عمادة البحث العلمي
جامعة النجاح الوطنية

الزلازل وتخفيف مخاطرها

تأليف

د. جلال الدبيك

قسم هندسة البناء
كليـــــة الهندســـــة
جامعة النجاح الوطنية

نابلس – فلسطين
2009

كتاب هندسي لغير المهندسين

ويدرس كمقرر – مساق لطلبة جامعة النجاح غير المهندسين كمقرر هندسي اختياري

ويتضمن بشكل رئيسي تصميم المباني لمقاومة أفعال الزلازل والتربية الزلزالية

ويعتبر الأول من نوعه في منطقة الشرق الأوسط

إهداء.. وشكر

إلى فلسطين ... الأرض والإنسان،

إلى درّة نابلس مَعقِل الآدابِ والعلوم ... جامعة النجاح الوطنية،

..أهدي ثمرة عملي هذا، راجياً أن يكون فيه الخير والنفع للشداة من طلبة العلم.

كل الشكر والتقدير إلى زملائي وزميلاتي في مركز علوم الأرض وهندسة الزلازل على جهودهم ومساعدتهم في التنسيق والإخراج الفني لهذا الكتاب، والشكر موصول إلى عميد البحث العلمي وهيئة التحكيم والمراجعة، واخص بالشكر كذلك الزميل الفاضل الأستاذ الدكتور محمد جواد النوري على جهوده والاستفادة من خبرته في تدقيق المادة اللغوية، والى كل من ساعد في خروج هذا العمل إلى النور.

المؤلف

الزلازل ظاهرة كونية لا يعلم ساعة حدوثها بالضـــبط إلا عـــــالم الغيـــب "الله سبحانه وتعالى"، ولا يستطيع أحد منعها..، ولكن يمكن التخفيف من مخاطرها.

مساق هندسي اختياري لغير طلبة الهندسة

***

فهرس المحتويات

الموضوع	الصفحة
مـــقـــدمـــة	1
الفصل الأول: علم الزلازل	
1.1 مـــقـــدمـــــة	3
2.1 أسباب الهزات الأرضية	4
3.1 حركة القشرة الأرضية والصدوع التكتونية	6
4.1 الموجات الزلزالية	12
5.1 المراكز الجوفية والمراكز السطحية للزلازل	16
6.1 تسجيلات الحركات الارضية	20
7.1 خصائص الحركات الأرضية الزلزالية	24
8.1 مقاييس "درجة" الزلازل	25
9.1 زلزالية المنطقة العربية	32
10.1 النشاط الزلزالي في فلسطين	33
الفصل الثاني: التـــــــربـــــــة	
1.2 مـــقـــدمـــه	43
2.2 استطلاع الموقع ونوع تربة التأسيس	44
3.2 مصادر المياه التي تؤثر في رطوبة التربة	53
4.2 أنظمة تصريف المياه والتخفيف من رطوبة التربة	53
الفصل الثالث: آلية تأثير الهزات الأرضية على المباني	
1.3 اعتبارات عامة	57
2.2 آلية تأثير الهزات الأرضية على المباني	59
الفصل الرابع: الباطون (الخرسانة)	
1.4 مقـــدمـــة	63
2.4 الاسمنت	64
3.4 الركـــــــام (الكرسته)	67

4.4 مـــــاء الخليط: نسبته وخـــــواصه 70
5.4 خلط الخرسانة 70
6.4 صب الخرسانة 71
7.4 رج ودمك الخرسانة 72
8.4 فحص الخرسانة 73
9.4 إيناع "معـــــالجة" الخرسانة 75
10.4 ديمومة الخرسانة 75

الفصل الخامس: حـــــديد التسليح

1.5 مـقـدمـة 77
2.5 تسلم حـــــديد التسليح وتخـــــزينه 82
3.5 تسليح العناصر الخرسانية الانشائية 82
4.5 أقـــــل مسافة مسموحة بين أسياخ التسليح 88
5.5 الغطـــــاء الخرساني للتسليح ومقاومة المنشأ للحريق 88

الفصل السادس: سياسة استخدام الأراضي وتخفيف مخاطر الزلازل

1.6 مـقـدمـة 91
2.6 التضخيم الزلزالي لتربة الموقع 91
3.6 الانزلاقات الأرضية 93
4.6 تميؤ التربة 102
5.6 تأثير تربة الموقع وسياسة استخدام الأراضي 104

الفصل السابع: أنماط المباني الدارجة في فلسطين... والزلازل

1.7 مـقـدمـة 107
2.7 معايير تخفيف المخاطر 109
3.7 السلوك الزلزالي المتوقع للمباني في فلسطين 110
4.7 التقييم الزلزالي للمباني وقابلية الإصابة 136

الفصل الثامن: تصميم المباني لمقاومة أفعال الزلازل

1.8 مـقـدمـة 143
2.8 هدف طرق تصميم المنشآت لمقاومة أفعال الزلازل 144

3.8 معايير التصميم الزلزالي للمنشآت 149
4.8 طرق التحليل والتصميم الزلزالي 156
5.8 العوامل التي تؤثر في حساب قيمة المعامل الزلزالي 158
6.8 من أهم توصيات هندسة الزلازل لتصميم منشآت مقاومة للهزات الأرضية 167

الفصل التاسع: التربية الزلزالية والتخفيف من مخاطر الزلازل

1.9 مـــقـــدمـــة 169
2.9 إجراءات الوقاية والتهيئة وكيفية التصرف أثناء وبعد حصول الزلازل 169
3.9 كيف تتعامل مع الزلازل في المدارس 174

المراجع 177

المـــــقـــدمـــــة:

استناداً للدراسات التي أجريت في دول المنطقة فإن فلسطين ومعها جميع الدول التي تقع حول حفرة الانهدام تصنف ضمن المناطق التي قد تتعرض في المستقبل لزلازل معتدلة الى قوية نسبياً (لمعرفة دلالة هذه الدرجة انظر الفصل الاول)، ويمكن للمباني والبنى التحتية إذا صممت ونفذت وفقاً لضوابط ومتطلبات الحد الأدنى للمباني المقاومة للزلازل أن تقاوم هذه الدرجة.

ومع ذلك أظهرت الدراسات والتقارير العلمية، أن العديد من المباني والمنشآت الموجودة في فلسطين وفي معظم الدول العربية لا تحقق الحد الأدنى المطلوب لمقاومة الزلازل المحتملة، وذلك لأن هذه المباني قد تم تصميمها وتنفيذها وفقاً لمفاهيم الهندسة الدارجة، فلا يزال العديد من المهندسين لغاية الآن، يصممون وينفذون المباني بدون الاخذ بعين الاعتبار القوى التي قد تحدثها الزلازل على هذه المباني. ورغم قرارات وتوصيات المؤسسات العلمية بضرورة الالتزام بالتصميم والتنفيذ الزلزالي للمباني، إلا ان النتائج على ارض الواقع كانت محدودة جداً، وذلك بسبب عدم وجود آليات للتنفيذ، وكذلك عدم وجود عمل مؤسسي فعّال ينقلنا من العمل بردة الفعل الفردي، إلى العمل بمنهجية الفعل الجماعي المؤسسي. وهذا يؤكد بأن المشكلة الحقيقية، لا تكمن في الزلزال نفسه، "فالزلزال لا يقتل، وما يفعل ذلك هو المباني أو الحرائق والانزلاقات التي تثيرها الزلازل"، بل تكمن في ضعف جاهزية وقدرة المؤسسات والمنشآت والانسان.

وتشكل الحالة الفلسطينية، وظروف الإنسان والمؤسسات الفلسطينية تحت الاحتلال، أحد العوائق الرئيسية لتنفيذ بعض الاجراءات والقوانين وخصوصاً السيادي منها، ومع ذلك، هناك عدد كبير من الثغرات يعود سببها إلى عوامل داخلية فلسطينية، وهذا ما سنراه من خلال دراسة محتويات هذا المقرر، وللمساهمة في معالجة الحالة القائمة، وبهدف التخفيف من مخاطر الزلازل المحتملة بادر المؤلف منذ العام 1996، ومن خلال قيادته لمركز علوم الأرض وهندسة الزلازل، في جامعة النجاح الوطنية، في وضع البرامج والخطط على كافة المستويات، ولجميع التخصصات ذات العلاقة، ابتداء من المواطن العادي، ومروراً بالمختصين ووصولا إلى صنّاع القرار، فقد تم إصدار نشرات توعية وإرشاد للمواطنين وأخرى علمية للمهندسين، وبوشر كذلك بعمل الدورات (دورات في تصميم المباني لمقاومة افعال الزلازل وأخرى في أدارة الكوارث وأسناد الطوارئ) في المحافظات الفلسطينية، وذلك وفق خطة وتنسيق كاملين مع نقابة المهندسين والمؤسسات ذات العلاقة، إضافة إلى إقامة عشرات المحاضرات والندوات وورشات العمل والحلقات العلمية، ولتعبئة وتثقيف المواطنين بكيفية تخفيف المخاطر الزلزالية استخدمت وسائل الإعلام كالصحف، والمجلات، والإذاعات، ومحطات التلفاز المختلفة. ولأهمية دور الشباب الفلسطيني في التغيير وبهدف تغيير العقلية ونمط التفكير الدارج، تم اعتماد مقررات اختيارية جديدة لجميع الكليات، مقرر "الزلازل وتخفيف مخاطرها"، ومقرر "إدارة الكوارث وإسناد الطوارئ"، إضافة إلى اعتماد تدريس مقررات هندسية متخصصة

بالتصميم الزلزالي والتخطيط لاستخدامات الأراضي لطلبة البكالوريوس والماجستير في كلية الهندسة في جامعة النجاح الوطنية.

وفي العام 1998، وعندما تم لاول مرة طرح وتدريس مقرر "الزلازل وتخفيف مخاطرها" باعتباره مقـرراً هندسياً لغير المهندسين، أثنت مؤسسات دولية ومن ضمنها بعض برامج اليونيسكو علـى رسـالة المقـرر ومحتوياته، وخلال سنوات تدريس المقرر تأكد، وبشكل قاطع، اهمية الرسالة التي حملها المقرر، وهذا مـا اظهرته عمليات التقييم الدورية التي تجريها الجامعة لجميع المقررات، بالاضافة للتقيـيم والمتابعـة التـي اجراها مركز علوم الارض وهندسة الزلازل بشكل خاص، فمن خلال الفعاليات التي ينفذها المركز لصالح المجتمع ومؤسساته، تم استطلاع آراء العشرات من الاشخاص الذين انتهوا من دراسـاتهم الجامعيـة مـن مختلف الكليات، وتم أخذ رأيهم بالمقرر وحجم الاستفادة التي حصلوا عليها. ومن الجدير بالذكر ان اكثر من الفي طالب وطالبة قد درسوا المقرر منذ عام 1998 وحتى العام 2007.

وبسبب طبيعة كل من المقرر والفئة المستهدفة (مقرر هندسي لغير المهندسين) عمل المؤلـف، وبـشكل مستمر، على تطوير المقرر، وبهدف تبسيط محتواه وتسهيل نقل المعلومة تم استخدام تقنيـة التـدريس المتقدمة، حيث تم التركيز على استخدام الوسائط الاعلامية المتعددة والوسائل الايضاحية المختلفة مثـل: الصور، والافلام، والمجسمات، واجهزة الاختبار، ونماذج الحاسوب، وأمثلة حقيقية لوقائع زلزالية..الخ.

ومن الجدير بالذكر، أن المؤتمر العالمي للحد من مخاطر الكوارث الذي دعت له الامم المتحدة، والذي عقد في كوبي في اليابان في العام 2005، قد خرج بقررات واولويات للعمـل للفتـرة 2005 2015، وقـد تضمنت قررات بعض المحاور التركيز على ضرورة وضع المفاهيم الاساسية للتخفيف من اثار الكـوارث واعتمادها كمقررات دراسية لطلبة الجامعات والمدارس، وهذا ما تم تنفيذه منذ العام 1998.

ويجب أن نضع دائماً نصب أعيننا أن الزلازل ظاهرة كونية طبيعية، لا يعلم لحظة حدوثها بالـضبط حتـى الان إلا عالم الغيب الله سبحانه وتعالى، ولا يمكن منعها، ولكن يمكن التخفيف من مخاطرها من خلال اتخاذ الإجراءات المناسبة على كافة المستويات، ابتداء من المواطن العادي، ومروراً بالمتخصصين، ووصولاً إلى صنّاع القرار. ويجب أن نعي تماماً أن حصر دائرة الفساد عند الحديث عن الزلازل فـي مجـال محـدد، كالفساد الأخلاقي، يسهم بطريقة غير مباشرة في تعزيز الحالة القائمة عند الأمة، فالفساد يجـب أن يؤخـذ بمعناه الشمولي، فمن لا يجدد علمه ويتابع تطوير مهنته، ولا يأخذ العبر من تجارب الآخرين و أخطائهم يعدُّ فاسداً، سواء أكان مهندساً، أم مقاولاً، أم مخططاً، أم طبيباً، أم معلماً، أم محامياً... الخ، وخطورة هذا النوع من الفساد تكمن في أنه مهني، وهنا تتجلى مشكلة أمتنا في المقام الأول، فالله يحب العمل المتقن، والـسعي والوصول الى العلم فريضة، فالمطلوب أن نأخذ بالأسباب، وأن نكون أمة متوكلة لا متواكلة.

المؤلف

الفصل الاول

علم الزلازل

1.1 مقـــــــــــــدمــة

إن أسوأ الكوراث الطبيعية التي شهدتها الكرة الأرضية كان سببها في الغالب الزلازل، فقد تؤثر على بقاع عديدة من الكرة الأرضية بصورة دورية ومنتظمة تقريباً، وقد تؤثر على مواقع أخرى بـصورة مفاجئة مسببة في كلتا الحالتين الكوارث والدمار، مما جعل العلوم الهندسية تركز اهتمامها على دراسة تلك الزلازل وتحليلها وصولاً إلى إيجاد معايير وكودات بناء لتصميم وتنفيذ منشآت مقاومـة لأفعـال الزلازل.

وتُعرف الزلازل على أنها ظاهرة جيوفيزيائية بالغة التعقيد، تظهر كحركات عشوائية للقشرة الأرضية على شكل ارتعاش وتموج عنيفين، وذلك نتيجة لإطلاق كميات هائلة من الطاقة مـن بـاطن الأرض، وهذه الطاقة تتولد نتيجة لحصول انكسارات أرضية في طبقات الأرض السطحية، وبالتالي تعرض هذه الطبقات وبشكل خاص في منطقة الصدوع الأرضية او بالقرب منها لإزاحات عمودية و/ او أفقية بـين صخور الأرض، وذلك نتيجة لتعرضها المستمر للتقلصات والضغوط الكبيرة، وبشكل عام، تتـراوح الزلازل في شدتها من هزات خفيفة بسيطة الضرر، إلى هزات عنيفة تؤدي إلى تشقق سطح الأرض، وتكوين الحيود والانزلاقات الأرضية وتحطيم المباني والطرق وخطوط الكهربـاء والميـاه... الـخ. ويتعاظم تأثير الهزات في الأراضي الضعيفة وخصوصاً في الرواسب الرملية والطينية حديثة التكوين. ويعلل ذلك بأن هذه الرواسب تهتز بعنف بسبب انخفاض معاملي مرونتها وصلابتها وعـدم مقـدرتها على تخفيف التأثير التسارعي الذي تتعرض له الحبيبات بفعل الزلازل.

تُعرف السيسمولوجيا Seismology على أنها علم الهزات الأرضية أو الزلازل، وهي أحـد فـروع الجيوفيزياء، وبشكل عام يهتم علم الزلازل بدراسة هيكلية وطبقات الكرة الأرضية، وبأصـل وسـبب وآلية حصول الهزات. وبدورها تعتمـد هندسـة الـزلازل (Earthquake engineering) علـى معطيات علم الزلازل، وتهتم بتحليل أثر الاهتزازات على العناصر الإنشائية واستقرار المنشآت، وذلك من خلال دراسة تصرف هذه المنشآت تحت تأثير الزلازل. وقد شهد النـصف الثـاني مـن القـرن العشرين تطوراً واضحاً لهندسة الزلازل، بحيث شملت تطبيقاتهـا جميـع أنـواع المنـشآت المدنيـة والصناعية والزراعية وغيرها، وأصبحت تعالج المشاكل الدقيقة للمنشآت.

2.1 أسباب الهزات الأرضية Earthquake Causes

منذ القدم، حاول الإنسان معرفة أسباب حصول الهزات الأرضية، حيث أظهرت المراجع التاريخية القديمة أن الشعوب والأمم القديمة، التي عاشت فوق الكرة الأرضية، حاولت إعطاء تفسير لظاهرة الزلازل، إلا أن جميع هذه التفاسير لم تخرج عن إطار الأساطير والخرافات أحياناً، وقد أظهرت بعض المراجع العلمية العربية (ايلوش 1996، والسنوي 1997) إمكانية عودة التفسير العلمي لأسباب الزلازل لأول مرة إلى العلامة ابن سينا، حيث أعطى تفسيراً لأسباب حصول الزلازل فيه الكثير من الصحة. أما في العصر الحديث فيعتبر العالم اولدهام (Oldham ,1900)، والعالم ريد (Reid,1910)، من أوائل من وضعوا الأسس الفيزيائية لتفسير عملية حدوث الزلازل. وبشكل عام، يمكن تصنيف المصادر المسببة للهزات الأرضية الى ما يلي:

أ – أسباب طبيعية لا دخل للإنسان بها.

ويمكن أن تحدث الزلازل نتيجة لعدد من الظواهر الطبيعية منها:

- الزلازل التكتونية Tectonic Earthquakes.
- الزلازل البركانية Volcanic Earthquakes.
- الزلازل الانهيارية Collapse Earthquakes.

ب – أسباب غير طبيعية.

وهي الزلازل التي تنتج من نشاطات الإنسان (Man-Made Earthquakes) التي تخل باتزان القشرة الأرضية مثل:

- التفجيرات الكيماوية والنووية Chemical and Nuclear Earthquakes.
- الضجيج الحضري Cultural Noise.
- الردميات والحفريات مثل البحيرات الصناعية الكبيرة والمحاجر العملاقة.
- استخراج كميات كبيرة جداً من المياه الجوفية والسوائل، وحقن السوائل في بعض أماكن التنقيب او استخراج النفط.

ويّشار إلى أن بعض النشاطات المذكورة أعلاه يمكن السيطرة عليها تماماً كالتفجيرات، وبعضها الآخر يمكن أن يعمل كمحرض لحدوث الزلازل وبشكل غير قابل للتحكم به.

1.2.1 الزلازل التكتونية Tectonic Earthquake

يصنف المختصون الهزات الأرضية التكتونية (السنوي 1997) بشكل عام الى صنفين:

- الزلازل الواقعة على حدود الصفائح التكتونية، ويشكل هذا النوع من الزلازل 90% من مجموع الزلازل التي حصلت، وعموماً يتوافر لهذا الصنف من الزلازل عدد كبير من الدراسات الزلزالية.
- الزلازل القارية، وهي التي تقع بعيداً عن حدود الصفائح (في داخلها)، وبسبب قلة الدراسات المتعلقة بهذا النوع، فإن أسبابها وأوضاعها التكتونية غير مفهومة تماماً.

وعموماً تنشأ الزلازل التكتونية نتيجة للحركة النسبية للصفائح المشكلة للقشرة الأرضية، حيث يبدأ تراكم الاجهادات الداخلية في الصخور الواقعة على حدود الصفائح المتحركة، وعندما تصبح قيم الاجهادات المتراكمة اكبر من قيمة الاجهادات القصوى التي يمكن ان تتحملها الصخور فإنّ ذلك يؤدي إلى تشكل صدوع (فوالق) عبر السطح الضعيف، وبسبب وجود اجهادات عالية حول التشققات تنتشر وتتكاثر التشققات، الأمر الذي يؤدي إلى حصول تحرك فجائي للصخور في منطقة التشققات، مما يؤدي إلى إطلاق كمية هائلة من الطاقة المتراكمة وبشكل فجائي محدثة زلزالاً في المنطقة. وتعتبر الهزات التكتونية أهم أنواع الهزات الأرضية الطبيعية، فإضافة لكون 90 % من العدد الكلي للهزات المسجلة ذات طبيعة تكتونية، فان هذا النوع من الهزات يوصف:

- بشدته الكبيرة،
- و بتأثيره على مساحات واسعة،
- و بتسببه بحدوث دمار وخراب كبيرين.

2.2.1 الزلازل البركانية Volcanic Earthquakes

في المناطق الضعيفة من القشرة الأرضية، تندفع الصخور المنصهرة والمنطلقة من الأعماق الصهارية باتجاه الطبقات الخارجية، مما قد يؤدي الى تراكم وتركيز الاجهادات على هذه الطبقات، وبالتالي احتمال حدوث صدوع فجائية وحركات اهتزازية للقشرة، وقد يرافق، أو يتبع ذلك، انطلاق الصهارة بسرعة إلى الخارج. واستناداً إلى عمق المركز الجوفي في الزلازل البركانية يمكن تصنيف هذه الزلازل إلى ثلاث مجموعات:

- عمق المركز الجوفي $D = 1\text{-}10$ Km
- عمق المركز الجوفي $D < 1$ Km
- المركز الجوفي على سطح الأرض تقريباً، وفي العادة يكون تأثير هذا النوع من الزلازل شبيهاً بالانفجارات.

وعموماً تعتبر الزلازل البركانية أقل شدة من الزلازل التكتونية، ومنطقة تأثيرها محدودة بمساحة صغيرة من سطح الأرض. كما أن الزلازل البركانية يمكن أن تحدث بشكل متواصل لفترات طويلة نسبياً وتسبب في هذه الحالة رجفات بركانية متواصلة.

3.2.1 الزلازل الانهيارية Collapse Earthquakes

يحدث هذا النوع من الزلازل نتيجة حصول انهيارات في عمق الأرض، مثل انهيارات الكهوف والمغر الكبيرة، وبشكل عام، يكون تأثير الزلازل الانهيارية محلياً ومحدوداً بمناطق صغيرة، وذلك بسبب ضآلة الطاقة الزلزالية المتولدة.

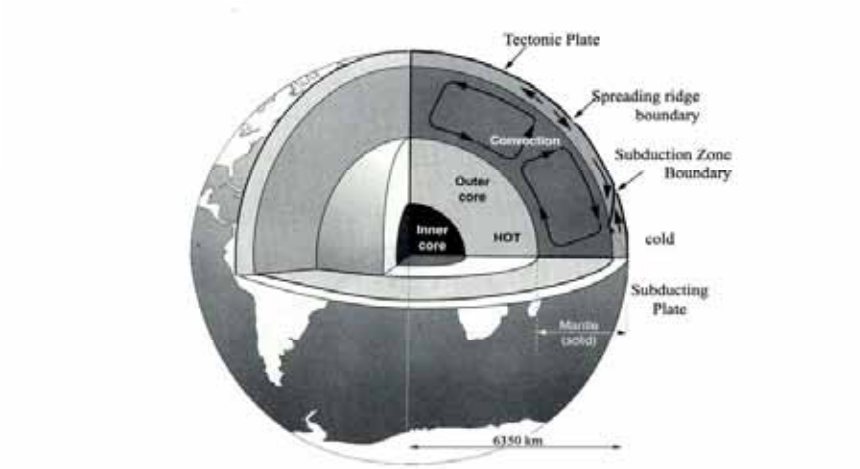
3.1 حركة القشرة الأرضية والصدوع التكتونية
Crustal Movements and Tectonic Faults

تمثل القشرة الأرضية طبقة سطحية رقيقة نسبياً بالنسبة لقطر الكرة الأرضية، وتبلغ سماكتها بحدود 35كم في معظم المناطق القارية وتنخفض إلى سماكة وسطية قدرها 10-15كم في منطقة المحيطات. واستناداً للدراسات الجيولوجية تتكون الكرة الأرضية من الاجزاء التالية، انظر الى الشكل (1.1):

- القشرة الأرضية (Crust).
- غلاف الأرض الصخاري والمعروف باسم الليتوسفير (Lithoshpere).
- غلاف الأرض الصهاري والمعروف باسم الأستينوسفير (Asthenosphere).
- غلاف النواه الخارجية (Outer core).
- نواة الأرض (Inner core).

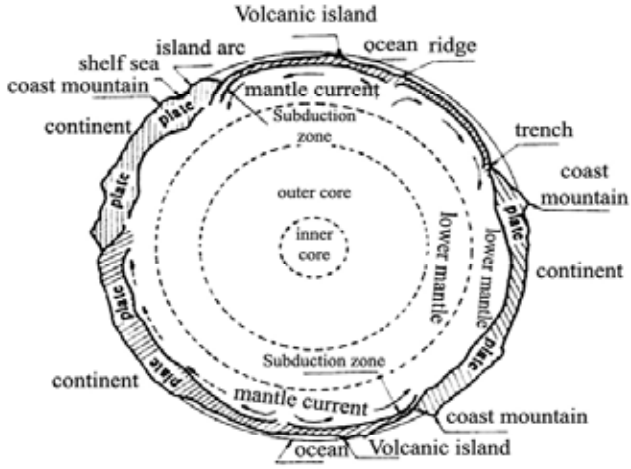
1.3.1 حركة القشرة الأرضية Crustal Movements

في مطلع القرن العشرين ظهر رأي يقول: إن القارات انجرفت أو تزحزحت على سطح الأرض، وقد قوبلت هذه الافكار في حينه بكثير من التشكيك من قبل البعض، وذلك لان الرأي السائد في تلك الفترة كان يقول بأن القارات وأحواض المحيطات هي ملامح ثابته ودائمة على سطح الأرض. وفي أواسط القرن العشرين تقريباً تم تحويل الافتراض المتعلق بانجراف وزحف القارات إلى نظرية فاعلة تربط بين كل العمليات الأساسية التي تشكل ارضنا، حيث تمخض عن ذلك تقديم النظرية الحركية الحديثة: نظرية تكتونية الصفيح (Plate Tectonic Theory) التي زودت الجيولوجيين بنموذج متكامل. وحسب هذا النموذج الحركي فإن الغلاف الخارجي للأرض قد تفتق إلى عدة قطع منفردة شكلت الواحاً منفردة وصلبة تسمى الصفائح التكتونية (Tectonic Plate)، ومن المعتقد ان هذه الصفائح تتحرك ببطء وباستمرار. ويتوقع ايضاً أن المسؤول عن هذه الحركة هو الفرق في درجات الحرارة والكثافة



Convection currents in mantle. Near the bottom of the crust, horizontal component of convection currents impose shear stresses on bottom of crust, causing movement of plates on earth's surface. The movement causes the plates to move apart in some places and to converge in others.

(a) الطبقات الداخلية للأرض وتيارات الحمل الحراري (Noson, 1988)



(b) تيارات الحمل الحراري وحركة الصفائح القشرية

شكل (1.1): التركيب الداخلي للكرة الأرضية وآلية حركة الصفائح (Steven K, 1996)

والضغط في طبقات الأرض. فعندما ترتفع المواد الساخنة إلى أعلى من أعماق الأرض، وتتوزع جانبياً عن طريق تيارات الحمل، تبدأ الصفائح الصخرية باحداث الزلازل والنشاطات البركانية.

وبسبب حركة الصفائح القشرية، استنتج العلماء أن قارات الكرة الأرضية الحالية كانت قبل 200 مليون سنة متلاصقة على شكل قارة عملاقة واحدة أطلق عليها اسم البانجي (Panangea)، انظر الشكل (2.1)، ونتيجة للحركة المستمرة لغلاف الصهاري، ومع مرور عشرات أو مئات الملايين من السنين، انقسمت البانجي بشكل تدريجي إلى عدة قطع، وصولاً إلى وضعها الحالي.

ويعتقد بأن الحركة النسبية لصفائح القشرة الأرضية (شكل3.1) ستبقى عامل تغيير في بنية القشرة الأرضية، فتصادم صفيحتين، أو تباعدهما أو حركتهما الجانبية، بالنسبة لبعضها البعض، أثرت وما زالت تؤثر في تضاريس الأرض مكونةً الوديان والاخاديد في منطقة التباعد (تباعد الصفائح)، والجبال والسلاسل الجبلية في منطقة التصادم. ومن الامثلة على تصادم الصفائح، وتكوين السلاسل الجبلية، تكوين سلسلة جبال طوروس وزاغروس في كل من تركيا وايران والناشئة عن اصطدام الصفيحة العربية مع الصفيحة الايرانية، انظر الشكل (4.1 أ)، ومن الجدير بالذكر أنه بسبب هذه الحركة للصفيحة العربية، فإن ابتعادها عن الصفيحة الأفريقية يؤدي إلى حصول اتساع في عرض البحر الأحمر قيمته 2 سم سنوياً في مناطقه الجنوبية، وبالاعتماد على الحركة النسبية للصفائح، ولتكوين القارات يعتقد أن البحر الأحمر لم يكن موجوداً قبل عشرات الملايين من السنين.

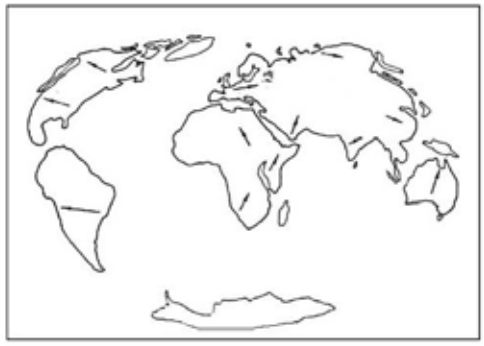
2.3.1 الصدوع التكتونية Tectonic Faults

بما أن كل صفيحة تتحرك كوحدة مستقلة، فان اللقاء بين الصفائح يحدث على امتداد اطرافها، وقد تم تحديد أطرافها عن طريق رسم مراكز الزلازل والنشاط البركاني (انظر البند 5.1)، وعندما تلتقي صفيحتان فإن طرف إحداهما المقترب ينصاع إلى اسفل مسهلاً بذلك عملية انزلاقه تحت الآخر. وعندما تصطدم صفيحتان صخريتان أحداهما محيطية والأخرى قارية، فإن المادة المحيطية التي هي اكثر كثافة دائماً تغوص في الغلاف الوهن الضعيف تحتها.

وعندما تتحرك الصفائح (أياً كان نوعها) وفق مسارات ليست تصادمية تماماً تنشأ بين الكتل المتحركة سطوح فاصلة نسميها بالصدوع/ أو الفوالق (انظر الأشكال3.1 و4.1)، ويمكن أن تكون الحركة النسبية بين الصفائح على جانبي الصدع جانبية (انظر الشكل4.1)، فيسمى الصدع في هذه الحالة بالصدع الجانبي أو التحويلي (Lateral fault)، وأما إذا كانت الحركة النسبية عمودية، فيدعى الصدع في هذه الحالة الصدع العمودي (Normal fault).

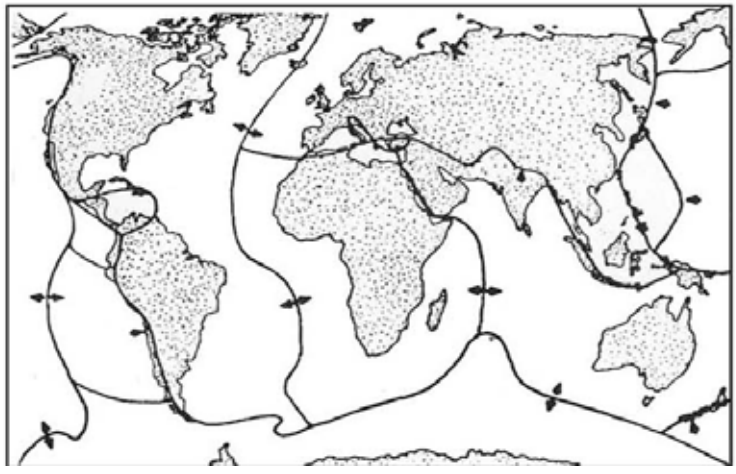
شكل الكرة الأرضية قبل 200 مليون سنه

شكل الكرة الأرضية قبل 65 مليون سنه

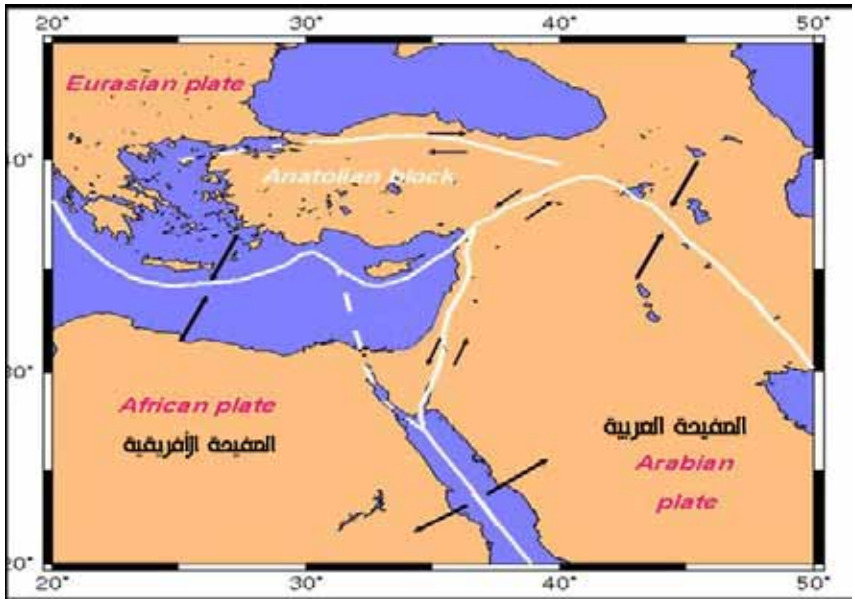


الوضع الحالي

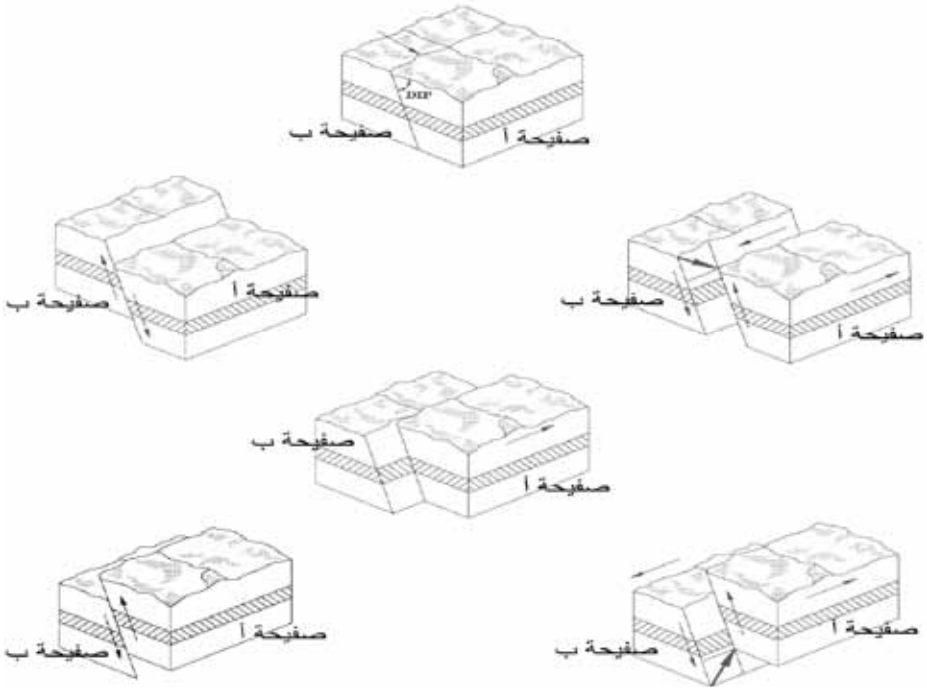
شكل (2.1): حركة الصفائح (القارات) في الكرة الأرضية (Sadek A, 1998)



شكل (3.1): اتجاه الحركة النسبية لصفائح القشرة الأرضية ومواقع الصدوع القارية الرئيسية (Pop I, 1985)



شكل (4.1 أ): اتجاه حركة الصفيحة العربية (DESERT Team, 2004)



شكل (4.1 ب): أنواع الصدوع الأرضية وأشكال التشوهات والإنكسارات الأرضية التي تحدثها (Naeim F. 2001)

وحسب حركة الصفيحة المقابلة للناظر عبر الصدع، يتم عادة تمييز نوعين من الصدوع الجانبية (جانبي يساري وتحويلي يميني)، وفي كلتا الحالتين تسمى حركة الصدع الجانبي بحركة انزلاق مضربية (Strike-slip motion). ويعتبر صدع البحر الميت، وكذلك صدع سان اندرياس في الولايات المتحدة الامريكية، من الأمثلة الشهيرة على الصدوع الجانبية/التحويلية (ايلوش 1996). وقد أظهرت الدراسات الزلزالية (Desert 2000) التي اجريت في المنطقة أن هناك حركة نسبية جانبية بين الأردن وفلسطين (انظر إلى الأشكال 4.1 أ، و 20.1)، وتتراوح قيمة المعدل السنوي لمقدار هذه الحركة بين 7 و 11 مم سنوياً. ومن الأمثلة (الشواهد الزلزالية) على شكل حركة الصدوع انظر الأشكال (5.1) و (6.1).

شكل (5.1): تشوهات أرضية على شكل إزاحة جانبية (صدع تحويلي) نتيجة الحركة القاصة على الصدع الأرضي (U.S. Geological S. 2000)

أ) أطراف متقاربة (التقاء الصفائح)

ب) أطراف متباعدة (تباعد الصفائح

ج) كسر أرضي عمودي

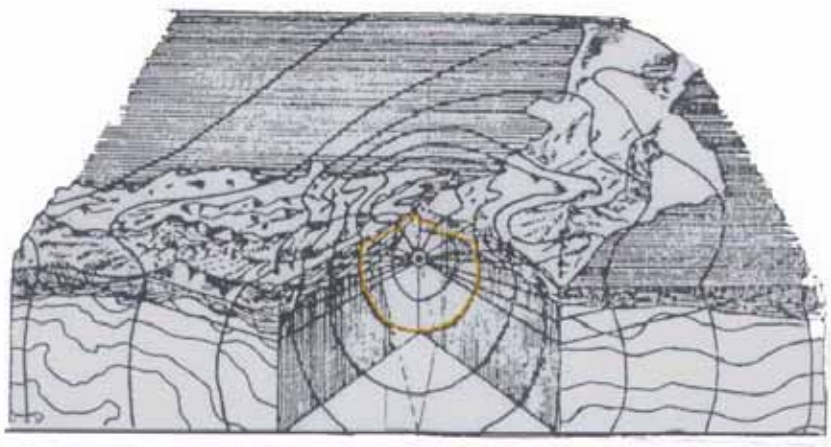
شكل (6.1): مشاهدات لأحداث زلزالية تظهر انكسارات أرضية

4.1 الموجات الزلزالية Seismic Waves

تنتشر الطاقة الزلزالية الناتجة عن اهتزاز طبقات الأرض في مركز الزلازل البؤري على شكل موجات زلزالية (شكل7.1)، حيث تمر هذه الموجات من خلال طبقات الأرض المختلفة حتى تصل الى سطح الأرض مسببةً اهتزازات لجميع الأجسام والمنشآت الموجودة في منطقة تأثيرها. وبشكل عام، تتأثر طاقة الموجات الزلزالية بالخواص الفيزيائية، والتركيب الجيولوجي للطبقات الصخرية التي تمر من خلالها. وتقسم الموجات المرنة المنبعثة من بؤرة الزلازل إلى نوعين رئيسين هما: الموجات الجسمية والموجات السطحية.

1.4.1 الموجات الجسمية Body Waves

تنتشر هذه الموجات داخل الأرض في جميع الاتجاهات، وتقسم بدورها الى نوعين، همـــا: الموجـــات الطولية، والموجات العرضية.



شكل (7.1): انتشار الموجات الزلزالية من المركز الجوفي إلى سطح الأرض (Pop I, 1985)

أ – الموجات الطولية / أو الأولية (Primary or P-waves):

ينتشر هذا النوع من الموجات من خلال تغير حجم الوسط الذي تمر من خلاله محدثة تشوهات ضغط (انظر الشكل8.1)، لذلك عرفت في بعض المراجع العلمية باسم الموجـــات التـــضاغطية. وتوصـــف الموجات الطولية بأنها أسرع الموجات الزلزالية وأول ما تسجله الأجهزة الزلزالية (انظر إلى الأشكال 9.1 و14.1)، وتكون ذبذبتها (اهتزاز دقائق الوسط) مع اتجاه حركتها، ويـــستطيع هـــذا النـــوع مـــن الموجات المرور من المناطق السائلة أو المنصهرة من طبقات الأرض.

ب – الموجات العرضية (S-Wave) :

تتميز الموجات العرضية في أنها أبطأ من الموجات الطولية، وأن حركة اهتزاز دقـــائق الوســـط (الذبذبة) تكون باتجاه عمودي على مسار انتشار الموجة (انظر الشكل8.1)، لذلك سميت بموجات القص أو العرضية، وهذا النوع من الموجات لا يتذبذب في السوائل لأن معامل القـــص للـــسوائل يساوي صفراً، وهذا يعني أنها لا تستطيع الانتقال عبر السوائل والموائع، فهي لا تنتشر إلا فـــي الأجسام الصلبة.

وبشكل عام لجميع المواد تكون سرعة الموجات العرضية أقل من الطولية ($V_s \langle V_p$)، حيث السرعة القصوى لانتشار الموجات الطولية لا يمكن أن تتجاوز 7 8 كم/ث، وبذلك تصل أولاً إلى سطح الأرض، أما الموجات العرضية فسرعتها أقل من سرعة الموجات الرئيسية، وأقصى سرعة محتملة لا تتجاوز 4 5 كم/ث. وبشكل عام يمكن توضيح تتابع مراحل وصول الموجات الزلزالية من خلال الشكل (9.1). وعموماً أظهرت الدراسات ان سرعة الموجات في طبقات صخر الجرانيت تساوي:

$$V_p \cong 5.8 km / \sec \qquad V_s = 3.5 km / \sec$$

ويشار إلى أن سرعة الموجات الزلزالية الطولية والعرضية في الأوساط (المواد) المرنة لا تعتمد على تردد هذه الموجات، أما العلاقة بين نسبة هذه السرعات (V_p/V_s) وعمق المركز الجوفي للزلزال فهي طردية. وبشكل عام أظهرت الدراسات الجيوفيزيائية أن النسبة بين سرعات هذه الموجات، هي:

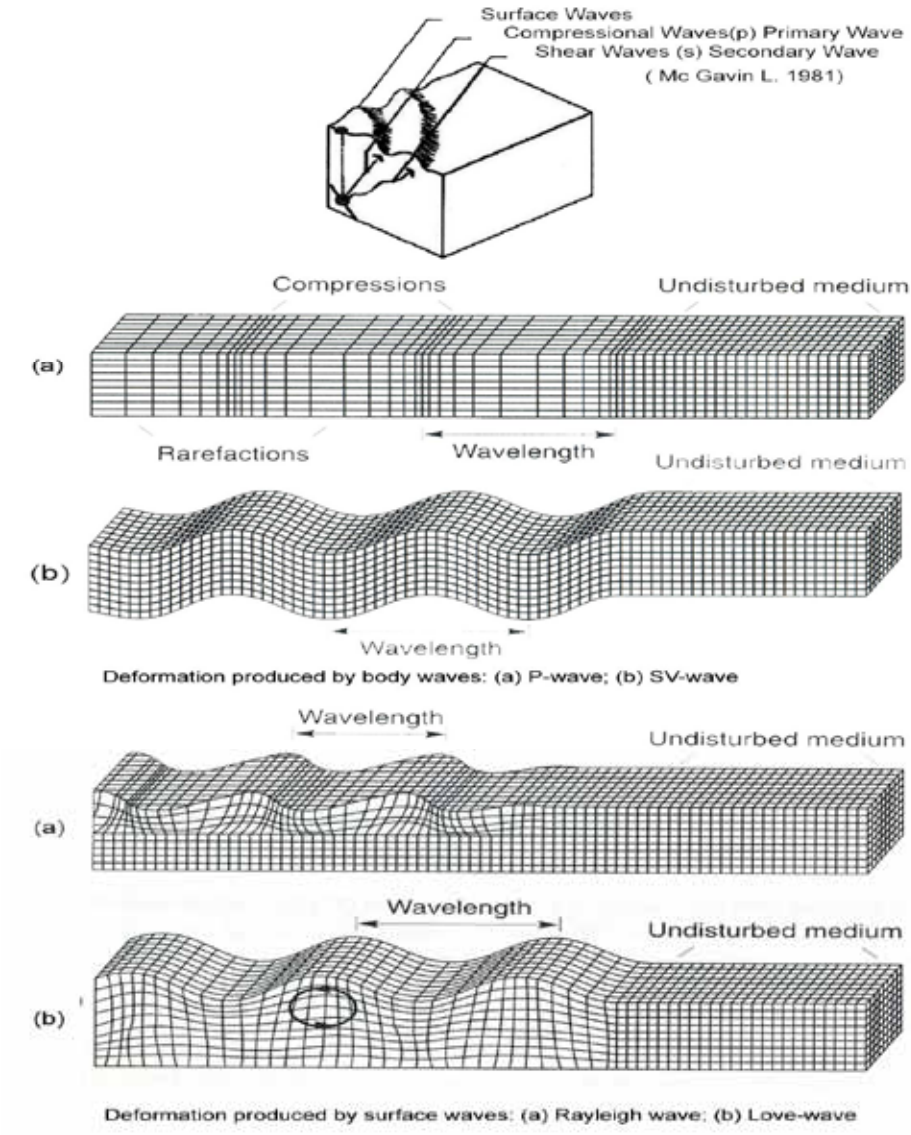
$$\frac{V_p}{V_s} = 1.67 - 1.78 \qquad (1.1)$$

حيث: النسبة 1.67 تكون في الغالب للهزات ذات المراكز الجوفية قليلة العمق (مثل منطقة كاليفورنيا)، أما في المناطق التي تكون بؤرها (مراكزها الجوفية) الزلزالية اكثر عمقاً، مثل اليابان فقد تصل النسبة الى 1.73. ومن الجدير بالذكر أن تحديد قيمة النسبة Vp/Vs يعتبر مهماً وضرورياً للرصد الزلزالي، فكل دولة بحاجة لتحديد قيمة هذه النسبة في مناطقها، ولتحقيق ذلك تجري دراسات من خلال تنفيذ زلازل صناعية باستخدام التفجيرات، حيث يتم ايجاد سرعة الموجات المختلفة في طبقات الصخر، وبالتالي ايجاد نموذج السرعة الملائم (Velocity Model)، أي تحديد قيمة النسبة V_p/V_S، التي سيتم اعتمادها في ايجاد موقع مراكز الزلازل وتحديد مقدار درجة الزلازل.

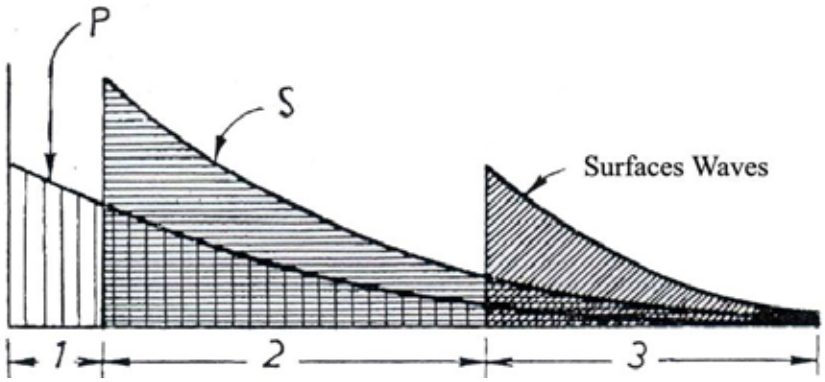
ولايجاد سرعة الموجات الزلزالية في المنطقة، تم اجراء عدد من الزلازل الصناعية، وذلك من خلال استخدام التفجيرات، ومن أهم هذه التجارب في المنطقة، التفجيرات التي تم إجراؤها في شهر 1999/11 في البحر الميت، والتي تم تنفيذها من قبل بعض دول المنطقة كمساهمة في نشاطات منظمة الخطر الشامل للتجارب النووية الخاصة بمعايرة محطات رصد الزلازل، وذلك من خلال معايرة أزمان انتقال الموجات الزلزالية، وبالتالي تحسين دقة تحديد مواقع الزلازل بشكل عام، والتفجيرات النووية بشكل خاص (عمرات 2000، والدبيك 2000- التفجيرات التجريبية في البحر الميت)، وكنتيجة لهزة التجارب، تم التوصل الى أن سرعة الموجات الطولية في القشرة الأرضية في مناطق فلسطين والأردن تتراوح من 4.4 كم/ثانية الى 6.4 كم/ثانية، وفي الجزء العلوي من الوشاح 8 كم/ثانية تقريباً.

2.4.1 الموجات السطحية Surface Waves

عندما تقترب الموجات الطولية والعرضية من سطح الأرض، تتولد أنواع أخرى من الموجات تسمى الموجات السطحية، وتنتشر هذه الموجات في الطبقات العليا من القشرة الأرضية في ظروف معينة، وتسبب هذه الموجات في إحداث حركات سطحية للقشرة الأرضية نتيجة لمساراتها الدائرية، وعادة تكون سرعة هذه الموجات أبطأ من الموجات الجسمية، ويمكن تمييز نوعين من الموجات السطحية:



شكل (8.1): أنواع الموجات الزلزالية والتشوهات التي تحدثها في الوسط الذي تمر من خلاله (Steven 1996)



شكل (9.1): مراحل وصول و تسجيل الموجات الزلزالية (Pop .I.1985)

أ – **موجات رايلي** (Rayleigh Waves)

تتحرك هذه الموجات على شكل قطع ناقص او اهليلجي (Ellipse)، في المستوى العمودي لمسار انتشار الموجة (انظر الشكل8.1)، وقد أظهرت الدراسات ان سرعتها نسبة لسرعة الموجات المستعرضة والطولية تساوي تقريباً:

$$V_{LR} = 0.919\, V_s \quad \text{and} \quad V_{LR} = 0.547\, V_p \qquad \textbf{(2.1)}$$

ب – **موجات لوف** (Love Waves)

يلاحظ هذا النوع من الموجات عندما تكون سرعة الطبقة العليا أقل من الطبقات التي تحتها، وتتذبذب بشكل عرضي على مسار اتجاه الانتشار (انظر الشكل8.1)، وسرعتها مقاربة لسرعة الموجات العرضية. ويرمز لموجات لوف بـ LQ-Wave.

وقد أظهرت الدراسات الزلزالية (Pop.1985)، ان سرعة موجات لوف تساوي 1.5 5 كم/ث في حالة التربة القوية و 0.5 1.5 كم/ث في حالة التربة الطينية

5.1 المراكز الجوفية والمراكز السطحية للزلازل

Earthquake Hypocenters and Epicenters

بالنسبة للزلازل ذات الطبيعة التكتونية تقع المراكز الجوفية (Hypocenters) في معظم الحالات على أعماق منخفضة نسبياً تتراوح بين 5-80 كم، علماً أن أقصى عمق محتمل للمراكز الجوفية الزلزالية قد يصل الى 700كم. ولتحديد مواقع المراكز الجوفية والسطحية للزلازل، بمعنى اخر لايجاد المسافة التي تفصل محطة الرصد وكل من المركز الجوفي والمركز السطحي للهزات الارضية (انظر الشكل10.1)، يستخدم عادة أكثر من طريقة، ومن هذه الطرق، استخدام التسجيلات الجيوفيزيائية

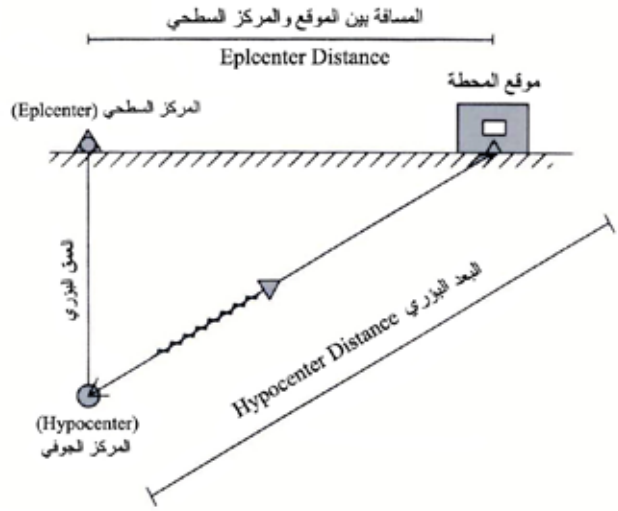
لزمن انتشار الموجات الزلزالية الطولية والعرضية، وبناء على المعطيات يمكن استخدام العلاقة التالية لتحديد الموقع التقريبي للبؤرة:

$$d = \left[\frac{1}{V_s} - \frac{1}{V_p} \right]^{-1} T_1 \qquad \textbf{(3.1)}$$

حيث : V_s سرعة انتشار الموجات العرضية.

