقاومة التربة للقص، حيث يحصل زيادة كبيرة في الضغط المائي المسامي، وفقدان كامل لقدرة التحمل مع انخفاض الاجهادات الفعالة للتربة (الشكل 11) [18,19,20].

ونشير هنا إلى أن طبقات الغضار الناعم تميل إلى زيادة سعة الحركات الأرضية، وذلك بمقدار أكبر من حالة الترب الحبيبية.



الشكل 10. أطياف استجابة وفقاً للبعد عن مركز الزلزال السطحي ولنوع تربة التأسيس

الشكل 11. الأضرار الناجمة عن تميع تربة التأسيس (زلزال نيكاتا، اليابان 1964)

يبين الشكل 12 انهيارات المباني نتيجة نشوء ظاهرة الطنين بين المنشأة والتربة. أما الشكل 13 فيظهر انهيار مبنى بسبب خضوعه لاهتزازات تم تضخيمها بحكم الموقع الطبوغرافي.

الشكل 12. انهيارات المباني بسبب ظاهرة الطنين بين المنشأة والتربة

الشكل 13. انهيار مبنى بسبب ظاهرة تضخيم الاهتزازات بحكم الموقع الطبوغرافي

الشكل 14 يبين منشأة متضررة بسبب انزلاق التربة واحتمال سقوط كتل صخرية، والشكل 15 يبين انهيار وتضرر بعض المنشآت القريبة من الفوالق الزلزالية.

الشكل 14. انهيارات بسبب انزلاق التربة واحتمال سقوط كتل صخرية

الشكل 15. انهيارات بسبب القرب من الفوالق الزلزالية

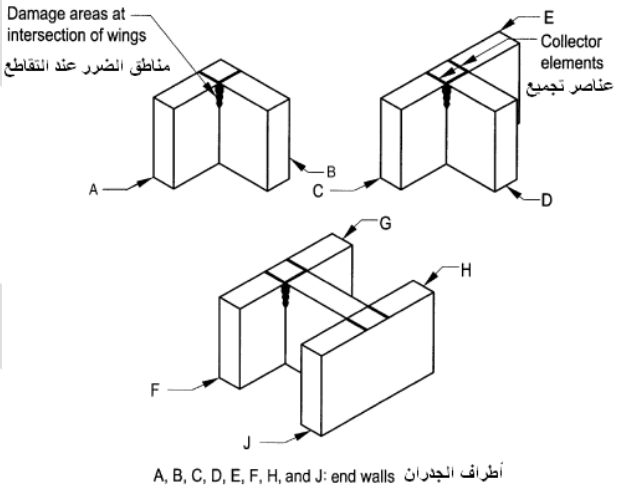
ب. التصميم المعماري والانشائي المناسب:

يتأثر سلوك المنشآت المعرضة للزلازل بشكلها المعماري، حيث إن بعض التكوينات المعمارية تعمل على تضخيم الاهتزازات الناجمة عن الزلزال وبالتالي نشوء ظروف سلبية لمقاومة الزلازل (الشكل 16). ونبين فيما يلي الخيارات الأفضل لتأمين الظروف الجيدة للمقاومة:

– التناظر في المسقط بالاتجاهين.

– التقليل من الفتل، والعمل على تطابق كل من مركزي الصلابة والكتلة.

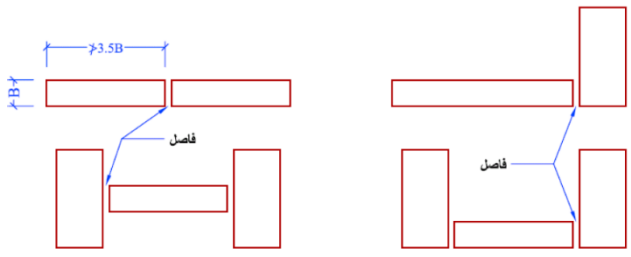
– تأمين نظام تقوية لكل من الاتجاهين الأفقيين الرئيسين.