V_p سرعة انتشار الموجات الطولية.

T_1 الفترة الزمنية بين وصول الموجتين الطولية والعرضية.



شكل (10.1): المراكز الجوفية و السطحية للهزات الارضية (المؤلف)

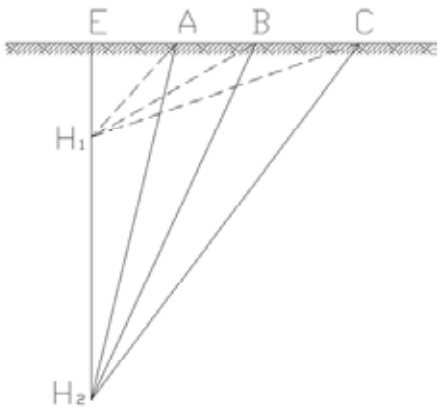
ويتطلب تحديد الموقع التقريبي للمركز السطحي للزلزال استخدام تسجيلات 3 محطات زلزالية على الأقل، حيث يتم تحديد قيم البعد البؤري d (Hypocenter distance) لكل محطة باستخدام العلاقة (3.1).

وبشكل عام يمكن تقسيم الزلازل من حيث عمقها إلى :

- زلازل سطحية (ضحلة) $D \langle 70 km$
- زلازل متوسطة العمق $70\ km < D < 300\ km$
- زلازل عميقة $D \rangle 300 km$

ولتوضيح العلاقة بين الشدةالزلزالية وعمق المراكز الجوفية للزلازل انظر الشكل (11.1)، فمثلاً إذا صدر عن المركزين H_1 و H_2 نفس الطاقة الزلزالية، فإن تأثيرالمركز H_1 على المواقع "E,C,B,A" يكون أكبر من أثر الهزات الصادرة عن المركز H_2 ، وذلك لأن الشدة الزلزالية تتناسب طرديـاً مـع كثافة الطاقة، وعكسيا مع المسافة (عكسياً مع مربع المسافة) بين المركز والموقع المختار. ومن الجدير بالذكر أن أثر زلزال H_2 على المواقع "E,C,B,A" يكون متساوياً تقريباً.

وتسمى المنطقة أو النقطة التي تمثل مسقط المركز الجوفي للزلازل على سطح الأرض مركز الزلزال السطحي (Epicenter)، (انظر الشكل 10.1)، وعادة يمكن تحديد موقع المركز السطحي من خلال استخدام طرق وعلاقات رياضية بسيطة، هي:

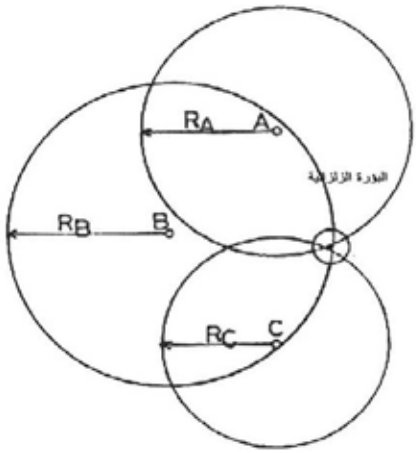


شكل (11.1):العلاقة بين عمق بؤرة الزلازل وكل من شدتها، و مساحة انتشارها (المؤلف).

- إذا كان الزلزال قد وقع في موقع مأهول، فانه في هذه الحالة يمكن تحديد موقع المركز بعد دراسـة الـشدة الزلزاليـة (Earthquake intensity) للمنطقة المتأثرة بالزلزال، حيـث يكـون موقـع المركز السطحي في مركز الخـط الكنتـوري ذي الشدة القصوى.

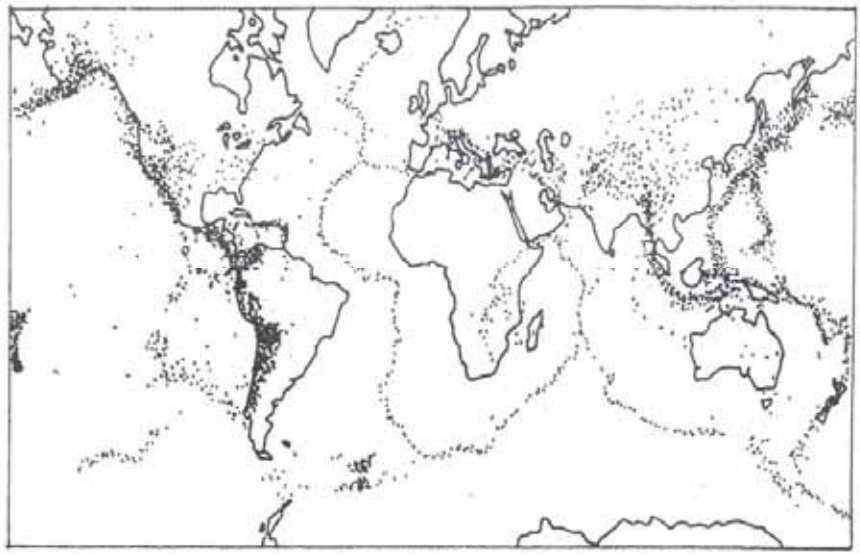
- إذا تم تسجيل الزلزال بثلاث محطات على الاقل، فيمكن في هذه الحالة تحديد المركز السطحي باستخدام العديد من الطرق أهمها: طريقة الدوائر انظر الشكل (12.1).

وقد تختلف الدول المجاورة فيما بينها في تحديد موقع المراكز (المركز الجوفي والمركز الـسطحي)، حتى وان تم استخدام نفس الطرق الحسابية المشار اليها أعلاه، وذلك لعدة اسباب أهمها: الاختلاف في دقة الاجهزة المستخدمة، وخطأ التوقيت الذي قد تسببه ساعة الجهاز، والأخطاء في تحديد بداية ظهور الموجات الزلزالية المختلفة (P و S)، والنقص في المعطيات الأخرى. وبشكل عام، تتوزع المراكـز السطحية للزلازل التكتونية قرب صدوع الصفائح الرئيسية للقشرة الأرضية، انظر الشكل (13.1) ثم قارنه مع الشكل (3.1). وعموماً يمكن أن تقع المراكز السطحية للزلازل في الأجزاء اليابسة من الكرة الأرضية أو في البحار والمحطيات، وفي حالة الزلازل التي تقع مراكزها السطحية في قاع البحـار أو المحيطات قد تؤدي هذه الزلازل إلى حدوث أمواج مائية ضخمة جداً تُسمى "التسونامي" وهـي كلمـة يابانية معناها أمواج الموانئ أو الخلجان. إذ تؤدي الاهتزازات المصاحبة لحدوث الزلازل إلى تكوين



شكل (12.1): تحديد الموقع البؤري (المركز السطحي) باستخدام ثلاث محطات زلزالية على الأقل (السنوي 1997)

شكل (12.1): تحديد الموقع البؤري (المركز السطحي) باستخدام ثلاث محطات زلزالية على الأقل (السنوي 1997)



شكل (13.1): توزيع المواقع الزلزالية (المراكز السطحية) على سطح الكرة الأرضية
(Pop I. 1985)

هذه الأمواج، وقد تصل سرعتها إلى 800 كم/ساعة، وذلك نتيجة لانزلاق صفائح القشرة الأرضية عمودياً على بعضها انظر الشكل (6.1 ج)، ومما يجدر ذكره هنا أن الزلازل التي تنشأ عن انزلاقات أفقية في الصفائح لا تؤدي إلى تكون أمواج التسونامي. وتعتبر أمواج التسونامي التي نجمت عن

زلزال سومطره/ إندونيسيا 2004/12/26، واحدة من اكبر الكوارث الطبيعية التي حصلت في العالم فقد أدت الأمواج المائية إلى تدمير عشرات آلاف المنازل على شواطئ سومطره، والهند، وسيريلانكا، وتايلاند، وجزر المالديف وغيرها، مما ادى لقتل اكثر من مائتي الف شخص وتشريد الملايين، حتى أن آثار هذه الأمواج قد وصلت إلى سواحل عُمان والصومال، وما يميز هذا الزلزال أن مساحة تأثيره كانت كبيرة جداً فقد أثر انتشار هذه الأمواج على مناطق تبعد آلاف الكيلومترات عن مركز الزلزال، وهذا بلا شك يعود بالدرجة الأولى إلى قوة الزلزال التي وصلت إلى 9 درجات حسب مقياس ريختر.

ومن الجدير بالذكر، أن تحديد مواقع المراكز السطحية للزلازل التاريخية التي حصلت في منطقة معينة (مثلاً في فلسطين والمناطق المجاورة) يعتبر عاملاً رئيسياً في دراسات النشاط الزلزالي واحتمال التعرض للزلازل (انظر البند 10.1).

6.1 تسجيلات الحركات الأرضية Ground Motion Records

تنشأ الحركات الزلزالية بسبب الاهتزازات التي تحدثها الموجات الزلزالية (انظر البند 4.1)، فعند وصول هذه الاهتزازات الى سطح الأرض، يتم تسجيلها بوساطة أجهزة خاصة لرصد الزلازل. لذلك ارتبط تطور علم الزلازل تاريخياً باكتشاف وتطور الاجهزة الزلزالية المختلفة وبتطور واستنباط العلاقات الرياضية – الفيزيائية للحركات الموجية. ففي البداية كانت أجهزة الرصد الزلزالي ميكانيكية، ومن ثم تطورت لتصبح أجهزة كهرومغناطيسية، وبدوره تطور التسجيل الورقي ليصبح تسجيلاً فوتغرافياً ثم مغناطيسياً، وفي نهاية القرن العشرين تطورت الاجهزة المختلفة للرصد والتحليل الزلزالي فأصبحت أجهزة رقمية. وبشكل عام يعرف جهاز التسجيل الزلزالي (Seismograph)، بأنه الجهاز الذي يّسجل الاهتزازات الأرضية، ويسمى السجل او التمثيل البياني الناتج بالسيسموغرام (Seismogram)، ويستخدم حالياً لتسجيل الحركات الاهتزازية للأرض انواع متعددة من اجهزة السيسموغراف (Seismograph)، حيث لكل نوع مجال ترددي خاص به.

في هذا الفصل سنكتفي باعطاء فكرة عن تسجيل وتحليل الحركات الارضية الزلزالية، وذلك من خلال توضيح الخصائص والعوامل التي تؤثر على هذه الحركات، وبسبب المجال الواسع جداً لطرق تسجيل وتحليل الحركات الاهتزازية المختلفة، سيتم التركيز على كيفية التعامل مع تسجيلات اجهزة الحركات الزلزالية القوية (Strong Motion Accelerograph). ولاخذ فكرة عن الهيئة او الشكل العام لأكسيليروغرام (Accelerogram) انظر الشكل (14.1– أ)، حيث يبدأ التسجيل بوصول الموجات الطولية P وبعد فترة من الوقت مدتها T_1 تبدأ بالظهور الموجات العرضية S.

وعموما تتميز الحركات الارضية الزلزالية بالعلاقة مع الزمن في انها عشوائية وغير منتظمة من حيث الاتجاه والسعة والتردد، واستناداً الى خصائصها يمكن تصنيف الحركات الزلزالية (الاكسيليروغرام) وبالتالي الزلازل، الى:

أ **هزات أرضية سطحية ذات صدمة ديناميكية واحدة (Single shock)**، انظر الشكل (14.1ب) ومن اهم ما يميز هذا النوع من الهزات، انها:

- قليلة السعة (Amplitude)،
- قليلة العمق، فعمق مراكزها الجوفية (Hypocenters) اقل من 20 كم،
- تؤثر على مساحات صغيرة حول مراكزها السطحية،
- تحدث زلازل لا يتجاوز مقدارها في الغالب (5.4 – 6.2) درجة،
- تظهر أو تتولد في التربة القوية،

وبالإضافة لذلك يتميز هذا النوع من الهزات بقصر زمنها الدوري T (Natural Period)، وكذلك صغر المدة الكلية لتأثير الزلزال (t)، ومن الأمثلة على هذا النوع من الزلازل Port Hueneme(1957). وما يميز هذا النوع من الهزات كذلك أن أثرها التدميري يكون عادة في اتجاه واحد. ولبعض الزلازل من هذا النوع اثار مدمرة، ومن الامثلة على ذلك، زلزال أغادير (1960)، وزلزال يوغوسلافيا Skopie (1963)، وزلزال ليبيا (1963)، وزلزال سلفادور San (1965) Salvador، وزلزال Parkifield (1971) .

ب هزات ذات حزمه واحدة من الحركات الاهتزازية القوية (شكل 14.1 ب)

من الأمثلة على هذا النوع من الهزات، زلزال سان فرانسيسكو (1957.03.22)، حيث تم تسجيل اهتزازته في الطابق الأرضي والطابق العلوي لأحد المباني التي تبعد مسافة 17.3 كم عن المركز السطحي، علماً أن المبنى يتكون من 15 طابقاً وهيكله الانشائي يتكون من إطارات هيكلية معدنية.

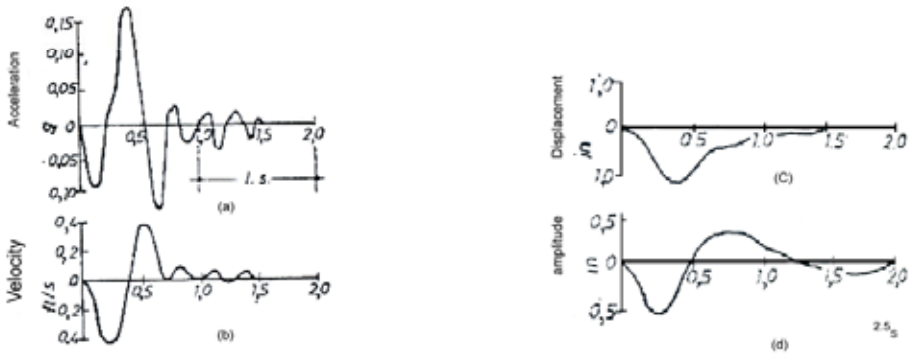
ج هزات تتكون من العديد من حزم الحركات الاهتزازية

يسبب هذا النوع من الهزات الارضية صدمات عشوائية (غير منتظمة) للقشرة الأرضية، ومن أهم ما يميز هذا النوع من الزلازل، أن:

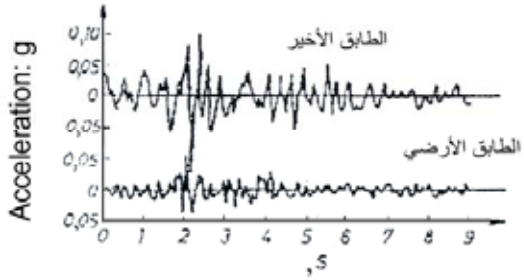
- مراكزها الجوفية متوسطة العمق.
- مدة تأثيرها قد تصل إلى عشرات الثواني.
- أثرها التدميري يظهر تقريبا بنفس الشدة في جميع الاتجاهات.

ومن الامثلة على هذا النوع من الزلــزال، زلازل El centro كاليفورنيــا (1940)، انظــر الــشكل (15.1).

أ) أكسيلو غرام نموذجي لهزة أرضية

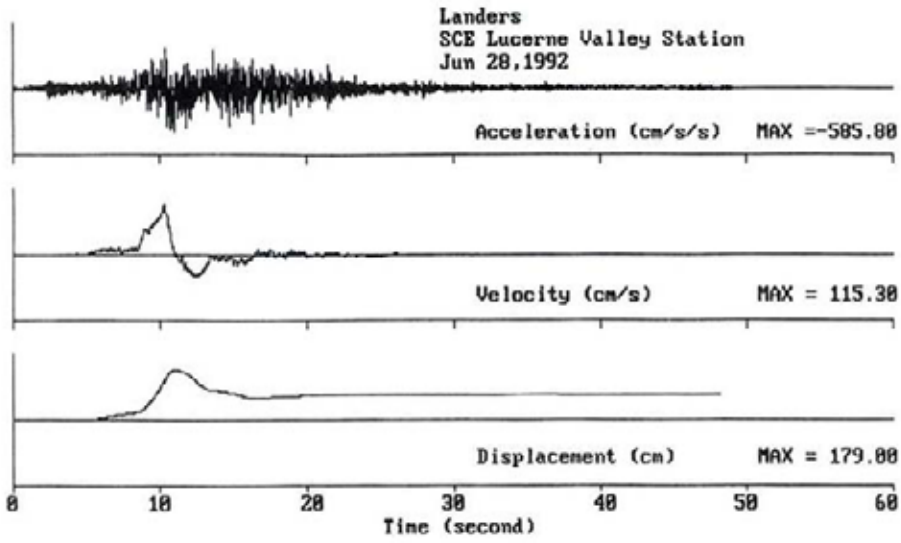


ب) زلزال من نوع صدمة واحدة، زلزال 1957, Port Hueneme (Radu P.1980)



ج) أكسيلو غرام زلزال سان فرانسيسكو 1957 في الاتجاه N-S
للطابق الأرضي والطابق الأخير، زلزال من نوع حزمة واحدة (Pop I. 1985)

شكل (14.1): نماذج لتسجيلات الحركات الأرضية الزلزالية



1992 , Landers. زلزال

شكل (15.1): أمثلة لتسجيلات زلزالية: العلاقة بين التسارع و السرعة والإزاحة الأرضية والزمن (Naeim F. 2001)

د هزات مدة تأثيرها (t) وزمنها الدوري (T) كبيران

ومن الأمثلة على هذا النوع من الزلازل، زلزال Mexico City (1985 و1962). حيث نفاذيه الموجات الزلزالية لأنواع الطبقات الارضية المختلفة كانت مصحوبة بالانعاكسات المتتالية للموجات عند منطقه تماس الطبقات، وعاده يتم الحصول على هذا النوع من الزلازل إذا صادف تلك الموجات النافذة تربة تأسيس ضعيفة، ولمزيد من المعلومات حول تأثير نوعية وطبيعة الموقع انظر الى الفصل الثاني والسادس.

هـ – هزات تسبب تشوهات دائمة وواضحة في التربة

في هذا النوع من الزلازل تفقد التربة استقرارها (حصول هبوط وانهيارات في التربة)، ومن الأمثلة على ذلك، زلزال Niigata في اليابان الذي حصل عام (1964) ، وزلزال الصين المعروف Tangshan (1976.07.28)، انظر الى الشكل (16.1).

زلزال نيجاتا في اليابان1964

زلزال تانج شان في الصين 1976

شكل (16.1) : تشوهات في التربة وفقد استقرارها (Pop I. 1995)

7.1. خصائص الحركات الارضية الزلزالية

Characteristics of Earthquake Ground Motion

تعتبر خصائص الحركات الارضية الزلزالية مهمة وضرورية في تطبيقات هندسة الـزلازل وبـشكل خاص في عمليات التصميم الزلزالي للمنشآت، و يمكن تلخيص هذه الخصائص بما يلي:

1.7.1 ذروة الحركات الأرضية Peak Ground Motion

ويشمل ذلك ذروة التسارع الارضـي PGA (Peak Ground Acceleration)، وذروة الـسرعة الارضية PGV (Peak Ground Velocity)، وذروة الازاحة الارضية PGD (Peak Ground Displacement).

ولتوضيح العلاقة بين كل من التسارع والسرعة والازاحة مع الزمن، تمثـل الحركـات الارضـية الزلزالية برسومات بيانية (انظر الشكل 15.1). وبما أن الاهتزازات الأرضية التي تحدثها الموجـات الزلزالية تؤثر على سطح الارض بشكل عشوائي، فان تسجيلاتها البيانية ستكون بلا شـك عـشوائية، وتسمى القمة الناتئة لهذه الموجات بالذروة (Peak)، ويستخدم حالياً على نطاق واسع ذروة التـسارع الارضي PGA في التصميم الزلزالي لجميع انواع المنـشآت. وقـد اوصـت الدراسـات الزلزاليـة (Naeim, 1996) كذلك بضرورة الأخذ بعين الاعتبار لذروة السرعة والازاحة الارضـية (PGV و PGD) اضافة الى ذروة التسارع الارضي، في عملية تصميم المنشآت المختلفة. ففي المنشآت قليلـة الارتفاع يكون استخدام ذروة التسارع الارضي مقبولاً وفعالاً، في حين يجب اعطاء الاولوية لـذروة السرعة الارضية PGV في حالة تصميم المنشآت متوسطة الارتفاع، ولذروة الازاحة الارضية PGD في حالة المباني العالية جداً او النحيفة جداً.

2.7.1 أمد الحركات القوية Duration of Strong Motion

اقترحت الدراسات والابحاث الزلزالية عدد من الطرق لحساب امد الحركات الزلزالية القوية، وذلك من خلال الاستعانة بالرسومات البيانية لهذه الحركات (الاكسيليروغرام)، وقد اظهر تطبيق هذه الطرق على عدد من الزلازل وجود فرق واضح في نتائجها.

3.7.1 تردد الموجات Frequency

قد يؤدي التردد الطبيعي (f_s) او الزمن الدوري الطبيعي للموقع (T_s) الى حصول تضخيم للقوى الزلزالية التي تتعرض لها المباني(حصول ظاهرة الرنين)، وذلك اذا ما اقترب او تساوي الزمن الدوري لهذه المباني (T_b) مع الزمن الدوري T_s، وهذا ما يعرف في التصميم الزلزالي للمنشآت بعامل تأثير الموقع. ولمزيد من المعلومات حول تأثير الموقع انظر الفصل السادس.

ويشار إلى أن جميع المعايير والخصائص المذكورة اعلاه تؤثر بنسب مختلفة على سلوك المنشآت، ففي حين تعتبر ذروة الحركات الارضية المؤشر الرئيس على مقدار سعة الاهتزازات، أظهرت الاحداث الزلزالية أن أمد الحركات القوية، كان تأثيرها حازماً على قساوة هذه الاهتزازات، فمثلاً في بعض حالات الهزات الارضية التي كانت معتدلة السعة (تسارعها الاقصى معتدل)، وطويلة المدة الزمنية، أحدثت دماراً وانهيارات كبيرة في المنشآت، في حين لم يحدث مثل هذا الدمار في هزات ارضية اخرى كانت سعتها كبيرة وأمدها قصيراً.

وبدورها تتأثر الحركات الارضية الزلزالية بعدد من العوامل، اهمها:

- مقدار الزلزال
- البعد عن المركز السطحي
- طبيعة تربة الموقع
- الاختلاف في جيولوجية لمناطق وفي سرعة انتشار الموجات على طول خط المسار
- طبيعة وآلية مصدر الهزات الارضية

8.1 مقاييس "درجة" الزلازل Quantification of Earthquakes

للوصول الى تعبير كمي دقيق قدر الامكان لوصف الزلازل، تستخدم الدراسات والمراجع الزلزالية عدداً من المعايير الزلزالية، وهي: المقدار الزلزالي (Earthquake Magnitude)، والشدة الزلزالية (Earthquake Intensity)، والعزم الزلزالي (Earthquake Moment)، بالاضافة الى الطاقة

الزلزالية (Earthquake Energy). وما زالت الجهود العلمية مستمرة في تطوير أساليب قياس "درجة " الزلازل.

ويمكن ايجاد الدرجة الزلزالية للهزات الأرضية من خلال:

- أثرها على الاشخاص والمنشآت الموجودة في منطقة تأثيرها.
- استخدام العلاقات الرياضية وتسجيلات محطات الرصد.

وبشكل عام، يستخدم لايجاد الدرجة الزلزالية، بشكل واسع، المقاييس التالية:

1.8.1 مقياس الشدة الزلزالية (Intensity Scale)

تستند مقاييس الشدة الزلزالية في تحديدها لشدة الزلزال على مستوى درجة تأثيره على الاشخاص والمنشآت، فمبدأ هذا النوع من المقاييس يعتمد على الوصف، فكلما زاد تأثير الزلازل على الاشخاص والمنشآت تزداد درجة الشدة الزلزالية. ومن اهم مقاييس الشدة الزلزالية وأكثرها شيوعاً، مقياس ميركالي المعدل Modified Mercally Intensity Scale) MM)، حيث يتم من خلال المقياس MM تصنيف درجات الشدة المحتملة من I وحتى XII (انظر الجدول1.1).

وللشدة الزلزالية اهمية كبيرة، فهي تستخدم في:

- رسم خرائط تساوي الشدة (Isoseismal Maps)، والتي من خلالها يتم الحصول على اقصى شدة للزلازل المحتملة.
- دراسة الاخطار الزلزالية (Seismic Risk)، فكما أظهرت الاحداث الزلزالية تكون الشدة الزلزالية في ذروتها عند منطقة المركز السطحي للزلازل، وتقل كلما ابتعدنا عنه، انظر خارطة الشدة الزلزالية للزلزال الذي حصل في فلسطين سنة 1927، وكان مركزه السطحي قرب مدينة أريحا، أنظر البند العاشر من هذا الفصل الشكل (24.1).

ومن الجدير بالذكر أن الدراسات والمراجع العلمية الزلزالية ومن خلال استنادها الى الاحداث الزلزالية التي حصلت في كثير من الدول، استخرجت علاقات وصفية بين كل من درجة الشدة الزلزالية وقابلية اصابة المباني من جهة، ودرجات الانهيارات والاضرار المحتملة لهذه المباني من جهة اخرى (EMS-1998).

2.8.1 مقياس المقدار الزلزالي (Earthquake Magnitude)

المقدار الزلزالي هو عبارة عن مقياس نسبي للطاقة المتحررة من مركز الزلازل، ويرمز لهذا المقياس عادة بالحرف M، وقد عرف ريختر المقدار الزلزالي للهزات القريبة بأنه اللوغاريتم للأساس عشرة لاقصى سعة موجية مسجلة بوساطة سيسموغراف معياري. وقد أظهر العالمان غوتنبرغ

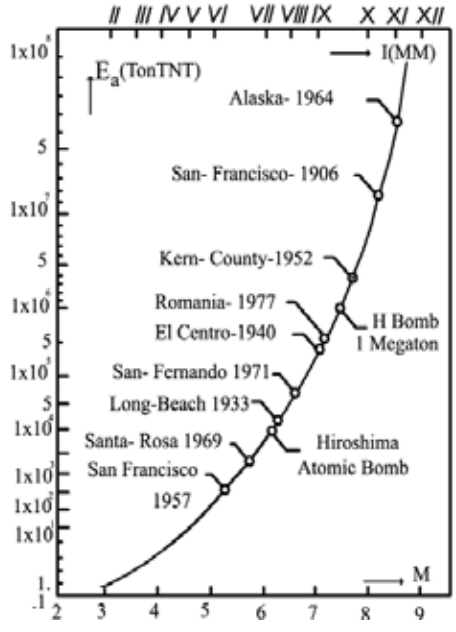
وريختر (Pop, I.1985) العلاقة بين مقدار درجة الزلزال M، والطاقة الناتجة المحتملة E، وذلك من خلال العلاقة التالية:

$$\text{Log } E = 11.8 + 1.5\ M \qquad (4.1\text{- a})$$

$$\text{Log } E = 9.4 + 2.14\ M - 0.054\ M^s \qquad (4.1 - \text{b})$$

حيث تستخدم العلاقة (4.1-a) عندما تكون وحدة قياس الطاقة الناتجة (ارج)، أما إذا كانت وحدة قياس الطاقة (جول) فيستخدم العلاقة (4.1- b). ونظراً لطبيعة القياس اللوغاريتمي فإن زلزالاً مقداره (قوته) 7 درجات، حسب مقياس ريختر، يكون أقوى بعشرة أضعاف من زلزال درجته 6، حيث إن زيادة درجة واحدة في مقياس ريختر تعني زيادة 10 أضعاف في السعة، ونلاحظ من العلاقة (4.1- a) ان زيادة درجة واحدة في مقدار الزلزال تعني زيادة 32 ضعفاً في الطاقة. ولتوضيح العلاقة بين مقدار الدرجة الزلزالية والطاقة يمكن الاستعانة بالشكل (17.1) والذي مثله .J Rothe للطاقة المكافئة للزلازل ذات الدرجات المتوسطة والكبيرة، وبشكل عام، يعتمد المقدار الزلزالي (انظر الشكل 18.1) على قيمة الطاقة المتحررة من مركزه، والتي يمكن قياسها بإستخدام معطيات السيسموغرام، وهي:

- زمن سجل الموجات الزلزالية.
- المسافة (بعد المحطة عن مركز الزلزال).
- السعة الموجية A.
- الزمن الدوري T للموجة.



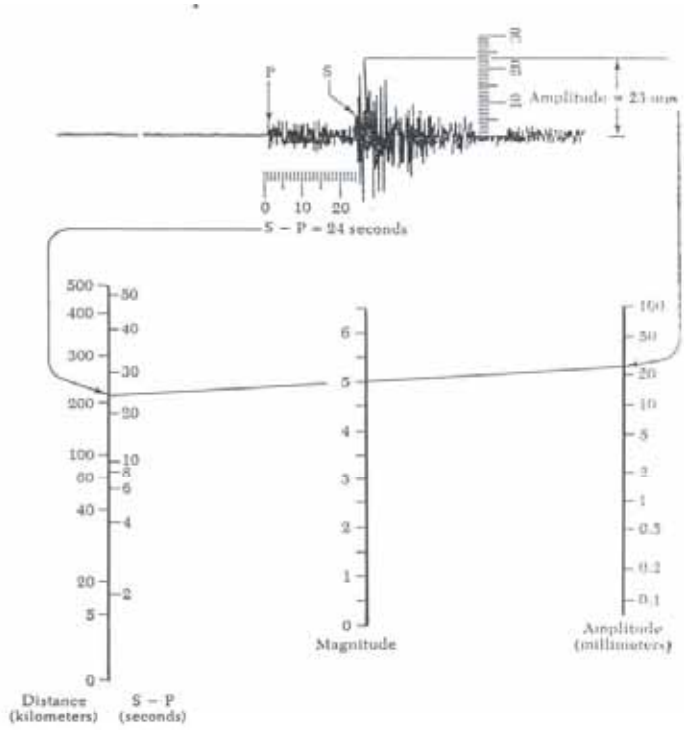
ويلاحظ من الشكل، ان الطاقة المنبعثة من انفجار القنبلة الذرية في هيروشيما، تعادل زلزال بقوة $M \cong 6.5$، وحسب مقياس ريختر (M) فان اكبر مقدار (قوة) لا يمكن ان تتجاوز9 درجات، وذلك لان الطاقة المنبعثة عند هذه الدرجة تساوي تقريباً: 5×10^{25}أرج.

شكل (17.1): العلاقة بين الدرجة الزلزالية وطاقة الهزات الأرضية المكافئة (Radu, 1980)

جدول (1.1) : وصف لدرجات الشدة الزلزالية حسب مقياس ميركالي المعدل MM

درجة الشدة MMI	الوصف
I	لا يشعر بها ، إلا نادراً ، وفي ظروف خاصة ومثالية .
II	يشعر بها عدد قليل من الأشخاص فقط في حالة السكون خاصة في الطوابق العلوية من الأبنية العالية .
III	يشعر بها العديد من الأشخاص وخاصة في الطوابق العلوية من الأبنية ويصعب معرفة أن سبب هذه الهزة هو زلزال . يمكن قياس أمد الزلزال عند هذه الدرجة .
IV	في النهار ، يشعر بها العديد من الأشخاص داخل المباني ، والقليل منهم خارج المباني ، اضطراب في الأبواب ، والشبابيك ، والأطباق ، وطقطقة في الجدران ، والإحساس بها يشبه اصطدام شاحنة كبيرة بالمبنى . تتأرجح السيارات الواقفة بشكل ملحوظ .
V	يشعر بها جميع الناس ، والعديد يستيقظ من نومه ، تتهشم بعض الأطباق والشبابيك الزجاجية ، قد تتشقق طبقة القصارة على الجدران ، انقلاب الأشياء غير الثابتة ، اضطراب أعمدة الكهرباء والهاتف ، والأشجار ، وغيرها من الأجسام العالية في بعض الأحيان ، تتوقف الساعات البندولية عن الحركة .
VI	يصاب الناس بالذعر، ويركضون إلى خارج المبنى ، يتحرك الأثاث الثقيل من مكانه ، وفي بعض الأحيان تتساقط طبقة القصارة ، وتنقلب المداخن تحدث أضرار بسيطة في المنشآت .
VII	الجميع يركضون إلى خارج المباني ، يكون حجم الأضرار مهملاً في الأبنية المصممة والمنفذة جيداً ، وبسيطاً إلى متوسط في الأبنية العادية ، أضرار ملحوظة في الأبنية الرخيصة أو ذات التصميم السيئ ، تتضرر المداخن ، ويشعر بها في السيارات التي تسير .
VIII	تحدث أضراراً حتى في الأبنية المصممة والمنفذة جيداً، أضرار ملحوظة في الأبنية العادية مع حدوث بعض الانهيارات، أضرار كبيرة في الأبنية الرخيصة أو ذات التنفيذ السيئ، تقذف قطع الجدران المحمولة والفاصلة خارج المنشآت الهيكلية، يسقط العديد من المداخن، تتضرر الأشجار يتناثر الطين والرمل بكميات قليلة نسبياً، اختلاف في منسوب مياه الآبار ،إعاقة في سواقة السيارات .
IX	أضرار ملحوظة في الأبنية المصممة والمنفذة جيداً ، خروج المنشآت عن خطوط التماس مع الأساسات ، تشقق الأرض بشكل واضح تضرر شبكات المياه الصحية أسفل منسوب الأرض .
X	انهيار البيوت الخشبية ذات التصميم والتنفيذ الجيد ، تدمير معظم منشآت الطوب والمنشآت الهيكلية مع أساساتها، تشقق الأرض بشكل يؤدي إلى حدوث أضرار عديدة ، إنثناء خطوط السكك الحديدية ، انزلاق المنحدرات والحواجز الترابية وارتفاع منسوب المياه السطحية .
XI	انهيار جميع المنشآت الهيكلية، وتدمير الجسور ، تصدعات وتشققات تغطي سطح الأرض كلية ، تدمير شبكات المياه الصحية أسفل منسوب الأرض وعدم صلاحيتها للخدمة هبوط في سطح الأرض وانسياب العديد من الأراضي المكشوفة إلى أسفل التربة الطرية، إنثناء والتواء خطوط السكك الحديدية بشكل واضح .
XII	دمار شامل، تغير تام في شكل سطح الأرض بحيث تظهر على شكل أمواج إنسيابية ، اختلاف طبوغرافية الأرض تناثر الأجسام والكتل الترابية وقطع المنشآت في الهواء .

يعتمد مقياس ميركالي على تقييم ووصف شدة الزلازل من خلال تأثيرها على الأشخاص والمنشآت والتربة



يتم تحديد قيمة درجة الزلزال M_L حسب الخطوات التالية:

1. ايجاد المسافة إلى المركز السطحي بالاستعانة بالفرق الزمني بين وصول الموجتين P و S (T_1=24sec)
2. قياس السعة القصوى(الذروة) للحركات الاهتزازية (A=23mm)
3. الوصل بين قيمة ناتج T_1 و A، نحصل على M_L=5

شكل (18.1):تحديد درجة الزلزال وفق مقياس ريختر (ايلوش 1996)

ويعتبر حساب مقدار الزلزال من محطة واحدة ليس دقيقاً دائماً، لأن الموقع وطبيعته الجيولوجية وكيفية تفاعله مع الموجات الزلزالية له أثره الواضح على ذلك، فمثلاً تعمل المواقع الصخرية على إخماد الموجات الزلزالية، في حين تعمل المواقع الغرينية على تكبير الموجات الزلزالية، وبالتالي، يكون المقدار المحسوب في المواقع الصخرية أقل من المقدار المحسوب في المواقع الغرينية، لذلك فأن قيمة مقدار الزلزال M تكون أكثر دقة كلما زاد عدد المحطات وتنوعت مواقعها.

وبالاضافة الى المقاييس التي سبق ذكرها، استخدمت بعض الدول مقاييس اخرى، أهمها:

- **مقياس MSK:** وهو مقياس شبيه بمقياس الشدة MM، وقد استخدم في بعض الدول الاوروبية، وفي أواخر القرن العشرين تم إجراء بعض الاضافات عليه، و تم استحداث المقياس الزلزالي الاوروبي98– EMS (European Marco-Seismic Scale 1998).

- **المقياس الياباني:** وهو مقياس لوصف الشدة، استخدم في الدراسات الزلزالية اليابانية لاول مرة سنة 1943، ويتدرج من I الى VII.

ولاجراء مقارنة تقريبية بين المقاييس الزلزالية المختلفة انظر الشكل (19.1).
ويمكن الاستفادة لحد ما من مقارنة مقياس الشدة (MM) مع مقياس ريختر (M) في وصف تأثيرات الزلازل على المناطق القريبة من المركز السطحي، فمن خلال هذه المقارنة يمكن اعطاء وصف تقريبي لطبيعة وحجم التأثير الزلزالي (انظر الجدول2.1) حسب مقياس ريختر.

ويّشار الى ان المقارنة بين مقياس المقدار (القوة) ومقياس الشدة قد لا تكون دقيقة او منطقية في كثير من الحالات، ففي حالة كانت المنطقة المتأثرة غير مأهولة لا يمكن الاستفادة من مقياس الشدة بمفهومه الحالي. في نفس الوقت واستناداً لتعريف المقدار الزلزالي، فان للزلزال الواحد مقداراً او قوة زلزالية واحدة لا تختلف من موقع لآخر، وبغض النظر عن بعد هذه المواقع عن المركز السطحي للزلزال. في حين قد تختلف الشدة الزلزالية من منطقة الى اخرى مجاورة لها تحت تأثير نفس الزلزال، فقد يكون سبب هذا الاختلاف سوء نوعية البناء او نوعية وطبيعة الموقع.

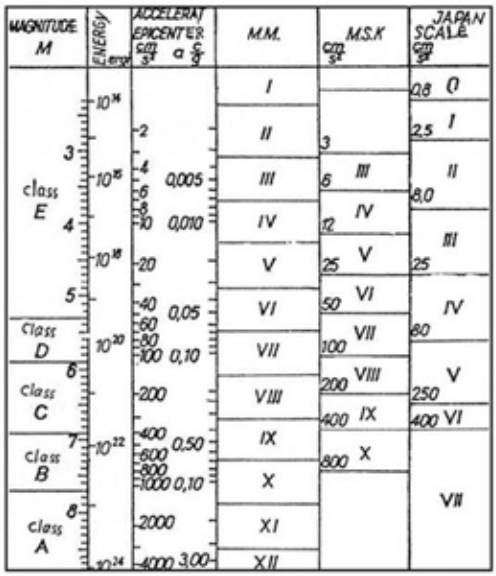
إن اعتماد الشدة الزلزالية على احساس الناس وتقييمهم لشدة الاهتزازات في اماكن تواجدهم، يؤدي في حالات كثيرة الى المبالغة وعدم الدقة، فشدة تأثير الزلزال تعتمد على عدد من العوامل، أهمها:

- مقدار (قوة) الزلزال وعمق مركزه الجوفي.
- بعد المركز السطحي للزلزال عن المنطقة المتأثرة.
- طبيعة المنطقة الجيولوجية، فنوعية وطبيعة الموقع لها تأثير واضح على شكل الشدة الزلزالية للمناطق المتأثرة.
- نوعية وجودة البناء في المناطق المتأثرة.
- مكان وجود الإنسان الشاعر بالزلزال لحظة إحساسه بالأمواج الزلزالية، فمن يسكن في الطوابق العليا يعطي قيمة أعلى للشدة من ساكني الطوابق السفلى.
- نوعية النظام الإنشائي، فمثلاً لنفس الارتفاع يكون الشعور بالاهتزازات أكبر في مباني الإطارات الهيكلية منها في مباني جدران القص (مباني جدران القص: هي المباني التي يتألف نظامها الانشائي من جدران خرسانية مسلحة).
- تصرف الإنسان أثناء حدوث الزلزال، التصرف السليم والهدوء يجعله قادرا على الوصف الصحيح لما يحدث حوله.

جدول (2.1): وصف تقريبي لشدة تأثير درجات المقدار الزلزالي M في المناطق القريبة من المراكز السطحية للزلازل.

آثار الزلزال (الهزات الأرضية)	السرعة الأفقية سم / ث	درجاته بمقياس ريختر
لا يحس بها أحد ، إلا بعض الناس في ظروف خاصة جداً .	-	3
يحس بها بعض الناس فقط وخاصة الذين في الأدوار العليا، وتهتز الأشياء المعلقة تعليقاً حراً .	3-2	3.5
يحس بها بوضوح داخل البيوت،وخاصة في الأدوار العليا ، ولكن كثيراً من الناس لا يعتقدون أنه زلزال حيث يسبب اهتزازات كالتي يسببها المترو أو الترام أو الشاحنات الضخمة .	7-4	4
أثناء النهار يحس به الكثيرون في البيوت والكثير في الشوارع،ولا يحس بها في الليل إلا المستيقظون،وتهتز الأطباق والشبابيك والنجف، وتحدث الحوائط بعض أصوات التصدع، والإحساس به كما لو كان نتيجة اصطدام عربة نقل بالمبنى، وتهتز العربات الساكنة بوضوح .	15-7	4.5
يحس بها الجميع ويستيقظ بعض النائمين، وتسقط بعض صور الحائط وتتكسر بعض الأطباق،وتحدث شروخ بسيطة في الطبقات السطحية للجدران ،وتنقلب الأشياء غير المتزنة،وتهتز الأشجار وأعمدة النور بوضوح ، ويتوقف بندول الساعة .	30-15	5
يحس بها الجميع،ويفزع البعض ويفرون إلى خارج المباني،وتتحرك قطع الأثاث الثقيلة،تحدث شروخ سطحيه وتتصدع المداخن،والمباني الضعيفة .	70-30	5.5
الجميع يهرعون خارج المباني،التصدع بسيط في المباني ذات التصميم الجيد،والتنفيذ السليم،والتصدع بسيط إلى متوسط في مباني الطوب الجديدة،والتصدع كبير في المباني الخرسانية السيئة أو مباني الطوب والحجر القديمة ، تنهار بعض المداخن،ويحس به قادة السيارات المتحركة .	150-70	6
التصدع بسيط في المنشآت المقاومة للزلازل،وتصدع واضح في المباني العادية مع انهيارات جزئية،وتصدع كبير في المنشآت سيئة التنفيذ، انهيارات كبيرة في معظم جدران الطوب الدراجة محلياً،تنفصل باكية المباني عن الأعمدة والكمرات وتتحرك بعضها للخارج،تسقط التماثيل وبعض المآذن والمداخن والأسوار،تنقلب قطع الأثاث الثقيلة ، يتغير منسوب مياه الآبار ، يزعج السيارات المتحركة .	300-150	6.5
التصدع واضح في المنشآت المقاومة للزلازل،والمنشآت الخرسانية تميل بشدة أو تنحني خارج مستوى الإطارات،تصدع كبير في الحوائط الحاملة غير المسلحه وانهيارات كثيرة في المنشآت سيئة التنفيذ،تنفصل بعض المباني عن أساساتها وتتشقق التربة بوضوح وتقص بعض الخوازيق .	300 إلى 700	7
أغلب المباني من الحوائط الحاملة غير المسلحه تدمر،وبعض المنشآت الخرسانية تدمر مع أساساتها،وتشقق الأرض شقوقاً كبيرة وخطيرة،وتنحني قضبان السكك الحديدية،وتنزلق جوانب الأنهار والترع تتحرك التربة الرملية،والطمي وتنكسر المواسير المدفونة تحت الأرض .	700 إلى1500	7.5
ينهار كثير من المباني الخرسانية وتسقط الكباري،وتحدث فواصل في الأرض،تبتلع الناس والعربات،وتنهار شبكات المياه والمجاري كلية،وتحدث انزلاقات في جوانب الأنهار والتربة اللينة،وتنحني قضبان السكك الحديدية بحيث لا تعد صالحة.	1500 إلى3000	8
التدمير شامل ، موجات الزلازل ترى بوضوح على سطح الأرض ، خطوط الرؤية والأسطح المستوية تدمر ، تطير الأشياء الثقيلة في الهواء .	3000 إلى6000	8.5

مقياس ر يختر: يعتمد على مقدار الطاقة المنبعثة من الزلازل



شكل (19.1):العلاقة بين مقاييس درجات الزلازل (Radu P.1980)

9.1 زلزالية المنطقة العربية Seismicity of the Arab Region

أدى الاستخدام الواسع لأجهزة الرصد الزلزالي خلال القرن العشرين الى تطوير الدراسات والابحاث الزلزالية المتعلقة بالنشاط والحركات الزلزالية في العالم، وللتعرف الى النطاقات الزلزالية العالمية انظر خرائط الصدوع والنشاط الزلزالي في العالم (الاشكال3.1 و 13.1).

وبالرغم من عدم وقوع المنطقة العربية في النطاق الزلزالي العنيف، إلا أن المدن العربية لم تكن فـــي تاريخها وحاضرها بعيدة عن الضربات الزلزالية العنيفة (السنوي،1997)، فاذا استعرضنا التاريخ نجد أن المناطق تعرضت الى زلازل مدمرة، ومن أهم الزلازل التي حصلت خلال القرون الثلاثة الماضية:

- زلزال اغادير في المغرب في الأعوام 1731 و 1909.
- زلزال الجزائر في الأعوام 1716 و 1790 و 1869 و 1981 و 2003.
- زلزال تونس في العام 1757.
- زلزال ليبيا في العام 1853.
- زلزال فلسطين والأردن في الأعوام 1759 و1837 و1903 و1927 و1954 و1995.
- زلزال لبنان الأعوام في 1759 و 1872 و 1954.
- زلزال العراق في الأعوام 1865 و 1917 و 1946 و 1981.
- زلزال السعودية عام 1941 وقد اقتصر تأثير زلزال 1995 على المنطقة الشمالية الغربية.

زلزال اليمن في الأعوام 1965 و 1982 و 1991.
زلزال مصر في الأعوام 1847 و 1955 و 1969 و 1981 و 1992.

وهناك كثير من الوقائع الزلزالية لم تسجل أو توثق لانعدام شبكات الرصد الزلزالي في المناطق العربية في ذلك الوقت، ولوقوع عدد من الزلازل في مناطق غير مأهولة. واذا اخذنا بعين الاعتبار الزيادة الكبيرة في الكثافة السكانية، وللامتداد العمراني الذي حصل في النصف الثاني من القرن العشرين، يتضح، بشكل لا يدعو للشك، حجم الاخطار الزلزالية المحتملة. ويلاحظ من الزلازل التي تعرضت لها المنطقة العربية بأنها موزعة، وتشمل جميع الدول تقريباً.

وبهدف تقليل المخاطر الزلزالية باشرت معظم الدول العربية في تأسيس المراصد الزلزالية، واجراء الدراسات والابحاث، وفي نهاية القرن العشرين شهدت الدول العربية تأسيس برامج على المستوى القومي هدفها تقليل المخاطر الزلزالية، ومن اهم هذه البرامج: مشروع تخفيف المخاطر الزلزالية في الوطن العربي (PAMERAR) والحلقات الدراسية العربية للعلوم الزلزالية التي عقده باشراف الامانة العامة لمجالس البحث العلمي في الدول العربية بمشاركة اليونسكو.

10.1 النشاط الزلزالي في فلسطين Seismicity of Palestine

تعتبر حفرة الانهدام في منطقتنا، امتداداً لحفرة الانهدام الاقليمية Rift Valley، التي تمتد من خليج عدن في البحر الاحمر حتى خليج العقبة، ثم تستمر في وادي عربة والبحر الميت وحول نهر الأردن وبحيرة طبريا، حتى تصل الى أنطاكيا في تركيا، وتؤدي الحركة المستمرة في الصفيحة العربية الى ابتعادها عن الصفيحة الافريقية بالاتجاه الشمالي الشرقي، واصطدامها بصفيحة الأناضول انظر الشكل (4.1 أ)، وتتحرك في الوقت ذاته في اتجاهات أفقية وعمودية على طول حفرة الانهدام التي تفصلها عن صفيحة فلسطين سيناء، انظر الاشكال (20.1) و (21.1).

يتأثر النشاط الزلزالي، بشكل عام، بموقع الدول وتاريخ الزلازل في المنطقة، وتصنف مناطق الدولة عادة إلى مناطق شدة زلزالية محتملة، حيث يؤخذ بعين الاعتبار في هذا التصنيف أثر الصدوع الجيولوجية، وأثر طول هذه الصدوع، بالاضافة إلى تاريخ الحوادث الزلزالية التي ضربت المنطقة عبر العصور. وتشير المعلومات التاريخية إلى ان فلسطين، والمناطق المجاورة، تعرضت للعديد من الهزات الأرضية المدمرة عبر العصور (انظر الشكل 22.1)، وتبعاً للمصادر (السنوي 1997، وابو دية 1986 وعز الدين 1987 والاتابكي 1992، وحمودة 1990، والموسوعة الفلسطينية 1984 و Hussein Malkawi 1999 واخرون) ، يمكن ذكر اهم هذه الحوادث:

دمار مدينة أريحا وسقوط جدارها الحصين عدة مرات (17مرة)، وذلك خلال الحقبة

التاريخية من 3000 ق.م الى 2300 ق.م.
دمار بيلا (طبقة فحل) الواقعة على الضفة الشرقية في جوار نهر الأردن عام 746م.
الزلزال الذي دمر مدينة جرش قبل أكثر من ألف سنة.
وهناك تواريخ موثقة لحدوث زلازل تأثرت بها معظم المدن والمناطق الفلسطينية أهمها:

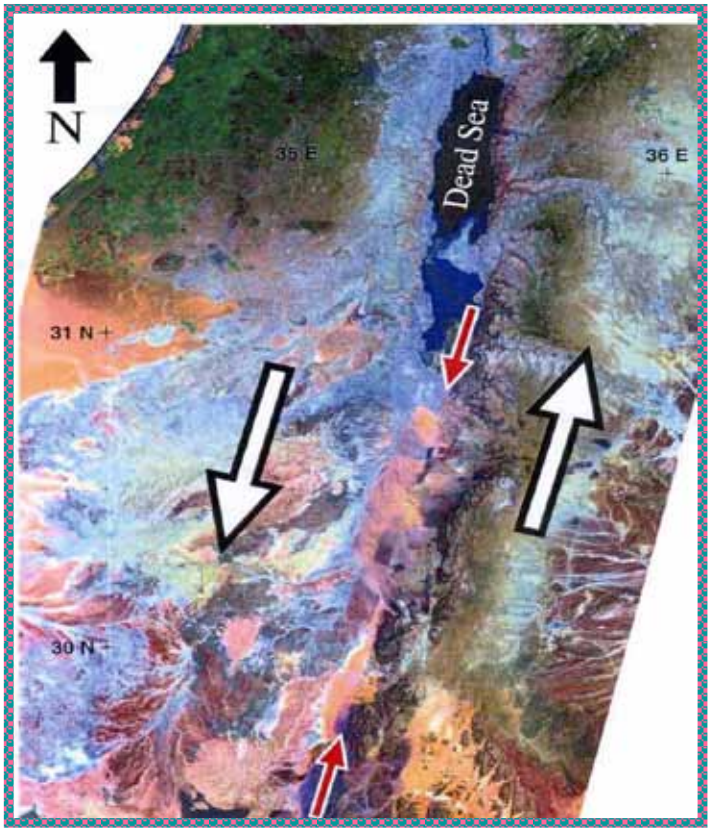
الزلازل التي حصلت في الأعوام: 1068 1202 1212 1339 1402 1546 1656 1666 1759 1834 1837 1854 1859 1872 1873 1896 1900 1903 1923 1927 1954 1995.

أما اهم المدن والبلدات التي تأثرت بهذه الزلازل فكانت طبرية، وصفد، وعكا، وحيفا، ويافا، والقدس، ونابلس، وأريحا، والناصرة، وغزة، ومنطقة البحر الميت ووادي الأردن، بالاضافة الى منطقة أم الرشراش (خليج العقبة).

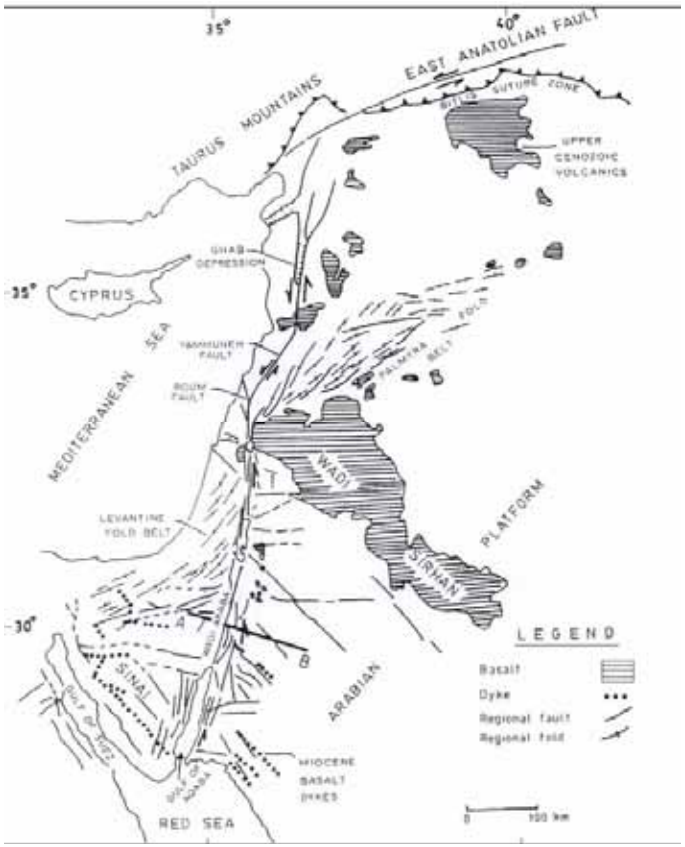
ويلاحظ أن معظم المدن الفلسطينية قد تأثرت بالزلازل التي حصلت، والتي تم توثيقها خلال الألف سنة الماضية، وللتذكير لم تتأثر جميع المدن التي تم ذكرها بجميع الزلازل التي حصلت بنفس الدرجة، وذلك لاعتماد شدة التأثير على عدة عوامل، أهمها موقع المدينة بالنسبة لمركز الزلزال، وقوة الزلازل فمثلاً، في حالة كان مركز الزلازل منطقة أريحا والبحر الميت، يكون تأثير شدة الزلزال على منطقة أريحا ووادي الأردن، والمنطقة الممتدة من نابلس الى القدس أشد من المناطق الأخرى (الدبيك 1999).

أما المناطق الجنوبية، فيكون تأثرها أشد بالزلازل التي يكون مركزها حول منطقة في خليج العقبة (Hussein Malkawi and others 1999) او في وادي عربة. وتتأثر المناطق الساحلية: منطقة يافا، والشريط الساحلي بالزلازل التي يكون مركزها منطقة قبرص، أو البحر الأبيض المتوسط اكثر من غيرها من المناطق الفلسطينية.

ومن أهم الزلازل التي ضربت فلسطين، خلال القرنين الماضيين، زلزال الأول من كانون الثاني سنة 1837، وكان مركزه قرب مدينة صفد، وقد انتشر اثره في المنطقة كلها وتجاوز عدد ضحاياه خمسة آلاف شخص، وأدى الى حصول دمار في عدد من القرى في منطقة طبريا (ابو ديه 1986). ومن الزلازل المعروفة التي حصلت خلال القرن العشرين الزلزال الذي حصل في 1927/7/11 انظر الاشكال (23.1) و (24.1)، ويشار الى ان أثر الزلزال امتد حتى جنوب لبنان، وسبب مقتل 350 نسمة وتحطيم 800 منزل في منطقة نابلس، وقد تم تقدير قوته بـ 6.2 درجات على مقياس ريختر، ولتوضيح شدة تأثير الزلزال على المناطق (الدارجة حسب مقياس ميركالي المعدل) انظر الشكل (24.1).



شكل (20.1):اتجاه حركة النسبية بين فلسطين و الأردن
(Desert Project 2000)



شكل (21.1): الخارطة التكتونية لفلسطين و الأردن و المناطق المجاورة –
حفرة الانهدام – و التصدعات الأرضية (JSP, 1988)

أ. تشوهات في أقواس و عقود قلعة النمرود نتيجة لزلزال 1759

ب أضرار وتشوهات في أعمدة جرش نتيجة تعرضها للهزات الأرضية الذي حصل عام AD 749

شكل (22.1): مشاهدات لأضرار في المباني التاريخية نتيجة لتعرضها للزلازل

ومما ميز القرن العشرين من غيره من القرون السابقة، الثورة التكنولوجية التي حصلت، والتي عكست نفسها على علم الزلازل وخصوصاً في الخمسين سنة الأخيرة، فتطورت الأجهزة وظهرت مؤسسات ومراكز ركزت اهتماماتها على دراسة علم ورصد الزلازل، فقد تمكنت الأجهزة المتوافرة حالياً من تسجيل الهزات الأرضية التي لا يستطيع أن يشعر بها الانسان. واستناداً للدراسات الزلزالية التي اجراها عدد من الخبراء في المنطقة (Al Tarazi 1992, El-Esa 1987, Husein Malkawi and Fahmi 1999, USAID-MERC Project 2004, and others) توفر للمؤسسات والمراكز العلمية جداول تفصيلية بالزلازل التي تعرضت لها المنطقة (Catalogue of Earthquakes)، وبشكل عام تحتوي هذه الجداول على عدد من المعلومات المهمة، أهمها: تاريخ حصول الزلزال، وأحداثياته، وعمقه، ودرجته (مقداره)، بالإضافة الى مصدر هذه المعلومات. ولأخذ فكرة عن مواقع وكثافة الزلازل التي حصلت خلال القرن العشرين استناداً لهذه الجداول انظر الشكل (25.1).

وبتاريخ 11 شباط من العام 2004 تعرضت فلسطين والدول المجاورة لزلزال، وكانت درجته 5.1 حسب مقياس ريختر، وان كانت قوة هذه الدرجة تصنف تقريباً بالخفيفة أو الضعيفة، إلا أنها قد أحدثت أضراراً وانهيارات في عدد من المباني (Al-Dabbeek and Kilani 2005)، وقد كان السبب الرئيسي لهذه الاضرار والانهيارات، هو تدني نوعية وسوء هذه المباني وليس قوة الزلزال، وللاطلاع على بعض الأضرار والانهيارات التي أحدثها هذا الزلزال، انظر الشكل (26.1).

وبخصوص احتمال تعرض كل من فلسطين والأردن لزلازل في المستقبل، أظهر العديد من الدراسات الزلزالية (Al-Tarazi 1992, Desert 2000, El-Isa 1987, Husein Malkawi and Fahmi 1999, USAID-MERC 2004, and others) انه وبالاستناد الى:

- طبيعة موقع المنطقة "حفرة الانهدام" ووجود الفوالق والتصدعات الأرضية فيها.
- والتاريخ الزلزالي للمنطقة والفترات الزمنية التي يتكرر فيها حصول الزلازل،
- وتسجيلات محطات الرصد، حيث اظهرت هذه التسجيلات وجود نشاط زلزالي في عدد من المواقع.

يحتمل أن تتعرض المنطقة في المستقبل القريب (بداية القرن الواحد والعشرين) الى زلزال معتدل الدرجة أو قوي نسبياً، بحيث من المتوقع أن تتروح درجته بين 6 6.5 درجة حسب مقياس ريختر، وتوقعت بعض الدراسات احتمال تجاوز هذه الدرجة الى 7 درجات (Husein Malkawi and Fahmi 1999, and others). أما بخصوص المركز السطحي لهذا الزلزال، فقد رجح بعض الخبراء بأن يكون شمال البحر الميت، في حين توقع آخرون بأن يكون جنوب البحر الميت، أو في منطقة وادي عربه، واستناداً إلى الزمن الدوري يحصل زلزال قوي (قوي نسبيا) ويكون مركزه السطحي في هذه المناطق عادة كل 80 – 100عام، في حين يتكرر حصول الزلزال الذي مركزه السطحي شمال فلسطين كل 200 أو 250 سنة، وقد أظهرت بعض الدراسات أن مقدار درجته قد تصل الى 7 درجات أو أكثر، علماً أن آخر مرة حصل زلزال وكان مركزه السطحي في هذه المنطقة كان عام 1759، وقد أدى في حينه الى حصول خسائر كبيرة في الأرواح والممتلكات.

ومن الجدير بالذكر، أنه لا تكمن الخطورة بمقدار درجة الزلزال المتوقع (قوي نسبياً معتدل) بل تكمن الخطورة في عدم جاهزية المجتمع بكامل فئاته ومؤسساته للتعامل مع الكوارث الطبيعية أو البشرية بشكل عام ومع الزلازل بشكل خاص. والمشكلة الحقيقية، لا تكمن في الزلزال نفسه، "فالزلزال لا يقتل، ومن يفعل ذلك هي المباني أو الحرائق أوالانزلاقات التي تثيرها الزلازل"، بل تكمن في عدم جاهزيتنا.

وعموماً يمكن تلخيص عدم الجاهزية والخلل الذي يعاني منه الافراد والمؤسسات، بما يلي:

- وجود انماط معمارية وإنشائية في المباني الدارجة محلياً لا تلبي المتطلبات العامة، او متطلبات الحد الأدنى للمباني المقاومة للزلازل.

عدم وجود ادارة للكوارث واسناد الطوارىء.

- عدم وجود تخطيط او سياسة وطنية لاستخدام الاراضي، تأخذ بعين الاعتبار العامل الزلزالي والجيولوجي في الاستخدام، بحيث يتم من خلالها تجنب البناء فوق او قرب الصدوع الارضية الزلزالية، بالاضافة الى تجنب البناء فوق الأراضي الكلسية او الحورية المنحدرة او شديد الانحدار، وذلك بسبب قابليتها العالية للانزلاقات الارضية، وخصوصاً اذا ما تعرضت للرطوبة. ومن الجدير بالذكر انه حتى بدون وجود قوى زلزالية حصلت انزلاقات ارضية في عدد من المواقع المؤهولة في كل من فلسطين والأردن، وذلك بسبب الاستخدام والقطع والحفر الخاطىء في التربة (انظر الى الفصل السادس).
- عدم وجود وعي لدى المواطنين بأسس وضوابط السلامة العامة بشكل عام وبأجراءات الوقاية والتهيئة للزلازل بشكل خاص.
- عدم وجود هيئات او مؤسسات تعني بمتابعة تصميم وتنفيذ المنشآت وفق متطلبات الاكواد الزلزالية.
- عدم وجود مخططات وخرائط للأخطار المحتملة لكل من المدن والتجمعات السكنية.
- عدم الاهتمام باجراء دراسات لمعرفة قابلية إصابة الأنسان والمنشآت والبنى التحتية، التي تتم عادة من خلال اجراء سيناريوهات على كوارث طبيعية مثل الزلازل او كوارث بشرية، مثل الحروب.

ان المشكلة الاساسية في مجتمعاتنا العربية تتمثل في أن العمل يتم عادةً بردة الفعل وليس بالفعل، فعندما تحدث حرائق في احد المجمعات الصناعية او السكنية يتم تشكيل لجنة لتقصي الحقائق، وذلك للاطلاع على حيثيات وأسباب الحادث، وعندما ينهار مبنى بسبب اخطاء في التصميم او التنفيذ تتشكل لجنة خاصة بالموضوع يصدر عنها لاحقاً بعض النتائج والتوصيات، التي غالباً وبعد ان تهدء الامور لا يكترث بها أحد، ومن ثم ترجع الامور الى ما كانت عليه.

نحن بحاجة "في فلسطين وفي معظم الدول العربية" الى قوانين وتشريعات واضحة، لتنفيذ البنود المذكورة اعلاه، مع ضرورة ان يرافق ذلك وجود اليات لمتابعة تنفيذ هذه البنود، وذلك حتى لا تبقى حبراً على الورق. وهناك حاجة كذلك إلى إجراء تقييم دوري للخطط، وذلك بهدف تصحيح الاخطاء وأخذ العبر. وهذا بطبيعة الحال لا يمكن تحقيقه إلا من خلال اعتماد منهجية العمل الجماعي المؤسسي (أي الابتعاد عن منهجية العمل بردة الفعل).

ويشار الى أن توسيع دائرة التعاون في الرصد والدراسات الزلزالية على المستوى العالم العربي او الاقليمي والعالمي، يساعد بشكل كبير في الوصول لنتائج أكثر دقة ومنطقية، لأن علم الزلازل يرتكز بشكل كبير على الاحتمالية.

القدس

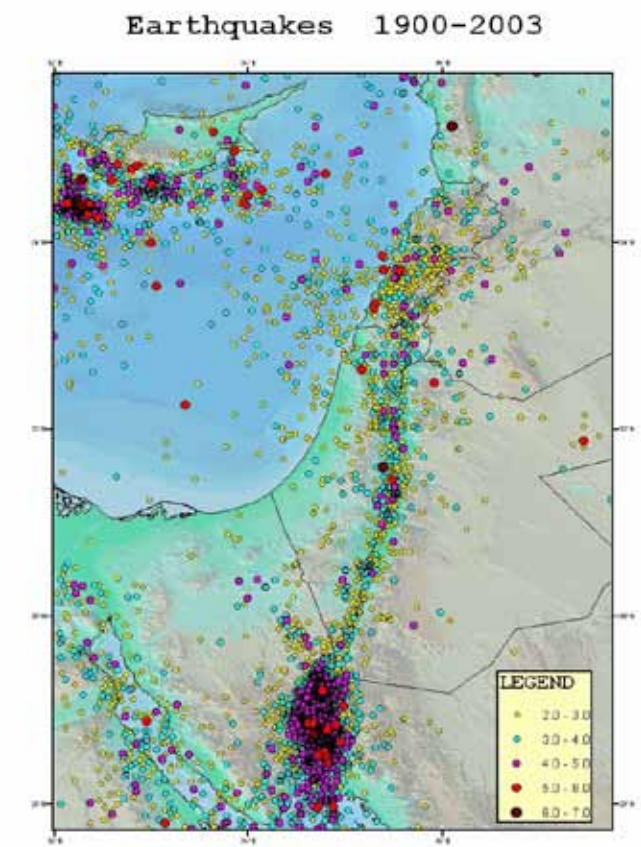
أريحا

زلزال قوي يضرب فلسطين

عشرات القتلى والجرحى وهدم الكثير من الأبنية وتشريد مئات العائلات الفلسطينية

نابلس

شكل (23.1): مشاهد لاضرار وانهيارات ووثيقة تاريخية حول زلزال 1927 (وثائق مكتبة بلدية نابلس)



شكل (25.1): مواقع مراكز الهزات الأرضية السطحية التي تعرضت لها فلسطين و المناطق المجاورة
(USAID- MERC, Project Report 2004)

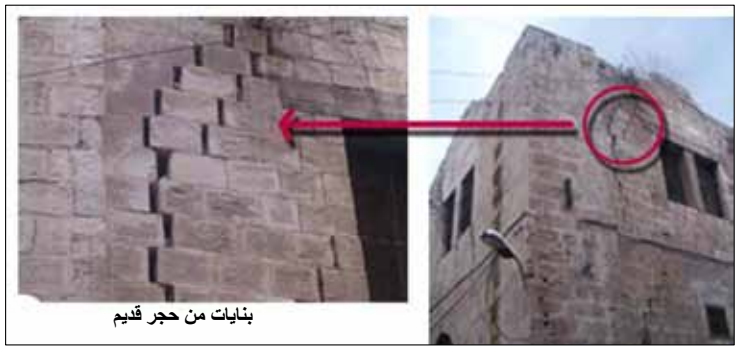
Fig. 1. Earthquake epicentres and faults from the Dead Sea area. Earthquakes with $4.0 \leq M_L < 6.0$ were instrumentally recorded between 1981 and 1993. The three major earthquakes with $M_L \geq 6.0$ occured during the last 160 years. In green, isoseismals (Mercalli modified scale) for the 1927 M_L6.2 earthquake.

شكل (24.1): خارطة الشدة الزلزالية لزلزال 1927 (الدبيك 1999)

مبنى تجاري سكني، نظامه الإنشائي يتكون من الجدران الحاملة غير المسلحة

انهيار سقف من العقود المصلبة

تصدعات في الجدران الحاملة في أحد المستشفيات



شكل (26.1): مشاهدات لأضرار وانهيارات تعرضت لها بعض المباني نتيجة للزلزال الذي تعرضت له المنطقة في 2004/2/11م
(ALDabbeek and Kilani 2005)

أسئلة الفصل الاول:

- عرف ما هي الزلازل ؟
- ما المقصود بعلم الزلازل (السيسمولوجيا) وبماذا يهتم هذا العلم؟
- قارن بين علم الزلازل وهندسة الزلازل؟
- وضح ما هي أسباب حصول الهزات الأرضية؟
- ما الفرق بين الهزات ذات الأسباب التكتونية والهزات ذات الأسباب البركانية؟
- ما هي أهم أسباب حركة الصفائح؟
- كم محطة يلزم على الأقل لقياس ولتحديد مواقع مراكز الهزات؟ وكيف يتم ذلك؟
- صنف أعماق الهزات الأرضية؟ وما هو اثر العمق على الشدة الزلزالية مع رسم توضيحي؟
- عرف الموجات الزلزالية، وما هي أنواعها، و قارن بين سرعة وتأثير كل من الموجات **P** و **S** ؟
- ما هو المقصود بالفترة الزمنية $\mathbf{T_1}$ ؟ وما هي العلاقة بين بعد المركز السطحي **d** والزمن $\mathbf{T_1}$ ؟
- ما الفرق بين هزات أرضية ذات صدمة واحدة وهزات مدة تأثيرها طويلة نسبياً (يمكن الاستعانة بالاكسيليروغرام لكل نوع)؟
- وضح ما هو اثر التربة الطينية او الرملية على الزمن الدوري الطبيعي (**T**) للهزات الأرضية، وكذلك أثرها على المدة الزمنية الكلية للزلزال؟
- ما هي العوامل التي يتم من خلالها قياس (تحديد) درجة الهزات الأرضية حسب كل من مقياس ريختر ومقياس ميركالي ؟
- وضح ما هو مقياس ميركالي (او ميركالي المعدل) ؟
- قارن بين مقياس ريختر ومقياس ميركالي؟
- أي من المقاييس التالية له دقة وواقعية اكبر ولماذا؟ مقياس ميركالي أم ريختر؟
- لنفس الزلازل، لماذا نسمع قيماً مختلفة لدرجة قياس الهزات الأرضية؟
- مستعينا بجدول قياس الزلازل حسب مقياس ريختر، صف الزلازل عند قوة 5 درجات و6.5 درجة؟
- مستعينا بجدول قياس الزلازل حسب مقياس ميركالي صف الزلازل عند شدة 5 و7 و9 درجة؟
- ما هي المعايير التي يعتمد عليها الخبراء في توقعاتهم العلمية لأحتمال حدوث زلازل في المستقبل؟ وبناء على هذه المعايير، ما هي الدرجة المحتملة على مقياس ريختر للزلزال المتوقع حدوثه في فلسطين والدول المجاورة؟
- اذكر 4 تواريخ لزلازل مدمرة تعرضت لها فلسطين والمناطق المجاورة، مع ذكر بعض المناطق التي تعرضـــت لهذه الزلازل، وإعطاء وصف بسيط لما حصل؟
- وضح مستعيناً بالرسم خصائص الحركات الأرضية الزلزالية؟
- عدد العوامل التي تؤثر في الحركات الأرضية؟

الفصل الثاني

التـــــــربـــــــة

1.2 مقدمـــــــــه:

يسعى المهندسون المعماريون والإنشائيون في تصميمهم وتنفيذهم للمباني، إلى تشغيل هذه المباني وفقاً للوظيفة التي أنشئت من اجلها، مع تأمين سلامتها واستقرارها وديمومتها بأقل التكاليف الممكنة، وذلك تحت تأثير الأحمال الميتة[1] والحية[2]، واحياناً يأخذ بعض المهندسين "في فلسطين" تأثير الزلازل أو الرياح على هذه المباني.

إن تحقيق الأمان للمباني، حتى وان تم استثناء تأثير الأحمال الإضافية مثل الزلازل والرياح، لا يمكن تحقيقه من خلال تصميم وتنفيذ هذه المباني بمعزل عن معرفة ودراسة تربـــة التأســيس، لان أهــم مسببات عيوب الأبنية هي التربة، وذلك لأهميتها في حمل الأساسات التي تعتبر الركيــزة الرئيــسية للمبنى، فقد ينجم عن تحرك أي جزء من أساسات المبنى تشوه في المبنى وفي عناصره الإنــشائية[3] وغير الإنشائية[4]، سواء كان ذلك التحرك ناجماً عن تأثير الهزات الأرضــية، أو عــن ضــعف فــي الأساسات، أو عن نقص في فهم نوعية التربة وطبيعتها ، علماً أنه يوجد لكل عامل من هذه العوامــل تصاميم علاجية خاصة.

ومن المعروف أن هبوط أو ترييح الأساسات قد تحصل في العديد من أنواع التربة خلال عملية البناء وبعدها، وعادة يكون الترييح على أشده خلال عملية البناء. وهندسياً يتم التركيز بشكل كبيــر علــى تقدير مدى الهبوط بدقة، وذلك لضمان تحرك الأساسات باعتبارها وحدة واحدة ، بحيــث لا تتحمــل الأعمدة والأسقف أي جهد إضافي يذكر، ومن ثم أخذ الاحتياطات اللازمــة فيمــا يتعلــق بــالممرات الخارجية والبلاط الأراضي والتمديدات الصحية وأعمال التشطيب الأخرى.

أظهرت الوقائع والدراسات الهندسية الحالية أن العديد من المباني الحالية القائمة تعاني من عــدد مــن المشاكل الإنشائية، مثل الهبوط والتشقق رغم أن هذه المباني تعمل حالياً تحت تأثير القوى العموديــة كالأحمال الميتة والحية، ففي حالة تأثر هذه المباني "لا سمح الله" بقوى زلزالية: ماذا يمكن أن يحدث!

---

1 **الأحمـــال الميتـــــة** : الأحمال والأوزان الدائمة غير المتحركة مثل وزن المبنى نفسه.

2 **الأحمـــال الحيـــــة** : الأحمال والأوزان غير الدائمة أو الثابتة مثل وزن الأشخاص.

3 **العنـــاصر الإنـشائيـــة** : هي العناصر الحاملة في المبنى (مثل الأعمدة والجسور و الأسقف والجدران الحاملة والاساسات).

4 **العناصر غير الإنشائية**: هي العناصر المحمولة في المبنى (مثل جدران الطوب الداخلية، وفي حالات كثيرة يتم تصميم الجدران الخرسانية الحجرية الخارجية الدارجة محلياً لتكون محمولة).

أمثلة ونقاش: *يتخلل المحاضرة عرض صور لتشققات وأضرار في عدد من المباني في فلسطين سببها تربة التأسيس.*

من المعروف ان التصميم الزلزالي للمباني لا يكتفي بتصميم عناصر المبنى الإنشائية وغير الإنشائية بما يتناسب مع السلوك الزلزالي لهذه المباني والتربة المقامة عليها، بل يهتم كذلك في زلزالية وجيولوجية المنطقة (انظر الفصل الأول). فالتصميم الزلزالي يتعامل مع المبنى والتربة بالإضافة إلى جيولوجية وزلزالية الموقع باعتبارهم ثلاثة عناصر أو منشآت تؤثر الواحدة في الأخرى (انظر الشكل 1.2)، فخواص الحركات الزلزالية أثناء مرورها من الطبقة الصخرية إلى طبقة التربة السطحية تتأثر بطبيعة تربة الموقع وعمقها، وهذا يعني حصول تغيير في سرعة كل من الموجات الطولية V_p والعرضية V_s، وذلك عند مرور هذه الموجات في الطبقة 2، وحيث إن الطبقة 2 تكون في الغالب اضعف من الطبقات الموجودة اسفل مستوى طبقة الصخر الرئيسية أي الطبقة 1، (مثلاً بأن تكون التربة السطحية طينية أو رملية)، فان هذه الطبقة تعمل على تضخيم الزمن الدوري للموجات في الطبقات وهذا يعني أن $Ts_2 > Ts_1$ (أو بمعنى آخر تخميد تردد الموجات أي $f_{s2} < f_{s1}$)، وكذلك قد تؤثر تربة التأسيس بدورها على سلوك المبنى (المنشأ رقم 3)، وقد يؤدي تضخيم قيمة الزمن الدوري لتربة التأسيس T_s إلى حصول تضخيم في القوى الزلزالية التي يتعرض لها المبنى، أي حصول ظاهرة الرنين (انظر آلية تأثير الهزات الأرضية على المباني في الفصل الثالث ولظاهرة الرنين الفصل السادس).

2.2 استطلاع الموقع ونوع تربة التأسيس

يهدف الاستطلاع الأولي لموقع البناء إلى جمع المعلومات حول نوعية التربة الموجودة على أعماق مختلفة، ومستوى المياه الجوفية من فصل إلى آخر، والتعرف إلى الظروف المحيطة بالموقع، حيث تعطي دراسة المباني المجاورة فكرة جيدة عن تصرفات التربة. وإذا اتضح للمهندس أن تربة الموقع مناسبة ويمكن البناء عليها، يباشر في إجراء فحوصات أكثر دقة كأجراء الحفر المفتوحة، والآبار السبرية، والاختبارات الميدانية، والفحوصات المخبرية، بالإضافة إلى إمكانية استخدام طريقة أو اكثر من الطرق الجيوفيزيائية.

ويجب الانتباه أثناء عملية استطلاع الموقع، إلى الضرر الذي قد ينجم عن أعمال الحفريات العادية المجاورة لموقع البناء المقترح، أو عن حركة المركبات، وغيرها من الاهتزازات، التي قد تسبب تدهوراً في قوة تحمل طبقات التأسيس، وبالتالي احتمال انهيارها لاحقاً.

كذلك، فإن ملاحظة وجود آثار لسيول فصيلة، وتحديد منسوبها، قد يساهمان في فهم أكبر لطبيعة الموقع، ويساعدان في دراسة موضوع تصريف مياه الأمطار عن سطح البناء مستقبلاً، بالإضافة للمساهمة في دعم إجراء دراسات أدق وأعمق للمرافق العامة حول البناء، كالحفر الامتصاصية، وآبار تخزين المياه، وتصميم الممرات الخارجية والساحات بشكل يساهم في التخلص من كمية المياه غير المرغوب فيها (ابو ديه 1986). وفي هذه الحالة أيضاً، يجب الاهتمام بصورة خاصة بالتربة الطينية وذلك لأن التغيير في محتوى رطوبتها يضعف قوتها؛ هذا بالإضافة إلى قابلية الكثير من أنواع التربة الطينية للتغيير الحجمي، أي احتمال حصول انتفاخ في التربة (Expansive Clays).

إن استطلاع طبوغرافية الموقع، ومن خلال النظر فقط، قد تقودنا أحياناً إلى مؤشرات خطيرة، فقد يشير وجود عدم انتظام وحدوث تغيرات مفاجئة في هذه المناسيب إلى احتمال وجود صدوع جيولوجية (كسور في أجزاء من طبقات القشرة الأرضية)، أو انزلاقات في الطبقات السطحية الرخوة، وقد يشير وجود فجوات أو مغر ظاهرة على السطح إلى احتمال وجود عدد آخر منها أيضاً تحت سطح الأرض. وقد يُظهر استطلاع موقع البناء وجود فرق في مستوى نمو النباتات في الموقع، وهذا يعتبر بدوره مؤشراً لمحتوى الرطوبة النسبية في التربة وكمية المواد العضوية فيها، عندئذٍ: تدرس وتحلل مثل هذه الأمور، ويتخذ قرار بشأنها، مثلاً التخلص منها مع ما يتم التخلص منه عادة، كالطبقة الزراعية في الموقع والمكتنزة بالمواد العضوية، وجذور النباتات على أنواعها (ابو ديه 1986).

ولأخذ فكرة بسيطة عن تربة التأسيس، يمكن تقسيم هذه التربة إلى ثلاثة أنواع رئيسية، هي: الصخرية، والرملية، والطينية.

1.2.2 التربة الصخرية

تكثر في فلسطين الصخور البيضاء والمعروفة بإسم الحجر الجيري Limestone (شكل 2.2)، وعلى الرغم من شكلها الخارجي المتماسك والمترابط، إلا أنه قد ينتج عنها مفاجآت، فهذا النوع من الصخر يحتوي في باطنه أحياناً على فجوات وفراغات هوائية كبيرة، وبالتالي ماذا يمكن أن يحصل في حالة تم وضع قواعد البناء فوق تلك الفجوات.

ويمكن كشف هذه الفجوات وتحديد أماكنها باستخدام الأجهزة الجيوفيزيائية، مثل: الكشف الكهربائي أو الكشف الزلزالي أو بالاهتزاز (انظر شكل 3.2).أما الطرق الدارجة محلياً والأكثر شيوعاً في الكشف عن التربة في الأبنية حتى الآن فهي الحفر.

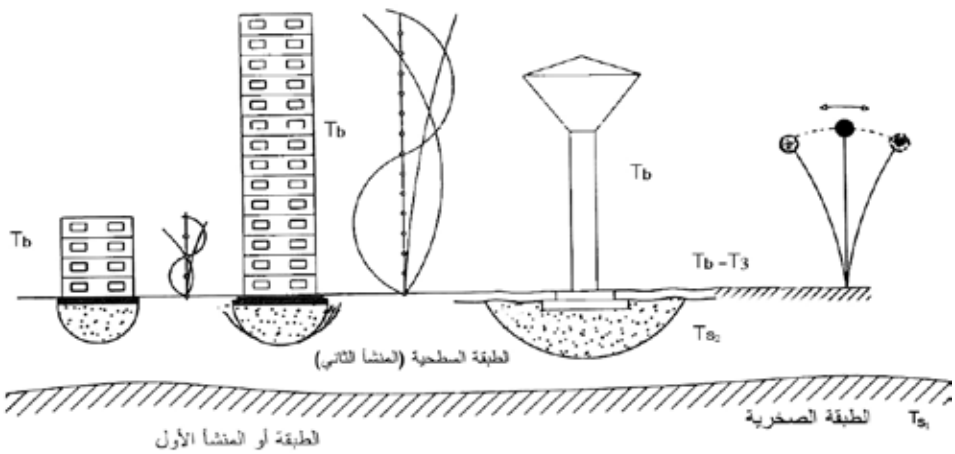
من المعروف أن التربة الصخرية تُشكل أساسا جيداً للمباني، وتستطيع أن تأخذ أحمالاً كبيرة دون أن يؤدي ذلك إلى حصول هبوط وتشققات في المبنى، وعادة يشترط في حالة تأسيس البناء فوق الصخر

أن يتم تسوية سطح الطبقات السطحية عند مستوى التأسيس، وذلك من خلال إجراء قطع و تسوية كاملة للموقع، وان تعذر ذلك بسبب كبر مساحة البناء ووجود انحدار في الموقع فانه في هذه الحالة يمكن إجراء تسوية عند مستوى التأسيس على شكل درج (أو تدرج)، ولمزيد من المعلومات أنظر الفصل السابع ــ البند 3.7. وبشكل عام تصنف الصخور إلى ثلاثة أنواع، هي:

الصخور النارية مثل الجرانيت.

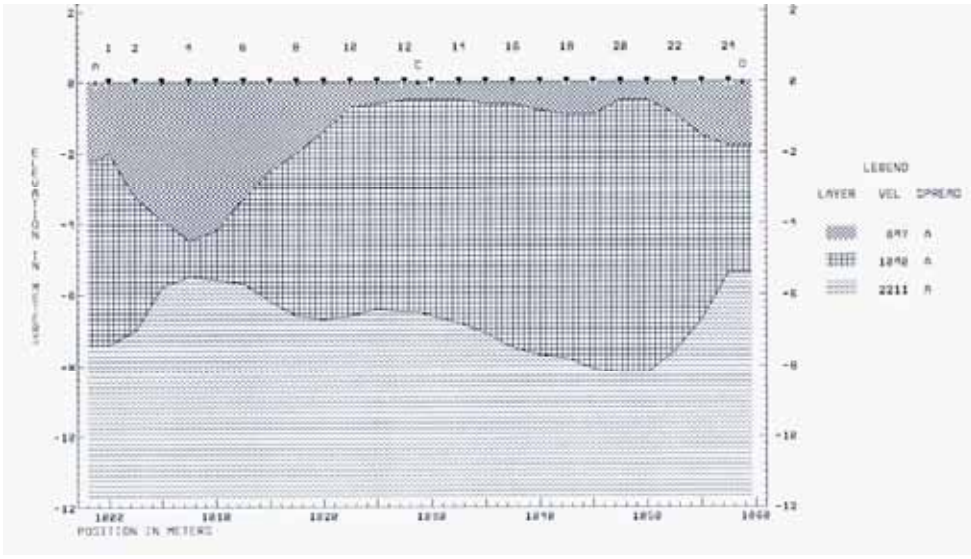
الصخور المتحولة مثل الرخام.

الصخور الرسوبية مثل صخر الحجر الجيري.



شكل (1.2):العلاقة بين تربة التأسيس السطحية وكل من الطبقات الصخرية و المنشآت (المؤلف).

شكل (2.2): مقطع في طبقات الصخر الجيري (المؤلف)



شكل (3.2): استخدام السزموغراف للكشف عن طبقات الأرض و نوعية التربة

وتختلف هذه الصخور فيما بينها في مدى تحملها لقوى الضغط والخواص الفيزيائية والميكانيكية الأخرى، فمثلاً تقسم الصخور الرسوبية بدورها إلى أنواع وفئات من حيث مدى مقاومتها وتحملها للقوى (كقوى الضغط مثلاً)، فالصخر الحوري هو أحد أنواع الصخور الرسوبية ويعتبر ضعيف المقاومة، بالإضافة إلى قابليته العالية لامتصاص الماء، في حين انه يوجد صخور من الحجر الجيري لها مقاومة عالية ونفاذية اقل للمياه.

ومن الجدير بالذكر، انه إذا تبين من خلال استطلاع الموقع أن المنطقة المراد البناء عليها منحدرة أو شديدة الانحدار، وان طبقات الصخور تتكون من الصخور الحورية الضعيفة، فان هذا الوصف قد يؤدي في المستقبل إلى حصول انزلاقات أرضية جزئية أو كلية، وليس بالضرورة أن تحصل هذه الانزلاقات في حالة حدوث هزات أرضية فقط، بل من الممكن حصول انزلاقات بسبب طريقة البناء والقطع الخاطئ في كتل الأرض، وغالباً ما تظهر هذه الانزلاقات إذا تسربت المياه إلى طبقات الصخور الحورية (انظر الفصل السادس ــ البند المتعلق بالانزلاقات الأرضية).

2.2.2 التربة الرملية

تعتبر التربة الرملية الجافة أو قليلة الرطوبة جيدة ومناسبة كتربة تأسيس اسفل المباني، وخصوصاً في المناطق المصنفة بضعيفة النشاط الزلزالي. اما في حالة التربة الرملية المشبعة بالرطوبة (مثل التربة الرملية الموجودة قرب شواطىء البحار) فان تعرضها لاهتزازات أرضية قد يؤدي إلى تميؤها، وبالتالي هبوط وانهيار المنشآت المقامة عليها، انظر الفصل السادس ــ البند 4.6. لذلك استناداً إلى الوقائع الزلزالية التي حصلت في كثير من دول العالم أكدت جميع الكوارث والمواصفات العالمية المتعلقة بسياسة استخدام الأراضي وبتصميم المنشآت لمقاومة الزلازل على ضرورة تجنب إقامة المنشآت الهامة في المناطق الرملية المشبعة بالرطوبة، وخصوصاً إذا كانت هذه المناطق مصنفة ضمن مناطق الشدة الزلزالية المرتفعة. ومن الجدير بالذكر أنه يوجد حلول علمية لمعالجة وتجنب حدوث ظاهرة تميؤ التربة الرملية التي ترافق حدوث الزلازل، ولكن بطبيعة الحال لهذه الحلول تكلفة عالية جداً.

3.2.2 التربة الطينية

تقسم التربة الطينية لعدة أصناف، وبدوره يختلف كل صنف عن الآخر في مدى مقدرته على التحمل، وكذلك في خواصه الفيزيائية والميكانيكية، فهناك مثلاً: التربة الطينية المتماسكة، أو الرخوة، أو التربة الطينية التي يتخللها الحصى والدبش بنسب مختلفة، وفي الغالب يكون في المنطقة الواحدة اكثر من نوع من التربة. وأهمية دراسة نوع التربة في كل موقع بناء، في أن الصنف الواحد من التربة الطينية (مثلاً: الطينية المتماسكة) لها اكثر من نوع، وكل نوع بدوره له الخواص الفيزيائية والميكانيكية

الخاصة به، وهذا يعني وبشكل بسيط الاختلاف بين هذه الأنواع في المقدرة على التحمل، وفي درجة أو نسبة الامتصاص، وكذلك في درجة القابلية للتغير الحجمي، فالتربة الطينية القابلة للانتفاخ لها قابلية عالية للتغير الحجمي، وعموماً يوجد هذا النوع من التربة في العديد من المناطق في فلسطين وخصوصاً في المناطق الزراعية أو الصالحة للزراعة، ويشكل هذا النوع من التربة بدوره نوعاً من القلق للمهندسين، فعندما يصادفون هذا النوع من التربة يلجأ البعض منهم إلى زيادة مساحة قواعد اساسات المبنى لتجنب احتمال حصول هبوط، وذلك لمعرفتهم الأكيدة أن هذه التربة ضعيفة التحمل، ولكن:

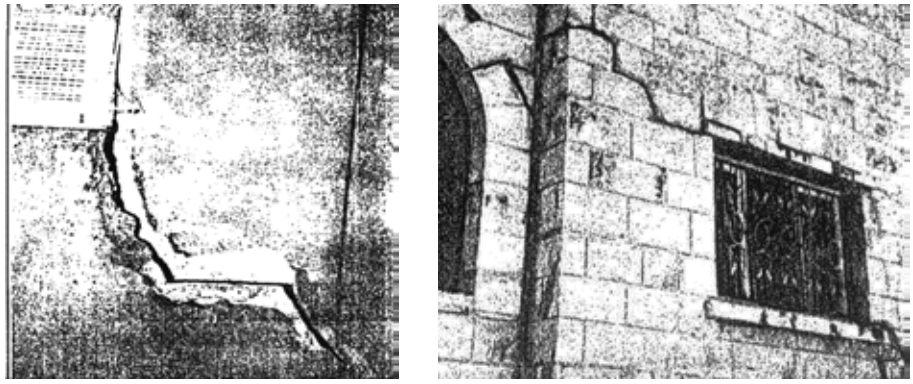
هل هذا الحل ينهي مشاكل التربة الطينية القابلة للانتفاخ ؟

وما هو تأثير الرطوبة أو تسرب المياه إلى هذه التربة؟

وهل المشاكل التي قد تحدثها هذه التربة تستدعي كل هذا الانتباه؟

وما هي افضل الوسائل لتجنب المشاكل التي قد تتعرض لها المباني بسبب البناء على ارض طينية قابلة للأنتفاخ؟

خلال سنوات السبعينيات والثمانينيات من القرن العشرين (الفترة الذي بدأ فيها الامتداد العمراني يمتد بشكل كبير إلى المناطق الطينية الزراعية) لوحظ انه حدوث تشققات وتصدعات في عدد كبير من المباني المكونة من طابق أو طابقين في كل من فلسطين والأردن، والمقامة على ارضٍ طينية كالأراضي الزراعية الحمراء أو بنية اللون، وقد لوحظ أن هذه التشققات قد بدأت بالظهور ابتداء من زوايا فتحات الأبواب والنوافذ، وامتدت إلى الجدران والأسقف والأرضيات (انظر الشكل 4.2)، وقد اعتقد الناس وبعض المهندسين أن سبب المشكلة هو وجود هبوط في اساسات المبنى نتيجة ضعف مقدرة التربة على تحمل أوزان وأحمال هذه المباني، ولاحظ البعض أن هناك عدداً من المباني تعاني بشكل كبير من هذه التشققات رغم أن مساحة القواعد (الاساسات) في هذه المباني كبيرة.



شكل (4.2): شقوق في أبنية تم بناء أساساتها على تربة طينية قابلة للانتفاخ (ابو ديه 1986)

وبدورها أظهرت الدراسات أن سبب حصول هذه التشققات هو تعرض أساسات هذه المباني لحصول ارتفاع وهبوط متتالي للقواعد، وذلك لان قابلية هذا النوع من التربة للتغيير الحجمي عالية جداً، فتغير نسبة الرطوبة في تربة الاساسات القريبة من سطح الأرض الطبيعية يؤدي لانتفاخ التربة اسفل الاساسات في فصل الشتاء، وانكماشها في فصل الصيف (ابو ديه 1986). وينجم عن هذه الحركة المستمرة إلى أعلى والى اسفل تشققات في الأرضيات والجدران والقواطع الداخلية وأضرار في أعمال التشطيبات المختلفة.

ولاستطلاع وتحري التربة القابلة للانتفاخ يمكن الاستعانة بنتائج بعض الدراسات التي أجريت على هذا النوع من التربة، والتي من خلالها يمكن اكتشاف وتحري هذا النوع من التربة (ابوديه 1986)، وذلك كما يلي:

وجود طبقة طينية يميل لونها إلى اللون البني Brown Clay ، وتتباين في العمق حتى تصل إلى مترين أو أكثر، وتختلط هذه الطبقة بالحصى والدبش وأحياناً بالجلاميد الكبيرة من الصوان Chert والحجر الجيري Limestone، وتتسم هذه الطبقة بوجود شقوق فيها، خاصة في فصل الصيف الجاف، ويصل عمقها إلى 1.5 متر تقريباً، وتتضائل سماكة هذه الشقوق تبعاً لزيادة عمقها عن سطح الأرض.

يلي هذه الطبقة طبقة من الطين مخلوطة بحبيبات بيضاء اللون من كربونات الكالسيوم $CaCo_3$ ، وتفسر وجود هذه الطبقة من الكلس عمليات التفريغ والتزود بالماء المستمرة خلال فصول السنة، حيث تحتفظ هذه الطبقة بالمياه المذاب فيها الكلس Lime ، فتزداد بذلك كمية حبيبات الكلس البيضاء تدريجياً، ويمكن تسمية هذه الطبقة بالطبقة الثانية.

ويلي الطبقة الثانية طبقة جديدة من التربة الطينية البنية الرطبة التي يميل لونها إلى الحمرة Reddish Brown، وتختلط بالحصى والدبش والجلاميد من الصوان والحجر الجيري. وأخيراً، تظهر طبقة من الصخر المفتت بأحجام مختلفة مخلوطة بكتل من الطبقة الطينية الرطبة التيتعلوها بارتفاع مترين تقريباً، وتشير هذه الطبقة بوضوح إلى اقترابنا من الطبقة الصخرية الصلبة.

وقد أثبت الدراسات أن الحل في مثل هذا النوع من التربة لا يكمن في تقوية الأساس بزيادة مساحته، حيث إن هذه الزيادة قد تؤدي إلى زيادة حجم الضرر الناجم عن انتفاخ التربة في الفصل الرطب (انتفاخ التربة يؤدي إلى تشكيل اجهادات ضغط من اسفل إلى أعلى)، وحين يزداد ضغط التربة على الأساس بازدياد مساحة الأساس نفسه، قد يعمل هذا الضغط على رفع الأساس إلى أعلى. وهذا ما فعله بعض المهندسين اثناء تصميمهم للمباني، فتخوفهم من ضعف هذا النوع من التربة دفعهم إلى افتراض قوة تحمل متدنية جداً اثناء تصميمهم أساسات المباني.

ومن الجدير بالذكر أن الأبنية المتعددة الأدوار تظهر عيوباً أقل من نظيرتها أبنية الدور الواحد، حيث إن ضغط أساس الأبنية المتعددة الأدوار على التربة مرتفع نسبياً، ولوحظ أثناء الزيارات الميدانية لمباني تعرضت لهذه الظاهرة أن الأبنية ذات التشكيل المعماري المعقد تظهر عيوباً أكثر مما تظهره الأبنية ذات التصميم التقليدي البسيط، كالأشكال المربعة أو المستطيلة.

مثال: القاعدة (الاساس) الموضحة في الشكل (5.2)، تأخذ الأحمال من العمود وتحوله إلى التربة، صمم هذه القاعدة باستخدام الطرق السريعة والتقريبية ؟

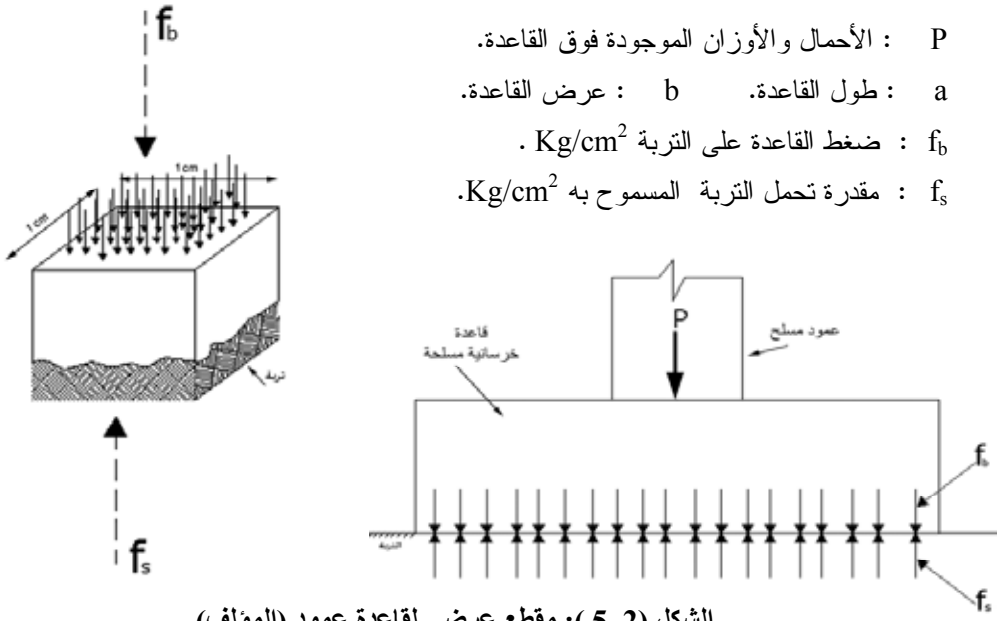
وذلك اذا علمت ان:

P : الأحمال والأوزان الموجودة فوق القاعدة.

a : طول القاعدة. b : عرض القاعدة.

f_b : ضغط القاعدة على التربة Kg/cm^2 .

f_s : مقدرة تحمل التربة المسموح به Kg/cm^2.



الشكل (2. 5): مقطع عرضي لقاعدة عمود (المؤلف)

وكذلك اذا علمت أن:

- قيمة الأحمال $P = 60\ ton$

- قيمة f_s : في حالة التربة الطينية تساوي $f_s = 1\ Kg/cm^2$

- قيمة f_s : في حالة التربة الصخرية تساوي $f_s = 6\ Kg/cm^2$

الحل:

- لتصميم القواعد بشكل آمن واقتصادي يفترض المهندس المصمم أن $f_b = f_s$

- مساحة القاعدة تساوي: $A_F = a * b$

حيث :

$$A_F = \frac{P}{f_s}$$

1. إذا كانت تربة التأسيس طينية:

$$A_{F1} = \frac{60 * 1000}{1} = 60000 \ cm^2$$

نفترض أن القاعدة مربعة:

$$a = b = \sqrt{60000} = 245 \ cm$$

2. إذا كانت تربة التـــأسيس صخرية:

$$A_{F2} = \frac{60 * 1000}{6} = 10000$$

a = b 100 cm

أي انه لنفس المبنى إذا كانت التربة طينية، هناك حاجة لاستخدام قاعدة اسفل العـــمـــــود أبعادهـــا، 2.5×2.5 متر. وفي حالة كانت التربة قوية (تربة صخرية)، فان مساحة هذه القاعدة تحت تأثير نفس الأحمال تساوي 1×1 متر.

ولنفترض أن المهندس أو المقاول وبسبب خوفه من حصول هبوط في القواعـــد "فـــي حالـــة التربـــة الطينية"، قام بتكبير القاعدة لتصبح مثلا 3.5×3.5 متر. فان هذا يعني تخفيف الضغط من أعلى إلـــى اسفل على التربة أي يصبح الضغط على التربة يساوي:

$$f_b = f_s = \frac{60000}{350 * 350} = 0.49 kg / cm^2$$

في حالة تعرض التربة للرطوبة، وبالتالي حصول انتفاخ، أي وجود ضغط من اسفل إلى أعلى مقداره f_{ss} (ضغط التربة على القاعدة اتجاهه من اسفل إلى أعلى)، *فهل سيؤدي ذلك إلى ارتفاع القاعدة ؟*

الجواب: نعم، وذلك إذا كان هذا الضغط f_{ss} اكبر من f_b.

اي هل يمكن أن تكون قيمة الضغط $f_{ss} = 1kg/cm^2$ أو أكثر؟ الجواب: نعم وبكل تأكيد.

3.2 مصادر المياه التي تؤثر في رطوبة التربة

إضافة إلى تغير نسبة رطوبة التربة التي تحدث خلال فصول السنة، قد يحصل تغير في نسبة الرطوبة نتيجة تسرب المياه إلى تربة الأساس من أكثر من مصدر، وأهمها: وجود خلل في تمديدات شبكات المياه الحلوة والعادمة، أو تمديدات التدفئة المركزية، أو تسرب المياه من خزانات المياه الأرضية والحفر الامتصاصية ، أو مصارف الحمامات والمطابخ ، أو غيرها من وسائط نقل المياه وأماكن تجمعها داخل الأبنية وخارجها.

4.2 أنظمة تصريف المياه والتخفيف من رطوبة التربة

1.4.2 الممرات والأرصفة حول المباني

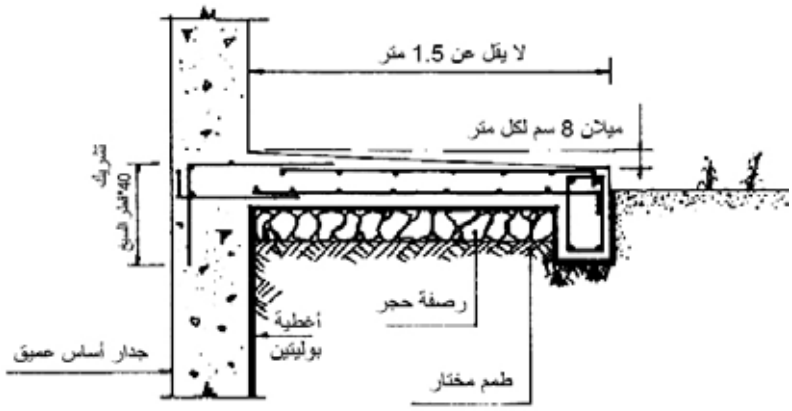
تُساهم الممرات والأرصفة التي يتم إنشاؤها حول المباني في منع او تخفيف تسرب المياه الى تربة التأسيس خلال فصل الشتاء، ويُساهم ميل الممر/ الرصيف المحاذي للبناء باتجاه الخارج في انسياب هذه المياه بعيداً عن المبنى (انظر الشكل 6.2). كما يجب العمل على منع تجميع/أو تحويض المياه حول البناء وذلك من خلال التركيز على تصريف المياه المنسابة بعيداً عن الممرات.