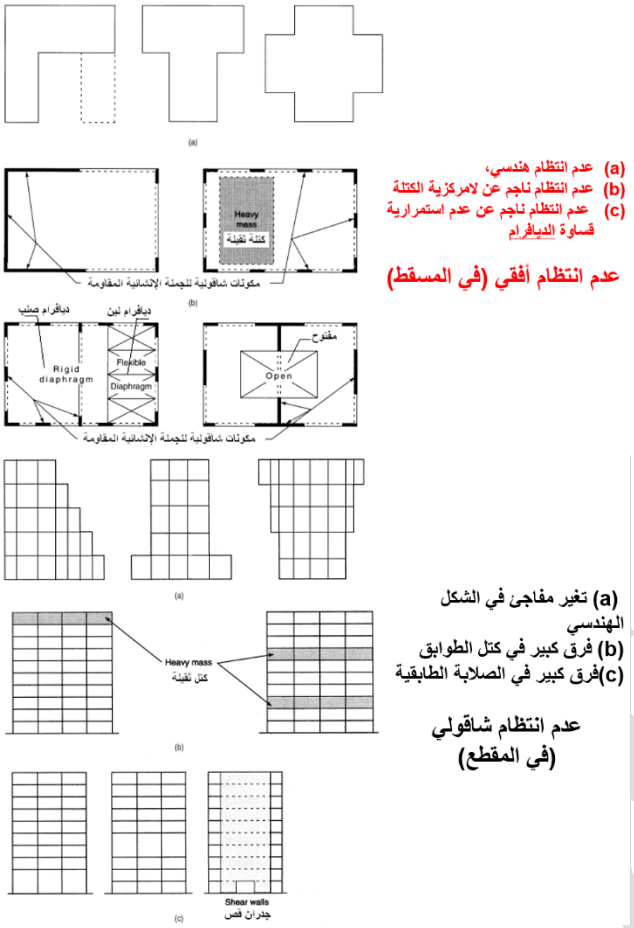
الشكل 16. أضرار ناجمة عن وجود زوايا داخلة في بعض الأبنية على شكل (L, T, & H)

ولتخفيف الأضرار بسبب عدم انتظام الشكل نعمل على تنفيذ فواصل زلزالية كما هو مبين بالشكل 17.

إن عدم الانتظام في المسقط أو في المقطع يولد قوى إضافية تزيد من شدة الضرر الزلزالي (الشكل 18).

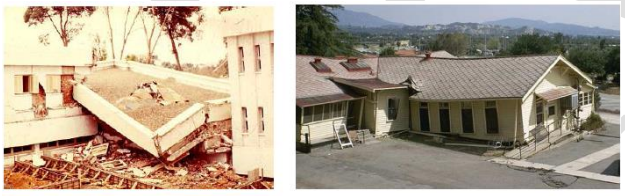


الشكل 17. تنفيذ فواصل زلزالية بسبب عدم انتظام الشكل



الشكل 18. حالات عدم الانتظام الأفقي والشاقولي

تبين الأشكال التالية الأضرار الناجمة عن حالات عدم الانتظام.



El Asnam, Algérie 1980 San Fernando, Californie 1971

الشكل 19. أضرار ناجمة عن اهتزازات غير متزامنة لكتل مختلفة من المنشأة (شكل L, T, H)

Mexico 1985 Philippines 1976

الشكل 20. أضرار ناجمة عن فتل المنشآت

Chi-Chi, Taïwan 1999 El Asnam, Algérie 1980

الشكل 21. أضرار ناجمة عن وجود الأعمدة القصيرة

San Fernando, Californie 1971 Izmit, Turquie 1999

الشكل 22. أضرار ناجمة عن تقوية غير كافية

Boumerdès, Algérie 2003 Caracas, Venezuela 1967

الشكل 23. أضرار ناجمة عن انهيار وتشظي جدران الملء

ت. الالتزام بالقواعد الزلزالية (الترتيبات الإنشائية والأبعاد):

وفقاً للنظام الإنشائي المعتمد (الهيكل الحامل)، فإن بنائين لهما شكل واحد، ومشادين على تربة تأسيس واحدة، يمكن أن تسلكا سلوكين مختلفين تماماً (حالة سطامو).

نبين في الأشكال التالية بعض الأضرار والتصدعات الناجمة عن عدم احترام الاشتراطات والقواعد والزلزالية.

– أضرار ناجمة عن غياب التطويق في المباني الحجرية (الشكل 24).

San Giuliano, Italie 2002, M = 5,7 Guadeloupe 2004, M = 6,3

الشكل 24. غياب التطويق في المباني الحجرية

– أضرار ناجمة عن غياب تطويق أعمدة المنشآت البيتونية المسلحة، أو نقص في التسليح العرضاني وتحنيب التسليح الطولاني (الشكل 25).

San Fernando, Californie 1971 Kobé, Japon 1995

الشكل 25. غياب تطويق أعمدة المنشآت البيتونية المسلحة، أو نقص في التسليح العرضاني وتحنيب التسليح الطولاني

– انهيار كامل للمنشآت البيتونية المسلحة نتيجة غياب تطويق الأعمدة والجدران والعقد (الشكل 26).