وقد أظهرت الاستطلاعات الميدانية لبعض الأبنية المتضررة أن عرض الممرات حول البناء كان صغيراً، وأن ميلانها غالباً ما كان في الاتجاه المعاكس، ويعود السبب في ذلك إلى أن طرف الممر البعيد عن البناء هو أول ما يتعرض إلى الرطوبة عند بداية فصل الشتاء، لذا ، تنتفخ التربة من تحته، فيرتفع طرف الممر إلى أعلى ، مكوناً ميلاناً عكسياً إلى الداخل (أي في اتجاه البناء) فتتسارع عندها مياه الأمطار بالتسرب إلى تربة الأساس مباشرة و بذلك تؤثر على اتزان محتوى الرطوبة فيها (ابو ديه 1986). *ولايضاح هذه الفكرة تتضمن المحاضرات إجراء عرض لنموذج محوسب يتم من خلاله اظهار آلية تسرب المياه اسفل الرصيف والية تحرك وارتفاع هذا الرصيف.*

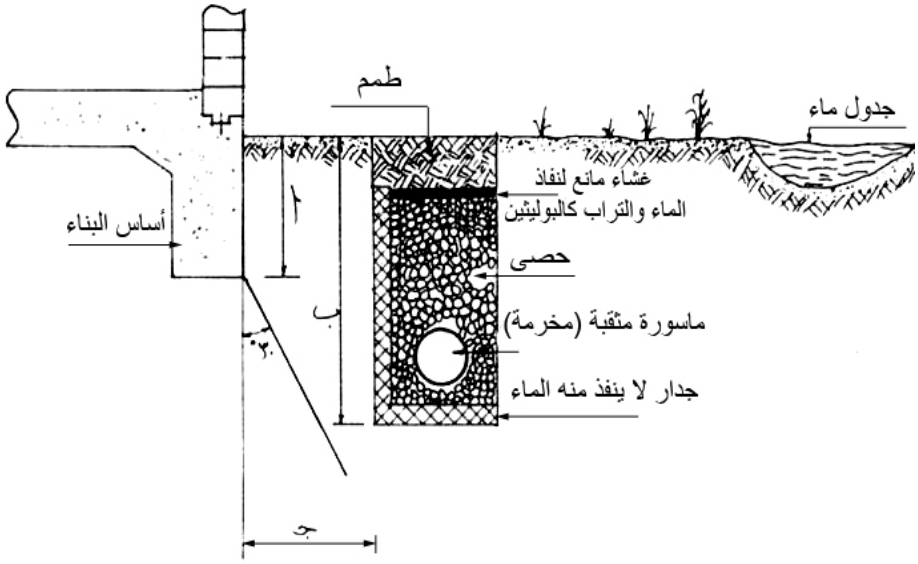
2.4.2 الخنادق الخارجية

في حالة إنشاء مبنى قرب نهر أو جدول من الماء أو جرف موسمي لمياه الأمطار، ستتسرب هذه المياه إلى تربة الأساسات، ولمنع تسرب المياه إلى التربة يمكن إقامة خندق حول المبنى أو حول أضلاع المبنى المعرضة لتسرب المياه. وبشكل عام تُساهم الخنادق بأشكالها وأنواعها المختلفة في الحد من التسرب، وذلك من خلال توجيه هذه المياه للانتقال إلى مناطق بعيدة عن المبنى، وللإطلاع على

بعض إشكال ومواصفات الخنادق انظر الشكل (7.2). واستناداً إلى بعض المواصفات الهندسية، يجب أن لا يقل بعد الخندق عن المبنى عن مقدار عمق الأساسات، وكذلك أن يزيد عمق هذا الخندق بنصف متر على الأقل عن عمق الأساسات.



شكل (6.2): نموذج لمقطع في الممرات الخارجية حول المباني

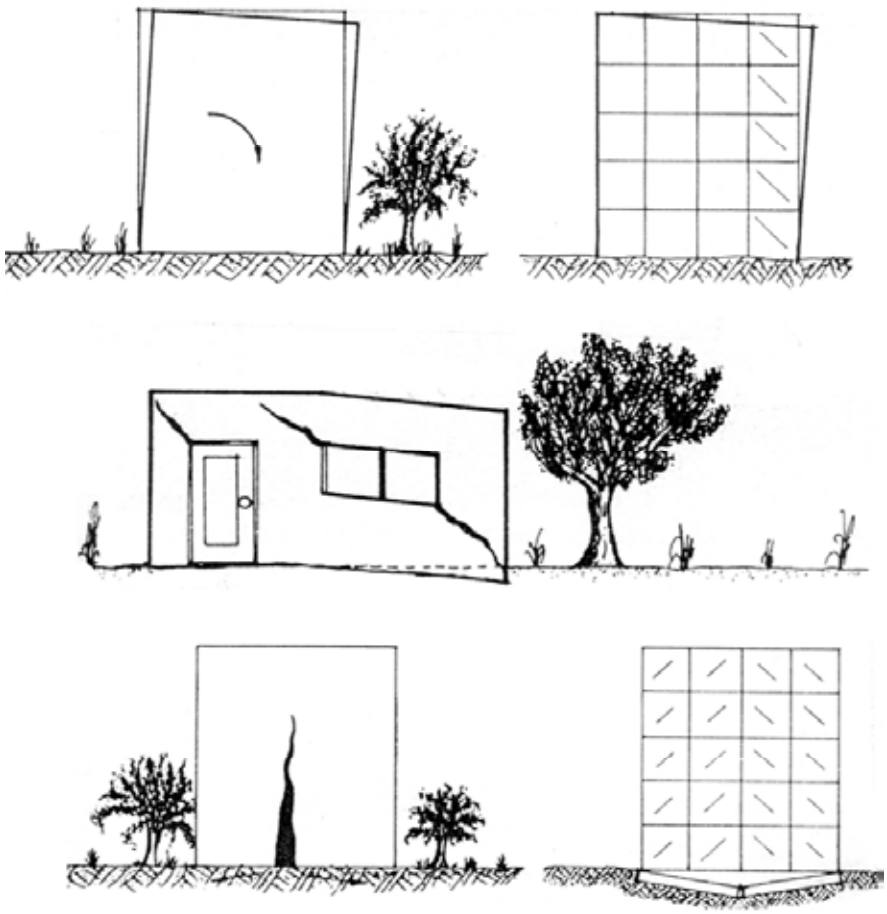


شكل (7.2): حماية تربة الأساس من تسرب المياه إليها (أبو دية 1986)

3.4.2 زراعة الحدائق حول الأبنية

للمحافظة على نسبة من الرطوبة في التربة، بحيث لا تتغير بين فصلي الصيف والشتاء يمكن زراعة الحديقة المحيطة بالمبنى بالأعشاب والشجيرات الصغيرة، كالأنجيل، ورشها بالماء باستمرار. إذ تحافظ هذه الطبقة على الرطوبة في التربة خلال فصل الصيف، وتمنع جفاف التربة وتعرضها المباشر للمحيط الخارجي الجاف.

ويجب الانتباه الى ضرورة تجنب زراعة الأشجار الكبيرة حول المباني مباشرة وخصوصاً الأشجار التي تمتلك جذوراً طويلة، فامتداد الجذور أسفل المبنى يؤدي إلى امتصاص الرطوبة من التربة، وبالتالي تغيير خواصها، والتسبب في كثير من الحالات في أحداث أضرار في المباني (انظر الشكل 8.2).



شكل (8.2): أشكال الأضرار التى تحدثها الأشجار على الأبنية (أبو دية 1986)

أسئلة مهمة:

سؤال 1.2: إذا قام شخص بالبناء على أرض طينية رخوة وقابلة للانتفاخ خلال فصل الشتاء، وكـــان المبنى يتكون من طابق أو طابقين، ماذا يمكن أن يحصل في فصل الصيف؟

سؤال 2.2: تم بناء متعدد الطوابق (7 طوابق) أثناء فصل الصيف، وكانت التربة اسفل المبنى طينية قابلة للأنتفاخ، ما هي المشاكل المتوقع حدوثها للمبنى؟

سؤال 3.2: هل يمكن لجذور الأشجار أن ترفع أساسات المباني إلى أعلى؟

تنويه: لتشجيع الطلبة على الأعمال الاختيارية (غير الإجبارية) يُطلب منهم، وبشكل اختياري، عمل تقارير أو أبحاث صغيرة حول التربة والزلازل، وتوضع علامات إضافية بواقع 2 3 علامات لكل تقرير

الشكل (9.2) هل يمكن لجذور الأشجار أن ترفع أساسات المباني إلى أعلى.

الفصل الثالث

آلية تأثير الهزات الأرضية على المباني

1.3 اعتبارات عامة

تتعرض المنشآت عادة إلى أنوع مختلفة من الأحمال، وتصنف هذه الأحمال استناداً لطبيعة تأثيرها إلى نوعين: استاتيكية و ديناميكية، فتأثير الأحمال الاستاتيكية يكون عادة ثابتاً ولا يتغير مع الزمن، ومن الأمثلة على الأحمال الاستاتيكية التي يتعرض لها المبنى:

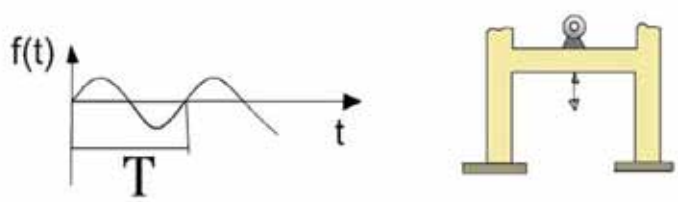
- أوزان عناصر وأجزاء المبنى الحاملة والمحمولة (أي الإنشائية وغير الإنشائية)،
- الأحمال الدائمة وشبهه الدائمة، كأثاث المبنى...الخ،
- والأحمال الحية، كالأحمال الناتجة عن الأشخاص الذين يستخدمون المبنى، وعادة يتم تصنيف جميع الأحمال التي تتحرك ببطء بالأحمال الاستاتيكية.

وينتج عادة عن التحميل الاستاتيكي حل واحد، في حين تتميز الأحمال الديناميكية بأنها تتغير مع الزمن F (t)، وبالتالي ينتج عن هذه الأحمال أكثر من حل، أما أهم التأثيرات الديناميكية التي قد تتعرض لها المباني، فيمكن تلخيصها بالتأثيرات الموضحة في الشكل (1.3)، وهي:

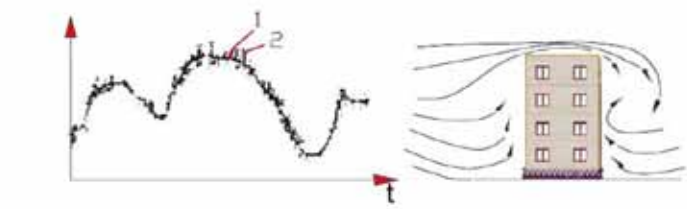
- التأثيرات الديناميكية التي تحدثها اهتزازات الآلات والماتورات، وخصوصاً تلك الموجودة في المبنى،
- التأثيرات الديناميكية التي تحدثها الرياح،
- الانفجارات،
- والزلازل،

وبالمقارنة مع التأثيرات (الأحمال) الديناميكية الخارجية الأخرى التي تطبق مباشرة على المنشآت كاهتزازات الماتورات والرياح والانفجارات، فإن الأحمال الزلزالية تطبق بشكل غير مباشر، وذلك من خلال قواعد ارتكاز المنشآت (الأساسات)، أي أن الحركات الأرضية الزلزالية تؤثر في قواعد المبنى، ومن ثم تنتقل هذه الأحمال من القواعد إلى المبنى.

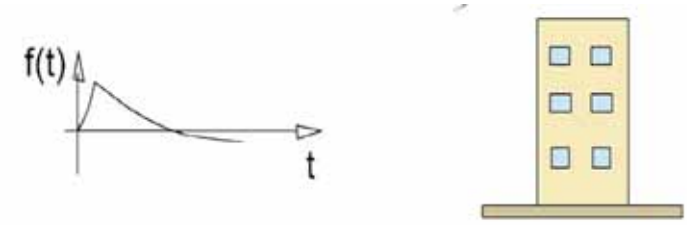
وبلا شك تعتبر الهزات الأرضية التأثير الديناميكي الأكثر أهمية وذلك بسبب ما ينتج عنها من دمار وخسائر بشرية ومادية وخصوصاً في التجمعات السكانية الكبيرة، الأمر الذي فرض استخدام علم هندسة الزلازل (Earthquake Engineering) في الأعمال الإنشائية وذلك لإيجاد الأفكار والحلول



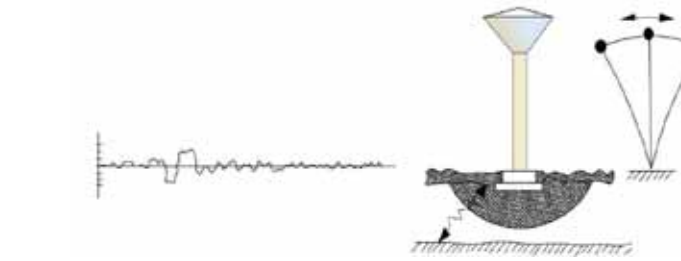
أ) تأثير حركة الاهتزازات الناتجة عن الماتورات



ب) تأثير حركة الرياح على المباني



ج) تأثير الإنفجارات على المباني



د) تأثير الحركات الاهتزازية الأرضية على المنشآت

شكل (1.3) : أهم التأثيرات الديناميكية التي قد تتعرض لها المباني (Pop I. 1985)

الإنشائية الكفيلة لضمان سلامة المباني عند تعرضها للهزات الأرضية، فالزلازل تكشف أخطاء التصميم والتنفيذ وحتى الصغيرة وغير الواضحة منها، وهذا بدوره أعطى هندسة الزلازل أهمية كبيرة، بحيث أطلق عليها من قبل الخبراء اسم هندسة رقابة الجودة، فهندسة الزلازل أو الهندسية الزلزالية لا تعني هندسة الزلزال نفسه وإنما هندسة كل شئ يتأثر بالزلزال، وذلك من خلال تصميمه

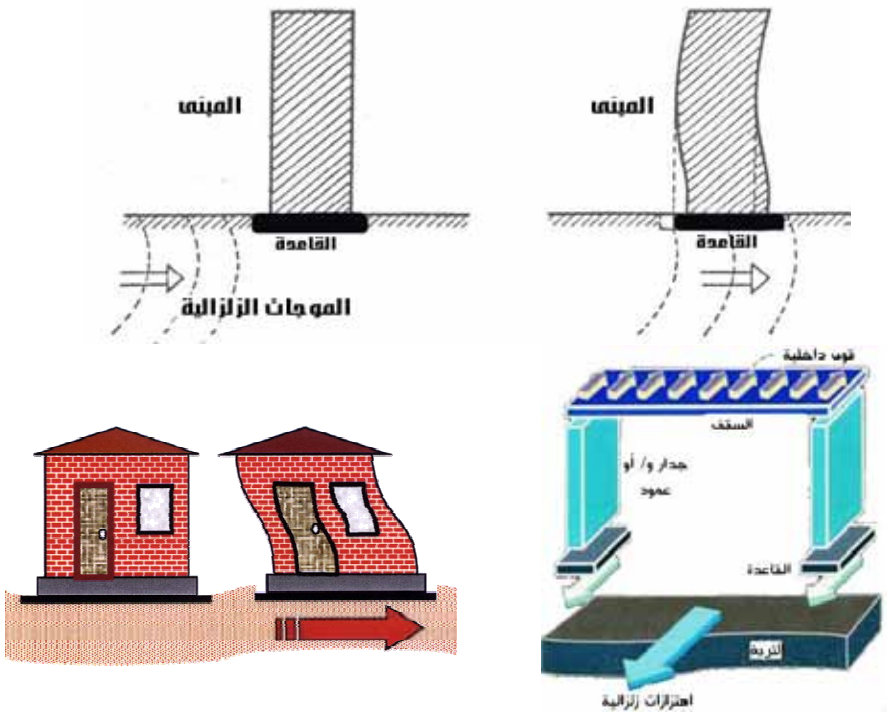
وتنفيذه لمقاومة أفعال الزلازل وتوفير متطلبات السلامة العامة الأخرى. ويمكن تمثيل تأثير الهـزات الأرضية على المنشآت من خلال الإثارة الديناميكية التي تطبق على قاعدة ارتكـاز المنـشآت، أمـا التصرف الزلزالي للمنشآت فيمكن تحليله باعتباره موضوع اهتزازات (انظر الشكل 1.3 – د)، أمـا خصائص الحركات الاهتزازية للمنشأ والمتمثلة في كل من سعة الاهتزازات وترددها ومدة تأثيرهـا، فيمكن إيجادها من خلال استخدام النماذج الرياضية، وحالياً يتوافر للمهندس المصمم عدد من بـرامج التحليل المتطورة والتي تُساهم بشكل كبير في تسهيل وتبسيط عملية النمذجة وجميع العمليات التحليلية والتصميمية اللازمة.

2.2 آلية تأثير الهزات الأرضية على المباني

تحدث الزلازل حركات اهتزازية معقدة جداً وكنتيجة لهذه الحركات أظهرت جميع تسجيلات الأحـداث الزلزالية أن الرسوم البيانية لكل من إزاحة وسرعة وتسارع الحركات الزلزالية تكـون معقـدة وغيـر منتظمة (انظر الفصل الأول)، بمعنى أخر تكون هذه التسجيلات عشوائية ومتغيرة مع الزمن والاتجـاه والمقدار. ولتوضيح آلية تأثير الحركات الاهتزازية الأرضية على المنشآت، يمكن تقسيم حركات المبنى لثلاث مراحل، هي:

المرحلة الأولى: عند وصول الموجات الزلزالية إلى المبنى (انظر الـشكل 3 . 2) سـتؤثر حركاتهـا الاهتزازية على قواعد "أساسات المبنى فتحركها، وإذا كانت أساسات المبنى صلبة جداً فإنهـا حركاتهـا ستكون انتقالية وبالاتجاهات الثلاث، بمعنى تعمل الحركات الاهتزازية الأرضية في الاتجـاه شـمال ــ جنوب على تحريك (إزاحة) القواعد باتجاه شمال ــ جنوب، في حين ستؤدي الحركات الأرضية شـرق ــ غرب إلى تحريك القواعد بنفس الاتجاه، أما الحركات الاهتزازية الرأسية (أعلـى ــ أسـفل) فإنهـا ستؤدي بدورها إلى تحريك القواعد بنفس الاتجاه (أنظر إلى حركات المبنى الموضحة فـي الـشكل 3 . 3 أ و ب). وعند تعرض قواعد "أساسات" المبنى لحركات أرضية انتقالية فجائية، سيقابل جسم المبنى هذه الحركات بردة فعل، وذلك نتيجة لقوى القصور الذاتي التي تحدثها كتلته، فيتحـرك جـسم المبنـى بحركات معاكسة لحركات القواعد'' "لكل فعل رد فعل مساوٍ له في المقدار ومعاكس في الاتجاه"، انظـر الشكل(2.3)، فحركة المبنى هذه ترتبط ارتباطا وثيقاً بكتلته الذاتية، ويمكن تعريفها على أنها نـوع مـن المقاومة الذاتية، علماً أن حركة المبنى الفجائية تعرضه لصدمة ديناميكية، وقد تؤدي لحصول تـشوهات وأضرار في المبنى.

المرحلة الثانية: خلال هذه المرحلة تستمر الحركات الاهتزازية الأرضية وتنتشر الموجه/ الموجات في جسم المبنى، ويعمل المبنى في هذه الحالة كعضو كابولي مثبت فـي القاعـدة، ويبـدأ فـي الاهتـزاز بالاتجاهات الثلاث، فمثلاً: إذا وضع في مبنى محطة لرصد الحركات الاهتزازية وحصل زلزال فان هذه



شكل (2.3) : آلية تأثير الموجات الزلزالية على أساسات المبنى وردة الفعل التي يطورها جسم المبنى

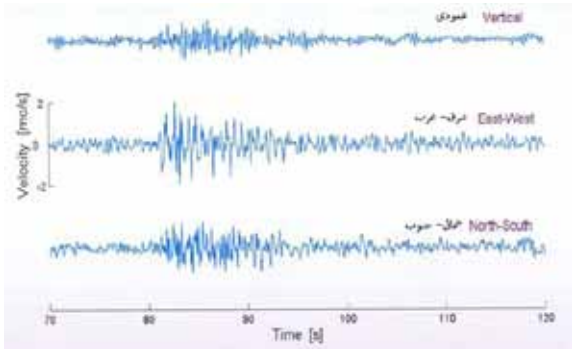
أ حركات انتقالية/إزاحات جانبية ب حركات انتقالية رأسية ج حركات دورانيّة

شكل (3.3) : الحركات المحتملة للمباني في حالة كانت أساسات هذه المباني عالية الصلابة (المؤلف)

المحطة ستسجل الحركات الاهتزازية في الثلاث اتجاهات: شرق ــ غرب، وشمال ــ جنوب، وأسفل ــ أعلى، أنظر الشكل (3 . 4)، وبطبيعة الحال تكون هذه التسجيلات مختلفة وغير متساوية، فكما ذكرنا في الفصل الاول من الكتاب تتأثر الحركات الأرضية بعدد من العوامل، وبطبيعة الحال إذا كانت المحطة التي سجلت الحركات الاهتزازية موجودة داخل المبنى، سيكون لشكل وأبعاد المبنى (النسبة بين

ارتفاع وعرض وطول المبنى) ونظامه الإنشائي تأثير كبير على هذه التسجيلات، وكذلك ستختلف تسجيلات هذه الحركات من طابق لأخر.

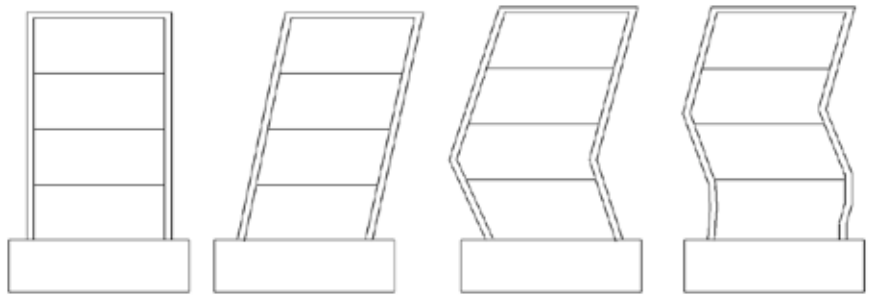
3 مجسات لتسجيل الحركات الزلزالية



شكل (4.3) : تسجيلات الحركات الاهتزازية الأرضية في الاتجاهات الثلاث (المؤلف)

المرحلة الثالثة: بعد أن تقف الحركات الاهتزازية الأرضية يستمر المبنى بالحركة لمدة إضافية من الزمن وتسمى هذه الحركة بالحركات الاهتزازية الحرة، في حين تسمى حركته خلال المرحلة الثانية بالحركات الاهتزازية المثارة. ويعتقد الكثير من الناس وبعض المهندسين أن حركات المبنى الاهتزازية تكون اهتزازية بندوليه فقط (انظر إلى الشكل .3 . 5 أ)، وهذا غير صحيح لان المبنى يحتمل أن يتعرض إلى ثلاثة نماذج من الحركات الاهتزازية (انظر الشكل .3 . 5)، وهذا يعني أن المبنى قد يصمد ويحقق السلوك الزلزالي المطلوب للنموذج الأول مثلاً، ولكنه قد يفشل ويتعرض للأضرار والانهيارات نتيجة لحركته وفقاً للنموذج الثاني أو الثالث.

وإذا نظرنا إلى الشكل (14.1) في الفصل الأول نلاحظ وبكل وضوح أن تسجيل الحركات الزلزالية في الطابق الأرضي تختلف عن تسجيل هذه الحركات ولنفس الزلزال في حالة تم وضع محطة رصد في الطابق الأخير، وذلك لان اهتزازات المنشآت تختلف عن اهتزازات التربة، فالحركات الاهتزازية للمنشأ تعتمد بشكل كبير على صلابته، وبالتالي سيكون هناك فرق في الحركات الاهتزازية للطوابق، فالمبنى سيكتسب الحركات الاهتزازية من التربة ويضخمها (يكبرها)، وهذا بدوره سينعكس على سلوك العناصر الإنشائية (العناصر الإنشائية في المبنى هي العناصر الحاملة، مثل: الجسور والأعمدة والأسقف والجدران الحاملة والقواعد)، مما يجعلها تطور تشوهات وحركات متغيرة مع الزمن وذلك انسجاماً مع التغير الذي يطرأ على سرعة وتسارع كُتل المبنى، لذلك وبهدف الحصول على نماذج وحلول هندسية إنشائية أقرب إلى الواقع يلجأ المصمم أثناء أجراء التحليل الديناميكي للمنشآت إلى تجزئة المنشأ الواحد إلى عدد من الكتل، علما أن العلاقة بين عدد كتل المنشأ الواحد ودقة الحل تعتبر علاقة طردية.



أ) النموذج الأول أقل تردد أو أكبر زمن دوري　　ب) النموذج الثاني　　ج) النموذج الثالث

شكل (5.3) : نماذج الحركات الاهتزازية المحتملة للمنشآت (المؤلف)

وإذا كانت صلابة قواعد "أساسات" المبنى عالية جداً فان جميع القواعد ستعمل وكأنها قاعدة واحدة، وهذا سيؤدي لتعرض المبنى لثلاث حركات انتقالية وثلاث دورانية، وفي نفس الوقت إذا كانت تربة التأسيس (التربة أسفل القواعد) صلبة وغير قابلة للتشوه والهبوط "كأن تكون صخرية" فأن ذلك سيؤدي إلى إهمال الحركات الدورانية. ولتوضيح العلاقة بين صلابة القواعد وصلابة تربة التأسيس من جهة، وحركة المبنى من جهة أخرى نستعرض المثال التالي: يمتلك الجسم في الفراغ، ست حركات: ثلاث حركات انتقالية باتجاه المحاور الرئيسية x و y و z، وثلاث حركات دورانية حول المحاور x و y و z، وهذا يعني ان كل قاعدة منفصلة يمكن تمثيلها بجسم، وعليه يمكن أن تتعرض لحركات معقدة: ثلاث حركات انتقالية وثلاث حركات دورانية، ومثلا إذا كان عدد القواعد في المبنى يساوي 25 قاعدة، فهذا يعني أن كل قاعدة يمكن أن تتحرك ست حركات، ولكن إذا تم ربط هذه القواعد مع بعضها البعض بشكل محكم بوساطة جسور ربط أو تم عمل قواعد مستمرة في جميع الاتجاهات أو عمل قاعدة واحدة على شكل حصيرة أسفل المبنى، فأن ذلك سيؤدي للحصول على أساسات صلبة جداً، وفي هذه الحالة ستعمل جميع قواعد المبنى وكأنها قاعدة واحدة عالية الصلابة، بمعنى يمكن أن تتحرك جميعها مشتركه وكحد أقصى بست حركات فقط ، منها ثلاث حركات انتقالية وثلاث حركات دورانية، وفي حالة كانت تربة التأسيس صلبة جداً فهذا يعني إمكانية إهمال الحركات الدورانية الثلاث، وبذلك يبقى لجميع قواعد المبنى مشتركة أن تتحرك ثلاث حركات انتقالية فقط (أنظر إلى الشكل 3 . 3 أ و ب).

وإضافة لحركة القواعد المذكورة أعلاه قد تتعرض القواعد وتربة التأسيس لأجهادات أضافية وذلك كنتيجة لحركة جسم المبنى الدورانية، حيث تزداد هذه الحركة في حالة المباني العالية أو المباني النحيفة، فمثلاً سيعمل عزم الانحناء الذي سيتعرض له المبنى الموضح في الشكل (3 . 3 ج) للضغط على تربة التأسيس أسفل القواعد الموجودة في أطراف المبنى، وفي حالة كانت صلابة هذه التربة غير كافية، فإن هناك احتمالاً لحصول هبوط في أطراف المبنى وبالتالي تعرض المبنى لأضرار.

الفصل الرابع

الباطون (الخرسانة)

1.4 مقـدمـــــــــة

يتطلب تأمين السلوك الزلزالي للمباني التحكم بجودة تصميم وتنفيذ العناصر الإنشائية وغير الإنـشائي التي تتكون منها هذه المباني، وهذا يتضمن ضبط جودة المواد التي تتكون منها هذه العناصر، فتـأمين الجودة للعناصر الخرسانية المسلحة كالأعمدة والجسور والأسقف والجدران المسلحة، وغيرها، يعنـي بالنسبة للمهندس المصمم والمنفذ تحقيق الجودة المطلوبة كماً ونوعاً للخرسانة ولحديد التـسليح الـذي سيتم استخدامه في هذه العناصر، وفي هذا الفصل سيتم أعطاء فكرة موجزة حول العوامل التي تتحكم بنوعية الخرسانة، في حين تم تخصيص الفصل الخامس لحديد التسليح.

كلمة الباطون أو البيتون(Beton) أصلها لاتيني، وباللغة العربية تسمى الخرسانة، وهي عبـارة عـن خليط من المواد، وبشكل عام تتكون الخلطة الخرسانية من المكونات الرئيسية التالية: الإسمنت والمـاء والكرسته/الركام (ويشمل الركام المواد المعروفة، كالحصى والرمل)، حيث تخلط هـذه المـواد مـع بعضها البعض بنسب معينة يتم تقديرها وحسابها على ضوء نوعية العمل المطلوب والمواد المتوافرة، وبعد خلطها وصبها تبدأ الخرسانة بالتصلب التدريجي حتى تصبح صلبة وقوية، ويمكن إضافة بعـض المواد الكيمائية (المضافات) إلى مكونات الخرسانة الذكورة أعلاه، حيث تعمل هذه الإضـافات علـى تعديل بعض خصائص الخرسانة، كزيادة تمييعها (لتخفيض نسبة ماء الخلط وتحسين قابليتها للتشغيل)، وتسريع قدرتها على التفاعل أو تخفيضها، وتحسين متانتها ومقاومتها للتآكل، أو التقليل من انكماشـها وتخفيض درجة حرارتها أثناء مرحلة التصلب، وغيرها.

وتعتمد نوعية وقوة الخرسانة بشكل أساسي على نوعية ونسب المواد المكونـة لهـا، فزيـادة كميـة الاسمنت لحد معين تؤدي الى زيادة في مقاومة الخرسانة، والعكس صحيح، كما أن قوة الخرسانة تتأثر بنوعية الحصمة وحجمها، وكلما زادت كمية الماء عن الحد اللازم ضعفت القوة، وسيتم لاحقاً "إن شاء الله" تناول خواص الخرسانة وتأثير العوامل المختلفة عليها.

أثبتت الخرسانة المسلحة منذ اكتشافها في نهاية القرن التاسع عشر أنها من أفضل المواد التي تستعمل في أعمال البناء بشكل عام، وبالمقارنة مع مواد البناء الأخرى تتميز الخرسانة بما يلي:

قابليتها لتحمل قوى الضغط

قابليتها الكبيرة للتشكل وفقا للقالب الذي تصب فيه

سهولة الحصول على مكوناتها الأساسية و سهولة تجهزيها
رخص ثمنها بالمقارنة مع مواد البناء الاخرى

2.4 الاسمنت

وتعني كلمة الإسمنت باللغة اللاتينية (Cement) المادة اللاصقة، وهي مادة قديمة ، واستعملها المصريون القدامى على شكل الجبس المحمص Calcined Impure Gypsum وكذلك الإغريق والرومان الذين استعملوا الحجر المفكك بالحرارة Calcined Limestone، وأضافوا إليه الجير Lime والماء والرمل والحجارة الصغيرة، وتعتبر مادة الإسمنت المادة الأكثر أهميه وفاعلية، في لصق مكونات الخليط بعضها ببعض، وجعلها ملتحمة التحاماً شديداً يكسب الخليط قوة مميزة، بعد أن كانت في الأصل سائبة وغير متماسكه، وينتج الاسمنت عادة من حرق المواد الطينية والكلسية (الشريف 1982).

ويرتبط اكتشاف الخرسانة باختراع/ أو اكتشاف الاسمنت، فالاسمنت يؤلف أهم عناصر الخرسانة، وذلك لما يوفره من قوة تماسك تربط بين الاجزاء المختلفة للركام، فبعد خلط الركام (الحصى والرمل) والاسمنت واضافة الماء الى الخليط، تتشكل مادة جديدة من الماء والاسمنت تسمى العجينة الاسمنتية، وتبدأ هذه العجينة بالتصلب والتحول الى مادة قاسية ذات قوة تماسك كبيرة وذلك كنتيجة للتفاعل الكيماوي ما بين الماء والاسمنت، وهذا التماسك يعمل على ربط حبيبات الركام (حبيبات الحصى والرمل) مع بعضها البعض لتؤلف كتلة واحدة صلبة تسمى الخرسانة.

1.2.4 فحص الأسمنت

يتم فحص الاسمنت عادة للتعرف الى خواصه الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية كالوزن النوعي ومقاومته للشد والضغط وزمن الشك الابتدائي والنهائي والمكونات الكيميائية، وذلك للتأكد من مطابقة الاسمنت المنتج للمواصفات المطلوبة.

2.2.4 أنواع الاسمنت

يتكون الاسمنت، بشكل عام، من خلط الطين والحجر الجيري وحرقهما للحصول على الكلنكر مع اضافة الجبس بنسب مختلفة، ويمكن انتاج عشرات الانواع من الاسمنت ليستعمل كل نوع منها لعمل معين.

3.2.4 المضافات

هدف استخدام الاضافات في الخلطة الخرسانية هو الحصول على خواص جديدة في الاسمنت، وليس التغلب على عيوب في الخلطة الخرسانية، ويمكن تلخيص اهم انواع الاضافات بما يلي:

- اضافات مسارعة للتفاعل تضاف بنسبة 1-3% من وزن الاسمنت مثل كلوريد الصوديوم وكلوريد الكالسيوم.
- اضافات مبطئة للتفاعل مثل السكر والكاربوهيدرات وهي ضرورية لتخفيض اثار الحرارة، وللمساعدة في وضع الخرسانة وانهائها بشكل جيد قبل ان تتصلب ولابقائها طرية خلال عملية الصب خاصة في الصبات الكبيرة التي تحتاج الى وقت بين الخلطة والاخرى لحين وصولها وتجهيزها، ومن الجدير بالذكر ان مثل هذه الاضافات تتحكم في عملية الشك وتؤخره من ساعة الى ثلاث ساعات، الا انه يجب الانتباه الى عدم استعمال هذه الاضافات بكميات كبيرة وذلك حتى لا تتوقف عمليات التفاعل والتصلب في الخرسانة نهائياً.
- اضافات مقللة او مخففة للماء، أي انها تزيد من قابلية التشغيل في الخرسانة وتساعد على تخفيض الماء ومنها ليغنوسلفونات الكالسيوم.

يشار الى ان لهذه الاضافات مضاراً لذلك يجب استعمالها بحذر وعند الضرورة وبكميات قليلة وحسب ارشادات الشركة الصانعة.

4.2.4 تخزين الاسمنت

يتأثر الاسمنت بشكل كبير بعوامل الجو، وبالتالي للمحافظة على جودته هناك حاجة للالتزام بمتطلبات تخزينه، بحيث يبقى صالحاً للاستعمال، ويمكن أجمال أهم التوصيات والشروط المتعلقة بتخزين الاسمنت بما يلي :ـــ

- يجب حماية الاسمنت من الظروف الجوية القاسية، كحرارة الشمس المرتفعة والصقيع.
منع وصول الرطوبة للاسمنت وذلك من خلال تخزينه داخل مستودعات او صوامع محكمة الاغلاق (انظر الشكل 4 . 1).
- وضع أكياس الاسمنت فوق مصطبات من مواد غير قابلة لامتصاص الرطوبة، كاستخدام قطع خشبية مرتفعة عن مستوى ارضية المستودع بما لايقل عن 15سم (أنظر الشكل 1.4).
- الاحتفاظ بمسافة 15 سم بين اكياس الاسمنت والجدران الخارجية، وعدم ترك ممرات بين اكداس (الصفوف) وذلك حتى لا يسمح للهواء بحرية الحركة فيما بينها.
- استعمال الاسمنت بنفس الترتيب الذي تم تخزينه.
- يحظر استعمال الاسمنت السائب (الاسمنت السائب هو عبارة عن الاسمنت الذي يتم تعبئته وشحنه بواسطة صهاريج) بعد مرور 3 اشهر على تاريخ انتاجه الا اذا اثبت الفحص المخبري ان الاسمنت لا زال مطابقاً للمواصفات.
- يحظر استعمال الاسمنت الذي تظهر عليه اثار الترطيب(مثل التكتل) مهما كانت فترة التخزين.

ويفضل دائماً استعمال الإسمنت الحديث الصنع لذا ينصح دوماً بابتياع الإسمنت قبل عملية تحضير الخرسانة بفترة وجيزة، بذلك لضمان جودتها، ويوصي عادة بعدم استعمال أنواع من الإسمنت ذات مصادر متنوعة في الصبة الواحدة، وبأن يتم استهلاك شحنات الإسمنت أولاً بأول، كيلا تطول فترة التكديس لبعض منها فتتدهور فعاليته.

5.2.4 كمية الاسمنت

لتحديد كمية الاسمنت التي يجب اسخدامها في الخلطات الخرسانية يستخدم عادة المقياس الوزني وليس الحجمي، وبشكل عام تتراوح كمية الإسمنت المستعمل في الخرسانة ، ما بين 150 كغم إل450 كغم لكل متر مكعب، وذلك حسب قوة الخرسانة المطلوبة، وظروف تشغيلها، وفي بعض انواع الخرسانة وفي حالات معينة يمكن زيادة كمية الاسمنت عن 450 كغم لكل متر مكعب، وكما هو معروف يحتوي كيس الاسمنت على 50 كغم من الاسمنت، وهذا يعني ان الحد الادنى لكمية الاسمنت في الخلطة الخرسانية يعادل ثلاثة اكياس، أما الحد الاعلى فيتطلب 9 أكياس تقريبا، وتجدر الاشارة هنا الى ان هناك فهم خاطىء لدى الكثير من عامة الناس حول العلاقة بين كمية الاسمنت ومقاومة الخرسانة، فالبعض يعتقد ان زيادة كمية الاسمنت تؤدي بشكل دائم الى زيادة مقاومة الخرسانة، نعم هذا صحيح لحد معين، فاذا زادت كمية الاسمنت عن هذا الحد، فان ذلك لن يؤدي الى زيادة المقاومة ، بل العكس، فقد تؤدي زيادة كمية الاسمنت الى زيادة ظاهرة انكماش وتشقق الخرسانة (ملاحظة: ظاهرة انكماش الخرسانة تزداد بزيادة كمية الاسمنت، وهذه الظاهرة يعود سببها الى مكونات وتفاعل الاسمنت). ويعتبر الاسمنت احد اهم العوامل التي تؤدي لتحسين نوعية الخرسانة، الا ان زيادة كمية الاسمنت تساهم كذلك في الحفاظ على حديد التسليح الموجود داخل جسم الخرسانة وتحفظه من الصدأ.

ولكن كيف تساهم كمية الاسمنت الموجودة في الخلطة الخرسانية في الحفاظ على حديد التسليح ومنعه من الصدأ ؟

ان تفاعل الماء مع الاسمنت يؤدي الى الحصول على مادة هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$، وهذه المادة بدورها تحيط وتغلف حديد التسليح وتحميه من الصدأ، وتزداد الحاجة الى زيادة مادة هيدروكسيد الكالسيوم في الخرسانة في المناطق الرطبة (المناطق الساحلية مثلاً)، والمناطق شديدة التلوث (انظر تأثير المحاليل الكيميائية على الخرسانة الشكل 4 . 10)، فمثلاً قد يتطلب الحصول على المقاومة اللازمة لخرسانة القواعد المسلحة في احد المباني كمية من الاسمنت تساوي 300 كغم لكل متر مكعب، الا انه وبسبب وجود القواعد في تربة رطبة يتخللها بعض المواد الكيميائية الضارة (مثل الكبريتات)، فقد يؤدي ذلك الى استخدام كمية من الاسمنت مقدارها 400 كغم لكل متر مكعب من الخرسانة واحياناً اكثر من ذلك، هذا اذا تم استخدام الاسمنت البورتلاندي العادي، وفي حالة استخدام الاسمنت المقاوم

للكبريتات، قد لا نضطر لزيادة كمية الاسمنت عن الكمية اللازمة للحصول على المقاومة المطلوبة كما في حالة الاسمنت البورتلاندي.

شكل (1.4) : تخزين الإسمنت

3.4 الركـــــــام (الكرسته)

1.3.4 قـــوته وأنواعـــــه

تتـأثر خواص الخرسانة ونوعيتها بشكل كبير بنوعية وخواص الركام ، وذلك لأن الركام يشكل 80- 70% تقريبا من الحجم الكلي للخرسانة، وهو الذي يعطي الخرســانة الاســتقرار ومقاومــة القــوى الخارجية والاحمال والتآكل، فمقاومةالخرسانة القصوى تعتمد بشكل رئيسي على قوة الركام المستعمل، لذلك يجب أن تكون مقاومة الركام اكبر بكثير من قوة الخرسانة النهائية، وذلك تفادياً لانكسار الخرسانة نتيجة لوجود ضعف في مقاومة الركام، فمثلا اذا أجرينا فحص الانهيار (الكسر) بالضغط على عينــة من الخرسانة(انظر لفحص الخرسانة الموضح في الشكل 4 . 7) فانه عند تجاوز قوة تحمل الخرســانة ينبغي ان يبدأ الكسر في عجينةالاسمنت، وحيث إن وظيفة الاسمنت لا تتعدى تغليف حبيبــات الركــام والصاقها ببعضها بقوة، اذا اصبح من الضروري ان يكون الركام اقوى من معجونة الاسمنت وذلــك للحصول على خرسانة عالية القوة وبكلفة معقولة.

وكما هو معروف، فإن معظم الركام في منطقتنا مصدره الحجر الجيري الضعيف أو المتوسط، ومــع ذلك هناك مصادر أخرى يمكن أستخدامها، كحصى الأودية والسيول او تكسير الصخور الصلبة (مثــل الصخور النارية كالجرانيت والبازلت، والصخور المتحولة كالرخام). وللحصول علــى الركــام فــي فلسطين يتم الاعتماد بشكل رئيسي على تكسير الصخور باستخدام الكسارات، اما اســتعمال الحــصى المتواجدة في مجرى الوديان فهو نادر الاستخدام، ويمتاز حجر الكسارات بانه ذو حــروف واشــكال تساعد على اعطاء القوة، الا انه في نفس الوقت أضعف من حصى الوديان واكثر امتــصاصاً للمــاء، وفي المقابل تعاني حصى الوديان من نعومة اسطحها. ويستحسن غسل الركام فــي جميــع الأحــوال

للتخلص من أية أملاح، أو شوائب، أو مواد ضارة، كالأتربة والمواد العضوية، التي قد تؤثر على القوة النهائية للخرسانة، أو على قدرة تحملها وبقائها مع الزمن، أو على حديد التسليح.

2.3.4 تدرج الركام

عند تكسير وطحن الصخور في الكسارات او عند اخذها من الوديان، فانها تكون حاوية لعدة احجام، وتسمى الحصمة في هذه الحالة مخلوطة، وهذا النوع من الركام الذي يحتوي كافة الاحجام يكون ثابتاً ميكانيكياً وقليل الفراغات، وذلك بسبب تداخل الحبيبات، حيث نسبة الفراغات في الحصمة المخلوطة لا تتعدى 15%، في حين ان الفراغات في الحصمة ذات الحجم الواحد قد تصل الى 40% (أنظر الشكل 4 . 2)، وهذا يعني ان الركام المكون من مخلوطة اقوى من ذات الحجم الواحد واحسن للأستعمال، وفيها كميات من المواد اكثر من ذات الحجم الواحد، الا انه في نفس الوقت لا يمكن استعمال الركام المخلوط الناتج من تكسير الصخر او المأخوذ من الوديان مباشرة، وذلك لان تدرجها ونسب حجومها قد لا تكون مناسبة، وقد لا يكون هو المطلوب، وقد تتواجد حجوم معينة لسنا بحاجة اليها ولا تصلح لطبيعة ونوعية العنصر او المنشأ المراد تنفيذه.

ان كل نوع من الاعمال يحتاج الى تدرج معين ولا يمكن التحكم في الكسارة لانتاج التدرج المطلوب، فالكسارة الواحدة تغير في مكونات ناتجها من يوم لآخر، وكلما تغير الحجر تغيرت المكونات، لذلك لا بد من فرز الركام الناتج من عملية التكسير الى احجام وابعاد مختلفة عن طريق وضع مناخل خاصة لتصنيف الركام الى ابعاد واحجام، ومن ثم يقوم المهندس او المقاول باختيار النسب اللازمة من كل حجم وخلط هذه الاحجام مرة اخرى حسب طبيعة العمل المطلوب (ملاحظة: الطريقة المثالية لاختيار نسب الاحجام المختلفة من الركام تتم عادة في المختبر وتسمى هذه العملية تصميم الخلطة الخرسانية).

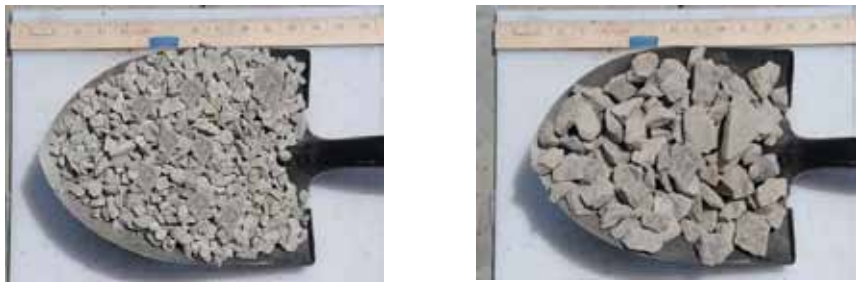
ويمكن فصل ركام المخلوطة بوساطة المناخل (سواء في الكسارة او في تجارب المختبرات) الى احجام وابعاد مختلفة قد تصل الى عشر احجام او اكثر، وتصنف هذه الاحجام عادة الى نوعين رئيسيين:

- **الركام الخشن:** الذي يتضمن مجموعة الحبيبات التي يحتجز معظمها (95-100%) من وزنها على المنخل 5 ملم، أي الركام الذي يزيد مقاسه على 5 ملم.
- **الركام الناعم:** الذي يتضمن مجموعة الحبيبات التي يمر معظمها (95-100%) من وزنها من المنخل مقاس 5 ملم ويكون الحد الأدنى لمقاس حبات الرمل 0,06 ملم.

ولتبسيط عملية تقسيم الركام الى انواع، هناك تصنيف واسماء شعبية تستخدم في فلسطين وتتطابق مع التصنيف العلمي للركام بشكل كبير، هو:

- **الحصى الخشن:** الذي يشمل الجوزية والفولية والحصمة والعدسية أنظر الشكل 4 . 3)
- **الحصى الناعم :** الذي يشمل السمسمية والناعمة والرمل الطبيعي.

وحتى يتم التأكد من ان الركام صلب وقاسٍ ونظيف، ومقاساته مناسبة، وخواصه جيدة ويصلح لاستعمال الخرسانة، يجري عليه فحوصات متعددة.



شكل (2.4): تدرج الركام – استخدام ركام بمقاسات وأحجام مختلفة يخفف من نسبة حجم الفراغات في الخلطة الواحدة

شكل (3.4): أحجام مختلفة من الركام الخشن – الجوزية والفولية والحصمة والعدسية

3.3.4 الركـــــام ونسب الخـــــليط

تعتمد نسب خلط الإسمنت والركام على عدة عوامل، أهمها: المقاومة المطلوبة للخرسانة، وخاصية نفاذية الخرسانة للماء Impermeability ، والديمومة والقدرة على البقاء Durability، ويتطلب اعتماد نسب الخليط (خصوصاً في المشاريع المهمة) اجراء تصميم في المختبرات الهندسية لنسب

الخليط، وذلك لكون نوعية الخرسانة تتأثر بعدد كبير من العوامل اهمهـا الركـام المـستخدم ونـسبه ومقاساته واشكاله ونوعيته ودرجة امتصاصه للماء. أما أنسب أنواع هذا الخليط ، آخذين التكلفة والقوة بعين الاعتبار، فهو ذلك الذي يستعمل عادة في معظم أشكال الخرسانة المسلحة ويكون بنسبة (4:2:1): مقدار واحد من الإسمنت مع مقدارين من الحصى الناعم، وأربعة مقادير من الحصى بمجملها.

4.4 مـــــاء الخليط: نسبته وخـــــواصه

تعد نسبة الماء إلى الإسمنت في الخليط من العوامل المهمة في تحديد قوة الخرسـانة ، فكلمـا زادت كمية الماء ، تدنت قوة الخرسانة. وهذا ما يغفله بعض الناس في بلادنا فحاجة الإسمنت إلى المـاء لا تتعدى ربع وزنه، بيد أن الوزن الأدنى المطلوب للماء في الخلطة يصل إلى 40 % من وزن الإسمنت اذا تم تحضير الخرسانة في المختبر (أي ضمن معدات وجو خاص)، وذلك لإعطاء الخلطة شيئاً مـن الليونة والانسياب Workability . لذا ، وللحصول على أفضل قوة للخرسانة ، يجب إعطاء الخلطـة أقل قدر ممكن من الماء يكفي لتشغيل الخليط ونقله إلى موقع الصب كي يملأ بكفاءة حجـم الطوبـار المعد خصيصاً لتشكيل العناصر الإنشائية المطلوبة، يشار الى ان الخرسانة الجاهزة (الخرسانة التي يتم احضارها من شركات الخرسانة) تكون في الغالب نسبة الماء الى الاسمنت فيها 0.5-0.6، وقد تتجاوز هذه النسبة احياناً. وفيما يتعلق بنوعية الماء في الخليط، فتشترط المواصفات أن يكون من الماء الصالح للشرب، وأن يكون خالياً من الأملاح، والأحماض، والمواد العضوية الذائبة، والسكريات، والكبريتات، والكلوريدات ، وغيرها من الشوائب والمواد العالقة فيه، ولكن، يجدر الانتباه إلى أن الشرط بأن تكون مياه الخليط صالحة للشرب ليس دقيقاً في معناه فعلى سبيل المثال فإن الماء الذي يحتوي علـى سـكر يعتبر صالحاً للشرب، لكن لا يجوز استعماله في الخرسانة على الإطلاق.

كما تمنع المواصفات عادة استخدام ماء البحر في خلط الخرسانة، ولكن، عند الـضرورة القـصوى، يجوز استعماله في صب الخرسانة العادية من دون تسليح، وعند ذلك يتم زيادة كمية الإسمنت للحصول على القوة المنشودة ذاتها.

5.4 خلط الخرسانة

يتم انتاج الخرسانة باستعمال خلاطات عادية او خلاطات مركزية في الموقع، او بتوريـدها جـاهزة لموقع العمل بوساطة الخلاطات المتنقلة (انظر الشكل 4 ، 4)، ويقاس الركام والاسمنت بالوزن والماء بالحجم (الماء يقاس بالوزن او الحجم على اعتبار ان الماء مادة معيارية)، امـا المـضافات فتقـاس بالحجم ان كانت على هيئة سائل وبالوزن اذا كانت على هيئة مسحوق.

وتعتمد مدة الخلط على نوع الخلاطة المستعملة، كما تعتمد على ليونة الخليط المطلوبة Workability فإذا ابتغينا خليطاً يتسم بخاصية متدنية في الليونة، احتجنا إلى فترة زمنية أطول في الخلط للوصول إلى التوازن والتجانس المنشودين في لون الخليط وتكوينة، ويتم الخلط عادة بإدخال الحصى الخشن أولاً ثم الإسمنت، فالحصى الناعم والرمل، وأخيراً يضاف الماء إلى الخليط. ويجب مراعاة أخذ رطوبة الركام بعين الاعتبار في الخلاطات الميكانيكية التي تعتمد على الوزن في تحديد نسب الخلط، فرطوبة الركام تتغير نتيجة تعرضها للظروف المختلفة، كالمطر أو الغسيل المتعمد للركام على سبيل المثال.

الخلط اليدوي

الخلط الآلي في الموقع

التوريد من شركات الباطون

شكل (4.4): خلط الخرسانة

6.4 صب الخرسانة

يجب الالتزام بطرق الصب الصحيحة وتجنب صب الخرسانة أثناء هبوط درجات الحرارة إلى أقل من 5 درجات مئوية أو إذا ارتفعت عن 35 درجة مئوية، (يمكن صب الخرسانة في الطقس الحار جداً، او البارد جداً بشرط الالتزام والتقيد بالاساليب والطرق الهندسية الخاصة بهذه الظروف)، وعموماً يتطلب صب الخرسانة وفق المتطلبات الهندسية الألتزام بعدد من الضوابط، اهمها:

ان لا تؤثر عملية وادوات ومعدات الصب في استقامة ومتانة الطوبار وحديد التسليح.

الا تسبب المناولة والفرش في انفصال الخرسانة الى خشنة وناعمة او انفصال الروبة.