Boumerdès, Algérie 2003 Mexico 1985

الشكل 26. غياب تطويق الأعمدة والعقد

ث. تنفيذ نوعي – الصيانة الدورية:

بهدف الحفاظ على سلامة المنشآت، يجب تحقيق ما يلي:

– استخدام مواد بنوعية جيدة،

– الحماية من الحريق،

– تنفيذ الوصلات والعقد بشكل صحيح ومدروس،

– الاهتمام بتنفيذ وسلامة العناصر غير الإنشائية،

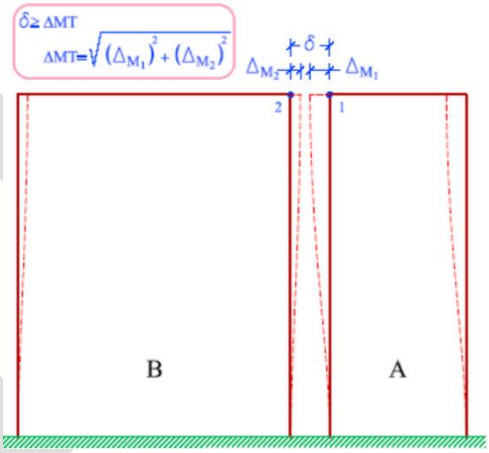
– ويجب إجراء فحص وصيانة دورية لكافة العناصر.

ج. الفعل المتبادل مع الوسط المحيط:

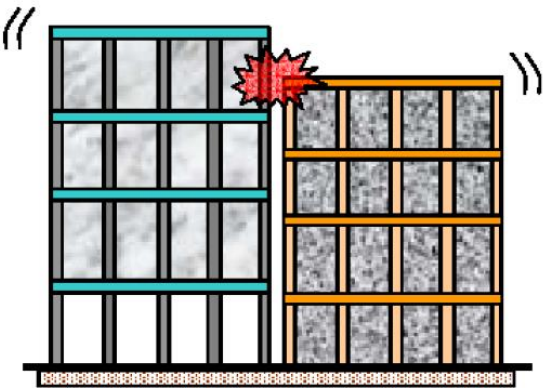
– أضرار ناجمة عن ظاهرة الطرق للمباني المتجاورة **(Pounding phenomena)** بسبب عدم كفاية عرض الفاصل (الشكل 27).

– أضرار ناجمة عن انهيار وتساقط عناصر من منشأة مجاورة (الشكل 28).

– أضرار ناجمة عن الفعل المتبادل تربة منشأة (الشكل 29). **(Seismic Soil–Structure Interaction)**



Izmit, Turquie 1999 Kobé, Japon 1995

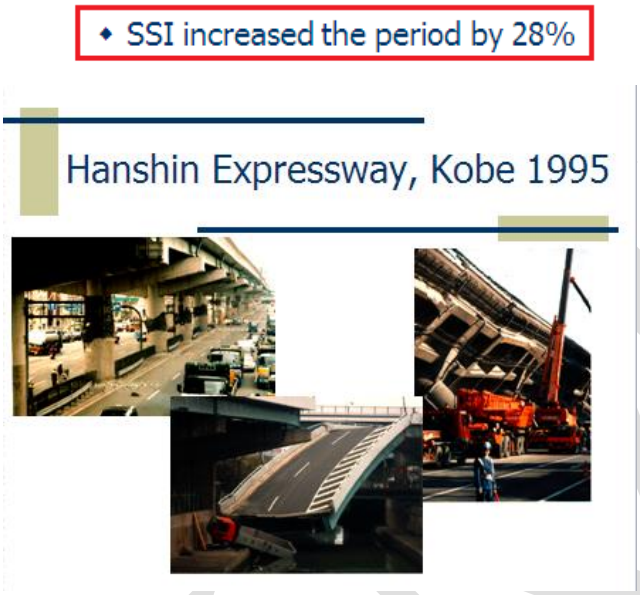


الشكل 27. عدم كفاية عرض الفاصل (ظاهرة الطرق)

Ceyhan-Misis, Turquie 1998

Chi-Chi, Taïwan 1999

الشكل 28. انهيار وتساقط عناصر من منشأة مجاورة



الشكل 29. الفعل المتبادل تربة_منشأة سبب زيادة في قيمة الدور بالتالي قيم أكبر للاستجابة (طيف الاستجابة التصميمي)

V. استجابة مباني محافظة اللاذقية لزلزال 6 شباط 2023:

تم تكليفنا من قبل رئاسة الجامعة ومحافظة اللاذقية بمهمات نوعية (ضمن لجان مختلفة) تهدف إلى تقييم المباني المتضررة نتيجة زلزال 6 شباط، وبيان سبب انهيار بعض المباني في المحافظة.

ولقد اعتمدنا النهج التالي لتنفيذ المهمات الموكلة إلينا:

– تصميم بطاقة لتقييم المباني تحوي: موقع المبنى الجغرافي، معلومات عامة عن المبنى المتضرر (كشف حسي ومشاهدات ميدانية: وصف البناء من حيث المساحة وعدد الطوابق) ، صور فوتوغرافية، الرخصة الخاصة بكل مبنى واضبارته التنفيذية (تقرير الجيوتكنيك، الدارس، المدقق، المنفذ، المشرف ووثائق مرحلة التنفيذ ، الاختبارات...) ، تحديد الجملة الإنشائية للمبنى المتضرر ومقارنتها مع الدراسة.

– بالاعتماد على عمل بعض اللجان التي شاركت بها يمكن أن نقول بأن هناك 113 مبنى منهار في المحافظة وحوالي 450 مبنى متضرر بشدات مختلفة.

نبين فيما يلي النتائج التي حصلنا عليها:

1. اختبارات المواد: يمكن القول بأن حوالي 4% من المباني موادها الانشائية (من بيتون وفولاذ تسليح) حققت الخواص المطلوبة بالدراسة.
2. غالبية المباني لا تحوي جمل انشائية مقاومة للزلازل.
3. كافة تقارير ميكانيك التربة لا تحوي على الخواص الديناميكية لتربة التأسيس ولا تحوي سبور عميقة.
4. معظم المباني المشادة لا تحوي مذكرة حسابية للدراسات الزلزالية، ولقد صممت بطريقة مخالفة لما ورد في الكود السوري: الطريقة المرنة (حالة حدية في نطاق الاستثمار فقط بالرغم من أنها تقع في المنطقة الزلزالية الثالثة).
5. نقص هائل في المخططات والتفصيلات التنفيذية وأحياناً أخطاء كبيرة.
6. في الكثير من الحالات سبب حجر التلبيس خطورة كبيرة على السلامة العامة بسبب انسلاخه وتساقطه، فضلاً على الدور السلبي لوجوده في بعض الواجهات دون الأخرى مما سبب في زيادة لامركزية الفتل للمبنى.
7. بشكل عام لاحظنا أن معظم المباني المتصدعة والمنهارة سببه ضعف في تحمل القص الناجم عن الفعل الزلزالي وذلك بسبب عدم وجود دراسة زلزالية أو حتى عدم احترام أبسط الاشتراطات والترتيبات الانشائية التي تساعد في مقاومة القص وتزيد من مطاوعة الجملة (تسليح عرضاني قليل جداً وتطويق غير فعال نهائياً، مع أطوال تراكب أو إرساء قليلة، فضلاً على تدني مقاومات البيتون غير المحققة لأدنى مقاومة مسموحة...).
8. وجود مباني غير مدروسة على أسس ومعطيات جيوتكنيكية دقيقة (فقط على قدرة تحمل التربة) حصل فيها بعض الأضرار الانشائية البسيطة والمقبولة (لا تأثير على السلامة الانشائية وترمم أو يتم إصلاحها بسهولة)، لكن تعرضت عناصرها غير الانشائية (قواطع وإكساءات وأسقف مستعارة و...) لتضررات كبيرة نتيجة الزلزال، إذ حصل تضخيم لاستجابة المباني وحصول انتقالات أفقية أكبر من المتوقع نتيجة حصول ظاهرة الطنين (تقارب دور اهتزاز المبنى مع دور اهتزاز تربة التأسيس).
9. بالرغم من أن اللاذقية (أرياف ومدن) تقع في المنطقة الزلزالية الثالثة وفق الخارطة الزلزالية السورية وخاصة بعد 2013 (بلاغ رئاسة مجلس الوزراء بإلزامية التصميم المقاوم على الزلازل)، بالتالي لا يمكن أن تعفى من الدراسة الزلزالية، ومع هذا لاحظنا غياب شبه كامل للدراسات الزلزالية للطوابق المنخفضة في الأرياف خاصة، إنه لأمر عجيب، تساءلنا لماذا هذا فكان الرد أن هناك تعميم وزاري بهذا الموضوع. من جهة ثانية، لاحظنا ظاهرة تلاصق المباني (حتى في المشاريع والأحياء الجديدة مثل توسع دمسرخو والعاشر و...)، هذا الأمر الخطير المخالف لأبسط أسس التخطيط والتصميم الزلزالي بسبب تشكل ظاهرة التصادم بين الكتل المتلاصقة (الطرق). أيضاً حاولنا الاستفسار عن سبب هذه المخالفة الخطيرة فكان الجواب هكذا وجهت اللجنة الإقليمية العتيدة في المحافظة (لا يوجد عضو فيها مهندس مدني متخصص بالهندسة الإنشائية يدرك خطورة هذا الأمر). نشير هنا إلى أنني شخصياً ركزت على هذه

الظاهرة الخطيرة منذ عشرات السنين في أثناء محاضراتي في النقابة (تأهيل مهندسي الممارس والرأي) وأخبرت الجهات المسؤولة لكن لا حياة لمن تنادي.