اذا استعمل المجرى (أو المزراب) في الصب يجب ان يكون الميل 2:1 الى 3:1، وان يكون هذا المجرى ناعماً وأملس وبدون عوائق.

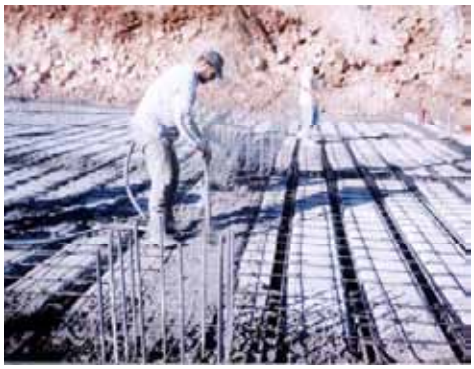
عدم اسقاط الخرسانة بشكل حر عن ارتفاعات تزيد على 1.5 متر، خلال صب العناصر الخرسانية الانشائية وخصوصاً الاسقف والاعمدة والجدران (أنظر الشكل 4 . 5)، وبخصوص طرق صب الاعمدة الدارجة محلياً لوحظ ان البعض يقوم باسقاط الخرسانة عند صب الاعمدة عن ارتفاعات قد تصل الى 3-4 امتار، وذلك لان طوبار الاعمدة يتم تنفيذه مرة واحدة، وبذلك يحصل تفكك للخرسانة في اسفل هذه الاعمدة (ظاهرة تعشيش الخرسانة في اسفل الاعمدة).

ومن الجدير بالذكر ان أطراف الاعمدة والجسور تكون معرضة للقوى القاصة الزلزالية اكثر من غيرها من المناطق، وتسمى هذه المناطق بالمناطق او المقاطع الحرجة، ومن وجهة نظر هندسة المباني المقاومة للزلازل، يجب تزويد المناطق الحرجة (اطراف الاعمدة والجسور) بمقدرة عالية على مقاومة القوى القاصة الزلزالية وهذا يتم عادة من خلال الاهتمام بأبعاد هذه المقاطع وبنوعية الخرسانة بالاضافة الى تكثيف الكانات (الكانات: هي اساور الحديد والتي تعمل كتسليح عرضي، انظر الفصل الخامس)، ولكن كما نلاحظ من واقع بعض المباني انه لا يتم الالتزم بهذه الشروط، بل يتم تنفيذ العكس، ويشار الى ان العديد من انهيارات المباني اثناء حصول الزلازل كان سببها في الغالب أخطاء في التنفيذ، ومن هذه الاخطاء: الاخطاء المتعلقة بصب الخرسانة.

7.4 رج ودمك الخرسانة

يعتبر دمك ورج الخرسانة من العمليات الاساسية للحصول على المقاومة المطلوبة للخرسانة، ويجب ان يتم ذلك وفق المواصفات الهندسية وحسب الاصول، وتتطلب عملية رج الخرسانة وجود طوبار قوي، كما يلزم ان تكون الخرسانة جامدة، وفي حالة عدم رج ودمك الخرسانة تبقى فراغات في جسم الخرسانة تؤدي بدورها الى اضعاف قوتها. وبذلك تساعد عملية الرج في تقارب الحبيبات الى بعضها البعض، وتؤدي كذلك الى تحسين وزيادة كثافة الخرسانة، وذلك من خلال زيادة التماسك وتقليل نسبة الماء واخراج فقاعات الهواء الموجودة في الخرسانة.

ويستعمل في العادة، لاجراء عملية الرج رجاجات داخلية تغرس في الخرسانة (انظر الشكل 4 .5)، ورجاجات خارجية ترج القوالب (الطوبار) من الخارج. واثناء عملية الرج يجب اتباع اصول الرج من حيث زمن الرج واماكن الرج المناسبة. ومن الجدير بالذكر انه اذا تم زيادة مدة الرج بشكل كبير فان ذلك ينعكس سلبياً على مقاومة الخرسانة.



شكل (5.4): دمك الخرسانة ورجَّها أثناء عملية الصب

8.4 فحص الخرسانة

وخلال تجهيز الخرسانة وقبل عملية الصب يمكن اخذ عينات واجراء عدد من الاختبارات، اهمها:

اختبار التهدل او الهبوط ويتم ذلك باستخدام مخروط مفتوح من الطرفين (انظر الشكل 4 . 6)، ويهدف هذا الفحص الى التأكد من نسبة الماء الى الاسمنت، واعطاء فكرة سريعة عن مكونات الخرسانة اثناء استلامها في الموقع وقبل اجراء عملية الصب.

شكل (6.4): فحص الباطون في الموقع قبل عملية الصب اختبار التهدل أو الهبوط باستخدام المخروط

اخذ عينات من الخرسانة وعمل مكعبات او اسطوانات لاجراء الفحوصات اللازمة عليها وذلك بعدد مرور 28 يوماً من تاريخ الصب (انظر الشكل 4 . 7).

أ. تؤخذ عينات وتعبئ في قوالب خاصة

ب. تترك حتى تنضج مدة 28 يوماً في حوض ماء

ج. تكـــسر المكعبات في المخـــــــــتبر بعد مضي 28 يوما على صبها

شكل (7.4): الفحوصات أثناء عملية الصب

ويمكن اجراء فحوصات على الخرسانة في المنشآت، وذلك من خلال اخذ عينات لبية بوساطة اجهـزة خاصة، وبعد ذلك يتم اجراء فحص لهذه العينات، وتستخدم هذه الطريقة اذا ما ثبـت فـشل عينـات الخرسانة المصبوبة في الموقع، ويمكن اجراء فحوصات الخرسانة على الموقع بدون اتلاف وذلك من خلال استخدام فحص المطرقة (انظر الشكل4 . 8) او استخدام الموجات الكهربائية النابضة. ولتوضيح عمليات وطرق فحص الخرسانة سيتم مشاهدة تجارب عملية داخل المختبر علـى عمليـة التهـدل او الهبوط، وكذلك على كيفية اخذ عينات من الخرسانة الطازجة ووضعها في المكعبات والاسـطوانات، بالاضافة لاختبار كسر مكعبات خرسانية "فحص قوة الضغط وايجاد مقاومة الخرسانة للضغط".

9.4 إيناع "معـــــالجة" الخرسانة

تبدأ عملية ايناع الخرسانة بالترطيب (سقاية الخرسانة بالماء) بعد ساعات عديدة من الـصب، وفـي ظروف خاصة يمكن ان تبدأ عملية الايناع بعد انتهاء عملية الصب بوقت قصير، ولا تقتـصر أهميـة الترطيب على منع التشققات السطحية التي تحصل بعد الصب مباشرة كنتيجة للجفـاف الـسريع، بـل تتعدى ذلك إلى حماية الماء الموجود أصلاً في الخليط من التبخر ، وذلك كي يستمر تفاعل الإسـمنت، وبتصلد الخرسانة تكتسب قوتها المنشودة، وكذلك تساهم عملية الايناع في تخفيض نفاذية الخرسانة بعد تصلدها، وفي زيادة مقاومتها للتآكل، ومن الجدير بالذكر انه يوجد طرق هندسية مختلفة لانضاج وايناع الخرسانة.

شكل (8.4): الفحص بالمطرقة الخاصة. نماذج واستخدامات لمطرقة فحص القوة Schmidt hammer test

10.4 ديمومة الخرسانة

تمتلك المباني الخرسانية عمراً افتراضياً، وبالتالي يجب أن تتحمل الخرسانة الظـروف الطبيعيـة المعرضة لها والتي صممت لتقاومها للفترة الزمنية المفترضة وبدون تدهور، وفي نفس الوقت تؤثر بعض العوامل في ديمومة وعمر الخرسانة، وبالتالي تساهم في ظهور شيخوختها المبكـرة، وذلـك بسبب ما تحدثه هذه العوامل من اهتراء وتفتت للعناصر الخرسانية (أنظر الأشكال 4 . 9)، وعموماً تقسم هذه العوامل من حيث طبيعتها الى نوعين: عوامل داخلية وأخرى خارجية، فالعوامل الداخليـة هي تلك التي تتعلق بخواص وتركيب الخرسانة، أما العوامل الخارجية فتتمثل في الظروف البيئيـة والكيميائية التي تحيط بالخرسانة، بالإضافة إلى الظروف الميكانيكيـة كالاحتكـاك والاهتـزازات، وللظروف الكيميائية دور كبير في تدهور العناصر الخرسانية المسلحة وغير المسلحة. ومن خـلال تأثير الكيماويات المختلفة على الخرسانة يتضح ما يلي:

تفاعل الحوامض والأملاح الذائبة في الماء مع مكونات عجينة الإسمنت، يؤدي إلى تفكك الخرسانة

وتدهور قوتها، أما حجم ومقدار هذا التفكك فيعتمد على شدة التفاعل وسرعة ذوبان هذه المواد، وكذلك تساهم المركبات المحتوية على الكلوريدات سواء كأحماض أو أبخرة حمضية أو محاليل في صدأ الحديد.

ــ تؤدي الأحماض والمياه المحتوية على ثاني أكسيد الكربون إلى ذوبان الأجزاء الصلبة وتآكل الخرسانة، فعلى سبيل المثال: يؤدي تسرب غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 المذاب في الماء إلى الخرسانة، إلى تفاعلها مع هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ الموجود في عجينة الإسمنت، الأمر الذي يؤدي إلى تكوين كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ والتي يظهر جزء منها على هيئة مادة بيضاء اللون على السطح الخارجي للعنصر الخرساني و تؤدي هذه الظاهرة مع مرور الزمن إلى تفكك عجينة الخرسانة وتدهور قوتها تدريجياً. فالطبيعية القلوية للخرسانة تُحفز التفاعل بين الخرسانة والأحماض والأملاح التي توجد بصورة طبيعية في مياه التربة، والتي تنجم عن ذوبان الغازات فيها.

ــ الكبريتات تؤدي إلى تشرخ الخرسانة نتيجة تكون المواد المنتفخة.

جفاف الأملاح التي تتسرب إلى مسامات الخرسانة على هيئة محلول يؤدي إلى تبلورها، فيزداد بذلك حجمها، وهذا يعني تعرض جسم الخرسانة إلى اجهادات داخليه أضافية، ومع مرور الزمن وتكرار حصول هذه الظاهرة تشقق الخرسانة.

قصور في حماية وصيانة المنشآت

بقع الصدأ ذات اللون البني

تأثير الأحماض على الخرسانة السطحية

انهيار وتصدع البلاطات نتيجة صدأ الحديد

شكل (9.4) : تفتيت واهتراء الخرسانة، و صدأ حديد التسليح (ابو المجد واخرون 1997)

الفصل الخامس

حـــــــديد التسليح

1.5 مـــــقـــــد مة

بنظرة سريعة إلى المباني التاريخية القديمة، يلاحظ أن هذه المباني تتميز بـــسماكة جـــدرانها الحاملـــة وباستخدام أنظمة الأقواس والعقود والقباب، ورغم أوزانها وأحجامها الكبيرة إلا أن هـــذا النـــوع مـــن المباني حافظ في كثير من الحالات على استقراره وديمومته، ويعود السبب من وجهة النظر الهندســـية إلى أن مبدأ عمل العناصر الحاملة (العناصر الإنشائية) في هذه المباني يعتمد على التحميل بالـــضغط سواء بالنسبة للعناصر الرأسية كالجدران أو العناصر الأفقية كالعقود والقبـــاب، وتـــأمين الاســـتقرار والمقاومة المطلوبة لهذا النوع من المباني يعتمد بشكل كبير على سماكة وأحجـــام الجـــدران الحاملـــة والعقود بالإضافة لنوعية المواد المستخدمة، ولكن تعرض هذه المباني للهبوط أو للزلازل يؤدي إلـــى فقدها للاستقرار وبالتالي تعرضها لأضرار وانهيارات، وتظهر الأضرار عادة على شكل تشققات فـــي المناطق الحرجة، وظهور التشققات في الغالب يكون سببه تعرض هذه العناصر لقـــوى شـــد، ومـــن المعروف أن عناصر هذه المباني (الأعمدة والجدران والأسقف) ليس لها مقدرة علـــى مقاومـــة قـــوى الشد، وحتى لا تظهر قوى الشد في هذه المباني تحت تأثير الأحمال الرأسية (الأحمال الميتة والحيـــة) والرياح، تم زيادة سماكة وأحجام جدران وعقود هذه المباني، ولإيضاح ولفهم أهمية سماكة العناصـــر الحاملة في أنماط المباني التاريخية القديمة، مثلاً: هل يمكن بناء مباني بالنمط القديم باستخدام جـــدران وأسقف سماكتها 20 سم تقريباً، الجواب بالتأكيد لا، وذلك لان المبنى سيتعرض لقوى واجهادات شـــد وبالتالي تصدعه وانهياره. أما في حالة مباني الخرسانة المسلحة فيتم استخدام جدران وأعمدة وأســـقف بسماكات وأبعاد صغيرة، ومع ذلك تبقى هذه المباني مستقرة، ويعود السبب في هذا الاستقرار إلى آلية وطريقة عمل عناصر هذه المباني، فوجود التسليح يعمل على استيعاب قوى الشد، لذلك يعتبر التسليح العنصر الأساسي للخرسانة المسلحة، ويعتبر مكان وشكل التسليح العامل الأهم، فالخطأ البـــسيط فـــي تفريد وتوزيع التسليح يفقده الغاية التي وضع من أجلها.

وبدورها تتميز الخرسانة العادية(غير المسلحة) في مقدرتها العالية على تحمل قوى الضغط، في حين تعد مقاومتها لتحمل قوى الشد ضعيفة جداً، وقد أظهرت التجارب أن مقاومة الخرسانة للضغط اكبـــر بعشرة أضعاف تقريبا من مقاومتها للشد، وهذا يعني أن الخرسانة مادة فعالة وجيـــدة لمقاومـــة قـــوى الضغط، أما مادة الحديد/ الفولاذ فإن مقاومتها للضغط والشد متساوية تقريباً ، حيث تكون مقاومة حديد التسليح العادي في الغالب أكبر بـــ 15 ضعفاً من مقاومة الخرسانة (مقاومة الخرسانة للضغط)، فمـــثلا تتراوح مقاومة الخرسانة التي تستخدم في العناصر الإنشائية بين 250 400 كغم/ سم^2 (مقاومـــة

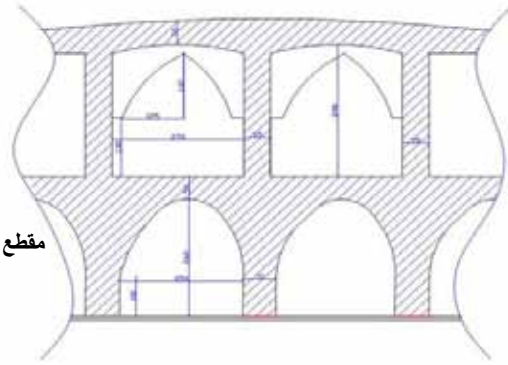
السنتمتر المربع الواحد تحت تأثير الضغط)، في حين تتراوح مقاومة الحديد المستخدم في هذه العناصر بين 3500 – 4200 كغم/ سم2، والمقصود هنا بمقاومة الحديد هو مقاومته عند حد الخضوع أو السيلان.

***حد الخضوع**، أو حد سيلان الحديد ، عند إجراء تجارب شد الحديد بهدف إيجاد مدى مقاومته، فإنه كلما ازدادت قوة الشد زاد التشوه، وعند قوة شد معينة يستمر الحديد في التشوه بدون تعرضه إلى قوى شد إضافية، فيطلق على هذه اللحظة أو هذا الحد حد الخضوع، أي أن مقاومة الحديد تثبت تقريباً لكن تشوهه(تمدده) يستمر.*

ويعود استخدام حديد التسليح مع الخرسانة إلى نهاية القرن التاسع عشر، حيث استخدم في حينه التسليح بطريقة بدائية، ولم تظهر الخرسانة المسلحة بشكلها الحالي تقريباً إلا في بداية القرن العشرين، أما فكرة التسليح فهي قديمة جداً، فقد عُرف استعمال المواد الليفية الدقيقة في مجال البناء منذ القدم، وبشكل خاص في العراق، حيث شيدت المباني من مادة الطين المخلوط بالقش(شكل 1.5)، والهدف الحقيقي من هذا الخليط هو توفير عنصر التماسك لمادة الطين، إذ يربط القش بين جزيئاتها ويعمل على الحد من التشققات الناجمة عن جفاف الطين، ويحسن من مقاومة الطين لقوى الشد، بمعنى أخر أي الحصول على طين مسلح بالقش، فالتسليح لا ينحصر باستخدام مادة الحديد فقط، فيمكن تسليح العناصر والأجسام من خلال استخدام الالياف أو/ والقضبان، وفي حالة الخرسانة المسلحة بالالياف يمكن أن تتكون هذه الالياف من أحد المواد التالية: شعيرات/ أو أبر فولاذية، والياف زجاجية، والياف كربونية، وغيرها. وأهمية وجود هذه الالياف في الخليط تكمن في مقدرتها العالية على استيعاب قوى الشد، وبالتالي المنع أو التخفيف من حصول التشققات.

أمثلة وتطبيقات حول الخرسانة المسلحة بالالياف:

قد تستخدم الالياف (الابر) الفولاذية مع خلطات الخرسانة كعنصر أساسي أو عنصر مساعد لمقاومة اجهادات الشد التي تتولد في الخرسانة بسبب التحميل أو انكماش مادة الخرسانة، حيث تعمل هذه الالياف على زيادة مقدرة كل من الخرسانة والعناصر الإنشائية والمبنى على التشوه، وهذه الخاصية تسمى بالممطولية (ولمزيد من المعلومات حول الممطولية أنظر الى الفصل الثامن)، فزيادة مقدرة المبنى على التشوه قبل الانهيار (زيادة الممطولية) تؤدي الى تزويده بمقدرة عالية لفقد الطاقة الزلزالية التي اكتسبها من الأرض عن طريق الأساسات وبالتالي تحسين سلوكه الزلزالي، وتعمل الألياف كذلك على زيادة مقدرة المنشآت على امتصاص وفقد الطاقة الناتجة عن الانفجارات والأعمال الحربية، لذلك وبفعل هذه الخاصية استخدمت الالياف (وبشكل خاص الالياف الفولاذية) خلال القرن الماضي في



مقطع عرضي لمبنى قديم

مبنى من طين مسلح بالقش

شكل (1.5) : أنماط مباني قديمة
(المؤلف)

تسليح المباني والمنشآت الخرسانية الهامة، حيث استخدمت في تسليح الملاجئ، وخزانات المياه العملاقة، والموانئ، ومحطات الطاقة، والمفاعلات النووية، والجسور، ..الخ، وفي الربع الأخير من

القرن الماضي شهد العالم تطور كبير في استخدام الالياف والمواد التي تتكون منها، وتم تخصيص عدد من المؤتمرات والفعاليات الدولية لهذا المجال، ويعتقد خبراء الخرسانة المسلحة أن القرن الحالي سيشهد تطوراً كبيراً في استخدام الالياف في أعمال البناء، وبناء عليه أطلق على الخرسانة المسلحة بالالياف اسم خرسانة القرن الواحد والعشرون.

إذا فالتسليح، وبغض النظر عن كونه اليافاً أو أسياخاً فولاذية، يعتبر بشكل عام هاماً وضرورياً في المناطق المعرضة للشد، ولتوضيح فكرة والية عمل حديد التسليح في العناصر الإنشائية لنأخذ مثلاً الجسر الموضح في الشكل (5. 2)، فتعرض الجسر للأحمال الرأسية الناتجة عن وزنه وعن الأحمال الخارجية يؤدي إلى حصول انحناء في جسم الجسر، وبزيادة هذه الأحمال يزداد الانحناء والتشوهات والتشققات، وكحالة دراسية، إذا اعتبرنا أن الجسر غير مسلح، فسنلاحظ كيفية ظهور وتطور التشققات تحت تأثير الزيادة التدريجية في الأحمال الرأسية (انظر الشكل 5. 2)، حيث من المتعارف عليه هند سياً أن أشكال التشققات وكثافتها وتوزيعها على سطح الجسر تتأثر بعدد من العوامل، وأهمها:

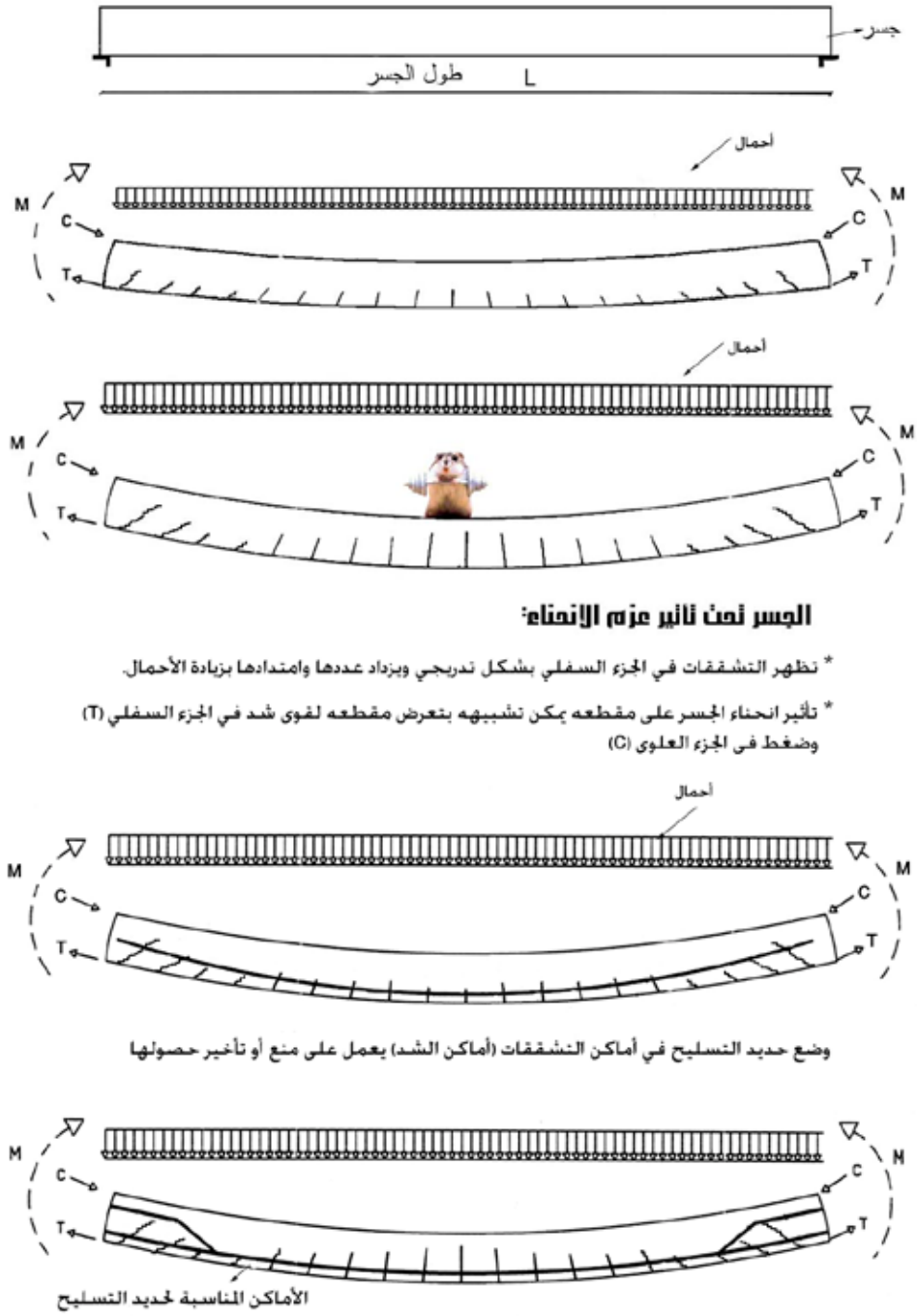
ـ أبعاد ومقاسات الجسر.

ـ شكل ومقدار الأحمال التي يتعرض لها الجسر.

ـ كمية ونوعية وطريقة توزيع حديد التسليح الطولي والعرضي الموجود في الجسر.

ومن خلال مراحل التحميل وأشكال وأماكن التشققات، يلاحظ أن التشققات بدأت تظهر كتشققات شعرية في الجزء السفلي لمنطقة وسط الجسر أي أن هذه المنطقة قد تعرضت للشد (T)، ومن ثم بدأت هذه التشققات بالتطور والزيادة بزيادة الأحمال، أما المنطقة العلوية لمقطع الجسر فستتعرض لقوى الضغط، وبسبب ضعف الخرسانة لمقاومة الشد تظهر التشققات في المنطقة المشدودة بشكل مبكر بالمقارنة مع المنطقة المضغوطة، ولاستيعاب قوى الشد T، وتحقيق الأمان والاستقرار للجسر ومنع تشوهه، يوضع حديد التسليح بشكل رئيسي في المنطقة المعرضة للشد، أما كمية الحديد المستخدمة فيتم تحديدها من خلال قيمة قوة الشد T وباستخدام معادلات حسابية هندسية. ويجب الانتباه الى ان التشققات تحدث كذلك في الخرسانة خلال مراحل تصلبها، نتيجة التغيرات الكبيرة في درجة الحرارة، أو نتيجة زيادة نسبة الماء في الخليط وتبخره السريع.

وفي بعض الحالات وخصوصاً في الأبنية والمشروعات التي يتم تنفيذها بدون تصميم و/أو إشراف هندسي دقيق، قد يلجأ بعض المقاولين إلى الزيادة غير المبررة للحديد والإسمنت، وذلك لتفادي مشكلة تحديد كفاءة المنشأ في مقاومة الأحمال المتوقعة، وهذا يعني كثرة حديد التسليح في الجسور والبلاطات، وخصوصا في مناطق التقائهما مع الأعمدة (شكل 3.5)، وبالتالي قد يعمل هذا الازدحام



شكل (2.5) : ظهور وتطور التشققات تحت تأثير الزيادة التدريجية في الأحمال الرأسية (المؤلف)

شكل (3.5) : كثرة حديد التسليح في الجسور والبلاطات، وازدحامها عند نقط التقائها بالأعمدة (المؤلف)

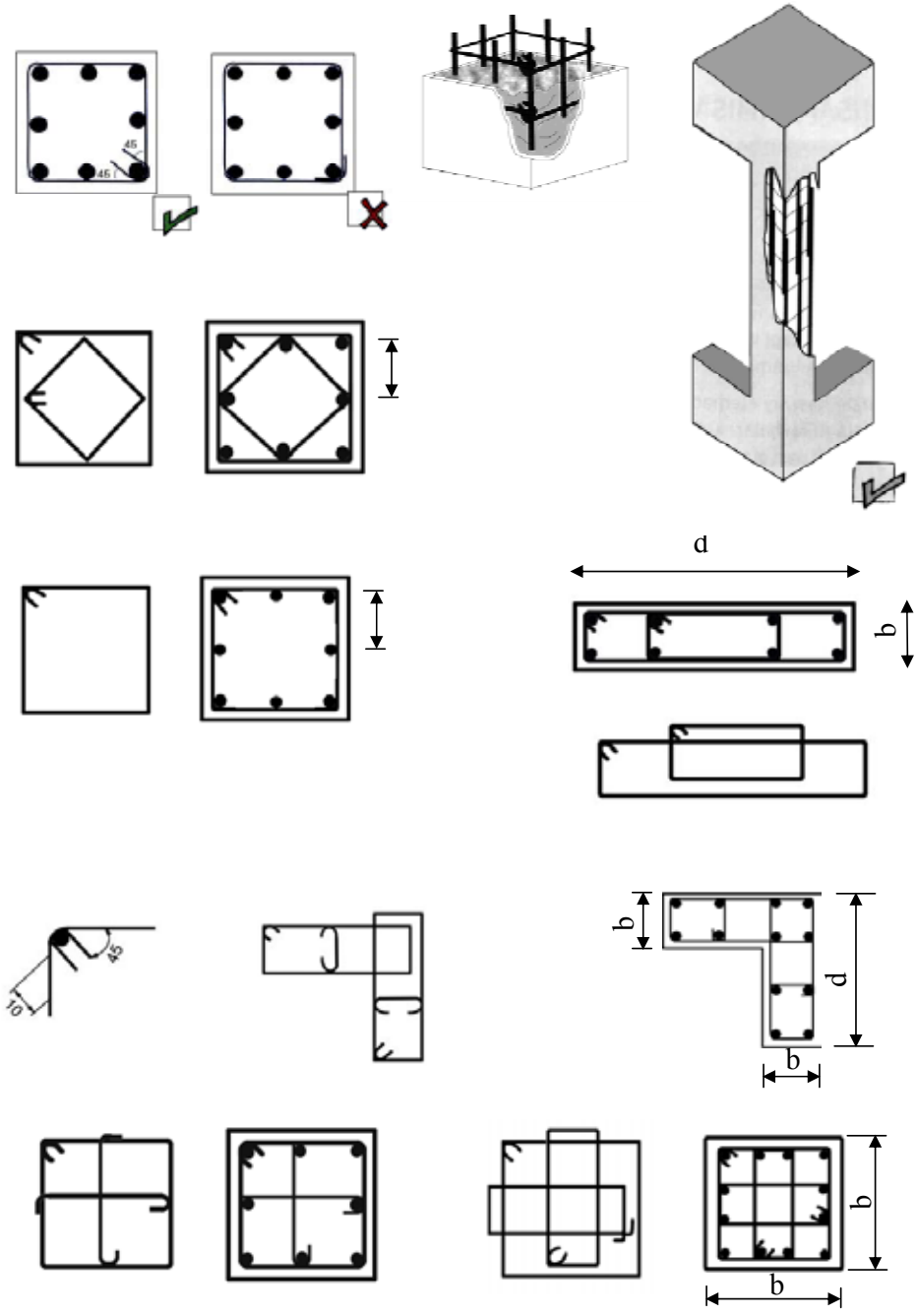
على منع الباطون من تعبئة كامل الحيز المراد صبه، وسينتج عن ذلك فراغات هوائية كثيرة (تعشيشاً)، وهذه الفراغات ستؤدي الى اضعاف المبنى. ومن ناحية أخرى يؤدي زيادة حديد التسليح الطولي في المناطق المعرضة للشد "في كل من الأعمدة والجسور وغيرها من العناصر الإنشائية" على تقليل الممطولية في هذه العناصر، وبالتالي ضعف مقاومتها للهزات الأرضية، بمعنى أن زيادة كمية حديد التسليح الطولي قد تُسهم في أضعاف مقاومة المبنى للزلازل، وهذا يناقض ما يعتقده الكثير من الناس وأحياناً بعض المهندسين في أن الحصول على مبنى مقاومة للزلازل يتطلب زيادة حديد التسليح الطولي. ولمزيد من المعلومات حول كمية أو نسبة حديد التسليح الطولي التي يمكن استخدامها أنظر الى البند 3.5، أما أستخدام حديد التسليح العرضي، كتكثيف الكانات / أو الأساور، أو/ وزيادة أبعاد أقطارها فيعتبر ضروري وعامل إيجابي في تحسين السلوك الزلزالي للمباني.

2.5 تسلم حديد التسليح وتخزينه

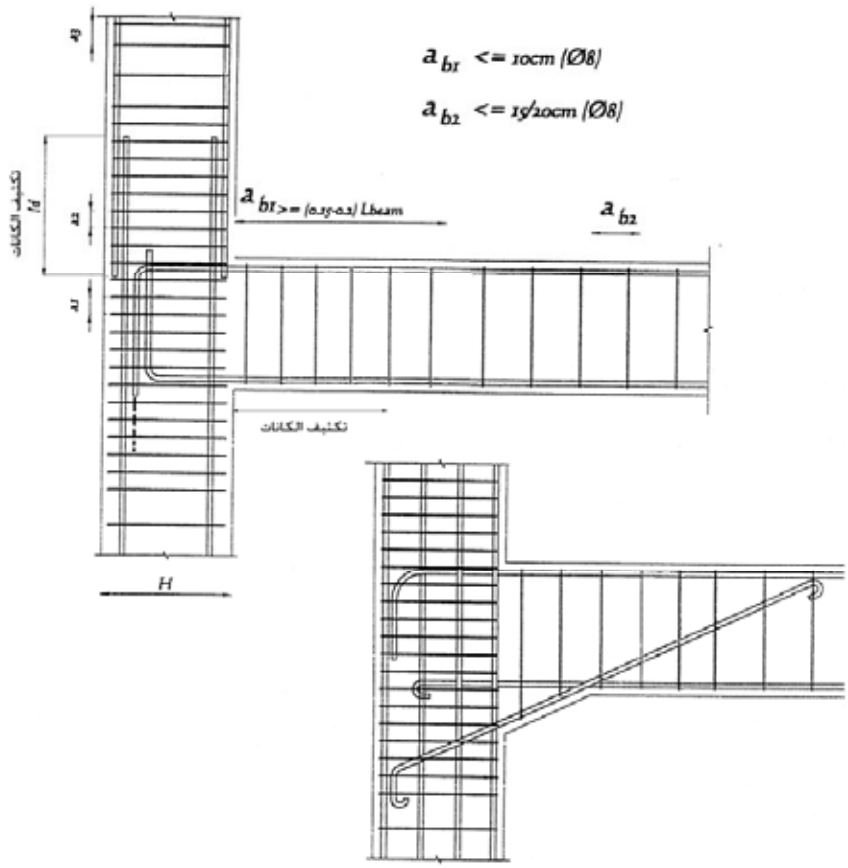
لنوعية وكمية حديد التسليح أثر كبير في عملية ضبط جودة العناصر الإنشائية التي تتكون منها المباني، لذلك فور وصول حديد التسليح الى موقع العمل يجب التأكد من مطابقته للخواص الميكانيكية المفترضة في التصميم، ويتم ذلك عادة بأخذ ست عينات على الأقل من كل نوع وقطر من أسياخ التسليح، وإجراء الفحوصات المخبرية عليها. وللمحافظة على نوعية حديد التسليح يجب تخزينه بشكل يضمن عدم تسرب الرطوبة الزائدة إليه، وعدم تعرضه للماد الكيميائية وللزيوت والشحوم أو الزفت.

3.5 تسليح العناصر الخرسانية الانشائية

تتكون مقاطع العناصر الخرسانية المسلحة(الأعمدة والجسور) من الخرسانة وحديد تسليح طولي وعرضي (انظر الإشكال 4.5 و 5.5)، أما أشكال مقاطع هذه العناصر فقد تكون مربعة أو مستطيلة أو



شكل (4.5): تسليح مقاطع الاعمدة (المؤلف)



تشكيل عقد (مفاصل) مقاومة للزلازل

شكل (5.5) : تكثيف الأساور في أطراف الجسور والأعمدة وفي مناطق تقاطعهما (المؤلف).

دائرية، الخ. وتكمن أهمية حديد التسليح في مقدرته على تحمل قوى الشد والضغط فمقاومته للشد والضغط تقريباً متساوية، وحديد التسليح الذي يتم استخدامه في المباني له عدة أصناف، فهناك الحديد المطاوع (سهل الثني) وهو الحديد الذي لا يتجاوز فيه حد الخضوع (او السيلان) عن 2400 كغم/سم^2، وهناك كذلك أنواع أخرى تكون في العادة مبزرة السطح ويتراوح حد الخضوع في هذه الأنواع بين 3500-4200 كغم/سم^2.

وفي الحسابات الهندسية لتصميم المباني وعناصرها الإنشائية يتم التركيز بصورة رئيسية على وضع حديد التسليح في الأماكن المعرضة للشد (انظر شكل 2.5)، وذلك على اعتبار ان مقاومة الخرسانة للشد ضعيفة، ويوضع حديد التسليح كذلك في المناطق المعرضة للضغط بهدف زيادة مقدرتها

ومقاومتها لتحمل الضغط، وبالتالي المساهمة في تأخير حصول الانهيار في المناطق المضغوطة. وعند حساب نسبة حديد التسليح في مقطع العنصر الإنشائي (العناصر الإنشائية هي: الأسقف والأعمدة والجسور، والجدران الحاملة والقواعد) يراعى في التصميم أن لا يتجاوز معامل نسبة حديد التسليح الطولي (ρ_s) الحد الأعلى المسموح به وهو ($\rho_{s\ max}$) أو أن لا يقل عن الحد الأدنى المسموح به والمعروف هندسياً بأسمρ_{smin}. فبالنسبة لتسليح الأعمدة، استناداً لجميع المواصفات الدولية هناك حد أدنى وأخر أعلى لمعامل نسبة التسليح، وفيما يلي استعراض لهذه النسب من وجهة نظر بعض المواصفات الدولية:

المواصفات الاميركية

$$\rho_{s\,min} = 1\% \quad \rho_{s\,max} = 8\% \qquad (1.5)$$

وفي حالة التصميم الزلزالي توصي المواصفات الأمريكية أن لا يتجاوز معامل حد التسليح الأعلى عن $\rho_{s\ max} = 6\%$

المواصفات الأوروبية

$$\rho_{s\,min} = 1\% \quad \rho_{s\,max} = 3-4\% \qquad (2.5)$$

وتسمح بعض المواصفات مثل الكود العربي في بعض الحالات بأن تقل قيمة معامل نسبة التسليح ρ_{smin} عن 1%. وبالنسبة للمهندس يستطيع أن يستخدم الحد الأدنى من الحديد مع الحد الأعلى من الخرسانة، أو استخدام اكبر نسبة ممكنة لحديد التسليح مع اقل نسبة للخرسانة، ولكن من وجهة نظر هندسة الزلازل لمن الأفضلية ؟

بكل بساطة تتبنى طرق تصميم المباني لمقاومة الزلازل استخدام معامل تسليح الحد الأدنى مع استخدام اكبر نسبة للخرسانة، ولا يعود سبب تبني وجهة النظر هذه إلى العوامل الاقتصادية بالدرجة الأولى، بل لأن زيادة نسبة الحديد في مقطع العناصر الإنشائية تؤدي إلى تقليل ممطولية هذه العناصر وبالتالي

الحد من مقدرتها على التشوه والحركة (انظر الفصل الثامن). ولحساب معامل نسبة حديد التسليح الطولي تستخدم العلاقة التالية:

$$\rho_s = \frac{A_s}{bd}100 \qquad (5.3)$$

حيث:

$\boldsymbol{\rho_s}$: معامل نسبة حديد التسليح الطولي في العمود

$\mathbf{A_s}$: مساحة مقطع حديد التسليح الطولي في العمود.

b: عرض مقطع العمود .
d : ارتفاع مقطع العمود مطروح منه طبقة الغطاء.

وعندما تسمح بعض كودات البناء الزلزالية (المواصفات الخاصة بتصميم المباني لمقاومة الزلازل) باستخدام معامل تسليح كبير، يساوي أو يقترب من معامل تسليح الحد الأقصى ρ_{smax} فإنها – أي الكودات تشترط زيادة حديد التسليح العرضي (حديد التسليح العرضي في حالة الاعمدة، هو عباره عن الكانات أو الأساور)، وذلك من خلال تكثيف الكانات، أي تصغير المسافة بين هذه الكانات، أو/ و زيادة مساحة مقطعها من خلال تكبير قطر سيخ الحديد المستخدم، فبدل أستخدام كانات قطر 8 سم يمكن استخدام قطر 10 مم واحيانا 12 مم، فمثلاً أستنادا للمواصفات المستخدمة في الولايات المتحدة الامريكية، لحساب كمية الحديد اللازمة لتسليح عنصر انشائي – عمود – يسمح باستخدام

$$\rho_s > 3\% \qquad (f_s \le f_{max})$$

وهذا يعني وجوب مرافقة زيادة حديد التسليح الطولي زيادة في حديد التسليح العرضي، وذلك لأنه في الوقت الذي تعتبر فيه زيادة حديد التسليح الطولي "المعرض للشد" عاملا سلبياً بالنسبة لمقاومة المنشأ للزلازل، فأن زيادة حديد التسليح العرضي تعتبر ايجابية في مقاومة الزلازل. وبالاضافة لتسليح الأعمدة تتضمن كودات التصميم الزلزالي كذلك معامل تسليح أدنى ρ_{min} وأقصى ρ_{max} لجميع العناصر الانشائية الاخرى (الجسور والأسقف والجدران والقواعد)، وفي تصميم وتنفيذ هذه العناصر يجب دائماً مراعاة ما يلي:

$$\rho_{s\,max} \ge \rho_s \ge \rho_{s\,min} \qquad (5.4)$$

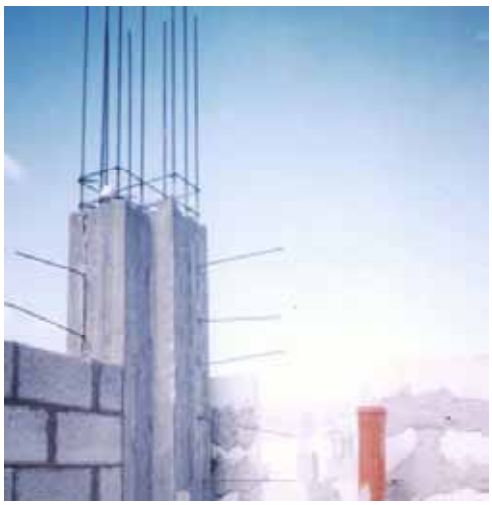
ويوصى دائماً باستخدام معامل تسليح يساوي او يقترب من قيمة معامل تسليح الحد الأدنى. وفي تصميم الجسور تشدد المواصفات على ضرورة تكثيف الكانات في أطراف الجسور، وفي منطقة تقاطع الجسور مع الأعمدة، بالإضافة لتشريك حديد التسليح الطولي للجسور مع الأعمدة (انظر الشكل 5. 5). وفي التصميم الزلزالي للأسقف تهتم المواصفات بشكل كبير بسماكة السقف وبشكل وطريقة توزيع الحديد، وفي حالة أسقف طوب الربس (انظر الشكل 5. 6) تركز مواصفات كودات التصميم الزلزالي على ما يلي:

- أن تكون كانات الربس مغلقة ومربوطة بشكل جيد.
- أن يوضع كانة كل 25 سم تقريباً.
- استخدام شبك حديد فوق طوب الربس.

وإضافة لتسليح العناصر الإنشائية تهتم كودات التصميم الزلزالي للمباني بتربيط العناصر غير الإنشائية مثل جدران الطوب (انظر الفصل السابع)، وتهتم كذلك بربط الجدران الخارجية بالأعمدة

والأسقف العلوية والسفلية، وقد أظهرت الدراسات التي أجراها المؤلف أن أنماط المباني الدارجة محلياً لا تلتزم بشكل عام بالتوصيات المتعلقة بتربيط جدران الطوب والجدران الخارجية، وفيما يتعلق بتثبيت الجدران الخرسانية الخارجية بالأعمدة شارك المؤلف منذ العام 1995 في تنفيذ عدد من المبانى وتـــم إخضاعها لهذه الضوابط (انظر الشكل 5. 7).

شكل (5. 6): تسليح أسقف الربس (المؤلف)



شكل (5. 7): تربيط الجدران الخارجية بالاعمده (المؤلف)

وبالاضافة الى تفاصيل التسليح المذكورة أعلاه هناك تفاصيل تسليح مهمة جداً، توصي كودات التصميم الزلزالي الالتزام بها، مثل: التسليح حول فتحات النوافذ والأبواب (انظر الشكل 8.5).

شكل (5. 8): تسليح فتحات النوافذ والأبواب (المؤلف)

4.5 أقـــــل مسافة مسموحة بين أسياخ التسليح

يعتبر تلاصق حديد التسليح الطولي عاملاً سلبياً وذلك لتأثيره على جودة ونوعية العناصـــر الانـــشائية التي تتكون منها المباني، لذلك تلجأ المواصفات عادة إلى تحديد أقل تباعد مسموح فيـــه بـــين أســـياخ التسليح داخل العنصر الخرساني لأي عدد من الأسياخ (انظر الشكل 5 . 9)، وذلك من أجـــل تـــرك مسافة كافية للخرسانة لتغليف أسياخ الحديد بما يضمن قوة كافية لتماسك الطرفين معاً، وتعتمد المسافة بين اسياخ الحديد بشكل عام إلى:

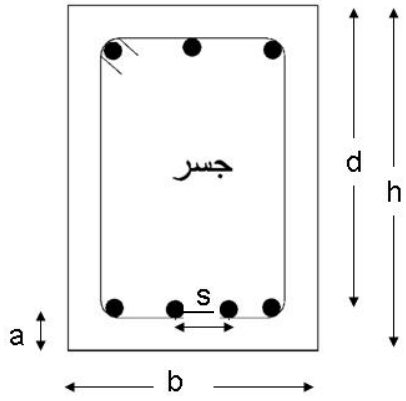
- نوع العنصر الإنشائي: سقف أو جسر أو عمود.
- قطر أسياخ الحديد المستخدمة.
- مقاسات حبيبات الركام الكبيرة: لا تقل المسافة بين أسياخ الحديد عن مقاس قطعة الركـــام الكبيـــرة المستخدمة.

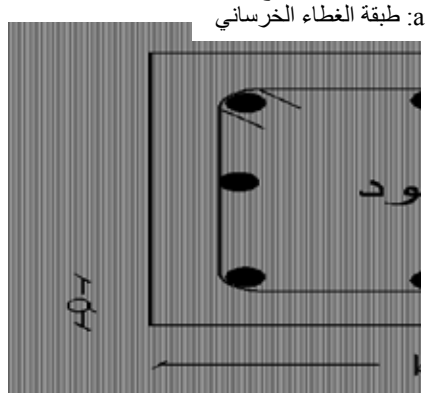
5.5 الغطـــــاء الخرساني للتسليح ومقاومة المنشأ للحريق.

يسمى بُعد الأسياخ عن السطح الخارجي للعنصر الإنشائي بسماكة الغطاء الخرساني للتـــسليح انظـــر الشكل (5 . 9)، ويتم تحديد هذه السماكة عادة من خلال عدة عوامل أهمها:

- مقاومة العناصر الإنشائية في المنشأ الخرساني لحرارة الحريق
- قوة الخرسانة وخواص مكوناتها
- أهمية المنشأ
- مقاومة عوامل التآكل التي يتعرض لها سطح الخرسانة الخارجية ، وذلك نتيجـــة تعرضـــه للجـــو الخارجي الملوث.

S: المسافة بين أسياخ الحديد
a: طبقة الغطاء الخرساني





شكل (5. 9): طبقة الغطاء الخرساني، واقل مسافة بين أسياخ الحديد

فمثلا يفقد حديد التسليح في العناصر الإنشائية التي يتكون منها المبنى، كالبلاطات والجسور والأعمدة، نصف قوته (مقاومته) على الأقل عندما تصل درجة حرارته إلى 550 درجة مئوية، وتؤدي تغطية حديد التسليح بالخرسانة إلى حمايته من لهب الحريق، بالإضافة لحمايته من الرطوبة والتآكل والصدأ، فكلما زادت سماكة طبقة الغطاء الخرساني كلما زادت مقاومة حديد التسليح للحريق والصدأ والتآكل.

أسئلة الفصل:

سؤال (1) : عمود من الخرسانة مساحته 40 x 40 سم، صمم مقطع العمود موضحاً توزيع حديد التسليح الطولي والعرضي ؟

سؤال (2) : تسمح المواصفات الأمريكية بان يكون معامل نسبة التسليح الطولي كبير القيمة بالمقارنة مع المواصفات العربية والعالمية الأخرى، علل من وجهة نظر اقتصادية وتقنية وزلزالية، هل يمكن أن تتوافق هذه المواصفة مع الإمكانات والتصميم والتنفيذ الدارج في فلسطين؟

سؤال (3) : هل يعني أن المواصفات الأمريكية أو أي مواصفات أخرى عندما تتبنى معامل تسليح كبير القيمة لا تهتم بالمطلب الزلزالي ؟ وإذا كانت تهتم بذلك، كيف تراعي الأثر السلبي لزيادة نسبة حديد التسليح الطولي في مقطع العنصر ؟

سؤال (4): علل عدم ربط كانات حديد الأعمدة بشكل جيد، يعتبر سلبياً، وقد يؤدي إلى انهيار هذه الأعمدة في حالة تعرضها للزلازل ؟

سؤال (5): ارسم كانة حديد مطابقة لمواصفات المباني المقاومة لأفعال الزلازل ؟

سؤال (6): وضح كيف يتم تخفيف أو منع حصول الاضرار في المناطق المحيطة بالنوافذ وأبواب الجدران ؟

سؤال (7): كم تساوي سماكة طبقة الغطاء الخرساني بالنسبة لعمود أبعاد مقطعه 50x50 سم؟

سؤال (8): علل: ما هي أهمية وجود طبقة الغطاء الخرساني في العناصر الإنشائية المسلحة؟

سؤال (9): ما هي العوامل التي تتحكم بأقل مسافة مسموح بها بين أسياخ حديد التسليح؟

سؤال (10): بالنظر إلى الشكل (10.5)، وضح سبب انهيار الأعمدة ؟

شكل (5. 10): أضرار وانهيارات بسبب حديد التسليح(تقارير المعهد EERI)

الفصل السادس

سياسة استخدام الأراضي
وتخفيف مخاطر الزلازل

1.6 مقدمة

كانت الزلازل ولا تزال أحد أسوأ الكوارث الطبيعية التي شهدتها الكرة الأرضية، مما جعل العلوم الهندسية تركز اهتمامها لدراسة وتحليل الهزات الأرضية وصولا إلى إنتاج خرائط زلزالية، وبالتالي وضع سياسة لاستخدام الأراضي (Land use policy)، إضافة إلى عمل كودات خاصة لتصميم وتنفيذ منشآت مقاومة للزلازل.

وقد أظهرت الأحداث الزلزالية أن جيولوجية المنطقة ونوعية موقع البناء لهما تأثيرات كبيرة على سلوك ومقاومة المباني عند تعرضها للزلازل، فتربة الموقع يمكن أن تؤدي إلى حصول ما يلي:

تضخيم القوى الزلزالية التي تتعرض لها المباني(Amplification)

الانزلاقات الأرضية (Landslides)،

تميؤ في التربة الرملية المشبعة بالرطوبة(Liquefaction).

2.6 التضخيم الزلزالي لتربة الموقع

تأثير جيولوجية المنطقة (local geologic) وتربة الموقع (Local soil) على شدة الاهتزازات الأرضية وبالتالي على حجم الأضرار والانهيارات، عرف منذ عشرات السنوات، ففي سنة 1824 دون ماك موردو (Mac Murdo) في أحد مذكراته: أن المباني المقامة على أرض صخرية عندما تعرضت للهزات الأرضية لم تتأثر بشكل كبير كمثيلاتها من المباني في نفس المنطقة والمقامة على تربة طينية، وكذلك أظهرت العديد من الوقائع والتقارير الزلزالية التاريخية خلال القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين عن تأثير جيولوجية المنطقة وتربة الموقع على السلوك الزلزالي للمباني، ففي سنة 1908 أظهر وود (Wood) وكذلك ريد (Ried) في سنة 1910 أن شدة الاهتزازات الأرضية الناتجة عن زلزال سان فرانسيكو سنة 1906 تأثرت بشكل واضح بجيولوجية المنطقة وتربة الموقع، وفي سنة 1927 سجل العالم المعروف جتنبرغ (Gutenberg) أثر العديد من أنواع الترب السطحية على تضخيم الحركات الأرضية (Amplification of ground motion) وحاول إيجاد علاقات ومعايير كمية لأثر هذه الأنواع من التربة.

وفي ظل توافر أجهزة رصد وتحليل الحركات الزلزالية القوية (Strong Motion Instruments) تمكن الخبراء من إجراء تسجيلات حقلية تجريبية، ساهمت بدورها، بشكل كبير، في إيجاد مقادير كمية يتم من خلالها التعبير عن التأثير الذي يحدثه الاختلاف في جيولوجية المنطقة وتربة الموقع على خصائص الحركات الأرضية (Ground Motion Characteristics).