10. لاحظت من خلال تدقيقي للكثير من المذكرات الحسابية في أضابير المباني المنهارة بأن هناك مقاطع وتفصيلات نمطية عامة مكررة غير مفيدة ولا تخدم عملية التنفيذ خاصة بغياب جهاز الاشراف، ويترك للحدّاد أو لمعلم البيتون التنفيذ كما يراه مناسباً.
11. في الكثير من المباني الآيلة للسقوط والتي عانت من أضرار متنوعة لأسباب كثيرة، من أهمها هو انقطاع أو تغير مفاجيء في الصلابة (عدم انتظام شاقولي) إذ نلاحظ بأن جدران القص يتم إيقافها بطريق عشوائية تحدد من قبل المنفذ بالتراضي مع المالك بهدف التوفير (جبلة منطقة المحلق وتوسع دمسرخو...)، ففي هذه الحالة سوف يستجيب المبنى بطريق مخالفة لما تم وضعه من قبل المصمم بالتالي تشكل ميكانيزمات انهيار غير حميدة ومن ثم فشل المبنى.
12. يتم التأسيس على مناسيب يختارها المتعهد دون الرجوع للمهندس المشرف أو الدارس للتربة، بالتالي لا معنى لكل الدراسات المنجزة من قبل المصمم (إن وجدت): ففي حالة تعرض المبنى للزلازل ستكون استجابته مخالفة للدراسة المعدة والمستندة لصنف التربة (احتمال قوة قص قاعدي أكبر، إمكانية حصول ظاهرة الطنين أو السيلان أو ....).
13. المباني المنهارة:

لوحظ نقص كبير في التسليح العرضاني للعناصر الانشائية بشكل مخالف لما ورد من اشتراطات وترتيبات في الكود، إذ تم تنفيذ التسليح العرضي بإطار محيطي فقط وبقطر 5 أو 6 ملم مع تباعدات مخالفة لاشتراطات الكود.

- ✓ أيضاً غياب كامل لمفهوم تطويق العقد والأعمدة المخفية لجدران القص.
- ✓ عدم الالتزام بتأمين عكفات نظامية للتسليح العرضي سواء للإطارات أو الأتاري...
- ✓ عدم تأمين أطوال تراكب أو ارساء وفق ما يطلبه الكود.
- ✓ بيتون رديء بتدرج سيء وغير متجانس وحاوي في بعض الأحيان على كتل من التربة والرمل مع بحص خشن وصل في بعض المباني لبعد أكبر 3 أو 4 سم.
- ✓ تباعدات كبيرة وأحياناً غياب تسليح بلاطة التغطية.
- ✓ شبكات الصرف المطري أو الصحي تخترق العناصر الانشائية بطريق عشوائية وغير مدروسة.
- ✓ نقص في الارتفاع الفعال للأعصاب (التسليح العلوي عند مستوى أعلى بلوك الهوردي فقط).
- ✓ معظم أعمدة الطوابق الأرضية نحيفة وغير محققة لشرط التحنيب (غير مبررة أو مدروسة بالمذكرة الحسابية).
- ✓ لا يوجد مسار أحمال آمن للأدراج، بمعنى بلاطات الشواحط والبسطيات تستند بطريقة غير مدروسة وفي كثير من الحالات تستند على البلوك الاسمنتي المفرغ. أحياناً نلاحظ وجود جدران حاملة في بيت الدرج ولكن لا يستفاد منها في حمل بلاطات الدرج: مثلاً إما بلاطة ظفرية للبسطيات أو يقوم المنفذ بإسنادها على جوائز مخفية تصب بدورها على جائز ومن ثم الجدار الحامل (مسار أحمال فاشل). من هنا كانت الأضرار كبيرة والخسائر في الأرواح هائلة لا يمكن مسامحة المرتكب. أيضاً يجب أن نذكر بأن الأعمدة الحاملة لبسطيات الأدراج هي أعمدة قصيرة غير مدروسة لتحمل القص الكبير المعرضة له بالتالي انهارت وسببت خسائر كبيرة.
- ✓ أيضاً بلاطات السقائف في الحمامات والميزامينات في الطوابق الأرضية تم تنفيذها دون دراسة صحيحة بحيث تم اسنادها مباشرة على بلوك مفرغ أو على شيناجات دون تأمين ربطها الجيد مع العناصر الشاقولية الحاملة (مسار أحمال فاشل).
- ✓ في الكثير من المباني المنهارة تبين لنا غياب الشيناجات الرابطة للأساسات المنفردة بالتالي حصول انتقالات مختلفة لنقاط الاستناد ومن ثم فشل نظام التأسيس. وعندما تكون موجود فهي تعلو السطح

العلوي للأساس بالتالي تشكل أعمدة قصيرة (الرقبات) غير مدروسة سببت فشلاً كبيراً في مقاومة المبنى للزلازل. (سطامو و العسالية والرميلة).