ففي الزلزال الذي تعرضت له مدينة كاراكاس في فنزويلا سنة 1960، تبين، بشكل واضح، تأثير عامل تربة الموقع على الحركات الأرضية، فقد لوحظ أن المباني متوسطة الارتفاع والمقامة على أرض طينية عميقة تعرضت لانهيارات وأضرار أكبر بكثير من مثيلاتها من المباني الموجودة في نفس المنطقة والمقامة على أرض صخرية، وتتابعت الأحداث الزلزالية لتؤكد أثر تربة الموقع في تضخيم القوى الزلزالية، ومن الأمثلة على هذه الزلازل: زلزال سان فرناندوا سنة 1971، و فرانشا في رومانيا 1977، و المكسيك 1985، وليمابرتا ــ كاليفورنيا 1989، والفلبين 1990، ونوثردج ــ كاليفورنيا 1994، وكوبي ــ اليابان 1995، وتركيا 1999، وتايوان 1999، والهند 2001، والباكستان 2005 وغيرها، ومع ذلك لم يظهر الأثر الكمي لمعامل تربة الموقع بشكل واضح في كودات البناء الزلزالي إلا في منتصف السبعينيات من القرن الماضي.

وببساطه يحدث التضخيم الزلزالي بسبب العلاقة بين تردد الاهتزازات الطبيعية لكل من المبنى وتربة الموقع، فإذا تساوي أو اقترب التردد الطبيعي لتربة الموقع مع التردد الطبيعي للمبنى، يحصل تضخيم زلزالي أي تتضاعف القوى الزلزالية التي يتعرض لها المبنى، وتسمى هذه الظاهرة علمياً بظاهرة الرنين (Resonance)، وبالتالي تعرض المبنى لهذه الظاهره يعني مضاعفة القوى الزلزالية التي ستؤثر على المبنى لأكثر من 10 أضعاف أحيانا، وهذا يعني أن انهياره سيكون شبه مؤكد.

ولتجنب هذه الظاهرة يجب أن يكون الفرق واضح بين قيمة التردد الطبيعي لتربة الموقع وقيمة التردد الطبيعي للمباني التي ستقام على هذه التربة، بمعنى اختيار أنماط المباني التي تتناسب مع طبيعة تربة الموقع، وللسيطرة على تردد المبنى يتحكم المهندس المصمم بالعوامل التي تؤثر في قيمة هذا التردد، وأهمها:

عدد الطوابق في المبنى،
ارتفاع الطابق،
النسبة بين ارتفاع المبنى وعرضه،
والنظام الإنشائي المستخدم (نظام الأعمدة والجسور المسلحة، أو الجدران المسلحة، أو النظامين معاً).

ولتوضيح ظاهرة الرنين، مثلاً: قد تصلح بعض المناطق لبناء مبانٍ ارتفاعها اقل من 6 طوابق أو أكثر من 10 طوابق، ولمعرفة التردد الطبيعي لموقع البناء يمكن الاستعانة بخواص وعمق تربة الموقع وحساب التردد باستخدام العلاقات الحسابية، أو قد يتم إيجاد قيمة التردد الطبيعي لتربة الموقع باستخدام الأجهزة الزلزالية الخاصة، مثل جهاز السيسموميتر الحقلي.

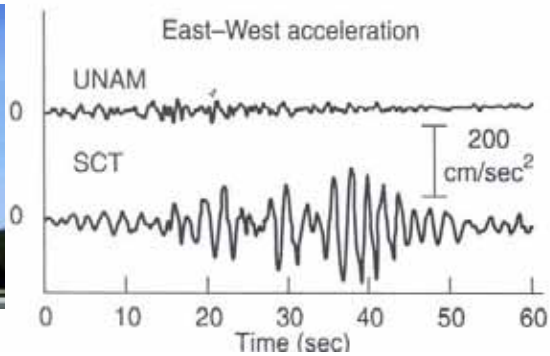
ومن الأحداث والوقائع الزلزالية التي ظهر من خلالها عامل تأثير الموقع بشكل واضح: زلزال المكسيك سنة 1985، ففي بعض المناطق التي تعرضت للزلزال انهارت معظم المباني التي تراوح ارتفاعها بين 16 و 22 طابق في حين لم تتأثر المباني التي كان ارتفاعها 40 و 50 طابق والموجودة في نفس المنطقة المتضررة (أنظر الشكل 6 . 1)، وقد أظهرت تسجيلات اهتزازات الحركات الأرضية (الاكسيليروغرام) لتربة موقع المباني الأكثر تضرراً والمقامة على أرضٍ طينية رخوة عميقة، بالمقارنة مع تسجيلات اهتزازات الحركات الأرضية في التربة الصخرية (أنظر الشكل 1.6) ان هناك تضخيم زلزالي يتراوح بين 8 10 أضعاف، علماً أن محطات التسجيل للموقعين موجودة في نفس المنطقة وتبتعد تقريباً نفس المسافة عن المركز السطحي للزلزال. وفي زلزال بام سنة 2003 كان لعامل الموقع أثر واضح (انظر الشكل 1.6)، فقد حصلت انهيارات كلية في عدد من المواقع، وانهيارات جزئية في بعض الموقع، وانهيارات واضرار بسيطة في بعض الاحياء، وهذا لا يعني بالضرورة أن السبب الوحيد هو فقط عامل تأثير الموقع فهناك عوامل أخرى، ومن أهمها نوعية المباني المستخدمة في هذه المواقع.

3.6 الانزلاقات الأرضية

تحدث الانزلاقات الأرضية **(Landslides)** عادة في المناطق الجبلية المنحدرة " أو شديدة الانحدار" التي تتكون تربتها السطحية من الحور أو الطين، وعادة يمكن للانزلاقات الأرضية أن تحدث بسبب الاستخدام الخاطئ للأرض كأعمال البناء والقطع والحفر، وتعتبر الزلازل عاملاً محفزاً لحصول الانزلاقات في المناطق التي لها قابلية لحصول انزلاقات.

1.3.6 أسباب حصول الانزلاقات الأرضية

تعتبر طبيعية ونوعية التربة والتركيب الجيولوجي أهم العوامل التي قد تؤدي لحصول الانزلاقات الأرضية في المناطق المنحدرة أو شديدة الانحدار، إن الإشارة الأولية لحدوث الانزلاقات الأرضية



زلزال المكسيك 1985 حصول انهيارات في المباني التي تراوح ارتفاعها بين 16و22 طابق

تسجيلات زلزالية (اكسيلوغرام) ، التسجيل الزلزالي لزلزال المكسيك1985

تربة الموقع صخرية :A
تربة الموقع طينية رخوة كبيرة العمق :B

زلزال بام 2003 تظهر الصور أن بعض مناطق مدينة بام تأثرت بأضرار جزئية محدودة، في حين كانت الأضرار والإنهيارات شبه كلية في بعض المناطق

شكل (1.6) : تربة الموقع و التضخيم الزلزالي (تقارير المعهد EERI)

هي الشقوق السطحية في القسم العلوي للمناطق المنحدرة، وعادة ما تكون هذه الشقوق عمودية على اتجاه الحركة، وغالباً ما تمتلئ هذه الشقوق تدريجياً بالمياه حتى تضعف التربة وتزيد القوة الأفقية التي تحدث الانزلاقات. إن القوى الأساسية المسببة للانزلاقات، بشكل عام، هي الجاذبية الارضية، ويمكن أن يكون لحدوث هزات أرضية أو أحداث تغير في شكل واتزان المنطقة، دورٌ في هذه الانزلاقات، وتحدث الانزلاقات عادة عندما تتساوى أو تتجاوز قوة القص المؤثرة مع قوة تحمل التربة للقص (انظر الشكل 2.6).

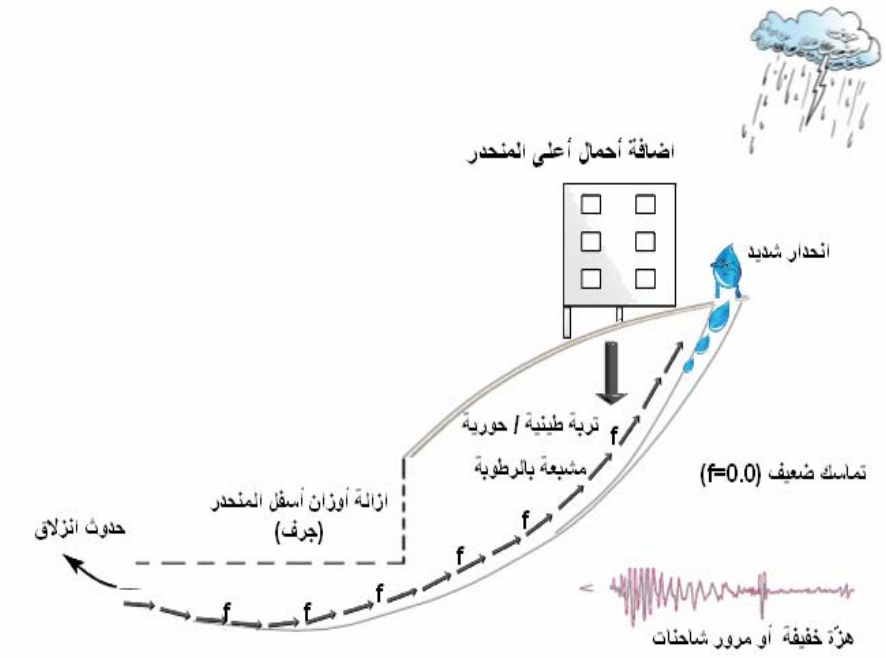
إن اعتماد سياسة وطنية لاستخدامات الأراضي، وفق الأسس والمعايير الخاصة بذلك يؤدي إلى تجنب حدوث الانزلاقات الأرضية، سواء تلك التي تنتج من جراء حدوث هزات أرضية أو غير ذلك، ومثال على ذلك ما حصل في أكثر من منطقة في فلسطين والأردن (الانزلاقات في الجبل الأبيض في منطقة نابلس، والانزلاقات الأرضية في شارع جرش – أربد، وغيرها)، ويمكن أخذ حالة الانزلاقات التي حصلت في منطقة الجبل الأبيض في مدينة نابلس وخصوصا تلك التي حصلت في العام 1997 كحالة دراسية ، حيث نتج عنها خسائر مادية كبيرة (انظر الشكل 3.6)، وذلك من جراء انهيار عدد من المباني وإتلاف وتشويه جزء من الشارع الرئيسي المار بمحاذاة المنطقة، بالإضافة إلى إتلاف خطوط الخدمات العامة (الهاتف والماء)، وتكرر حصول الانزلاقات الأرضية في أكثر من منطقة في الضفة الغربية، مثل الانزلاقات الأرضية التي حصلت في بعض المناطق في قرى جنين، والخليل، ونابلس.

وقد أظهرت الدراسات التي تم إجراؤها خلال الفترة 1997 – 2005 لمنطقة الجبل الأبيض في مدينة نابلس أنه كان من المفروض أن تصنف هذه المنطقة في خرائط استخدام الأراضي كمنطقة خضراء (أراضٍ محمية)، أو السماح بالبناء عليها ضمن شروط معينة، لكن سياسة استخدام الأراضي التي اعتمدتها سلطات الاحتلال الإسرائيلي، ارتكزت في ضبط سياسة استخدام الأراضي إلى معايير خاصة بالاحتلال، وأهمها: المستوطنات، والأمن والسياسة... وغيرها، ولم يؤخذ بعين الاعتبار عامل جيولوجية وزلزالية المنطقة.

وبأخذ الانزلاقات في الجبل الأبيض كحالة دراسية، يمكن تلخيص الأسباب التي أدت إلى حصول الانزلاقات في الجبل وفقاً لتقرير الدراسة التي تم اجراؤها (الدبيك، وجردانة، وجوهري، 1998) بما يلي:

السبب الرئيسي هو طبيعية المنطقة، فهي تحتوي على تربة طينية كلسية (تتكون من صخور كلسية متماسكة بملاط من المواد الطينية والكلسية) تفقد الكثير من قوتها عند تسرب الماء إليها، فتصبح القوى التي تسبب الانزلاق وخاصة الناتجة عن تأثير الجاذبية الأرضية أكبر من القوى المعاكسة لها بسبب فقدان هذا النوع من التربة لجزء كبير من قوته (شكل 2.6).

تعرضت المنطقة إلى قطع كبير (أعمال حفريات كبيرة) في المنطقة السفلية للانحدار قبل ثلاث سنوات من حصول انزلاقات، وفي نفس الفترة الزمنية تقريباً تم بناء منزل في المنطقة العلوية للانحدار، وقد لوحظ خلال هذه السنوات ظهور تشققات أرضية في المنطقة العلوية للمنحـــدر، وكذلك ظهور شقوق وتصدعات في الذي تعرض للانهيار لاحقاً، بالاضافة لحصول تـــشوهات طفيفة لشارع نابلس طولكرم في الجزء المحاذي لمنطقة الانزلاق (انظر الأشكال 2.6 و 3.6).



الأسباب الرئيسية:

انحدار الموقع

نوعية التربة ومستوى الرطوبة

الأسباب الإضافية:

إضافة أوزان في الأجزاء العلوية للمنحدرات

إزالة أوزان كإجراء حفر و قطع في الأجزاء السفلي للمنحدرات

الحركات الاهتزازية

شكل (2.6) : أسباب حصول الإنزلاقات الأرضية

انزلا قات أرضية في منطقة الجبل الأبيض – مدينة نابلس، 1997

الخليل 2006 نابلس 2005 نابلس 2003

شكل (3.6) : مشاهد لإنزلاقات أرضية حصلت في فلسطين (المؤلف)

حصول هزات أرضية خفيفة قبل أيام من حصول الانزلاقات، وحركة المركبات على الشارع المحاذي للمنطقة تعتبر عوامل اضافية ذات تأثير ثانوي جداً ، إلا أن حصولها مع وجود الأسباب التي سبق ذكرها يؤدي إلى إضافة قوى فجائية أدت إلى تشكيل آلية سريعة للانزلاق.

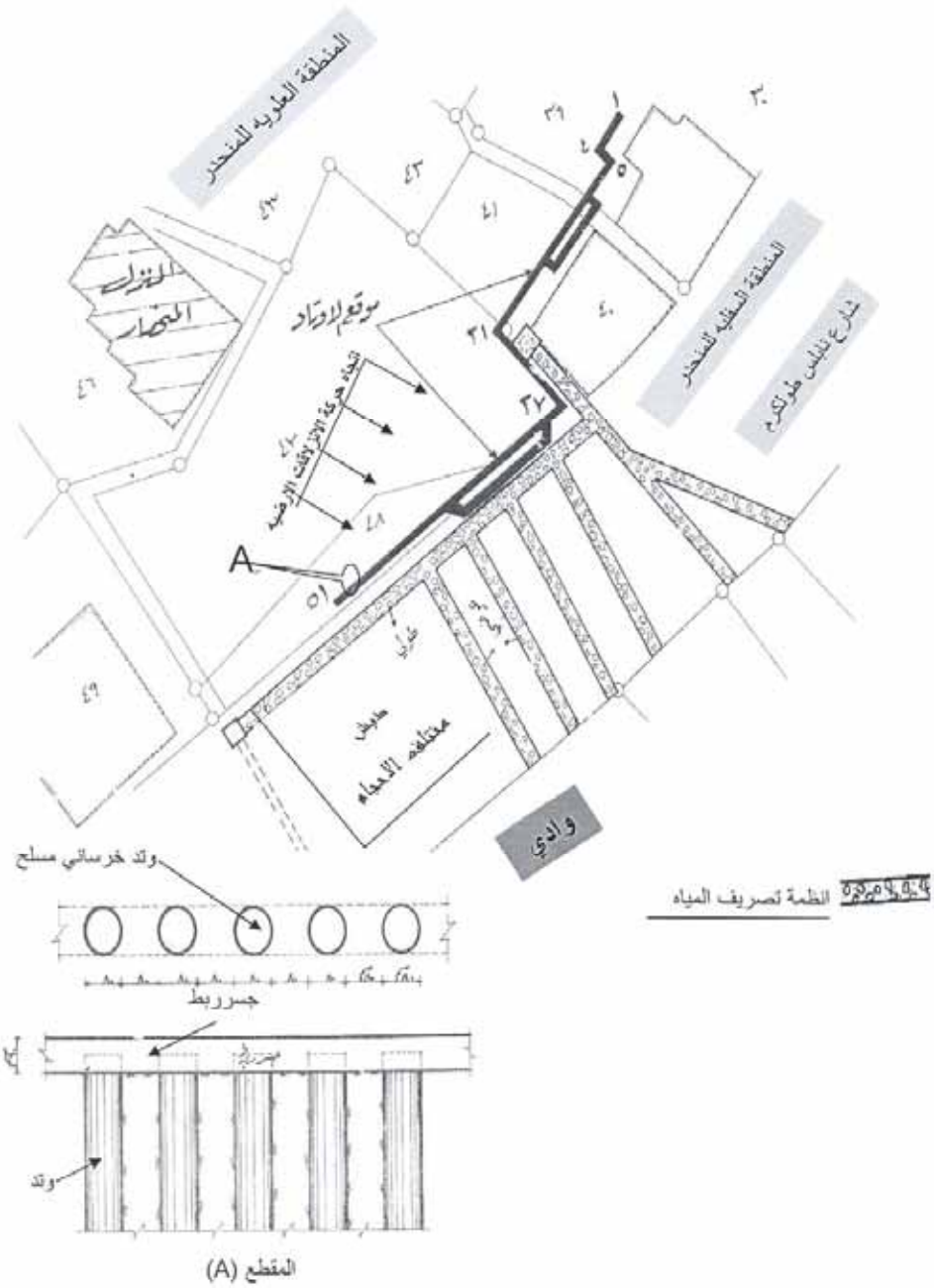
تنويه: *لتوضيح كيفية تأثير الأسباب المذكورة أعلاه على عملية وآلية حصول الانزلاقات، سيتم عرض نموذج محوسب (استخدام الكمبيوتر) بحيث يظهر بوضوح آلية حصول الانزلاقات تحت تأثير العوامل الرئيسية والإضافية.*

2.3.6 الحلول **التي تم اقتراحها لمعالجة الانزلاقات في منطقة الجبل الأبيض (حاله دراسة)**

استناداً للدراسات التي تم اجراؤها تم وضع الحلول التالية لمعالجة الانزلاقات في منطقة الجبل الأبيض:

1 تصريف المياه المتجمعة في طبقات الأرض والناتجة عن مياه الأمطار التي تسربت خلال الشقوق في المنطقة العلوية للانزلاق.
2 تنعيم الانحدار وتخفيف ميل المنطقة.
3 عمل نظام تصريف للمياه عن طريق إنشاء اقنية لتصريف المياه السطحية في أعلى وأسفل الجبل، وكذلك في جسم الشارع أسفل الانحدار وعلى أكبر عمق ممكن (4 أمتار تحت سطح الشارع) واستبدال التربة الموجودة في منطقة الشارع بتربة أخرى لها قابلية لنفاذ المياه (انظر الشكل (6 . 4).
4 تدعيم المنطقة السفلية للانحدار بوساطة سطر واحد على الأقل من الأوتاد المحفورة والمصبوبة بالخرسانه المسلحة (انظر الأشكال 4.6 و 5.6).
5 زراعة المنطقة بالأشجار والنباتات المناسبة، وذلك لتأمين تماسك الكتل السطحية والتخفيف من رطوبة التربة.

وقد تم "بحمد الله" في العام 1997، تنفيذ توصيات الدراسة، حيث تم تنفيذ الأعمال المتعلقة بوقف الانزلاقات وعدم تطويرها بالمستقبل، بالإضافة إلى إعادة تأهيل الشارع.



شكل (4.6) : موقع الأوتاد الخرسانية و أنظمة التصريف السفلية الطولية و العرضية (الدبيك جلال، وجردانه عصام، والجوهري عبد الحكيم، 1998)

شكل (5.6) : تنفيذ الأوتاد الخرسانية المسلحة في المنطقة السفلية للانحدار، (الدبيك جلال، وجردانه عصام، والجوهري عبد الحكيم، 1998)

أظهرت الأحداث الزلزالية التي حصلت في كثير من دول العالم ان المناطق الجبلية المنحدرة التي لها قابلية لحصول انزلاقات أرضية بسبب طبيعة تربتها، كان نصيبها من الأضرار أكثر من غيرها من المناطق، وذلك بسبب الاضرار والانهيارات في المباني والبنى التحتيه التي أحدثتها هذه الانزلاقات، بالإضافة الى ما أحدثته هذه الانزلاقات من إغلاق للطرق والممرات في المناطق الجبلية (انظر الشكل 6.6)، الأمر الذي أدى الى إعاقة أعمال الإنقاذ والإغاثة في هذه المناطق، ففي الزلزال الذي تعرضت له الباكستان في إقليم كشمير في العام 2005 أدت الانزلاقات الأرضية الى إغلاق معظم الطرق الرئيسية في المناطق الجبلية المنكوبة مما أدى الى إرتفاع عدد الوفيات بسبب تعذر الوصول الى المصابين وإنقاذهم في الوقت المناسب.

أما في المناطق الجبلية المنحدرة التي تتكون تربتها من الصخر الجيري الصلب المفكك، لا يمكن أن تتعرض الى انزلاقات أرضية كتلية كتلك التي حصلت في الجبل الأبيض، ولكن قد تتعرض لحصول انهيارات صخرية، فإذا تخلل المناطق الجبلية المرتفعة والمنحدرة وجود قطع صخرية متفككة (غير ثابتة)، فإن هناك احتمالاً كبيراً لحصول تدحرج وتساقط لهذه القطع عند تعرضها للهزات الأرضية القوية/ أو القوية نسبياً، فقد أظهر الكثير من الزلازل أن تدحرج وتساقط هذه القطع قد أدى في بعض المناطق الى حصول خسائر في الأرواح والممتلكات أكبر من تلك التي أحدثها الزلزال بشكل مباشر (انظر الشكل 7.6).

شكل (6.6) : انهيار وإغلاق الطرق في المناطق الجبلية نتيجة للانزلاقات الأرضية التي أحدثتها الزلازل (تقارير المعهد EERI)

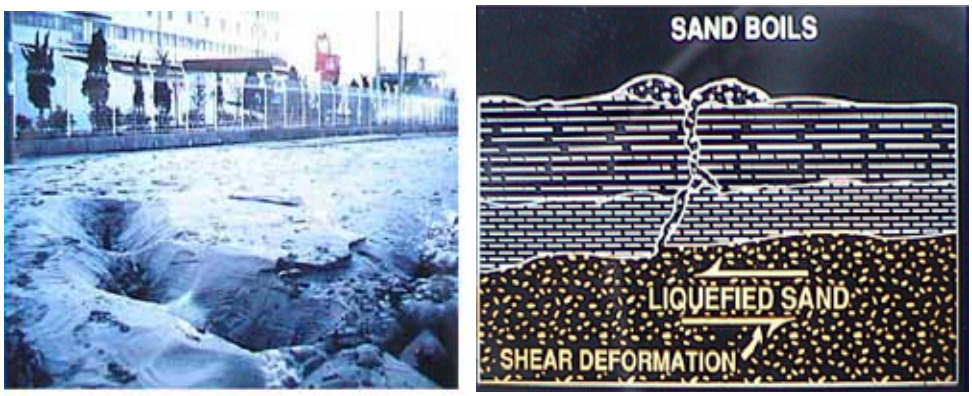
شكل (7.6) : اتساقط وتدحرج القطع الصخرية في المناطق الجبلية المنحدرة بسبب تعرض هذه المناطق للهزات الأرضية (تقارير المعهد EERI)

4.6 تميؤ التربة

تعرض التربة الرملية المشبعة بالرطوبة (التربة الرملية الموجودة أسفل منسوب المياه الجوفية) إلى حركات أرضية زلزالية قد يؤدي إلى تميؤها، فمرور الموجات الزلزالية القاصة في حبيبات التربة الرملية المشبعة بالمياه يؤدي إلى خلخلة جزئيات التربة، وبالتالي زيادة الضغط المائي واندفاع جزئيات هذه التربة إلى الأعلى، وهذا يعني تميؤ التربة **(Soil Liquefaction)** أي تحول تربة الموقع الى سائل لزج (انظر الشكل 8.6).

أظهرت الأحداث الزلزالية (الشكل 9.6) أن حصول ظاهرة التميؤ قد أدى لحصول أضرار وخسائر كبيرة، وعادة ما تكون المناطق الساحلية هي الأكثر تأثراً من حصول هذه الظاهرة، وتميؤ التربة يمكن أن يحصل بعدة أشكال ويؤدي بدوره إلى أضرار وانهيارات مختلفة.

يُشار إلى أن معالجة تربة المناطق المعرضة للتميؤ يتطلب إجراء دراسات جيوتقنية متقدمة وغالباً ما تكون تكلفة هذه المعالجة عالية جداً، لذلك يعطي الأولوية دائماً لتجنب استخدام المناطق المحتمل تعرضها للتميؤ، ولمراعاة ذلك تعمل الدول على إنتاج خرائط لاستخدامات الأراضي يتم من خلالها تحديد المناطق التي يحتمل تعرضها للتميؤ.



شكل (8.6) : ظاهرة تميؤ التربة الرملية المشبعة بالرطوبة في حالة تعرضها لهزات أرضية قوية/أو قوية نسبياً (تقارير المعهد EERI)

زلزال نيجاتا – اليابان 1964

زلزال تركيا 1999

زلزال كوبي – اليابان 1995

زلزال تركيا 1999

شكل (9.6) : مشاهدات لأحداث زلزالية، يظهر من خلالها أضرار في المباني والبنى التحتية بسبب حصول ظاهرة التميؤ (تقارير المعهد EERI)

5.6 تأثير تربة الموقع وسياسة استخدام الأراضي

بناءً على نتائج الأحداث الزلزالية التي حصلت في العالم والتي تم التعرض لبعضها في بنود هذا الفصل، أظهر عامل تأثير الموقع (Site Effect) وبما لا يدعو للشك أن الكثير من الأضرار والخسائر التي ترافق حصول الزلزال كان سببها التضخيم الزلزالي الذي تحدثه تربة الموقع، والانزلاقات الأرضية التي ترافق حصول بعض الزلازل بالاضافة الى ظاهرة التميؤ، ومن المعروف أنه، يجب أعطاء الأولوية القصوى أثناء عملية التخطيط والتصميم لتجنب تأثير هذه العوامل، فمواجهتها يؤدي لتكلفة عالية جداً، اما تجنبها فسيؤدي الى تخفيف الأخطار بشكل كبير وبأقل التكاليف، فمن وجهة النظر الهندسية يمكن معالجة أي موقع أو تصميم وتنفيذ أي مبنى وبغض النظر عن موقعه، لكن ذلك سيؤدي لحصول زيادة كبيرة جداً على سعر التكلفة، لذلك تعطى الأولوية دائماً لتجنب عامل تأثير الموقع ما أمكن، وهذا يتطلب وضع سياسة وطنية واضحة لاستخدامات الأراضي في الدول، بحيث يتم استخدام الأراضي وفقاً لطبيعتها ومراعاة جميع العوامل والمتطلبات التي تحكم الاستخدامات المختلفة.

وبشكل عام تعتمد الدول في سياسة استخدامها للأراضي على تصنيف الأراضي وفقاً لأسس ومعايير، أهمها:

- طبوغرافية المناطق.
- جيولوجية المناطق وأنظمة التصدعات الأرضية.
- زلزالية المناطق.
- الخطط التنموية المستقبلية.
- الامتداد العمراني.
- الامتداد الصناعي والزراعي للأراضي.
- العوامل البيئية.
- عوامل اخرى.

واستناداً إلى هذه المعايير والأسس، تتم سياسة ضبط استخدام الأراضي التي تعتبر بدورها أهم عامل في انتاج الخرائط الهيكلية للمناطق.

وتشمل عادة سياسة استخدام الأراضي دراسات لتقسيم الأراضي وتصنيفها الى:

- مناطق صناعية (صناعات خفيفة، صناعات ثقيلة).
- مناطق للصناعات الخاصة (محطات توليد الطاقة الكهربائية والذرية، المصانع الكيميائية، السدود، الخ...) ، ويراعى عادة في الأراضي التي ستستخدم لهذا النوع من

الأبنية أن تكون غير معرضة للانزلاقات، ولا يتخللها فوالق أرضية وأن تكون آمنة عند تعرضها للزلازل.

- مناطق يسمح البناء عليها ضمن ضوابط وشروط خاصة (أبنية خفيفة محدودة الارتفاع، وقد يتم تحديد أنماط وأشكال البناء المناسب) ، وذلك بسبب تأثر هذا النوع من المناطق بأخطار لها علاقة بالطبيعة الجيولوجية أو الجيوفيزياثية والزلزالية، أو عوامل أخرى (تاريخية وثقافية).
- مناطق للامتداد العمراني وفق القوانين والتشريعات المحلية للأبنية.
- مناطق خضراء، يمنع البناء فيها، وعادة يكون السبب تنظيمياً لأسباب بيئية مثلاً أو لأسباب أخرى لها علاقة بتركيبة المنطقة الجيولوجية والجيوفيزيائية.

وبناء على ما ذكر أعلاه يتم تصنيف الأراضي الى ثلاث أنواع وذلك حسب الجدول التالي:

أدارة الأرض وسياسة التطوير والأساليب	مميزات الأرض	المنطقة
- لاتغيرات في استخدامات الأرض - حماية + صيانة	- وجود انهيارات وانزلاقات - وجود أرض زراعية ذات قيمة عالية - وجود مواقع ثقافية وأثرية ذات قيمة عالية - وجود محميات طبيعية	**منطقة (1) حمايـــــة**
يسمح بالتطوير مع ضوابط: - دراسة الأثر البيئي - اتباع ضوابط التخطيط والتنظيم العمراني المعمول بها محلياً	- وجود أحواض مائية حساسة - وجود أراض زراعية متوسطة القيمة	**منطقة (2) تطوير محدود**
الجزء الأساسي من التطوير يتم في هذه المنطقة، مع ضرورة اتباع ضوابط التخطيط والتنظيم العمراني المعمول بها محلياً	- أرض ليست حساسة - لا اهتمامات بخصوص الزراعة - لا انهيارات وآمنة جيولوجياً	**منطقة (3) تطوير مراقب**

الفصل السابع

أنماط المباني الدارجة في فلسطين... والزلازل

1.7 مقدمه

الزلازل ظاهرة كونية طبيعية بالغة التعقيد لا يمكن منعها، ولا يمكن التوقع بلحظة حدوثها، ولكن يمكن التخفيف من مخاطرها من خلال اتخاذ الإجراءات اللازمة على جميع المستويات، ابتداء من المواطن العادي، ومروراً بالمختصين، ووصولاً لصناع القرار.

والمشكلة الحقيقية، حسب رأيي، لا تكمن في الزلزال نفسه، "فالزلزال لا يقتل، وما يفعل ذلك هو المباني، أو الحرائق، والانزلاقات الارضية التي تثيرها الزلازل"، بل تكمن في عدم جاهزيتنا، فالعديد من المباني والبنى التحتيه لا تتوافر فيها متطلبات الحد الأدنى للمباني المقاومة للزلازل، وكذلك عدم وجود إدارة فعالة لإدا رة الكوارث وإسناد الطوارئ، بالإضافة الى عدم دراية الإنسان الفلسطيني والإنسان العربي، بشكل عام، بمفاهيم وإجراءات التهيئة والاستعداد للكوارث.

ومن جهة أخرى، يعتقد الكثير من المواطنين أن التصميم والتنفيذ الزلزالي للمباني شئ صعب، وتكلفته المالية عالية جداً، وهذا غير صحيح، فالتصميم الزلزالي له عدة مستويات من الأمان والدقة. فبالنسبة للمباني العادية قد تزداد تكلفة المبنى بسبب التصميم والتنفيذ الزلزالي بنسبة ثلاثة الى خمسة في المائة من سعر التكلفة الكلي كحد أقصى، و إذا كان المبنى بسيطاً ومنتظماً أفقياً ورأسياً، أي إذا كان متماثلاً في الشكل والكتل، وفي توزيع الأعمدة والجدران، فان ذلك سيساهم، بشكل كبير، في مقاومته للزلازل، وان لم يصمم لذلك.

ولمعالجة الوضع القائم، وللوصول الى خطة وطنية شاملة للتخفيف من مخاطر الزلازل، بادر المؤلف ومن خلال إدارته لمركز علوم الأرض وهندسة الزلازل، في جامعة النجاح الوطنية إلى وضع البرامج والخطط على كافة المستويات، ولجميع التخصصات والمؤسسات ذات العلاقة، فقد تم إصدار نشرات توعية وإرشاد للمواطنين وأخرى علمية للمهندسين، وبوشر كذلك بعمل الدورات الهندسية في المحافظات الفلسطينية وذلك وفق خطة وتنسيق كاملين مع نقابة المهندسين، إضافة الى إقامة عشرات المحاضرات والندوات وورشات العمل والحلقات العلمية، ولتعبئة وتثقيف المواطنين بكيفية تخفيف المخاطر الزلزالية أستخدمت وسائل الإعلام كالصحف، والمجلات، والإذاعات، ومحطات التلفاز المختلفة. ولأهمية دور الشباب الفلسطيني في التغيير تم اعتماد مقررات اختيارية جديدة لجميع الكليات، مقرر "الزلازل وتخفيف مخاطرها"، ومقرر

"إدارة الكوارث وإسناد الطوارئ"، إضافة الى اعتماد تدريس مقـررات هندسـية متخصـصة بالتـصميم الزلزالي والتخطيط لاستخدامات الأراضي لطلبة البكالوريوس والماجستير في كلية الهندسة فـي جامعـة النجاح الوطنية، ومن ناحية أخرى باشر المركز في إجراء دراسات زلزالية للمنطقة، إضافة الى البدء في دراسة بعض الخصائص والمعايير الديناميكية لأنماط المباني الدارجة محلياً، وتم إجراء دراسات ميدانيـة لتحديد فئات قابلية الإصابة الزلزالية لهذه المباني.

وبهدف تبادل المعلومات والخبرات مع المراكز والمؤسسات التخصصية، شارك المركز في العديـد مـن الفعاليات العربية والدولية، ولأهمية القوانين والتشريعات، تم تزويد المؤسـسات التـشريعية والـوزارات والمؤسسات الحكومية وغير الحكومية ذات العلاقة بتقارير علمية حول زلزالية المنطقة وقابليـة إصـابة المباني ومنشآت البنى التحتيه في فلسطين في حالة تعرضها للزلازل، وكذلك إجراء عدد مـن الفعاليـات المشتركة مع عدد من الوزارات والمؤسسات، انبثق عنها تشكيل هيئـة وطنيـة للتخفيـف مـن أخطـار الكوارث.

وإضافة لدورات التصميم الزلزالي للمباني، وبهدف تجميع طاقات الوزارات والمؤسسات الحكومية وغيـر الحكومية ذات العلاقة بتخفيف أخطار الكوارث، وكخطوة على طريق العمل المشترك بين هذه الجهـات، بادر المؤلف من خلال مركز علوم الأرض وهندسة الزلازل إلى إجراء دورات تدريبية وورشات عمل في موضوع "ادارة الكوارث وإسناد الطوارئ" في عدد من محافظات الضفة الغربية، وقد شـارك فـي هـذه الفعاليات معظم الوزارات والمؤسسات الحكومية وغير الحكومية ذات العلاقـة، و أجريـت معظـم هـذه الفعاليات بالتنسيق مع عدد من المؤسسات الفلسطينية، وأهمها: الدفاع المدني، والهيئة الوطنية للتخفيف من أخطار الكوارث، ونقابة المهندسين، واللجنة الوطنية الفلسطينية للتربية والثقافة والعلوم، ويُـشار الـى أن عدداً من هذه الدورات وورشات العمل كانت برعاية عدد من المؤسسات الدولية.

وللإجابة عن استفسارات المواطنين حول مدى مقاومة المباني ومنشآت البنى التحتية في فلسطين للزلازل، ولاخذ فكرة حول أهم العوامل التي تؤثر في السلوك الزلزالي للمنشآت، سيتضمن هذا الفصل اسـتعراض أهم أنماط المباني وتشكيلاتها المعمارية والإنشائية الدارجة في العديد من المدن الفلسطينية، وللوقوف عنـد بعض الحقائق حول السلوك الزلزالي المتوقع لهذه المباني، سيتم الاستعانة بالوقائع والأحداث الزلزالية التي حصلت في العالم، فالمناطق التي تعرضت للزلازل تعتبر مختبرات طبيعيـة عملاقـة، تـوفر للبـاحثين والمهتمين الآلاف، وأحيانا عشرات الآلاف من العينات، فمن خلالها يمكن الاطلاع على تجارب الآخرين، وأخذ العبر من أخطائهم في تصميم وتنفيذ المباني والبنى التحتيه، مثل شبكات الماء والكهرباء والـصرف الصحي والطرق والجسور... الخ، بالإضافة الى الاطلاع على مناطق ضعف وقوة مؤسسات هذه الـدول

وجاهزيتها في موضوع إدارة الكوارث وإسناد الطوارئ، لذلك سيتضمن هذا الفصل أمثلة ووقائع حقيقية لأضرار وانهيارات المباني بسبب تعرضها للزلازل.

2.7 معايير تخفيف المخاطر

يعتمد حجم أو مستوى المخاطر الناتجة عن كارثة ما على عدد من العوامل والمعايير، أهمها:

- مصدر وطبيعة الكارثة، وفي حالة الزلازل يكون الخطر أو مصدر الخطر (Hazard) هو الزلزال نفسه.
- قابلية الإصابة (Vulnerability).
- التعرض (Exposure).
- الموقع (Location).

فحجم ومستوى الأخطار، التي قد يتعرض لها المجتمع ومؤسساته يتأثر، بشكل كبير، بالعوامل المذكورة أعلاه ، وليس بالضرورة إذا كان الخطر (مصدر الخطر) كبيراً أن يُحدث خسائر ومخاطر كبيرة، فمثلاً: تتعرض اليابان، وولاية كاليفورنيا، لزلازل قوية، ومع ذلك يكون تأثيرها (أي المخاطر الناتجة) في معظم الحالات محدوداً وقليلاً أحياناً، في حين تعرضت الكثير من دول العالم الثالث، مثل: إيران والهند والجزائر وتركيا والمغرب.....الخ، الى زلازل متوسطة القوة (6 درجات حسب مقياس ريختر) أو قوية نسبياً (6.5 درجة حسب مقياس ريختر تقريباً)، وكانت الخسائر كبيرة، وهذا يعود، في الغالب، الى ارتفاع مستوى قابلية الإصابة الزلزالية (Seismic Vulnerability) لكل من المباني ومنشآت البنى التحتية، بالإضافة لضعف جاهزية (استعدادية) وقدرة (capacity) المؤسسات والإنسان في هذه الدول. ولتوضيح العلاقة بين المخاطر (Risks) من جهة، وكل من الاخطار (Hazards) وقابلية الإصابة والقدرة من جهة أخرى، يمكن تبسيط العلاقات الرياضية التي تستخدمها المراجع العلمية في عملية تحليل المخاطر (Risk Analysis)، كما هو موضح في المعادلة التالية:

$$\text{المخاطر (Risk)} = \frac{\text{الخطر (Hazard)} \times \text{قابلية الإصابة (Vulnerability)}}{\text{الجاهزية/ أو القدرة (Capacity)}}$$

حيث:

الاخطار ***Hazards***:

وهي احتمالات ظهور حدث يعمل أضراراً كامنة أو محتملة في منطقة ما ضمن زمن محدد.

المخاطر ***Risk*** :

وهي درجة التوقع لفقدان الأرواح، وكمية الأضرار للممتلكات أو مستوى الإضرار للاقتصاد اثر وقوع الكارثة.

- قابلية الاصابة ***Vulnerability*** :

وهي درجة الفقدان أو قابلية الإصابة للعناصر المعرضة للمخاطر نتيجة وقوع الكارثة ، ومن أهم العناصر التي تكون عرضة للمخاطر: السكان، والخدمات، والمرافق العامة، والأبنية، والأعمال الهندسية، والتجارة والاقتصاد ، إضافة إلى البنية التحتية.

ويذكر أن المؤشرات والعوامل التي تحدد قيمة المعادلة المذكورة أعلاه تستخدم بشكل مصفوفات ومتجهات رياضية، (Yuxian 1999, Liu 1996, Peter 1988, Sheppard1988)، وشكل وصيغة هذه المعادلة هو عبارة عن صيغة مبسطة، فمن خلال هذه العلاقة يلاحظ أن قيمة عناصر هذه المعادلة تؤثر طردياً أو سلبياً على قيمة وحجم المخاطر الناتجة.

3.7 السلوك الزلزالي المتوقع للمباني في فلسطين

يعتمد معظم المهندسين في فلسطين، في تصميمهم للمباني، على القوى الرأسية الناتجة عن الأحمال الميتة (الدائمة)، والأحمال الحية (غير الدائمة) فقط، وقليل منهم من يأخذ بعين الاعتبار، في التصميم والتنفيذ، أثر القوى الزلزالية أو الرياح، ومن خلال إجراء مقارنة سريعة للمنشآت القائمة مع متطلبات هندسة الزلازل وشروطها، تبين أن هناك نسبة كبيرة من الأنماط الإنشائية والمعمارية المستخدمة في فلسطين لا تلبي متطلبات الحد الأدنى للمباني المقاومة للزلازل، ولا يوجد التزام حتى بالتوصيات العامة الخاصة بتشكيل المنشآت لمقاومة أفعال الزلازل(الدبيك 1999 وE2003 و2007)، وعموماً يمكن إجمال أهم الملاحظات أو الأخطاء في تصميم بعض أنماط المباني الدارجة وتنفيذها في فلسطين بما يلي:

1.3.7 أخطاء تتعلق بتأثير الموقع

لطبيعة الموقع وتربة التأسيس تأثير كبير على سلوك المبنى الزلزالي، فقد أظهرت الوقائع والأحداث الزلزالية في كثير من دول العالم، كالزلازل التي حصلت في كل من : سان فرناندوا سنة 1971، و فرانشا ــ رومانيا 1977، والمكسيك 1985، وليمابرتا ــ كاريفورنيا 1989، وايران 1990، والفلبين 1990، وكوستاريكا 1991، ونوثردج ــ كاريفورنيا 1994، وكوبي ــ اليابان 1995، وتركيا 1999، وتايوان 1999، والهند 2001، والسلفادور 2001، والباكستان 2005" ان بعض الأضرار والانهيارات في المباني والمنشآت الأخرى كان سببها عوامل تأثير الموقع، وعموماً يمكن تلخيص عوامل تأثير الموقع، التي من المتوقع أن تساهم بشكل واضح، في ارتفاع قابلية الإصابة الزلزالية للمباني في العديد من المناطق الفلسطينية، بما يلي:

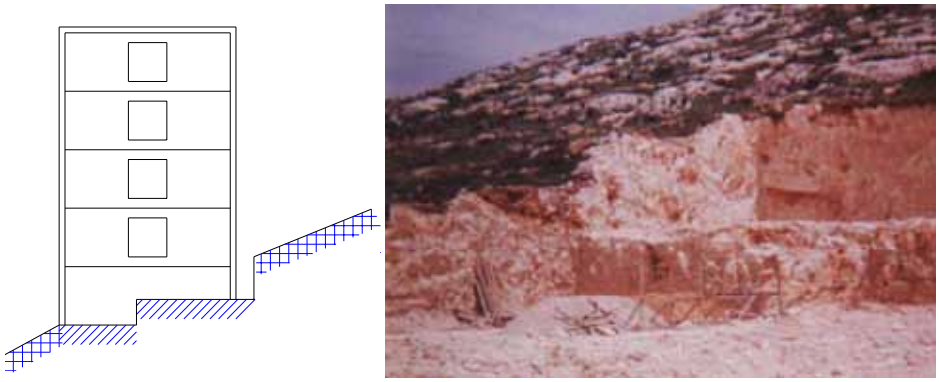
البناء على الأراضي الجبلية شديدة الانحدار:

البناء على الأراضي الجبلية شديدة الانحدار دون إجراء التسويات اللازمة قد يؤدي إلى ارتفاع قابلية الإصابة الزلزالية للمباني، وخصوصاً إذا كانت تربة التأسيس تتكون من الصخر الجيري المفكك (انظر الأشكال 1.7 و 2.7). ولتجنب عامل تأثير طوبغرافية وانحدار الموقع، يجب إعطاء الأولوية دائماً لتسوية الموقع وجعله أفقياً أسفل المبنى (شكل 7. 3)، وفي حالة المباني ذات المساحات الكبيرة يمكن إجراء تسويات متدرجة أي تسوية الأرض على شكل درج (شكل 7. 4).

شكل(1.7): مشاهدات لبغض أنماط البناء في المناطق الجبلية (المؤلف)

شكل(2.7): مشاهدات لمقاطع صخرية في طبقات الصخر الجيري (المؤلف)

شكل(3.7): ضرورة تسوية الأرض الصخرية عند مستوى التأسيس (المؤلف)



شكل(4.7): تسوية الأرض الصخرية المنحدرة على شكل درج أو قصيات (المؤلف)

البناء على أراضٍ لها قابليه للانزلاقات الأرضية:

البناء على أراضٍ يحتمل أن تتعرض للانزلاقات الأرضية وقت حدوث الزلازل، كالبناء على الأراضي الصخرية الحورية أو الكلسية شديدة الانحدار، وما يرافق ذلك من قطع وحفر يؤثر على جوار المبنى، ومما يضاعف خطورة هذا النوع من المشاكل، هو عدم إجراء دراسات تحليلية لاستقرار المنحدر، وكذلك عدم وجود خرائط أو سياسات وطنية لاستخدام الأراضي، فخلال السنوات الماضية تعرض عدد من المناطق في الضفة الغربية لحصول انزلاقات أرضية (ولمزيد من المعلومات انظر الفصل السادس البند 3.6)، وذلك بسبب البناء عـلى أراضٍ قابلة للانزلاق، وقد رافق ذلك عدم مراعاة طريقة وشكل الحفر والقطع في المنطقة السفلية للانحدار، بالإضافة الى زيادة الأوزان في الجزء العلوي للمناطق المنحدة نتيجة لأوزان المباني.

وحصلت انزلاقات أرضية مشابهة في الأردن، وعدد من الدول العربية، وقد تمت هذه الانزلاقات دون زلازل، فماذا يمكن أن يحصل لهذه المواقع والمباني المقامة عليها إن تعرضت في المستقبل، لاسمح الله، لهزات أرضية، وخاصة اذا حصلت هذه الهزات خلال فصل الشتاء أو نهايته، فخلال هذه الفترة تكون التربة الصخرية الحورية أو الطينية في هذه المناطق مشبعة بالرطوبة، وبالتالي تكون قابليتها للانزلاقات مرتفعة جداً، وإضافة لما قد تحدثه الانزلاقات الأرضية من أضرار وانهيارات في المباني والبنى التحتية، فقد تؤدي هذه الانزلاقات لإغلاق الطرق والممرات الجبلية (انظر الشكل 6.6)، وبالتالي عدم تمكين مؤسسات الاغاثة واسناد الطوارئ من الوصول الى المناطق المنكوبة، وهذا فعلاً ما حصل في كثير من الزلازل التي حصلت في العالم (تقارير المعهد EERI) وكان آخرها الزلزال الذي تعرضت له الباكستان في شهر تشرين أول من العام 2005.

البناء على تربة لها قابلية التميؤ:

قد يؤدي البناء على التربة الرملية المشبعة بالرطوبة، كالبناء على شاطئ البحر إلى حصول أضرار وانهيارات في هذه المباني، اذا تعرضت تربة الموقع لحصول ظاهرة التميؤ (Liquefaction)، فقد أظهرت الأحداث والتجارب الزلزالية أن التربة الرملية المشبعة بالرطوبة تتميأ (أي تصبح كالماء) عند تعرضها للهزات الأرضية وخصوصا القوية منها، وللاطلاع على تأثير ظاهرة التميؤ على المباني والمنشآت انظر الفصل السادس البند 4.6.

البناء على أراضٍ بدون دراسة تأثير عامل التضخيم الزلزالي لمواقع هذه المباني:

البناء على أراضٍ بدون دراسة تأثير عامل التضخيم الزلزالي، الذي قد يحدث بسبب العلاقة بين تردد الاهتزازات الطبيعية لكل من المبنى وتربة الموقع، يُؤدي إلى ارتفاع قابلية الإصابة الزلزالية للمباني، فإذا تساوي أو اقترب التردد الطبيعي لتربة الموقع مع التردد الطبيعي للمبنى، يحصل تضخيم زلزالي أي تتضاعف القوى الزلزالية التي يتعرض لها المبنى، ويمكن، بسبب هذه الظاهرة، أن تتضاعف القوى الزلزالية أكثر من 10 أضعاف، وهذا يعني انهيار المبنى، وتسمى هذه الظاهرة علمياً بظاهرة الرنين (Resonance)، ولمزيد من المعلومات حول ظاهرة الرنين انظر الفصل السادس البند 2.6.

ومن المعروف أن تجنب عوامل تأثير الموقع، أي الانزلاقات الارضية، والتميؤ، والتضخيم الزلزالي، يُعطي الاولوية القصوى، أثناء عملية التخطيط والتصميم، فمواجهة هذه العوامل يؤدي الى تكلفة مالية كبيرة جداً، أما تجنبها فيؤدي الى تخفيف مخاطرها بشكل كبير، ويتم التحكم عادة في هذه العوامل من خلال وضع سياسة وطنية لاستخدامات الأراضي (Land Use Policy).

نقاش وأمثلة *موثقة بالصور وأفلام الفيديو لحالات دراسيه تتعلق بعوامل تأثير الموقع*

2.3.7 أخطاء تتعلق بالتشكيل المعماري والإنشائي للمباني

للتشكيل المعماري وابعاد المبنى، ولنوع وتوزيع وطريقة ربط العناصر الإنشائية (العناصر الإنشائية، هي العناصر الحاملة، مثل الأعمدة، والجسور، والجدران الحاملة، والاسقف، والقواعد، اما العناصر غير الانشائية فهي العناصر المحمولة، كجدران الطوب والرخام والبلاط والديكور... الخ) فلها دور كبير في السلوك الزلزالي للمباني (FEMA 1998, UBC97, Lang 2004, Fournier 1988, Mario 1994, EERI reports and others)، ويمكن اجمال أهم الملاحظات أو الأخطاء التي تتعلق بالتشكيل المعماري والإنشائي لانماط المباني الدارجة في فلسطين بما يلي:

أستخدام مبانٍ اشكال مساقطها الأفقية غير منتظمة/غير متماثلة:

عدم تحقيق التماثل التقريبي لأشكال المساقط الأفقية للعديد من المباني (انظر الشكل 7 . 5) يُسهم بشكل كبير في ارتفاع قابلية إصابتها الزلزالية، فقد أظهرت الدراسات والاحداث الزلزالية ان تحقيق التماثل في أشكال المساقط الافقية للمباني، يُساهم بشكل واضح في تحسين سلوكها الزلزالي، وان لم تصمم لمقاومة الزلازل، وفي حالة تعذر تحقيق هذا الشرط لأسباب معمارية، أو وظيفية، أو بسبب عشوائية وعدم تماثل شكل الارض، فيجب، في هذه الحالة، إخضاع المبنى للتصميم الزلزالي الخاص أو المتقدم، وهذا ما لا لم يتم عمله محلياً أثناء تصميم معظم المباني غير المنتظمة والمعقدة في اشكال مساقطها الافقية.

أستخدام مبانٍ اشكال مساقطها الجانبية غير منتظمة/غير متماثله:

تحقيق التماثل في أشكال المساقط الجانبية للمباني يُسهم في تخفيض قابلية الإصابة الزلزالية لهذه المباني، وإن لم تصمم لمقاومة الزلازل، وفي حالة تعذر تحقيق هذا الشرط، لأسباب معمارية أو وظيفية أو بسبب انحدار قطعة الارض (في حالةالأرضي الجبلية والمنحدرة والتي يتم تسويتها وحفرها على شكل درج)، يجب إخضاع المبنى للتصميم الزلزالي الخاص أو المتقدم، وهذا ما لا يتم عمله في المباني الدارجة محلياً. فعدم تحقيق التماثل التقريبي لأشكال المساقط الجانبية للعديد من المباني (انظر الشكل 7 . 6) في المدن والتجمعات السكانية في فلسطين، وفي كثير من الدول العربية، سيؤثر، بشكل واضح، على قابلية الإصابة الزلزالية لهذه المباني.