- ✓ لاحظنا في منطقة القبو والمتركية ظاهرة غريبة عجيبة مبتكرة من قبل المنفذ وهي صب أرضية الأرضي ببيتون ترابي (عيار اسمنت أقل من 150كغ/م^3) على كامل المساحة، بمعنى أصبحت أخطر منطقة وهي العقدة بين الرقبات والشيناجات منفذة من هذا البيتون الرديء مع غياب كامل للتسليح العرضي في العقدة، وهذا ما سبب أضرار كبيرة على الجملة الانشائية وتهشم بيتونها.

14. المباني التي انهارت دون أن يكون لها رخص بناء نظامية: أمر طبيعي أن تنهار تحت تأثير الفعل الزلزالي (أسباب كثيرة ومن أهمها غياب جملة انشائية مقاومة حتى للأحمال الشاقولية، والغش في المواد وجهل كبير في تنفيذ الترتيبات والتفصيلات الانشائية وخاصة في المناطق الزلزالية).
15. من واجبنا أن نذكر هنا بأن المباني التي تمت دراستها وفق اشتراطات الكود السوري الأساس وملحقة الثاني، وتم تنفيذها من قبل المؤسسات والشركات العامة الحكومية مع وجود جهاز إشراف فعال وأمين، فهي استجابت جيداً للأفعال الزلزالية ولم يحصل فيها أي تصدع أو ضرر يذكر (بعض الأضرار الخفيفة في العناصر غير الإنشائية).
16. المباني القديمة من البيتون المسلح والتي تم تنفيذها في مرحلة ما قبل الفساد، بمعنى تم التنفيذ بمواد مراقبة وبجودة جيدة مع احترام تنفيذ الترتيبات الانشائية التقليدية (غير مدروسة على الزلازل)، فكان لديها فائض بالمقاومة ونسبة مقبولة من المطاوعة فإنها استجابت جيداً للفعل الزلزالي (خاصة المؤسسة على تربة جيدة لم تعمل على تضخيم التسارعات أو إطالة الفترة الزمنية للزلزال)، بالمقابل وفي نفس المنطقة (المارتقلا مثلاً و ...) حصل اضرار وعيوب خطيرة إذ تصدعت بعض الأعمدة لبعض المباني وتشكلت تشققات قص كبيرة فيها (قص الأعمدة)، وبعد التدقيق تبين لنا أن هذه التصدعات كان سببها الأثر السلبي الذي سببه صدأ فولاذ التسليح إذ لم يتبقى أي تسليح عرضي يقاوم مع بيتون العمود القص الناجم عن الزلزال. وهذ أمر خطير ناجم عن غياب ثقافة الصيانة في قاموسنا المهني، بالرغم من أن بيئة اللاذقية البحرية هي بيئة هجومية وفتاكة. معظم المباني القديمة والجديدة تعاني من خطورة ظاهرة الصدأ الناجمة عن أسباب كثيرة لا يمكن ذكرها هنا.
17. بشكل عام، كانت الأضرار والتصدعات في المباني منخفضة الارتفاع أكثر شدة (نسبة عالية من المباني المنهارة باللاذقية ومناطقها). من الناحية الزلزالية يمكن القول بأن تأثير الفعل المتبادل تربة منشأ وكذلك انخفاض صلابة المبنى بعد دخوله المجال اللامرن أدى لزيادة دور اهتزازه بالتالي ازدادت قيم التسارعات الطيفية (طيف الاستجابة التصميمي) وبالتالي زيادة القص الأفقي وانهيار المبنى لعدم قدرته على مقاومة القوى المطبقة.
18. نقص كبير في المعطيات الجيوتكنيكية الزلزالية أدى لسوء تقدير من قبل المصمم: الأحواض الرسوبية أو توضع الترب الضحلة على تربة صخرية (المشروع العاشر، من 2م إلى 8م تربة ضعيفة القوام متوضعة على التربة الصخرية الرملية) ، تأثير الموقع الطبوغرافي (مزار القطرية...).
    - ☒ غياب التصنيف الزلزالي الحقيقي لتربة الموقع: قياس الخواص الديناميكية من خلال إجراء سبور دورانية وفق الكودات المعتمدة، وتحديد سرعة الأمواج في الطبقات.
    - ☒ غياب قيم التسارعات الأرضية الواجب اعتمادها في الموقع: عدم وجود خارطة تبين التسارعات المناطقية وهو ما يسمى بالتمنطق الزلزالي _ **Microzonage (Microzonation...)**.
    - ☒ بالتالي مهما كان التصميم أو التحليل الانشائي دقيق فإن استجابة المبنى الفعلية لن تتطابق مع هذا التصميم الافتراضي، فضلاً على مصدر آخر للخطأ المرتكب من قبل المصمم المتمثل باعتماد نموذج تحليلي موثوق بالقاعدة بغض النظر عن نوع تربة التأسيس سواء كانت صخرية أم ضعيفة القوام (تأثير الفعل المتبادل تربة – منشأ، **SSI**).
19. تصدعات قص واضحة (على شكل **X**) في الجزء العلوي لأعمدة إطارات الواجهة للمستودعات والأقبية الحاوية على