استعراض أمثله وتطبيقات *موثقة بالصور وأفلام الفيديو لحالات دراسيه ولاحداث زلزالية، بالاضافة الى اجراء نقاش لبعض حالات عدم التماثل في أشكال المساقط الأفقية والجانبية المستخدمة في أنماط المباني الدارجة محليا.*

زلزال الفلبين 1990

زلزال الفلبين 1990

شكل(5.7): مباني أشكال مساقطها الأفقية غير منتظمة/غير متماثلة
(المؤلف والمعهد EERI)

زلزال كوبي- اليابان 1995

زلزال كوبي- اليابان 1995

شكل(6.7): مباني أشكال مساقطها الجانبية غير منتظمة/غير متماثلة (المعهد EERI)

عدم استخدام الفواصل الزلزالية:

عدم استخدام الفواصل الزلزالية (Seismic Joints) بين المنشآت، أو أجزاء المنشأ الواحد، أو أحيانا عدم الالتزام بالعرض المطلوب لهذه الفواصل قد يؤدي إلى تصادم هذه المباني (انظر الشكل 7. 7)، ولمنع تصادم المباني المتجاورة/ أوالمتلاصقة يجب الاحتفاظ بمسافة كافية بين هذه المباني، وهذه المسافة يجب أن تساوي مقدار الإزاحة الجانبية لكل مبنى(أو جزئي المبنى الواحد) مضافاً لها 2 أو 3 سم، وعموماً يعتمد مقدار الإزاحة الجانبية للمبنى على عدد من العوامل، أهمها: ارتفاع المبنى وعدد طوابقه ونوع النظام الإنشائي المستخدم (أمثلة لأنواع الأنظمة الانشائية: نظام الأعمدة والجسور المسلحة، ونظام الهياكل /أو الأطارات الخرسانية المسلحة، ونظام الجدران المسلحة، والنظام المشترك أعمدة وجدران مسلحة، ونظام الجدران الحاملة غير المسلحة)، وقد أظهر استطلاع أجراه المؤلف للمباني في عدد من المدن الفلسطينيه حول استخدام الفواصل في المباني، تبين من خلاله أن هذه

زلزال المكسيك 1985

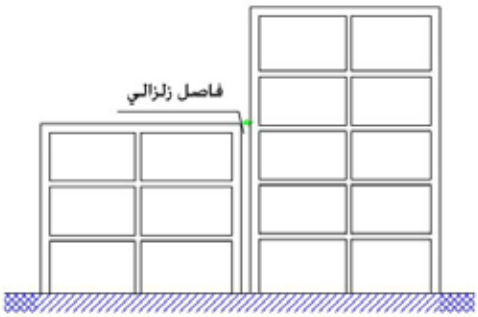
زلزال المكسيك 1985

شكل(7.7): احتمال حصول تصادم للمباني المتلاصقة (المتجاورة) بسبب عدم كفاية عرض الفواصل الزلزالية (المعهد EERI)

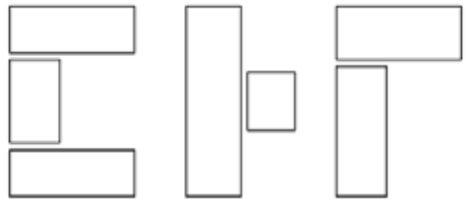
الفواصل لا تحقق شروط وضوابط الفواصل الزلزالية وخصوصا تلك المتعلقة بعرض الفاصل، وإنما لوحظ أن عرض الفواصل المستخدمة في معظم المباني المستطلعة، وخصوصاً تلك التي يزيد ارتفاعها على طابقين تعتبر غير كافية. ومن المعروف انه، استناداً للوقائع وللأحداث الزلزالية التي حصلت في

العالم، قد يؤدي صغر وعدم كفاية عرض الفاصل الزلزالي الى تصادم المبنيين المتلاصقين او المتجاورين، وقد لوحظ أن عرض معظم الفواصل الزلزالية في المباني المستطلعة لا يزيد في الغالب على 2 – 3 سم، في حين أن المباني المتلاصقة التي يكون ارتفاعها 10 طوابق تقريباً، تتطلب وجود فواصل زلزالية عرضها لا يقل عن 15 – 20 سم (وذلك حسب ارتفاع الطابق الواحد ونوع النظام الإنشائي المستخدم).

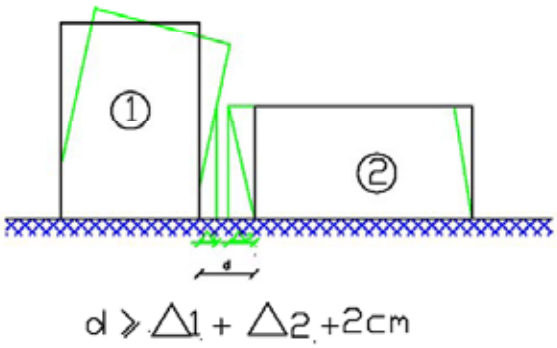
ومن الجدير بالذكر أنه، بالنسبة للكثير من حالات عدم الانتظام في المباني، يمكن تحقيق الانتظام المطلوب (التماثل) وذلك من خلال استخدام الفواصل الزلزالية، فمثلاً بعض المباني الموضحة في الأشكال (7. 5) و (7. 6) تعتبر غير متماثلة في أشكال المساقط الأفقية والرأسية، وباستخدام الفواصل الزلزالية (انظر الشكل 7. 8) تصبح هذه المباني متماثلة ومنتظمة.

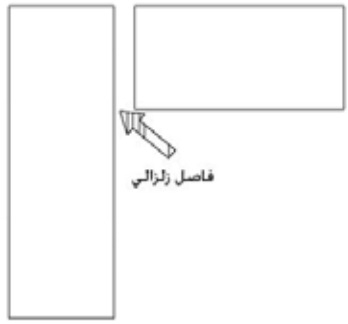


مسقط جانبي



مساقط أفقية



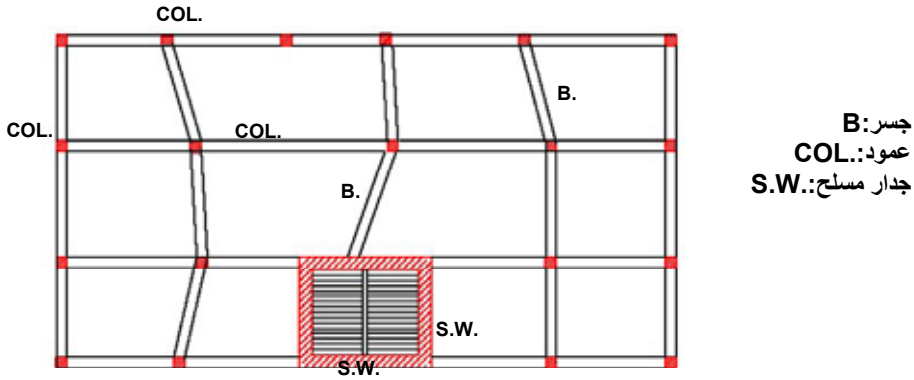


شكل(8.7): استخدام الفواصل الزلزالية لتحقيق التماثل والانتظام لأشكال المباني (المؤلف)

عشوائية توزيع الأعمده والجسور المسلحة في المستوى الأفقي للمباني:

بنظرة سريعة إلى واقع تصميم وتنفيذ المباني في فلسطين وفي كثير من الدول العربية، يلاحظ أن توزيع الأعمدة في كثرة من الحالات يكون عشوائياً وغير متماثل، وذلك لان عملية توزيع هذه الأعمدة تتأثر بشكل كبير بتوزيع وتقسيم الغرف والفراغات، أي تتأثر بالتصميم المعماري، وغالباً لا يأخذ المهندس المعماري بالاعتبار ضرورة توزيع الأعمدة بشكل متماثل، وبعد الانتهاء من التصميم المعماري، يبدأ المهندس الإنشائي في توزيع الأعمدة وفقاً للمخطط المعماري، وبالتالي يكون توزيع هذه الأعمدة في كثير من الحالات عشوائياً وغير متماثل في كل من الاتجاه الطولي والعرضي للمبنى (أنظر الشكل 7. 9).

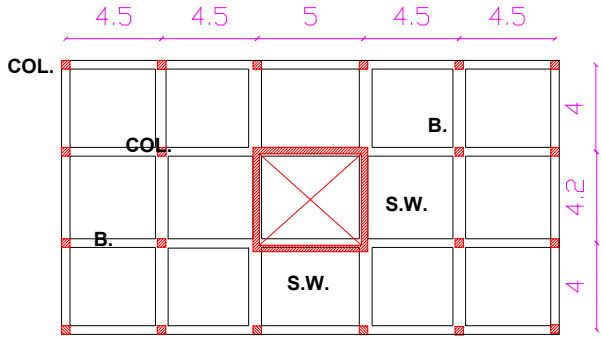
ويعتبر توزيع الأعمدة والجسور على شكل شبكيات في المساقط الأفقية للمباني، أي توزيعها بشكل متماثل حول المحاور الطولية والعرضية للمبنى (المحاور X و Y) أحد أهم متطلبات التصميم الزلزالي للمباني (انظر الشكل 7. 10)، حيث يمكن للأعمدة والجسور في هذه الحالة أن تعمل كإطارات/ هياكل إنشائية فراغية او مستوية في كل من الاتجاه الطولي والعرضي للمبنى.



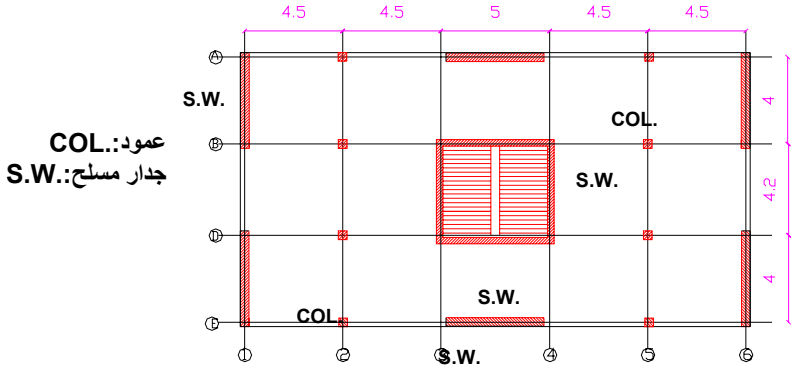
شكل(9.7): توزيع للأعمدة و الجسور بشكل عشوائي في المسقط الأفقي للمبنى (المؤلف)

ـ عدم تحقيق التماثل التقريبي في توزيع العناصر الإنشائية الرأسية في المساقط الأفقية:

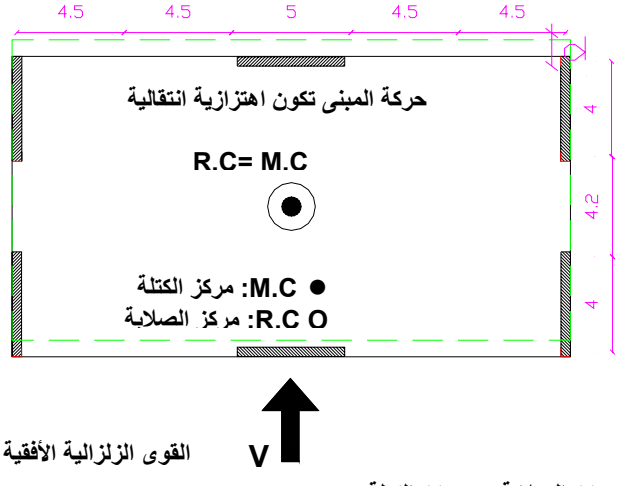
تحقيق التماثل التقريبي لتوزيع العناصر الإنشائية الرأسية في المساقط الأفقية للمباني يُساهم، بشكل كبير، في تحسين السلوك الزلزالي للمباني، ويقلل من قابلية الإصابة الزلزالية لهذه المباني، ففي حالة المباني ذات الأشكال المنتظمة يؤدي التوزيع المتماثل للعناصر الإنشائية (الأعمدة والجدران المسلحة والجدران الحاملة غير المسلحة) لتطابق مركز شكل أو مركز وزن المبنى مع مركز صلابته (انظر الشكل 7. 11 أ)، وهذا يعني أن المبنى في حالة تعرضه للقوى الأفقية الناتجة عن الزلازل، أو



شكل(10.7): توزيع الأعمدة و الجسور بشكل منتظم و متماثل في المسقط الأفقي للمبنى (المؤلف)



أ. تماثل في توزيع الأعمدة و الجدران المسلحة أو الجدران الحاملة



ب- تطابق مركز الصلابة مع مركز الكتلة $e_o = 0$

شكل (11.7) : توزيع العناصر الإنشائية الرأسية بشكل متماثل (المؤلف)

الرياح ستكون حركته الاهتزازية من نوع الحركات الاهتزازية الانتقالية (انظر الشكل 7. 11 – ب)، أما في حالة تركيز توزيع العناصر الإنشائية في أحد أجزاء المبنى، فإن ذلك سيؤدي إلى ابتعاد مركز صلابة المبنى عن مركز كتلته (أو مركز شكله)، وهذا يسمى علمياً بالانحراف المركزي، أي انحراف مركز الصلابة عن مركز الكتلة، ويُعرف هذا الانحراف في معظم المراجع العالمية بالحرف e_o، وبدوره سيؤدي هذا الانحراف إلى تعرض المبنى لحركات اهتزازية انتقالية وأخرى دورانيه التوائية (انظر الشكل 7. 12)، ومن الجدير بالذكر، أنه كلما زادت قيمة الانحراف $\mathbf{e_o}$ زادت قوى وعزوم الالتواء التي يتعرض لها المبنى. ولمزيد من المعلومات حول تاثير الانحراف المركزي على السلوك الزلزالي للمباني، سيتخلل الأمثلة والتطبيقات استعراض صور لأحداث زلزالية تظهر من خلالها الأضرار والانهيارات التي تعرضت لها المباني غير المنتظمة في أشكالها وفي توزيع عناصرها الإنشائية الرأسية، بالإضافة إلى تقديم عرض محوسب لنماذج مبانٍ منتظمة وأخرى غير منتظمة، بحيث سيتم من خلال هذه النماذج مشاهدة تأثير عدم انتظام المباني على سلوكها الزلزالي.

أجب على الأسئلة التالية:

سؤال (1.7): بالنسبة للمباني الموضحة في الشكل (7. 13)، حدد وبشكل تقريبي موقع مركزي الكتلة و الصلابة لهذه المباني؟

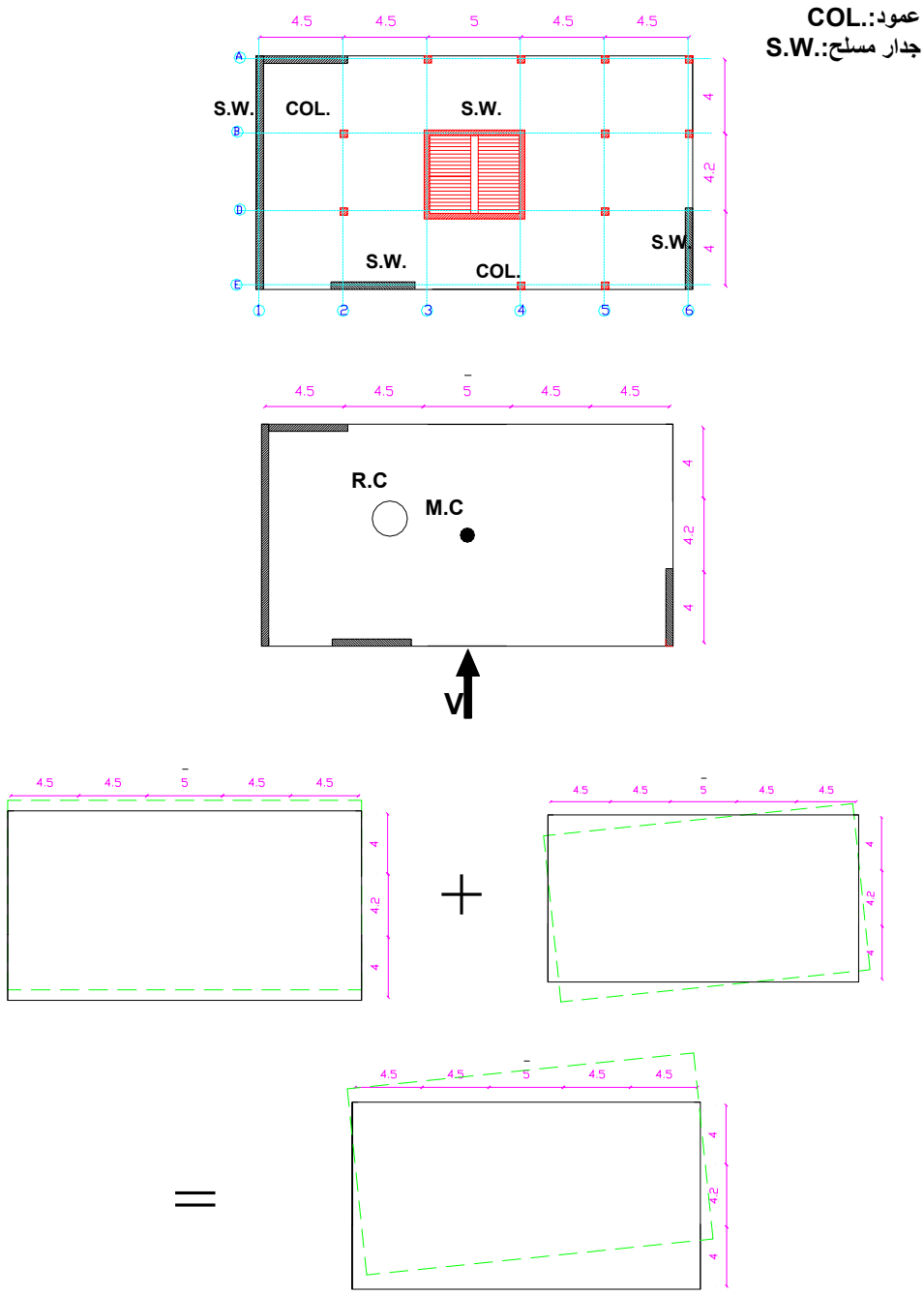
سؤال (2.7): إذا تم تزويد المبنى الموضح في الشكل (7. 13 – ب) بجدران خرسانية مسلحة كما هو موضح في الشكل (7. 14)، وضح وبشكل تقريبي وباستخدام المسقط الأفقي للمبنى موقع مركزي الكتلة والصلابة للمبنى؟

سؤال (3.7): المبنى الموضع في الشكل (7. 15) متماثل في الشكل وفي توزيع الأعمدة حول المحورين X و Y، أما الجدران الخارجية الشمالية والغربية فهي عبارة عن جدران حجريه خرسانية، في حين تتكون الجدران الجنوبية والشرقية من جدران زجاجية:

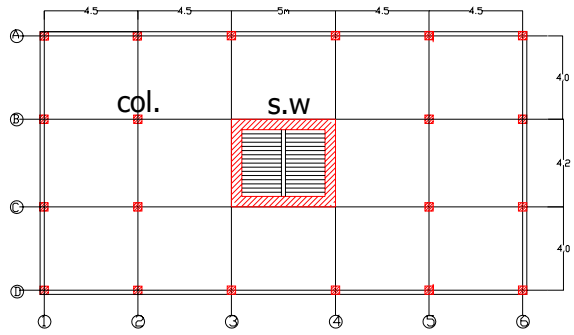
- وضح بالرسم وبشكل تقريبي أين يقع مركز صلابة المبنى ؟
- إذا تم إهمال تأثير وزن الجدران وضح بالرسم أين يقع مركز كتلته ؟
- كيف يمكن للمهندس المصمم أن يخفف، أو أن يلغي اثر انحراف مركز الصلابة عن مركز الكتلة (أو مركز وزنه) ؟

- عدم تأمين استمرارية العناصر الانشائية:

من أهم شروط التصميم العادي للمباني المقاومة للزلازل هو تأمين استمرارية العناصر الإنشائية الرأسية (الأعمدة والجدران الحاملة المسلحة وغير المسلحة)، بحيث يجب أن تنتقل الأحمال في المستوى الأفقي والرأسي من خلال هذه العناصر في طوابق المبنى وصولاً الى القواعد، فإزالة أعمدة



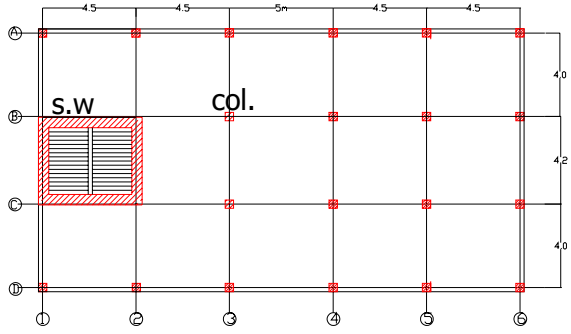
شكل(12.7) : انحراف مركز الصلابة عن مركز الكتلة بسبب عدم التماثل في توزيع العناصر الإنشائية الرأسية (المؤلف)



عمود:.COL

جدار مسلح:.S.W

أ. توزيع متماثل للعناصر الإنشائية الرأسية

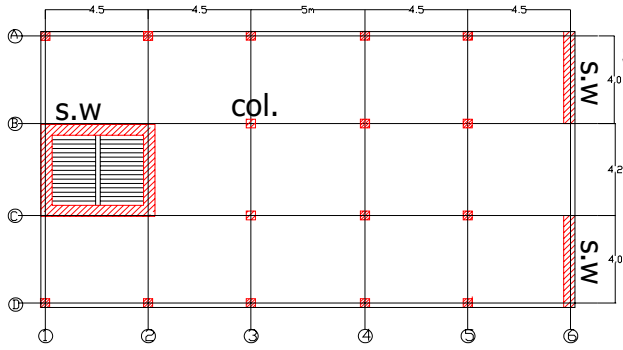


عمود:.COL

جدار مسلح:.S.W

ب. توزيع غير متماثل للعناصر الإنشائية الرأسية

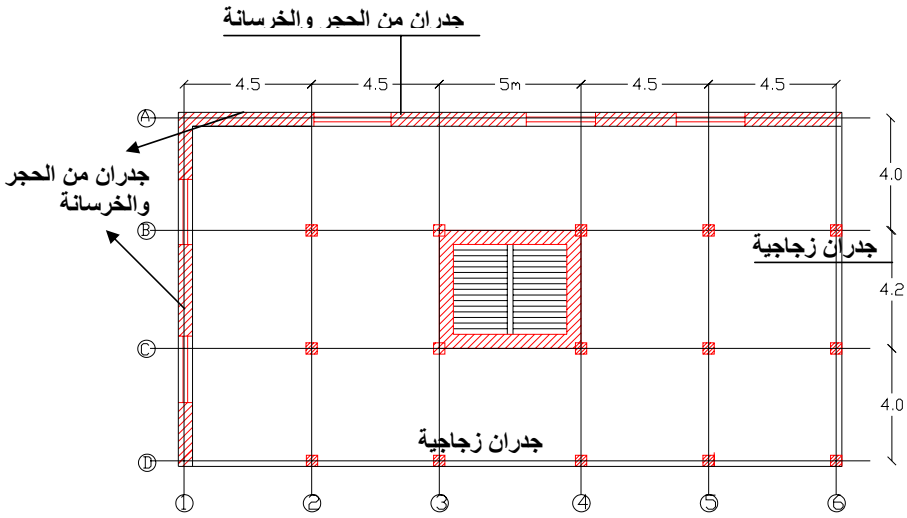
شكل(13.7) : مركزي الكتلة و الصلابة في المباني (المؤلف)



عمود:.COL

جدار مسلح:.S.W

شكل(14.7): مسقط أفقي لمبنى (المؤلف)



شكل(15.7) : مسقط أفقي لمبنى جدرانه الخارجية نصفها يتكون من الحجر و الخرسانة ، و النصف الأخر من الزجاج (المؤلف)

من أحد الطوابق أو زرع أعمدة إضافية على ظهر الجسور/ الكمرات في أحد أو بعض طوابق المبنى سيؤثر بشكل كبير على السلوك الزلزالي لهذا المبنى، وقد أظهرت الاستطلاعات الميدانية التي أجراها المؤلف على مبانٍ في عدد من المدن الفلسطينية إن الحالات التي لم يتم فيها تأمين استمرارية الأعمدة وللجدران الخارجية تركزت في طابق الرووف، وقد لوحظ كذلك أن العديد من مباني المخيمات لا يوجد فيها استمرارية للأعمدة، فمحاور الأعمدة تختف من طابق لآخر، علما أن هذه الظاهرة توجد بما نسبته 30% 40% من مباني المخيمات التي تم استطلاعها.

- **عشوائية توزيع الصلابات في طوابق المبنى الواحد:**

يعتبر اختلاف الصلابة بين طوابق المبنى وبشكل تدريجي، عامل ايجابي من الناحية الاقتصادية، ويُساهم في تأمين السلوك الزلزالي المطلوب للمبنى، وذلك بشرط أن تكون أكبر صلابة (أو جساءة) في المستوى الأول، ومن ثم يمكن تخفيف هذه الصلابة وفق تدرج معين وذلك كلما انتقلنا من الطوابق السفلية الى العلوية، لذلك تعتبر الأهرامات من وجهة نظر هندسة الزلازل منشآت مثالية لمقاومة الزلازل. و عكس هذه النظرية او المنهجية يعتبر خطأ كبيراً، فمثلاً إذا كانت صلابة الطابق الأرضي أو أحد الطوابق الوسطية أقل بكثير من صلابة الطوابق الموجودة فوقه فإن ذلك يؤدي الى حصول رخاوة وضعف، وهذا ما يسمى في المراجع العلمية بظاهرة تشكيل طوابق رخوة أو ضعيفة، وعادة يتشكل الطابق الرخو (Soft Story) في المباني عندما يكون الطابق الأرضي، أو بعض الطوابق

الأخرى من الأعمدة فقط وبدون جدران، في حين تكون بقية الطوابق مغلقــة بالجــدران العاديــة او المسلحة (انظر الشكل 7 . 16).

ومن الجدير بالذكر، انه قد تحدث رخاوة أو ضعف نسبي بين طابق واخر في المباني التي يوجد فيها فرق كبير في تقسيمات الجدران والقسامات الداخلية، فمثلاً: استخدام بعض الطوابق السفلية في أحد المباني كصالات كبيرة، كأن تخصص هذه الطوابق لشركات كبيرة أو بنوك (في الشركات الكبيرة والبنوك يتم عادة عمل الطابق كاملاً مفتوح وبدون قسامات)، وفي نفس الوقت تكون الطوابق العلوية للمبنى مزودة بجدران وقسامات داخلية كثيفة، وذلك بسبب طبيعة استخدامها كمكاتب أو عيادات طبية أو شقق، وهذه يعني أن صلابة الطوابق العلوية ستكون اكبر من صلابة الطابق/ أو الطوابق السفلية، وبالتالي حصول ظاهرة الطابق/ أو الطوابق الرخوة، وعموماً يمكن أن يكون الطابق الرخو كبير أو متوسط أو قليل الرخاوة، فالرخاوة أو الضعف لها مستويات مختلفة، أما أكثرها خطورة فهي الطوابق عالية الرخاوة.

شكل(16.7) : أنماط المباني الدارجة محلياً و ظاهرة الطابق الرخو (المؤلف)

وقد أظهرت الأحداث والوقائع الزلزالية، التي حصلت في العالم، ومنها الزلازل التي حصلت في: سان فرناندو ــ كاريفورنيا 1971، والصين 1976، ورومانيا1977، والمكسيك 1985 وليمابرتا كاريفورنيا 1989، ونثردج ــ كاريفورنيا 1994، وكوبي ــ اليابان 1995، وتركيا 1999، وتايوان 1999، وكولومبيا 1999، والهند 2001، والجزائر 2003، وبام ــ إيران 2003، أن السبب الرئيس لانهيار العديد من المباني كان وجود طابق أو طوابق رخوة أو ضعيفة (انظر الشكل 7. 17)، ولإيضاح سبب وكيفية انهيار المبنى بسبب وجود ظاهرة الطابق الرخو انظر آلية الانهيار الموضحة في الشكل (7. 18).

وبخصوص المباني في فلسطين، أظهرت الاستطلاعات الميدانية، التي أجراها المؤلف، أن ظاهرة الطابق الرخو موجودة، بشكل كبير، في المباني وخصوصاً في المباني الحديثة (انظر الشكل 7. 16)، وعادة تكثر هذه الظاهرة بحجة توفير مواقف للسيارات، وفي الحقيقة يعود السبب الرئيس لكثرة وجود ظاهرة الطابق الرخو في المباني إلى عدم دراية بعض المهندسين لخطورة استخدام هذا النظام من المباني (العديد من المهندسين في فلسطين وفي معظم الدول العربية لا يلتزم بالتصميم الزلزالي للمباني أو حتى بمتطلبات الحد الأدنى للمباني المقاومة للزلازل).

أمثلة محلولة:

مثال (1.7): هل ظاهرة الطابق الرخو محصورة في الطابق الأرضي فقط، وهل يمكن أن يتشكل الطابق الرخو في الطوابق الوسطى أو العلوية؟

الجواب نعم (انظر الشكل 7. 19).

مثال (2.7): هل يمكن معالجة الطابق الرخو المقترح بناؤه بحيث يبقى هذا الطابق يعمل كمواقف للسيارات وبنفس الوقت يتم إلغاء ظاهرة الطابق الرخو؟

الجواب: نعم، وذلك من خلال وضع جدران بين الأعمدة في المناطق التي لا تمر منها السيارات، مع مراعاة أن يتم وضع هذه الجدران بشكل متماثل، ويجب إعطاء الأولوية لوضع الجدران في زوايا وأطراف المبنى، ويمكن كذلك إلغاء ظاهرة الطابق الرخو من خلال تزويد هذا الطابق بالصلابة اللازمة من خلال استخدام أعمدة على شكل حرف T و L و + (سيتخلل جلسات النقاش عرض امثلة لكيفية معالجة ظاهرة الطابق الرخو).

مثال (3.7): هل يمكن معالجة الطوابق الرخوة الموجودة في المباني القائمة؟

الجواب: نعم، وذلك من خلال إضافة عناصر ربط وتكتيف مثل الجدران التي تم ذكرها في السؤال السابق.

زلزال كوستاريكا 1991

زلزال كولومبيا 1999

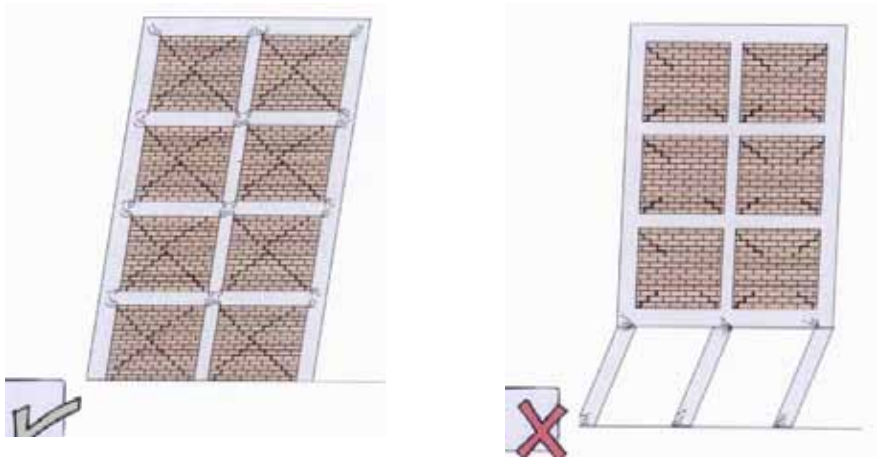
زلزال اليلبان 19951

زلزال نوثردج 1994

زلزال الفلبين 1990

زلزال ليمابرتا كاليفورنيا 1989

شكل(17.7) : مشاهدات لإنـهيارات المباني بسبب تشكيل الطابق الرخو (تقارير المعهد EERI)



شكل(18.7): آلية انهيار الطابق الرخو

زلزال كوستاريكا 1991 **زلزال اليابان 1995**

شكل(19.7): تشكيل الطابق الرخو في الطوابق الوسطية (المؤلف وتقارير المعهد EERI)

سؤال (4.7): في حالة البناء في قطع الأراضي الموجودة أسفل الشارع في المناطق الجبلية المنحدرة، وتم استخدام طابق أو أكثر كمواقف للسيارات وفقاً لأنماط البناء الدارج محلياً، هل يؤدي ذلك إلى تشكيل طابق/ أو طوابق رخوة؟

ـ وجود أو تشكيل الأعمدة والجسور القصيرة في المباني:

وجود أو تشكيل الأعمدة والجسور القصيرة في المباني مع عدم مراعاة ان هذه التشكيلات الإنشائية تتأثر بالقوى الزلزالية القاصـــة، يُسهم بشكل كبير في ارتفاع قابلية إصابتها الزلزالية، وللاطلاع على الأضرار والانهيارات التي أحدثتها القوى الزلزالية القاصة في الأعمدة القصيرة (أنظر الشكل 7 . 20)، وعليه اذا لم يتمكن المصمم، ولاسباب معمارية أو وظيفية، من تجنب تشكيل أعمدة قصيرة، ففي هذه الحالة يجب الاهتمام، لأقصى حد ممكن، بتكثيف الكانات/ الاساور وبتحسين نوعية الخرسانة المستخدمة.

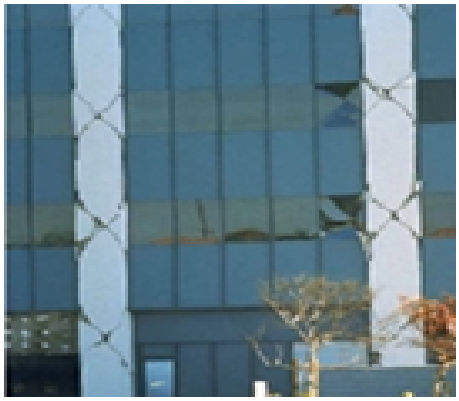
ومن الأمثلة على حالات الأعمدة القصيرة في المباني في فلسطين: الأعمدة القصيرة المعروفة باسم رقاب الأعمدة، وكذلك يمكن أن تتشكل الأعمدة القصيرة في المنطقة الموجودة بين نافذتين متجاورتين، وفي أعمدة مطلع الدرج، وكذلك في أعمدة السدد الموجودة في المحلات التجارية.

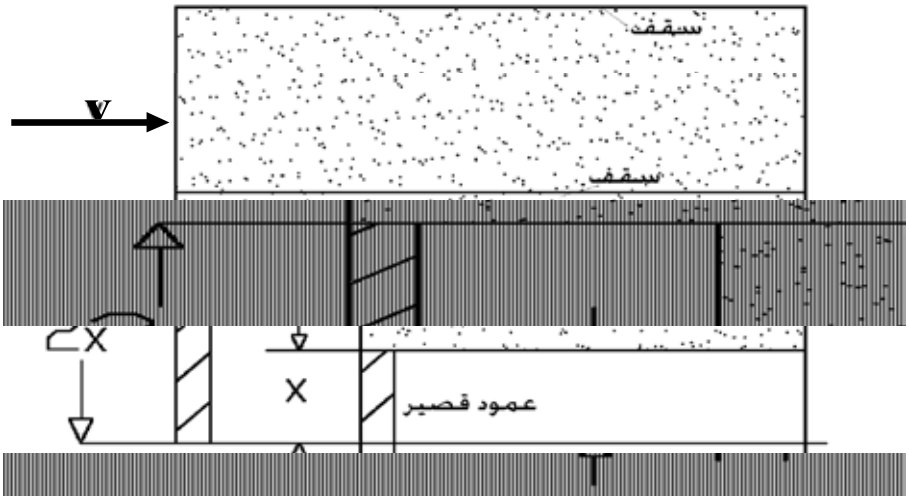
ـ المبالغة في استخدام الأنظمة الكابولية/ الطيرانات:

أظهرت الأحداث الزلزالية ان المبالغة في استخدام الأنظمة الكابولية/ الطيرانات (Cantilever Systems) في المباني وخصوصا" عندما تكون بحور(Spans) هذه الطيرانات كبيرة ومحملة بجدران ثقيلة (انظر الشكل 7 . 21)، يؤدي الى ارتفاع قابلية الإصابة الزلزالية لهذه المباني، واذا تطلب الأمر استخدام هذا النوع من التشكيلات المعمارية والإنشائية، فيجب، في هذه الحالة، وضع الحلول المناسبة، وذلك من خلال التقيد بالتصميم والتنفيذ الزلزالي اللازمين، وبكل اسف فإن هذا لا يتم تنفيذه في أنماط المباني الدارجة محلياً. ومن الجدير بالذكر أن أنظمة الطيرانات المحملة تتأثر بشكل كبير بالقوى الزلزالية الأفقية والرأسية (ولمزيد من التفاصيل انظر الفصل الثامن – البند 1.4.8).

ـ المبالغة في استخدام المباني ذات النحافه العاليه:

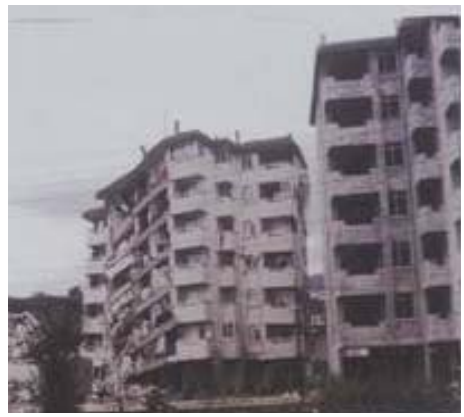
تصميم مبان بارتفاعات تزيد على 4 أو 5 اضعاف عرضها (مباني نحيفة) بدون الأخذ بعين الاعتبارات ضوابط هندسة الزلازل في مثل هذا النوع من المباني (انظر الشكل22.7) يؤدي الى ارتفاع قابلية اصابتها الزلزالية. ويشار إلى أن المباني النحيفة تتطلب تصميماً زلزالياً خاصاً ومتقدماً وتصنف عادة ضمن المباني البرجية.





العمود X يتعرض لقوى زلزالية مقدارها 8 أضعاف القوى الزلزالية التي يتعرض لها العمود 2X (Naeim 2001)

شكل(20.7): أضرار وانهيار الأعمدة القصيرة تحت تأثير قوى الزلازل (تقارير المعهد EERI)



انهيار الطيرانات زلزال تركيا 1999 (USGS 2000)

شكل(21.7) : استخدام الأنظمة الكابولية /الطيرانات و البلاكين المحملة في أنماط المباني الدارجة محلياً (المؤلف)

h/b>>4

If h/b<4 ok, but if h/b>4 not ok.

زلزال كوبي اليابان1995 انقلاب المبنى

شكل (22.7) : المباني النحيفة و أنماط المباني الدارجة محلياً (المؤلف وتقارير المعهد EERI)

عدم تأمين التماسك (الربط) اللازم لقطع الحجر مع الجدران الخرسانية الخارجية:

استخدام الحجر في البناء بدون تأمين ترابط وتماسك كافٍ بين الحجر والخرسانة، يُسهم بشكل كبير في ارتفاع قابلية الإصابة الزلزالية للمباني، فسماكة القطع الحجرية تساوي تقريبا 5 سم، ويكون سطحها الملامس للخرسانة في الغالب أملس (انظر الشكل 7 .23)، وبالتالي من المتوقع انفصال وتساقط العديد من قطع الحجر في هذا النظام، وخصوصاً في المباني العالية، وان كان تساقط القطع الحجرية لا يؤدي الى انهيار المبنى، لكون هذه القطع محمولة وليست حاملة، الا ان تساقطها سيؤدي الى زيادة اعداد الإصابات والخسائر بالأرواح، وخصوصاً أن كثيراً من الناس، لحظة حدوث الزلزال، سيكونون قرب المباني وذلك بسبب صغر عرض الشوارع والطرقات في كثير من المناطق، وقد أظهرت الزلازل التي حصلت في كثير من دول العالم ان 60% من الإصابات وحالات الوفاة تكون خارج المباني، وهذا يعود لتساقط المباني أو أجزاء منها على الناس الموجودين في الطرق والمناطق المحيطة بهذه المباني، وللاطلاع على الانهيارات الكلية أو الجزئية للجدران الخارجية انظر الشكل (24.7).

شكل(23.7): بناء الجدران الحجرية الخارجية وفقاً لأنماط المباني الدارجة محلياً (المؤلف)

شكل(24.7): تساقط قطع الجدران الخارجية بسبب تأثير الحركات الاهتزازية (تقاريرالمعهد EERI)

ـ الخلط في مفاهيم واليات عمل الانظمة الأنشائيه:

الخلط بين أنظمة الهياكل/الأطارات الخرسانية المسلحة والجدران المحمولة من جهه، وأنظمة الجدران الخرسانية الحجرية المستخدمة من جهه اخرى، فبعض المهندسين يصمم الجدران الخرسانية الخارجية على أنها محمولة والبعض الأخر يصممها على أنها حاملة، علماً انه يتم عادة تنفيذ هذه الجدران بنفس النمط والأسلوب وبغض النظر عن فرضيات التصميم التي اعتمدها المهندس.

ـ البناء فوق مبانٍ قائمة قديمة:

البناء فوق مباني قائمة قديمة واستخدام أنظمة إنشائية مختلفة (انظر الشكل 25.7)، فأنماط وأشكال اهتزازات المباني القديمة وترددها يختلف، بشكل كبير، عن المباني الخرسانية المسلحة الحديثة، وهذا بدوره سيؤدي لحصول اجهادات وقوى إضافية، وبالتالي زيادة قابلية الإصابة الزلزالية لهذه المباني.

شكل(25.7): البناء فوق مباني قديمة قائمة (المؤلف)

ـ عدم الالتزام بمتطلبات التصميم الزلزالي للعناصر غير الإنشائية:

تؤدي الأضرار والانهيارات التي تحدثها الزلازل في العناصر غير الإنشائية الى خسائر كبيرة في الأرواح والممتلكات، فانهيار أو تضرر القسامات وجدران الطوب والرخام والقطع الحجرية والعناصر المعمارية الكتلية والنوافذ والديكور والأثاث، يُسهم، بشكل كبير، في ارتفاع حجم الخسائر المادية، وكذلك في زيادة عدد الجرحى والوفيات، لذلك ركزت هندسة الزلازل على أهمية ربط هذه العناصر بما يتلاءم مع الحركات الاهتزازية التي قد يتعرض لها المبنى، ولمزيد من المعلومات حول طرق ربط العناصر غير الإنشائية من وجهة نظر هندسة الزلازل، سيتم خلال المحاضرات وجلسات النقاش عرض أمثلة توضيحية موثقة بالصور لأحداث ووقائع زلزالية يظهر من خلالها شكل الأضرار والانهيارات في العناصر الإنشائية في حالة تعرضها للزلازل.

نقاش: حول السلوك الزلزالي لجدران الطوب المستخدمة في أنماط المباني الدارجة محليا:

رغم التطور الكبير الذي طرأ على مواد البناء واستخداماتها المختلفة، وخصوصاً فيما يتعلق بالجدران المحمولة أو جدران القسامات بين الغرف، إلا أن استخدام الطوب الإسمنتي المفرغ لا يزال الوسيلة الرئيسية لتقسيم المساحات داخل الأبنية الى غرف وصالات وحمامات ومطابخ... وغيرها، وبطبيعة

الحال لا يقتصر استخدام هذا النوع من الطوب على المباني في فلسطين فقط، بل يستخدم كذلك في معظم الدول العربية، والمشكلة الحقيقية لا تكمن في الطوب نفسه، بل تكمن في طرق تصميم وتنفيذ الجدران التي يشكلها هذا النوع من الطوب، فهذه الجدران يتم اعتبارها، أثناء عمليات التصميم والتنفيذ، على أنها جدران محمولة (وذلك تحت تأثير جميع الأحمال الميتة والحية التي قد يتعرض لها المبنى)، ولا يؤخذ بعين الاعتبار تأثير القوى الزلزالية على هذه الجدران، فعدم تربيط قطع الطوب في هذه الجدران أو عدم تسليحها بشكل جزئي سيعرضها للانهيار تحت تأثير القوى الزلزالية، فجدران القسامات الداخلية الموجودة بين الأعمدة تُسهم في زيادة صلابة الهيكل الإنشائي للمبنى، وبالتالي تكون عرضة لقوى الضغط والشد الناتجة عن القوى الزلزالية، واستناداً الى أهداف التصميم الزلزالي للمباني (انظر البند 2.8 الفصل الثامن) من المتوقع حصول أضرار وانهيارات كلية و جزئية في معظم جدران الطوب المستخدمة وذلك في حالة "لا سمح الله" تعرضت المنطقة لزلازل مقدار درجتها 6 6.5 درجة حسب مقياس ريختر.

3.3.7 أخطاء تتعلق بتصميم وتنفيذ العناصر الإنشائية

يتأثر سلوك العناصر الإنشائية (الأعمدة والجسور والجدران الحاملة والأسقف والقواعد) بعدد من العوامل، أهمها: نوعية المواد المستخدمة، وأبعاد العنصر المستخدم، وشكل مقطع العنصر، بالإضافة الى طريقة ربط هذه العناصر مع بعضها بعضاً، وعموماً، يمكن إجمال أهم الأخطاء في تصميم وتنفيذ هذه العناصر في المباني الدارجه محليا والتي ستؤدي بدورها الى رفع قابلية الإصابة الزلزالية، بما يلي:

ـ وجود أخطاء تنفيذية في تربيط حديد التسليح وطرق صب الخرسانـــة:

وجود أخطاء تنفيذية في توزيع وتربيط وخط مسار حديد التسليح، وأخطاء في طرق صب الخرسانـــة وأخرى تتعلق بشاقولية ومحورية الأعمدة والجدران الحاملة، وهذا سيُسهم بكل تأكيد في زيادة قابلية الإصابة الزلزالية للمباني، (ولمزيد من المعلومات حول أهم الأخطاء في صب وأعداد العناصر الإنشائية انظر الفصل الرابع والفصل الخامس).

ـ عدم تأمين النوعية اللازمة للخرسانة:

عدم تأمين النوعية اللازمة للخرسانة وخصوصا" في العناصر الإنشائية، وغالباً ما يكون السبب الرئيس لضعف الخرسانة هو أخطاء في التنفيذ، وعدم ايناع وسقاية الخرسانة بعد صبها. أما في المباني القديمة فهناك عوامل الاهتراء والتآكل والصدأ التي تنتج عن عمر المبنى والظروف المحيطة، بالإضافة لعدم إجراء الصيانة الدورية اللازمة (أنـــظـــر الشكـــل 7. 26).

شكل (26.7): اهتراء و تفتت الخرسانة وصدأ حديد التسليح (المؤلف)

ـ عدم تأمين احاطة (Confinement) كافية للمناطق الحرجة:

عدم تأمين احاطة (Confinement) كافية للمناطق الحرجة، بمعنى عدم تزويد المناطق الخطرة بالتسليح العرضي (الكانات أو الأساور) الكافي، وعدم الاهتمام بشكل هذه الكانات وطريقة توزيعها، وخصوصا في مناطق المفاصل أو العقد (العقد هي مناطق تقاطع الأعمدة مع الجسور/ الكمرات)، وكذلك عدم تحقيق تفاصيل التسليح اللازمة، سيضعف من مقاومة العناصر الانشائية للقوى القاصة الزلزالية، وبالتالي سيؤثر بشكل واضح على السلوك الزلزالي للمبانى، ولمزيد من التفاصيل حول تفاصيل حديد التسليح في العناصر الإنشائية أنظر الفصل الخامس، فمثلاً لا يهتم الكثير من المقاولين، أو بعض المهندسين، بضرورة عكف الاسوارة بزاوية $^{\circ}135$ درجة بدل $^{\circ}90$ درجة (انظر الفصل الخامس البند 3.5)، وكذلك لا يوجد اهتمام بتكثيف وزيادة عدد هذه الكانات، وخصوصاً في أطراف الأعمدة والجسور ومنطقة تقاطعهما (انظر الشكل 7. 27) ، وذلك على اعتبار أن هذه المناطق هي مناطق حرجة وخطيرة، ووجود وتكثيف الكانات في هذه المناطق بالشكل والعدد الكافي يساهم بشكل كبير في استيعاب القوى الزلزالية وتحقيق الأمان للمبنى.

أمثله وإيضاحات ونقاش *حول أخطاء التصميم و التنفيذ*

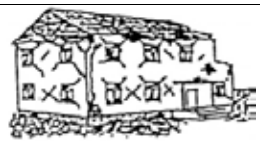
4.7 التقييم الزلزالي للمباني وقابلية الإصابة

تتأثر درجة انهيار أو إعطاب المباني تحت تأثير القوى الزلزالية بعدد من العوامل، وبدورها تصنف هذه الأضرار حسب المقياس الأوروبي EMS – 98 (European Macroseismic Scale- 98) إلـــى خمـــس درجات او فئات، ولأخذ فكرة عن درجات الأضرار في العناصر الإنشائية وغير الإنشائية وفقاً للمقياس EMS – 98 (انظر الشكل 7 . 28).

مشاهدات لأضرار و انهيارات للأعمدة بسبب نقص حديد التسليح العرضي (الأساور) و عدم عكف هذه الأساور بزاوية 135

انهيار المفصل (العقدة) بسبب نقص حديد التسليح العرضي وعدم وجود تشريك كافي لحديد تسليح الجسور مع الأعمدة

شكل (27.7) : أثر زيادة حديد التسليح العرضي في المناطق الحرجة (تقارير المعهد EERI)

تصنيف الانـهيار في المباني غير المسلحة Classification of damage to masonry building	
ضرر من الدرجة الأولى: (Damage of grade 1) ضرر مهمل إلى سطحي يمكن تجاهله . (لا أضرار في العناصر الإنشائية وبسيطة في العناصر غير الإنشائية) تشققات شعرية في عدد قليل من جدا من الجدران، سقوط قطع صغيرة من القصارة. في حالات نادرة تسقط الحجارة غير المثبتة (الضعيفة) من الأماكن العالية.	
ضرر من الدرجة الثانية: (Damage of grade 2 ضرر متوسط. (سطحي في العناصر الإنشائية ومتوسط في العناصر غير الإنشائية) تشققات في عدد من الجدران، سقوط قطع كبيرة من القصارة بشكل واضح، تدمير جزئي للمداخن فوق السطح.	
ضرر من الدرجة الثالثة: (Damage of grade3 الضرر كبير/شديد (متوسط في العناصر الإنشائية وقوي وشديد في العناصر غير الإنشائية) تشققات كبيرة ممتدة في معظم الجدران، يظهر انفصال بين السطح والجدران. تدمير كلي للمداخن فوق السطح. سقوط بعض العناصر غير الإنشائية غير المربوطة جيدا كالقواطع.	
ضرر من الدرجة الرابعة: (Damage of grade 4) ضرر شديد جدا. (شديد في العناصر الإنشائية وشديد جدا في العناصر غير الإنشائية) سقوط خطير للجدران، سقوط جزئي للعناصر غير الإنشائية من أسقف وبلاطات.	
ضرر من الدرجة الخامسة: (Damage of grade 5) انهيار وهدم. (انهيار شديد جدا في العناصر الإنشائية) سقوط و انهيار كلي أو قريب من الكلي.	

تنويه: في حالة المباني الخرسانية المسلحة إضافة لما ذكر في الجدول أعلاه:

درجة(2): تظهر تشققات بسيطة في الأعمدة والجسور و الجدران الحاملة، وتشققات وأضرار متوسطة في العناصر غير الإنشائية.

درجة(3): التشققات تكون واضحة في العناصر الإنشائية وخصوصا في أطراف الأعمدة والجسور ولمعات الجدران الحاملة، أما في العناصر غير الإنشائية فتكون الأضرار كبيرة كوجود تصدعات في جدران الطوب

شكل (28.7) : درجات أضرار و انـهيارات المباني وفقاً للمقياس الأوروبي EMS-98
(European Macroseismic Scale- 98)

أمثله ونقاش *حول درجات الأضرار في العناصر الإنشائية وغير الإنشائية، وسيتخلل الامثلة استعراض صور لاضرار وانهيارات حقيقية في المباني، وذلك نتيجة تعرض هذه المباني للزلازل أو العواصف أو الاعمال الحربية.*

تعتمد فلسفة تخفيف المخاطر الزلزالية على اتخاذ عدد من الإجراءات وتنفيذها قبل حصول الزلازل وأثناءه وبعده، ويعتبر التقييم الزلزالي للمنشآت القائمة من أهم نتائج السيناريوهات الزلزالية التي يتم إجراؤها على المدن، أو على أحياء مختارة في هذه المدن، وتكمن أهمية إجراء هذا النوع من الدراسات في إعطاء المختصين وصنّاع القرار تقديرات تقريبية للخسائر المتوقعة، وبالتالي اتخاذ الإجراءات اللازمة على كافة المستويات للتخفيف من المخاطر، وذلك من خلال وضع خطط وطنية لتطوير الجاهزية على المدى الزمني القصير والمتوسط والبعيد.