فتحات تهوية أو إضاءة نتيجة تشكل ظاهرة الأعمدة القصيرة بسبب عدم استمرار الجدران الخارجية للسقف.

نلخص فيما يلي الأسباب التي أدت إلى تصدع بعض المباني في محافظة اللاذقية وانهيار بعضها الآخر:

- غالبية تقارير ميكانيك التربة لا تحقق اشتراطات الكود السوري: غياب كامل للسبور الدورانية العميقة، عدم قياس سرعة انتشار أمواج القص، لا وجود لقيمة دور اهتزاز تربة التأسيس.
- بدعة تقارير الخبرة الثلاثية لإضافة طوابق للمباني القائمة: تقييم بيتون المبنى اعتماداً على المطرقة فقط وعدم اختبار أو معرفة خواص فولاذ التسليح، فضلاً على التحقق من الأحمال الستاتيكية فقط بالرغم من أن المباني واقعة في المنطقة الزلزالية الثالثة.
- أخطاء في الدراسات الزلزالية: تخفيض الكتلة الحقيقية للمبنى، اعتماد عامل استجابة كبير بهدف تخفيض قوة القص القاعدي بغض النظر عن الجملة الانشائية الفعلية.
- نقص هائل في التفصيلات والترتيبات الانشائية في المخططات التنفيذية.
- غياب جهاز الاشراف نهائياً عن الورشة: عدم وجود أي معطى مرتبط بضبط الجودة للمواد الإنشائية واختبارها، وأذونات الصب، وغياب تقرير ميكانيك التربة المتمم الواجب إعداده من قبل جيوتكنيكي.
- بعد الاطلاع على نتائج اختبارات البيتون وفولاذ التسليح والتربة المعدة من قبل لجان تخصصية من قبل جامعة تشرين، تبين أن معظمها غير محققة.
- من خلال الكشف الحسي والمعاينة الدقيقة للمباني المنهارة وكذلك المتصدعة، تبين لنا أن معظم المباني لا تملك جملة إنشائية مقاومة للزلازل (فشل واضح في نقل الأحمال الأفقية _ مسار أحمال غير مدروس)، وفي حال وجودها بالدراسة فقد تم تنفيذها بشكل مخالف للمخططات ولاشتراطات الكود العربي السوري وملحقه الثاني.
- غياب تطويق الأعمدة والجدران والعقد كان السبب الرئيس في انهيار المباني.
- أضرار ناجمة عن غياب تطويق أعمدة المباني أو نقص في التسليح العرضاني وتحنيب التسليح الطولاني، وتشكل المفاصل اللدنة فيها.

VI. اقتراحات وتوصيات:

- ✓ التقيد بكافة الاشتراطات والترتيبات والقواعد الواردة في الكود العربي السوري الأساس وملحقاته وخاصة الثاني منه (التكوين المعماري المناسب في المناطق الزلزالية _ علاقة المبنى مع الوسط المحيط)، وإلغاء كافة التعاميم والقرارات المخالفة لتعليمات هذا الكود [21].
- ✓ إلزامية إجراء السبور العميقة عند إعداد تقرير ميكانيك التربة، وإعطاء قيم الخواص الديناميكية لتربة التأسيس وخاصة قيمة دور الاهتزاز لها، وذلك مهما كان عدد طوابق البناء.
- ✓ يجب أن تتم أعمال المقاولات من قبل مقاول مسجل لدى نقابة المقاولين، أو من قبل مهندس مسجل لدى نقابة المهندسين.
- ✓ تفعيل دور الاشراف عند تنفيذ المشروع من خلال إعداد إضبارة شاملة في مرحلة تنفيذ المشروع تحوي: تقرير التربة المتمم، نتائج التجارب المخبرية الخاصة بمواد الإنشاء، محاضر استلام الأعمال والكوفراج وأذون الصب وغيرها، التأكد من تنفيذ تفصيلات التسليح كافة وخاصة في المناطق الحرجة.
- ✓ التأكيد على المجالس المحلية أن تكون رخص البناء مستوفية للدراسات الزلزالية المنصوص عنها بالكود السوري وملحقاته سواء في مرحلة إعداد الدراسة أو في مرحلة التنفيذ.
- ✓ العودة إلى نظام البلاطات المصمتة والجوائز المتدلية، وإذا كان لا بد من استخدام الجوائز المخفية فيجب

إعادة النظر باشتراطات الجمل الإطارية ذات الجوائز المخفية.

- ✓ إجراء دراسة معمقة وفرض جملة من الاشتراطات عند تنفيذ جدران البلوك والقواطع لإعطائها المتانة اللازمة وتجنب سلوكها الهش.
- ✓ السقائف، العتبات (اللمعات): يجب تأمين مسار أحمال آمن وليس استنادها على البلوك كما هو معمول به حالياً، وبالنسبة للفتحات في البلاطات أو الجدران فإنه يجب تنفيذ جملة من الشيناجات الأفقية والشاقولية مرتبطة بالهيكل الحامل.
- ✓ العمل على إعداد خرائط للترب على مستوى كل وحدة إدارية (الخواص الديناميكية للتربة وخاصة دور نمط اهتزازها) بحيث يتم الاعتماد على هذه الخرائط في ضابطة البناء لكل منطقة.
- ✓ الاستفادة من الخرائط الزلزالية التي تم إعدادها من قبل الدول المجاورة إذ أنها تغطي أجزاء من سورية، والاستفادة من تسجيلات المحطات السورية لإصدار خريطة زلزالية سورية متكاملة. بالتالي تقييم دقيق لمعاملات التسارع **S1 & Ss** ومعاملات التربة **fa & fv** على ضوء المعطيات الزلزالية الجديدة.
- ✓ إعداد خريطة لخطوط مسارات الصدوع الجديدة في سوريا يتم الاعتماد عليها لتحديد شروط البناء.
- ✓ أن تقوم الجهات الوصائية العليا بإصدار تعليمات واضحة وصارمة تحد من ظاهرة الرشوة والفساد من قبل بعض المعنيين في الوحدات الإدارية، على أن يتولى المتابعة الدقيقة لمرحلة التنفيذ جهاز إشراف خبير وموثوق.

المراجع:

[1]. Bassam Hwaija, Structures & Lateral Loades, Tishreen University Press, 2012-2022.

[2]. [2] American Society of Civil Engineers (ASCE). Minimum design loads for buildings and other structures (ASCE/SEI 7-05) & (ASCE 7-16)

[3]. [3] International Code Council (ICC 2009), International Building Code (IBC 2009).

[4]. [4] Standard Specifications for Highway Bridges, 17th ed. (2002) American Association of State Highway and Transportation, Washington, D.C.

[5]. [5] UBC 97, Uniform Building Code, Volume 2,1997.

[6]. [6] Aslam Kassimali, Structural Analysis, Fourth Edition. 2010, 2005 Cengage Learning, www.cengage.com/permissions>

[7]. BUNGALE S. TARANATH, Wind and Earthquake Resistant Buildings: Structural Analysis and Design- MARCEL DEKKER, 2005.

[8]. K.E. Bullin & Bruce A. Bolt, An introduction to the theory of seismology- Campridge University Press, 1985.

[9]. Paulay, T & Priestley M. J. N. - Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings - John Wiley & Sons,INC. 1992.

[10]. Ambrose, J. & Vergun, D. - Simplified Building Design for Wind and Earthquake Forces - John Wiley & Sons, INC.1995.

[11]. Cinna Lomnitz, Fundamental of Earthquake Prediction – John Wiley & Sons,INC. 1994.

[12]. S.V. POLYAKOV, Design of Earthquake Resistant Structures, Mir Publisher, Moscow, 1985.

[13]. Edward G. Nawy, Fundamental of High-Performance Concrete, John Wiley & Sons, INC.2001.

[14]. ATC-14(1987); ATC-22(1989); FEMA 178-273I &274I, USA.

[15]. Arthur H. Nilson & David Darwin, Design of Concrete Structures, McGraw-Hill. 1997.

[16]. Christiam Meyer - Design of Concrete Structures, PRENTICE HALL. 1996.

[17]. Alain PECKER, Advanced Earthquake Engineering Analysis,SpringerWienNewYork, 2007 by CISM, Udine, SPIN 12048397.

[18]. Victor Davidovici, La Construction en Zone Sismique, Editions Le Moniteur, Paris, 1999.

[19]. Milan Zacek, Construire Parasismique, Editions Parenthèses, Marseille - France, 1996.

[20]. Z.F. Chen & E.M. Lui, Earthquake Engineering for Structures Design- Taylor & Francis CRC Press LLC, 2006.

[21]. Syrian Arab Code for designe and implementation of the facilities in the reinforcement concrete. Fourth Edition, Damascus, 2012.