1.4.7 الاستطلاع الميداني وقابلية الإصابة الزلزالية للمباني

تهدف دراسات الاستطلاع الميداني لقابلية الإصابة الزلزالية التي أجراها المؤلف(الدبيك 2000 و2003E و 2007) الى تقييم سلوك المباني والمنشآت تحت تأثير الزلازل، ويتم تحديد مستويات هذا التعرض عن طريق تصنيف المباني إلى فئات قابلية الإصابة (Vulnerability Classes)، ويعتمد هذا الأسلوب في تصنيف المباني على نوع النظام الإنشائي للمبنى باعتباره العامل الرئيس، وعلى تحديد قابلية الإصابة لكل عنصر او نمط من الأنماط الإنشائية والمعمارية التي تم توضيحها في البند الثالث من هذا الفصل، ومن ثم تحديد قابلية الإصابة الزلزالية للمبنى ككل وذلك استناداً الى المعايير العالمية، مثل المقياس الأوروبي EMS-98 والمقياس الأمريكي الذي توفره الوكالة الأمريكية FEMA. ويمكن الاستفادة من هذه الدراسة باعتبار نتائجها تصلح لأن تستخدم كمؤشر للمناطق أو المدن الأخرى، التي تتشابه في النمط والموقع والزلزالية مع المنطقة أو المناطق التي تم استطلاعها ميدانياً. وقد تضمنت الدراسة الميدانية استطلاع منطقة أو أكثر في المدن التي شملتها الدراسة وهي: القدس، ونابلس، و رام الله، وبيت لحم، والخليل، وجنين، وطولكرم، وقلقيلية، وعموماً يندرج حجم العينات التي تم استخدامها في المدينة الواحدة ضمن ما يسمى دراسة عينات متوسطة العدد، وقد تم التركيز، في هذه الدراسة، على الأنماط الإنشائية والمعمارية التي تتعارض مع متطلبات المباني المقاومة

للزلازل (في حالة تم استخدام طرق التصميم العادية وليس الخاصة). وتعتمد قابلية الإصابة الزلزالية للمباني، بالدرجة الأولى، على نوع الأنظمة الإنشائية المستخدمة في هذه المباني وطبيعتها، فاستنادا" الى الأحداث الزلزالية وعدد من المراجع العلمية المختصة (EMS-98, EERI reports, EERI 94) فان المباني والمنشآت المنتظمة (Regular Buildings)، وان لم تصمم للزلازل، فان قابلية إصابتها الزلزالية من المتوقع ان تكون كما يلي:

- المباني القديمة من الجدران الحجرية الحاملة غير المسلحة قابلية إصابتها الزلزالية تقدر بالفئة B.
- المباني الخرسانية الهيكلية(Reinforced concrete frame buildings) والمباني الهيكلية المكتفه (Braced buildings) قابلية إصابتها تقدر بالفئة C، فبالنسبة لمعظم أنماط المباني المستخدمة حاليا في فلسطين، والتي تتشكل أنظمتها الإنشائية من أعمدة وجسور ويتخلل جدرانها الخارجية طبقة من الخرسانة مكسوه بالقطع الحجرية يمكن تصنيفها من هذه الفئة.
- مباني الجدران الخرسانية المسلحة قابلية إصابتها الزلزالية تقدر بالفئة D (والمقصود بهذا النوع من المباني، المباني المزودة بجدران خرسانية مسلحة تسمى جدران القص Shear walls موزعة بشكل متماثل).

ويُشار الى ان فئات قابلية الاصابة حسب المقياس الاوروبي EMS-98، هي: A و B و C و E و F، حيث A تمثل فئة أعلى قابلية اصابة في حين تمثل F فئة أقل قابلية اصابة.

وللاطلاع على نتائج دراسات قابلية الاصابة الزلزالية لانماط المباني الدارجة محلياً انظر الجدول (1.7)، ومن خلال المعلومات الموجودة في الجدول، يلاحظ ان قابلية الإصابة الزلزالية لأنماط المباني الدارجة محليا مرتفعة، فمعظم المباني التي تم استطلاعها تراوحت قابلية إصابتها بين الفئة A و B والقليل منها من الفئة C، في حين كانت المباني من الفئة D محدودة جدا"، وهذا يعود لطبيعة المباني ونوعيتها، وللمنهجية والطريقة المستخدمة ولخبرة المقيم، وكذلك اظهر التقييم انه لا يوجد فئات من نوع F وE في المباني التي تم استطلاعها، وذلك لكون هذه الفئات خاصة بأنماط وتصاميم إنشائية زلزالية غير موجودة أصلا" في مباني المناطق المدروسة ، وعموما" يتوقع بأن يكون وجود هذه الفئات في المباني في فلسطين محدوداً جدا".

وبالاستناد إلى أهم العوامل التي تؤثر على الشدة الزلزالية لخريطة التسارع الأرضي الزلزالي وتاريخ الزلازل، ومواقع المدن، وبعدها عن المراكز السطحية للزلازل المتوقعة، تم تحديد درجة الشدة الزلزالية المتوقعة لمعظم المدن الفلسطينية، فبناءً على الأحداث الزلزالية التي تعرضت لها المنطقة سابقا" يتوقع أن تتعرض العديد من المدن الفلسطينية "لاسمح الله" لشدة زلزالية تتراوح بين 7 الى 8 درجات، في حين يمكن أن تتعرض مناطق أو أحياء بعض المدن كأريحا ونابلس وصفد الى شدة زلزالية تتراوح بين 8 – 9 درجات. وبناءً على نتائج قابلية الإصابة للمباني وللعلاقة بينها وبين كل من الشدة الزلزالية ودرجات الأضرار والانهيارات، تم ايجاد درجات الأضرار والانهيارات المحتملة في بعض المدن الفلسطينية أنظر الجدول (2.7)، ويُشار الى أن درجة الشدة الزلزالية تختلف

جدول(7-1) فئات قابلية الإصابة الزلزالية المتوقعة لأنماط المباني الدارجة في بعض المدن الفلسطينية (الدبيك 2007)

المدينة	قابلية الإصابة				عدد المباني التي تم استطلاعها
	D	C	B	A	
نابلس	3%	17%	41%	39%	820
رام الله والقدس	7%	22%	39%	32%	120
الخليل	0%	26%	31%	43%	120
جنين	0%	12%	43%	45%	100
قلقيلية	0%	21%	45%	34%	100
طولكرم	3%	19%	37%	41%	80
بيت لحم	0%	19%	39%	42%	100

جدول (7-2) درجات الأضرار والانهيارات المحتملة في بعض المناطق في المدن الفلسطينية (الدبيك2007)

المدينة	شدة زلزالية: 7 درجات			شدة زلزالية: 8 درجات			شدة زلزالية: 9 درجات		
	درجـــات الأضـــرار								
	5	4	3	5	4	3	5	4	3
نابلس				5.9%	21%	18%	15.6 %	23%	15%
رام الله والقدس				4.8%	19%	19%			
الخليل	-			6.5%	22%	17%			
جنين				6.75 %	24%	19%			
قلقيلية		5.1%	20%	5.1%	20%	21%			
طولكرم		6.15 %	22%	6.15 %	22%	18%			
بيت لحم				6.3%	23%	19%			

تنويه: جدول مقياس الشدة يتكون من 12 درجة، درجات الشدة المذكورة أعلاه لا تمثل مقياس ريختر، يشار إلـــى أن مقياس ريختر يستخدم للتعبير عن مقدار أو قوة الزلزال ودرجته القصوى 9 درجات، وأن سمي بالمقياس المفتوح.

عن درجة مقدار الزلزال حسب مقياس ريختر، وللمقارنة بين المقياسين انظر الفـصل الاول البنـد 8.1 والى الجداول (1.1) و (2.1).

2.4.7 قابلية الاصابة الزلزالية لأنماط المباني الدارجه في فلسطين

بَرهنت نتائج دراسات قابلية الإصابة للمناطق التي تعرضت لهزات أرضية إلى وجود علاقة واضحة بين كل من نوع المباني ونمطها وفئات قابلية الإصابة، وبنفس الوقت تتأثر درجة الأضرار و الانهيار في المباني بالشدة الزلزالية وبفئات قابلية الإصابة. ومن خلال الاستطلاع الميداني لتجمعات سكنية في كل من القدس ونابلس، ورام الله، وجنين، وطولكرم، وقلقيلية، وبيت لحم، والخليل تبين أن المدن الفلسطينية، بشكل عام، وبسبب طبيعية وأنواع أنماط المباني المستخدمة، قد تتعرض " لا سمح الله" إلى خسائر كبيرة نتيجة للأضرار والانهيارات الكلية والجزئية (أضرار وانهيارات من الدرجة 3 و 4 و5) والتي قد تحدث للمباني في حالة تعرضها لزلازل قوية أو قوية نسبيا"، وهذه النسبة بلا شك تعتبر كبيرة، إضافة الى أن هناك احتمالاً كبيراً بأن تتعرض العديد من الطرق الى الإغلاق والإعاقة، وبالتالي أحداث إعاقة و إرباك في عمليات الإنقاذ وإسناد الطوارئ.

لذلك يجب العمل بالسرعة الممكنة على الالتزام بمعايير وضوابط ومواصفات المباني المقاومة للزلازل اثناء عمليات تصميم وتنفيذ المنشآت الجديدة، وكذلك تأهيل المباني القائمة زلزالياً من خلال اعتماد خطة وطنية شاملة يمكن تنفيذها على مراحل، بالإضافة الى ضرورة اعتماد سياسة وطنية لاستخدامات الأراضي وذلك لتجنب أو لتخفيف مخاطر الانزلاقات الأرضية وتميؤ التربة والتضخيم الزلزالي.

أمثله وتطبيقات:

تتضمن الامثله والتطبيقات، حالات دراسية ونتائج تقارير لأحداث ووقائع زلزاليه موثقة بالرسومات التوضيحية وبالصور وأفلام الفيديو القصيرة.

الفصل الثامن

تصميم المباني لمقاومة أفعال الزلازل

8. 1 مقدمة

أظهرت الاستطلاعات الميدانية التي أجريت على المباني والبنى التحتية في فلسطين ومعظم الدول العربية، أن العديد من هذه المنشآت لا يتضمن تحقيق الحد الأدنى المطلوب لمقاومة الزلازل المحتملة، وهذا بدوره سيؤدي إلى حدوث أضرار وانهيارات ملحوظة في العديد من المباني في حالة "لا سمح الله" تعرضت هذه المناطق لزلازل معتدلة أو قوية نسبياً (حصول زلازل تتراوح قوتها القصوى بين 6 - 6.5 درجة حسب مقياس ر يختر). وعلى المستوى الفلسطيني، فان هذه الدرجة من الزلازل، إضافة لما ستحدثه من أضرار وانهيارات كلية وجزئية في العديد من المباني، فان الكثير منها سيتعرض لأضرار وانهيارات في العناصر المحمولة كجدران الطوب والديكور والرخام، بالإضافة لاحتمال حصول تساقط واضح لقطع الحجر في الجدران الخارجية، وما يترتب عن ذلك من إعاقة وخسائر في الأرواح، وهذا بدوره سيساهم، بشكل كبير، في رفع حجم الخسائر في الأرواح والممتلكات. فبالنسبة لأنماط المباني الدارجة في فلسطين، وفي كثير من الدول العربية، فان العديد منها، قد تم تصميمها وتنفيذها وفقاً لمفاهيم الهندسة الدارجة، فلا يزال العديد من المهندسين، ولغاية الآن، يصممون وينفذون المباني لتقاوم الأحمال الرأسية فقط، بمعنى أن تحمل هذه المباني نفسها وما عليها من أحمال، دون الآخذ بعين الاعتبار للقوى التي قد تحدثها الزلازل، علماً أن جميع كودات البناء والمواصفات الموجودة في العالم في الوقت (الحاضر) تعتبر التصميم الزلزالي للمنشآت متطلباً إجبارياً يجب الالتزام به.

ويُشار إلى أن الأحمال أو القوى الرأسية التي تنتج عن وزن المبنى وما عليه من أحمال، هي عبارة عن:

- *الأحمال الميتة/أو الدائمة، كأوزان العناصر التي يتكون منها المبنى، بالاضافة إلى جميع محتويات المبنى الثابتة في مكانها.*
- والأحمال الحية/غير الدائمة ، كوزن *الأشخاص أو أية أوزان غير ثابتة.*

وحيث إن المشكلة الحقيقية لا تكمن في الزلزال نفسه، "فالزلزال لا يقتل، وما يفعل ذلك هو المباني أو الحرائق والانزلاقات التي تثيرها الزلازل"، بل تكمن في عدم جاهزيتنا، فالعديد من المباني والبنى التحتيه لا تتوافر فيها متطلبات الحد الأدنى للمباني المقاومة للزلازل وكذلك عدم وجود إدارة فعالة

لإدارة الكوارث وإسناد الطوارئ، بالإضافة إلى عدم معرفة الإنسان الفلسطيني لمفاهيم وإجراءات التهيئة والاستعداد للكوارث (الدبيك 2007 الزلازل وجاهزيتنا).

وللمساهمة في معالجة الوضع القائم، وبهدف التخفيف من مخاطر الزلازل، بادر المؤلف منذ سنوات ومن خلال إدارته لمركز علوم الأرض وهندسة الزلازل في جامعة النجاح الوطنية إلى وضع البرامج والخطط على كافة المستويات، ولجميع التخصصات ذات العلاقة، ابتداء من المواطن العادي، ومروراً بالمختصين، ووصولا الى صنّاع القرار، فقد تم إصدار نشرات توعية وارشاد للمواطنين وأخرى علمية للمهندسين، وبوشر كذلك بعمل دورات هندسية "التصميم الزلزالي للمباني" في معظم المحافظات الفلسطينية، وذلك وفق خطة وتنسيق كاملين مع نقابة المهندسين، إضافة الى إقامة عشرات المحاضرات والندوات وورشات العمل والحلقات العلمية، ولتعبئة وتثقيف المواطنين بكيفية تخفيف المخاطر الزلزالية أستخدمت وسائل الإعلام كالصحف والمجلات والإذاعات ومحطات التلفاز المختلفة. ولأهمية دور الشباب الفلسطيني في التغيير تم اعتماد مقررات اختيارية جديدة لجميع الكليات، مقرر "الزلازل وتخفيف مخاطرها"، ومقرر "إدارة الكوارث وإسناد الطوارئ"، إضافة الى اعتماد تدريس مقررات هندسية متخصصة بالتصميم الزلزالي والتخطيط لاستخدامات الأراضي لطلبة البكالوريوس والماجستير في كلية الهندسة في جامعة النجاح الوطنية. ومن ناحية أخرى بوشر في إجراء الدراسات الزلزالية للمنطقة، إضافة إلى البدء في دراسة بعض المعايير الديناميكية لأنماط المباني الدارجة محلياً، وتم إجراء دراسات ميدانية لتحديد فئات قابلية الإصابة الزلزالية لهذه المباني (انظر الفصل السابع).

ولأهمية القوانين والتشريعات، تم تزويد المؤسسات التشريعية والوزارات والمؤسسات الحكومية وغير الحكومية ذات العلاقة بتقارير علمية حول زلزالية المنطقة وقابلية إصابة المباني ومنشآت البنى التحتيه في فلسطين في حالة تعرضها للزلازل. وبهدف تجميع طاقات الوزارات والمؤسسات الحكومية وغير الحكومية ذات العلاقة بتخفيف مخاطر الكوارث، وكخطوة على طريق العمل المشترك بين هذه الجهات، بادر المؤلف من خلال مركز علوم الأرض وهندسة الزلازل إلى إجراء دورات تدريبية وورشات عمل في موضوع "ادارة الكوارث وإسناد الطوارئ" في عدد من محافظات الضفة الغربية ، وقد شاركت فيها معظم الوزارات والمؤسسات الحكومية وغير الحكومية ذات العلاقة.

2.8 هدف طرق تصميم المنشآت لمقاومة أفعال الزلازل

يعتقد الكثير من المواطنين أن التصميم والتنفيذ الزلزالي للمباني شئ صعب وتكلفته المالية عالية جداً، وهذا غير صحيح، فالتصميم الزلزالي له عدة مستويات من الأمان والدقة، فبالنسبة للمباني العادية قد تزداد تكلفة المبنى بسبب التصميم والتنفيذ الزلزالي بنسبة ثلاثة الى خمسة في المائة فقط كحد أقصى، وإذا كان المبنى بسيطاً ومنتظماً، أي إذا كان متماثلاً في الشكل والكتل، وفي توزيع الأعمدة والجدران

في كل من مساقطه الأفقية والرأسية، فان ذلك سيُسهم بشكل كبير في مقاومته للزلازل، وان لم يصمم لذلك.

ومن جهة اخرى، أظهرت الاستطلاعات التي أجراها مركز علوم الأرض وهندسة الزلازل في جامعة النجاح، أن غالبية الناس، ومعهم بعض المهندسين، يعتقدون أن المنشآت المقاومة للزلازل هي التي تصمد أمام الحركات الاهتزازية الزلزالية دون أن تتعرض لاي نوع من الأضرار، وبغض النظر عن قوة وشدة تأثير هذه الزلازل، وهذا بلا شك اعتقاد خاطئ، فالمبنى المثالي بالمعنى المطلق يمثل طموحاً بالنسبة للمختصين والباحثين، وهناك دراسات وأفكار خلاقة لأنظمة إنشائية متطورة توصلت لها العديد من مراكز البحث العلمي وتسعى لتطبيقها بشكل عملي على المباني خلال السنوات القادمة، وعلى كل حال للتصميم الزلزالي عدة مستويات من الأمان، فالتصميم الزلزالي العادي يسمح عادة بحصول أضرار، ويستخدم هذا النوع من التصميم في المباني العادية، ويعتبر غير مكلف مالياً، اما المباني والمنشآت الهامة فتصمم من خلال استخدام طرق التصميم والتنفيذ المتقدمة، وذلك لتخفيف الأضرار لأقصى حد ممكن، وعادة ينتج عن هذا النوع من التصميم زيادة واضحة في التكلفة.

وعموماً تهدف طرق التصميم العادية للمنشآت المقاومة لافعال الزلازل والمعتمدة في معظم الدول الى ضمان تحقيق ما يلي:

أ ــ عدم حدوث أي نوع من الاضرار، سواء في العناصر الانشائية أو غير الإنشائية، في حالة تعرض المنشآت لهزات ارضية ضعيفة (أقل من خمس درجات حسب مقياس ريختر)، فمثلاً: اذ تعرضت منطقة لزلزال وكانت قوته (مقداره) 4.5 درجة حسب مقياس ريختر، فيجب في هذه عدم حصول تشوهات أو تشققات أو أي نوع من الاضرار في جميع عناصر المبانى (العناصرالانشائية وغير الإنشائية) انظر الشكل (1.8)، وفي حالة حصول اضرار يمكن محاسبة المسؤول عن تصميم أو/ و تنفيذ المبنى.

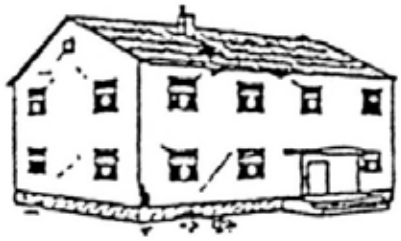
ب ــ حصول تشوهات واضرار قابلة للاصلاح في العناصر غير الانشائية في حالة تعرض المنشآت لهزات ارضية متوسطة او معتدلة (5 – 6 درجة حسب مقياس ريختر)، وبعض الكودات الزلزالية تصنف الزلازل متوسطة المقدار بالزلازل التي يتراوح مقدار درجتها حسب مقياس ريختر بين 5.5 – 6.5 .

فمثلاً في حالة حصول زلزال درجته 5.8 ، حسب مقياس ريختر، يسمح بحصول اضرار وتشوهات في العناصر غير الانشائية مثل: الجدران والعناصر المحمولة، كجدران الطوب والجبس والرخام... وغيرها. ففي حالة "لاسمح الله" تعرضت المنطقة لزلزال قوته 6 – 6.5 درجة حسب مقياس ريختر، وكان مركزه شمال البحر الميت، فمن المتوقع أن تتعرض معظم جدران الطوب

زلزال ضعيف

- حصول زلزال أقل من خمسة درجات حسب مقياس ريختر
- الأضرار مهملة

زلزال متوسط- معتدل



- حصول زلزال تتراوح قوته ما بين 5 الى 6 (أو 6.5) درجات حسب مقياس ريختر

تشققات وأضرار متوسطة كبيره في العناصر غير الإنشائية. وتشققات بسيطة جداً في عدد من الجسور.

زلزال قوي

- حصول زلزال تتراوح قوته ما بين 6.5 – 7.5 درجة حسب مقياس ريختر
- تشققات وتصدعات كبيرة في معظم الجدران المحمولة كجدران الطوب. وتساقط معظم العناصر غير الإنشائية كالقواطع. وتشققات وتصدعات متوسطه إلى كبيرة في العناصر الإنشائية وخصوصا في أطراف الأعمدة والجسور ولمعات الجدران

زلزال قوي جداً / عنيف

حصول زلزال قوته أكبر من 7.5 درجة حسب مقياس ريختر

الأضرار كبيرة في العناصر الإنشائية وكبيرة جدا في العناصر غير الإنشائية.

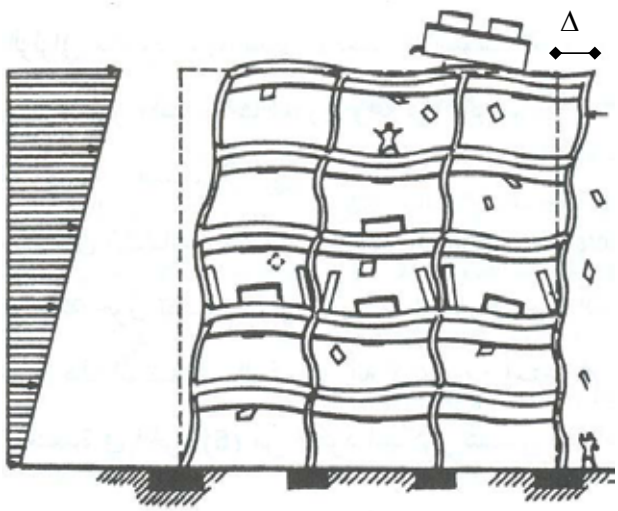
شكل(1.8) : تصنيف الأضرار و الانهيارات فى المبانى وفقاً لدرجة قوة الزلزال (المؤلف)

الموجودة في المنطقة الممتدة من بيت لحم إلى مدينة نابلس لاضرار كبيرة وسيتعرض بعض هذه الجدران للانهيار الكلي.

ج ـ يسمح بحدوث اضرار في العناصر الانشائية وغير الانشائية اذا تعرضت المنشآت لهزات ارضية قوية (حصول زلازل يتراوح مقدارها بين 6.5 و7.5 درجة حسب مقياس ريختر)، ففي هذه الحالة يسمح بحصول اضرار وانهيارات كبيرة في العناصر غير الإنشائية، وبحصول اضرار واضحة في العناصر الانشائية وخصوصاً في الجسور.

ويُشار إلى أن بعض المواصفات تصنف الزلازل التي تكون درجتها اكبر من 7.5 درجة حسب مقياس ريختر بالزلازل العنيفة او القوية جداً، وفي هذا النوع من الزلازل يسمح بحصول أي نوع من الاضرار، ولكن بشرط عدم حصول انهيار كلي للمنشآ، بمعنى يجب بقاء هياكل المنشآت مترابطة. وهذا لا يمكن تحقيقه إلا من خلال تزويد المنشآت بمقدرة عالية على التشوهات، وعليه فإن المهندس الإنشائي يسعى عند تصميم المنشآت لمقاومة أفعال الزلازل، لتشكيل أنظمة إنشائية قادرة على فقد الطاقة الحركية وذلك من خلال ما توفره هذه المنشآت من مقدرة عالية لتشكيل تشوهات (انظر الشكل 8. 2)، أي السماح بحصول حركات للمنشآت مع ضرورة أن تتناسب مقدار هذه الحركات مع قوة وشدة تأثير الزلازل التي تتعرض لها، وبالتالي إمكانية تعرض المباني لأضرار طفيفة في حالة حصول زلازل متوسطة القوة، أو تعرضها لأضرار كبيرة أو انهيارات محدودة وخصوصاً في العناصر غير الإنشائية في حالة حصول زلازل قوية.

ومما لا شك فيه، فإن هناك بعض المساوئ للتصميم الزلزالي العادي/ أو التقليدي، فقد تؤدي الأضرار المسموح بحصولها وفقاً لهذا النوع من التصميم في حصول خسائر بشرية، بالإضافة الى خسائر مادية كبيرة نتيجة لارتفاع تكاليف إصلاح هذه الأضرار، وأحيانا قد لا تسمح طبيعة استخدام المبنى لمثل هذا النوع من الأضرار، ومن اجل ذلك عملت مراكز ومعاهد هندسة الزلازل على تطوير أنظمة إنشائية، يتم، من خلالها، فقد الطاقة الزلزالية من خلال فصل المنشأ عن تربة التأسيس، وذلك عن طريق ما يسمى بأنظمة العزل الزلزالي (Seismic Isolation Systems)، حيث تعمل المواد المستخدمة في هذه الأنظمة على فقد معظم الطاقة الحركية الزلزالية عند مستوى الأساسات، وتمنع انتقالها للمبنى (انظر الشكل 8. 3). ويتوافر حالياً، في عدد من دول العالم، عدد من وسائل ومواد العزل الزلزالية، ومن الطرق التي يتم استخدامها لسهولة تنفيذها وإمكانية توفير موادها: وضع طبقات من صفائح لها مقدرة على الصمود أمام التشوهات المرنة واللدنة دون أن تنهار، واستعملت لهذا الغرض، بشكل واسع، صفائح "النيوبرين المسلح"، ويمكن وضع أنوية او صفائح من الرصاص بين هذه الطبقات وذلك لرفع كفاءة فقد الطاقة (السماره 2006).



Δ ازاحات /أو تشوهات جانبية

شكل (2.8) : منشأ مبنى عادي مقاوم للزلازل (السمارة 2006)

شكل (3.8) : منشأ معزول زلزالياً (السمارة 2006)

ومن المتوقع قريباً، أن تصبح طرق العزل الزلزالي البديل الأنسب للأسلوب القديم، وخاصة في المنشآت الهامة، كمحطات الطاقة والكهرباء، والمستشفيات، والجسور، والمفاعلات النووية، ومباني الدفاع المدني وغيرها، علماً أن كودات البناء الزلزالي لا تزال مبنية على الفلسفة القديمة للتصميم الزلزالي، ولمقارنة سلوك المباني باستخدام النظامين انظر الأشكال (8. 2) و (8. 3)، حيث يلاحظ

بكل وضوح ان استخدام أنظمة العزل الزلزالي تخفف بشكل كبير جداً من تشوهات المبنى وبالتالي الحد من الأضرار.

ومن المعروف أن الكثير من الناس لديهم معرفة بفكرة العزل الزلزالي، وذلك من خلال قولهم إن المباني في اليابان تبنى على زمبركات او عجلات"، وهذا بلا شك تمثيل تبسيطي لآلية عمل العزل الزلزالي الذي بوشر في استخدامه قبل أكثر من ثلاثة عقود من الزمن وتطور بشكل كبير خلال العقد الماضي.

3.8 معايير التصميم الزلزالي للمنشآت

يعتقد الكثير من الناس، أن زيادة كميات الاسمنت وحديد التسليح الطولي في عملية إنشاء المباني تعتبر العامل الرئيس للحصول على مباني مقاومة للزلازل، وهذا بطبيعة الحال غير صحيح، ويعتقد آخرون أن الحصول على المباني المقاومة للزلازل يرتبط فقط بالقواعد والأساسات، فحسب رأيهم إنشاء أساسات قوية يضمن السلوك الزلزالي للمباني، وأحياناً يذهب البعض الى الاعتقاد بأن مقاومة المباني للزلازل لا يمكن تحقيقه إلا من خلال تزويد هذه المباني بزنبركات أو عجلات أسفل أساساتها. ومن الغريب أن بعض المهندسين يشاركون كلياً أو جزئياً الإنسان العادي في الرأي المذكور أعلاه، وخصوصاً مجموعة المهندسين التي تعتمد فلسفة التصميم والتنفيذ الدارج، وهي نفس المجموعة التي لا تلتزم بتحقيق متطلبات الحد الادنى للمباني المقاومة للزلازل، بمعنى انهم يصممون وينفذون المباني كي تقاوم الأحمال الرأسية (الأحمال الميتة والحية) فقط، أي أن تحمل هذه المباني نفسها وما بداخلها من أحمال.

وفي الفصل السابع من هذا الكتاب، تم الاطلاع على أهم متطلبات التشكيل المعماري والإنشائي للمباني المقاومة للزلازل، بالإضافة لتسليط الضوء على العديد من أخطاء وأنماط البناء التي ترفع قابلية الإصابة الزلزالية للمباني. وبطبيعة الحال وبغض النظر عن طرق التصميم الزلزالي المستخدمة (انظر طرق التحليل والتصميم الموضحة في البند 4.8)، ويمكن اجمال أهم المعايير والضوابط التي يستند إليها المهندس المصمم، بما يلي:

أ ــ المقاومة

تُسهم مقاومة العناصر الإنشائية (الأعمدة والجسور والأسقف والجدران الحاملة والاساسات..الخ) والمواد التي تتشكل منها هذه العناصر في تحسين السلوك الزلزالي للمباني، وفي الفصل الرابع تم إيضاح كيفية الحصول على نوعية عالية للخرسانة، وكذلك توضيح ماذا تعني مقاومة الخرسانة، أما في العناصر الخرسانية المسلحة فيشارك حديد التسليح في مقاومة هذه العناصر، وعموماً تعرف

المقاومة او الإجهاد على أنها مقدار مقاومة او تحمل السنتمتر المربع (أو المليمتر المربع) الواحد، وعادة يستخدم وحدة قياس كغم/ سم^2 أو غيرها من وحدات القوة المقسومة على وحدات المساحة.

مثال 1.8: جد مقاومة مكعب من الخرسانة أبعاده 10 ×10 ×10سم اذا علمت ان المكعب قد تحمل عند كسره 27 طن

$$\text{مقاومة الخرسانة} = \frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}} = \frac{27000 \text{ كغم}}{10 \times 10 \text{سم}} = 270 \text{ كغم/ سم}^2$$

وبطبيعة الحال، عند حساب مقاومة السنتمتر المربع الواحد من عمود الخرسانة المسلحة، فان هذه المقاومة تتأثر سلبياً بارتفاع العمود وايجابياً بحديد التسليح، وعموماً تزداد قدرة العناصر الإنشائية على التحمل بزيادة أبعاد/او مقاسات مقاطعها.

ب ــ الصلابة أو الجساءة

حتى نتمكن من فهم معنى الصلابة او الجساءة (Rigidity or Stiffness)، ولمعرفة مدى أهمية هذا المعامل/ المعيار في تحسين السلوك الزلزالي، لابد من الاستعانة ببعض الأمثلة والنماذج التوضيحية التي يتم استخدامها أثناء تدريس المقرر.

مثال 2.8: ما الفرق بين مقاومة العنصر وصلابته؟ (افترض أن العنصر هو عمود أوجسر) وهل مقاومة العمود للقوى الرأسية الناتجة عن الأحمال الميتة والحية تعتبر كافية لتأمين المقاومة والصلابة اللازمتين لتعامل هذا العمود مع القوى الأفقية الزلزالية؟

وللإجابة عن هذه الأسئلة انظر الشكل (4.8)، فتعرض العمود لقوى أفقية باتجاه المحور Y (باتجاه الضلع القصير في العمود) يختلف عن تعرضه لنفس القوة ولكن في الاتجاه X، وذلك لان صلابة العمود غير متساوية بالاتجاهين، وكذلك اذا تعرضت الجسور الموضحة في الشكل (5.8) لنفس الأحمال، فان انحناء وتحدب الجسر (1) سيكون اكبر من تحدب الجسر (2) رغم أن هذه الجسور متساوية في ابعاد مقاطعها وأطوالها والمواد التي تتشكل منها، وكذلك بطريقة تحميلها، والسبب الوحيد لاختلاف مقدار التحدب او الهبوط بين الجسرين هو أن ارتفاع الجسر (2) يساوي 60سم وعرضه 25سم، في حين ارتفاع الجسر (1) يساوي 25 وعرضه 60سم، بمعنى آخر أدى هذا الفرق إلى اختلاف صلابة الجسر (1) عن صلابة الجسر (2)، ولتوضيح أهمية ودور الصلابة في تأمين الاستقرار اللازم للمنشآت سيتم خلال المحاضرة الاستعانة بعدد من الوسائل والنماذج الإيضاحية.

مثال 3.8: انظر إلى الأوضاع المختلفة للورقة الموضحة في الشكل (8 .6)، ففي الوقت الذي لم تحمل الورقة نفسها كما هو موضح في الشكل (8 . 6– أ) نرى أنها في الشكل (8 . 6– ج) تمكنت من حمل

نفسها بالإضافة إلى أوزان إضافية اكبر من وزنها بعشرات الأضعاف، فإذا أجرينا مقارنة بين وضع الورقة في الشكل (8 . 6ــ أ) والشكل (8 . 6ــ ج) نلاحظ ان الفرق الوحيد يعود لشكل مقطع الورقة الذي تم احداثه، فهذا التشكيل يؤدي الى تحسين عزم القصور الذاتي (أو عزم العطالة) لمقطع الورقة، وبالتالي تحسين الصلابة التي تتحكم بسلوكها.

مثال 4.8: بالنسبة لوضع الورقة الموضح في الشكل (8 . 6– ج) وضح ماذا يمكن ان يحصل في الحالات التالية:

1 ــ اذا تم استبدال الورقة بصفيحة من الحديد لها نفس التشكيل والأبعاد والمقاسات؟

الجواب: ستزداد مقدرتها على التحمل، وذلك بسبب زيادة صلابتها، لان العلاقة بين تحسين نوعية المادة والصلابة علاقة طردية.

2 ــ إذا تم استبدالها بورقة طولها 60 سم بدل 30 سم ولها نفس المواصفات ونفس شكل المقطع؟

الجواب: زيادة الطول سيؤدي الى إضعاف مقدرتها على التحمل، وذلك بسبب التأثير السلبي لطول العنصر على الصلابة، بمعنى كلما زاد طول العنصر (الجسر، العمود.. الخ) تقل صلابته، فالعلاقة عكسية بين الصلابة وطول العنصر.

ولأخذ فكرة عن العوامل التي تتحكم بصلابة العناصر الإنشائية الطولية (مثل صلابة الأعمدة والجسور) سنستعرض العلاقة الهندسية التالية:

$$K = n\frac{EI}{L^3} \qquad (1.8)$$

حيث:

K: معامل الصلابة.

E: مؤشر/ أو معامل نوعية المادة ويسمى علمياً بمعايير المرونة.

I: معامل يعتمد على شكل واتجاه عمل مقطع العنصر، وهذا المعامل معروف علمياً باسم عزم القصور الذاتي أو عزم العطالة.

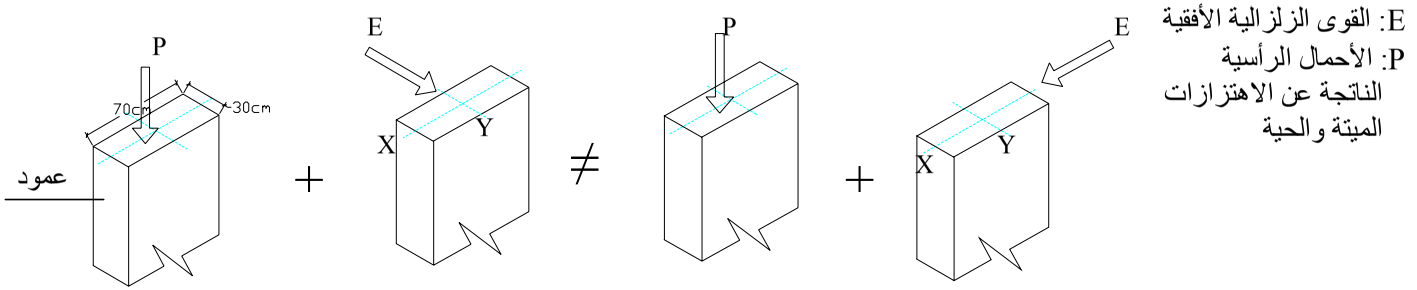
L: طول العنصر الإنشائي.

n: تعتمد قيمة هذا المعامل على نوع العنصر الإنشائي (جسر او عمود.. الخ) وطريقة ربط الأطراف.

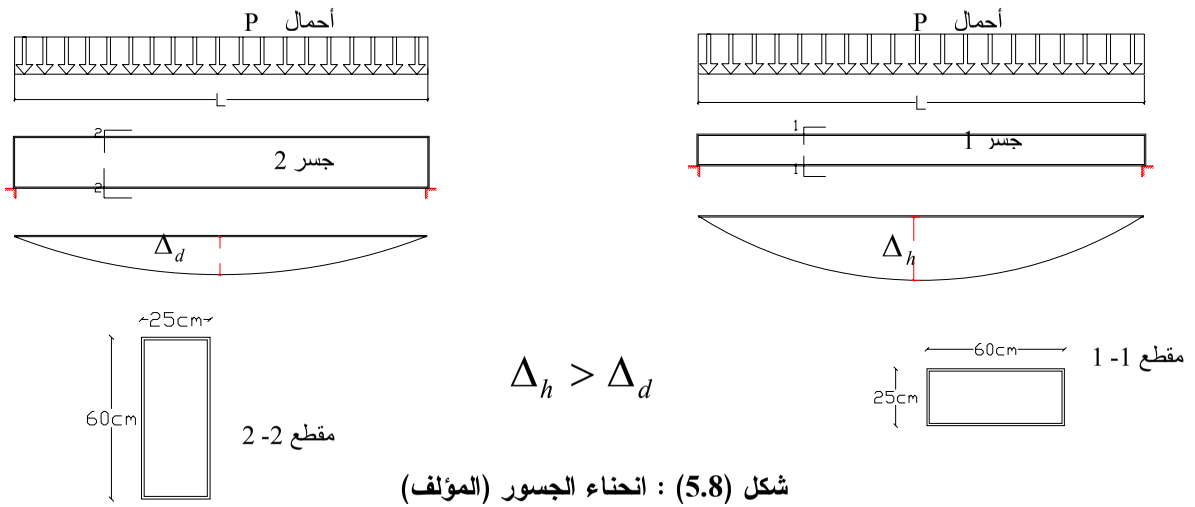
وبالاطلاع على العلاقة (1.8) يتضح أن دلالة مؤشرات هذه المعادلة هي كالتالي:

العلاقة طردية بين كل من I و E و n وقيمة معامل الصلابة K.

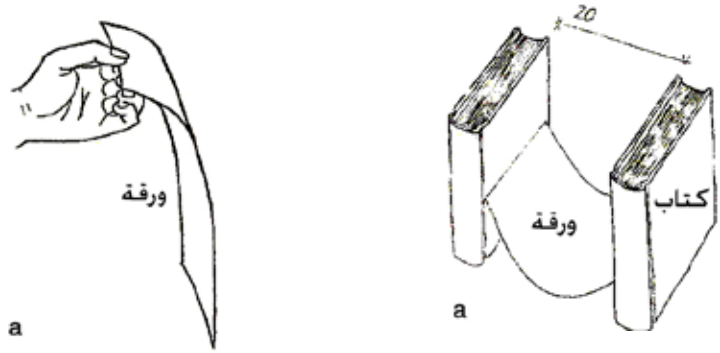
العلاقة عكسية بين طول العنصر L ومعامل الصلابة.



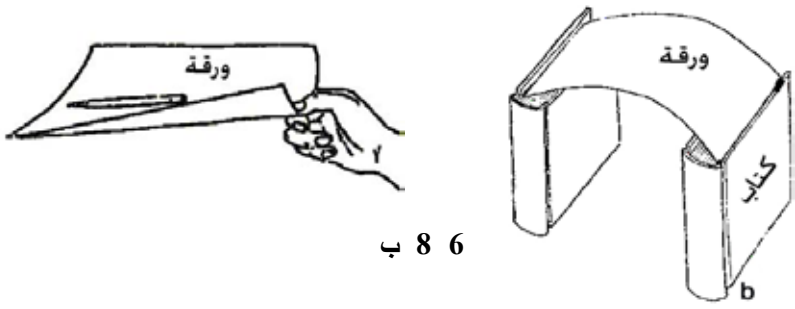
شكل (4.8) : تعرض عمود لقوى زلزالية أفقية بالإضافة للقوى الرأسية



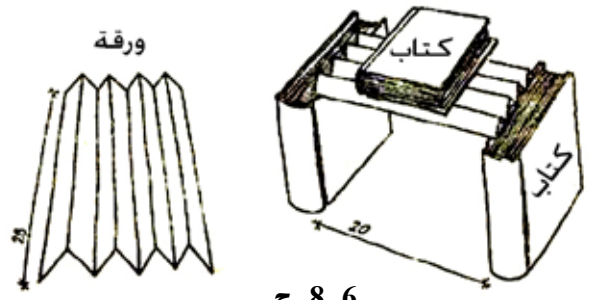
شكل (5.8) : انحناء الجسور (المؤلف)



6 8 أ



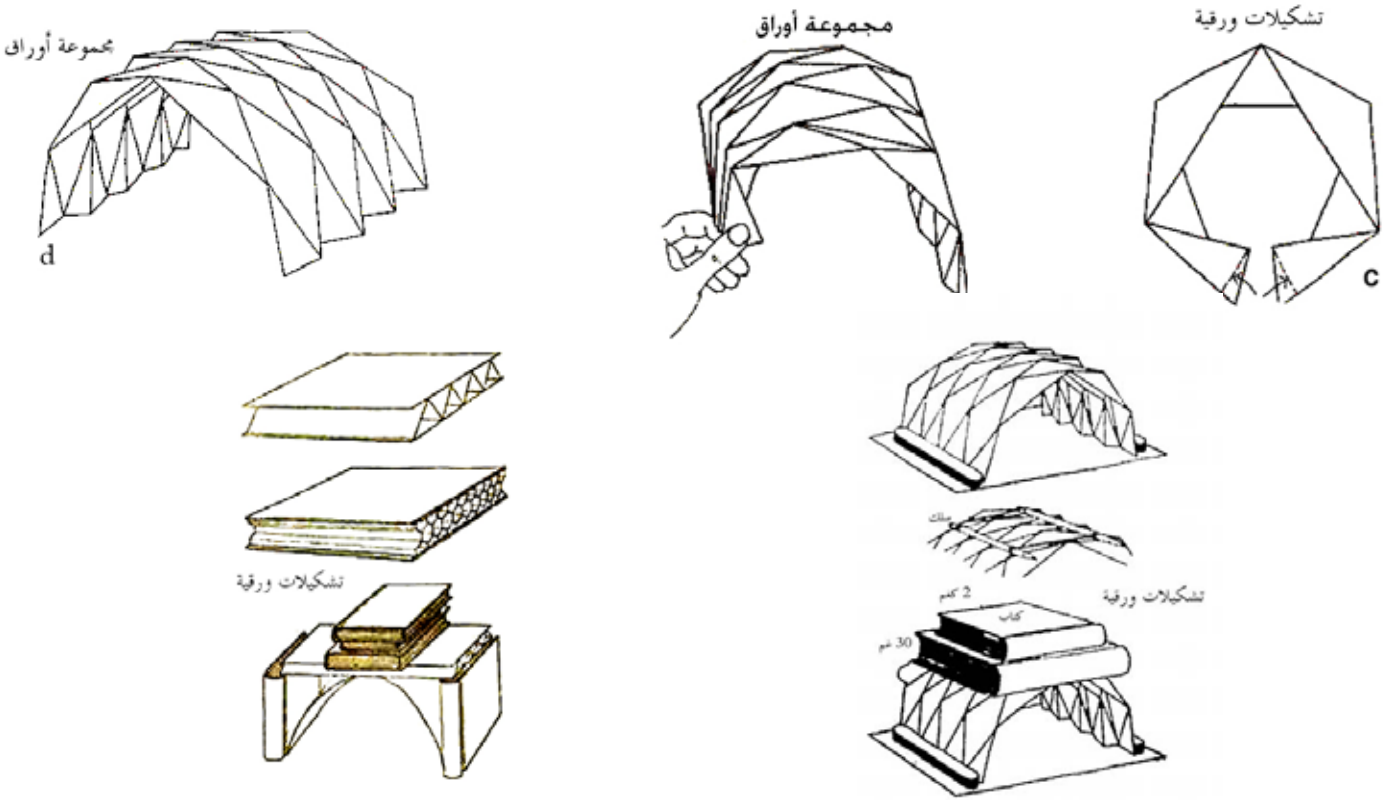
6 8 ب



6 8 ج

شكل (6.8) : أمثلة لتوضيح أهمية شكل واتجاه تشغيل مقاطع العناصر الإنشائية (عزم القصور الذاتي أو عزم العطالة) في زيادة صلابة هذه العناصر (Salvadori M. 1983)

ولمزيد من المعلومات والايضاحات حول أهمية عزم القصور الذاتي(I) للعناصر الانـــشائية وعلاقتـــه بصلابة العنصر انظر الشكل (8 . 7).



شكل (7.8) : أمثلة توضيحية لمبدأ عمل المنشآت القشرية (Salvadori M. 1983)

ج . الممطولية (الليونة)

ممطولية (Ductility) العنصر أو المنشأ، هي مقدرته على تشكيل تشوهات فوق مرنة (أكثر من مرنه) قبل حصول الانهيار، أو مقدرة العنصر أو المنشأ على فقد الطاقة التي اكتسبها من الحركة الاهتزازية، وحتى يتم فهم معنى ودلالة الممطولية بوضوح، فهي تعني إذا امتلك المنشأ ليونه كافية، فإنه سيكون قادراً على امتصاص الطاقة الناتجة عن الزلازل وتخميدها اي فقدها، دون أن تؤدي أحمال الزلازل إلى انهيار المنشأ أو انهيار عناصره الإنشائية (انظر الشكل 8 . 2).

ويراعى في تصميم المنشآت لمقاومة الهزات الأرضية، ضرورة إكساب المنشآت ممطولية كافية وبالتالي زيادة مقدرتها على فقد الطاقة الزلزالية التي اكتسبها من الأرض، وهذا يتم عادة من خلال السيطرة على العوامل التي تؤدي إلى زيادة او تخفيض الممطولية، وأهمها:

- الاهتمام بنوعية الخرسانة (زيادة مقاومة الخرسانة تزيد الممطولية) .
- الالتزام بنسبة حديد التسليح الطولي المشدود وعدم زيادته عن هذه النسبة (زيادة نسبة حديد التسليح الطولي المشدود تؤدي إلى تقليل الممطولية) .
- حصر الخرسانة وأحاطتها من خلال التحكم بكمية حديد التسليح العرضي (الكانات أو الأساور) ، وذلك بهدف زيادة مقدرتها على التشوه (زيادة وتكثيف الكانات مهم جداً وخصوصا في أطراف الأعمدة والجسور).
- اختيار الشكل المناسب لمقاطع العناصر الإنشائية (الأعمدة والجسور) .
- استخدام الألياف والشعيرات الفولاذية Steel Fibers ، يؤدي إلى زيادة الممطولية.
- زيادة القوى القاصة الزلزالية والقوى العمودية الضاغطة يؤدي الى تخفيض الممطولية.

د. التشوهات المسموح بها

تأمين الممطولية اللازمة لكل من المبنى وعناصره الإنشائية يؤدي لتشكيل تشوهات، وبالتالي فقد الطاقة الزلزالية، ولكن المبالغة بقيمة الممطولية قد تؤدي لتشكيل تشوهات أكبر من المسموح بها، وهذا يعني ان يفقد المبنى استقراره وللسيطرة على قيمة التشوهات وخصوصاً الازاحات الجانبية بحيث لا تتجاوز الحد المسموح به، يلجأ المهندس المصمم للتحكم بقيمة كل من الممطولية والصلابة، فعلى سبيل المثال: إذا أردنا تقليل قيمة التشوهات والازاحات الجانبية لمبنى يتكون من 20 طابقاً، ونظامه الإنشائي يتألف من إطارات (هياكل) خرسانية مسلحة يمكن إضافة جدران مسلحة للمبنى وبشكل متماثل، وخصوصاً في أطراف المبنى، فتعمل هذه الجدران على زيادة صلابة المبنى، وبالتالي التقليل من التشوهات (انظر الاشكال 8. 14 و 15.8)، ولمزيد من المعلومات حول استخدام الجدران المسلحة انظر البند (6.5.8).

ويشار الى أن الجدران الخرسانية المسلحة الموجودة في المباني تُسمى "جدران القص"، وذلك لمقدرتها العالية على مقاومة القوى القاصة الزلزالية (القوى الأفقية الزلزالية).

ه. التكلفة

يهدف التصميم الهندسي الى تحقيق الأمان اللازم للمبنى، وبأقل التكاليف الممكنة، واستناداً الى المعايير المذكورة أعلاه: المقاومة والصلابة والممطولية والتشوهات المسموح بها، يلجأ بعض المهندسين، وخصوصاً في حالة المباني العالية، الى اعتماد منهجية أكبر ممطولية ممكنة، وذلك من خلال استخدام الهياكل الخرسانية المسلحة ذات المقدرة العالية على التشوه (انظمة الهياكل المسلحة تتكون من اعمدة وجسور)، وهذا يعني جعل المبنى يتحرك لأقصى درجة ممكنة وذلك كوسيلة فعالة لفقد الطاقة الزلزالية بأقل تكلفة ممكنة، وفي بعض الحالات وبسبب طبيعة استخدام المبنى، قد يلجأ المهندس المصمم الى منهجية زيادة الصلابة للحد من التشوهات والازاحات الجانبية وهذا يعني زيادة التكلفة، فالسيطرة على التكلفة تعني، بشكل غير مباشر، ضبط العلاقة بين ممطولية وصلابة المبنى وعناصره الإنشائية.

4.8 طرق التحليل والتصميم الزلزالي

تتأثر المباني بالقوى الزلزالية بشكل غير مباشر، حيث تنتقل هذه الأحمال من الأرض إلى المنشأ من خلال الاساسات، وعادة يتم تصميم المنشآت تحت تأثير الهزات الأرضية باستخدام:

1.4.8 الطريقة الاستاتيكية المكافئة

في هذه الطريقة يتم ايجاد القوى الزلزالية الاستاتيكية المكافئة للقوى الزلزالية الديناميكية، ولهذه القوى مركبتان: أفقية ورأسية (انظر الشكل 8 . 8)، ومن الجدير بالذكر أن معظم كودات التصميم العالمية تهمل المركبة الرأسية للقوى الزلزالية، وخلال السنوات العشر الماضية أوصى عدد من الكودات العالمية بضرورة أخذ أثر هذه المركبة على سلوك وتجاوب المنشأت في حالة تعرضها لهزات أرضية، فقد أظهرت الزلازل التي تعرضت لها عدد من دول العالم أن القوى الزلزالية الرأسية قد أثرت بشكل واضح على بعض أنواع المنشآت، وأهمها:

- المنشآت الخفيفة.
- المنشآت القريبة من المركز السطحي للزلزال
- الصالات ذات البحور الكبيرة.
- الطيرانات/ او البلكونات وخصوصاً المحملة منها.
- الجسور (الكباري).

ـ منشآت الخرسانة مسبقة الإجهاد.

وبشكل عام تنحصر دقة نتائج الطريقة الاستاتيكية المكافئة بالمنشآت المنتظمة أو شبهه المنتظمة (لمزيد من المعلومات حول المنشآت المنتظمة انظر الفصل السابع)، وتتلخص فكرة هذه الطريقة في تمثيل القوى الزلزالية وكأنها قوى أفقية تؤثر على المباني (انظر الشكل 8. 8)، وقيمة هذه القوى تحسب وفقاً لكودات التصميم الزلزالي من خلال استخدام المعادلة التالية:

$$V = C_s \times W \qquad (2.8)$$

حيث:

W : وزن المبنى.

C_s : المعامل الزلزالي ، وقيمة هذا المعامل تمثل نسبة أو جزءاً من قيمة الجاذبية الأرضية.(g)

ويلاحظ من المعادلة المذكورة أعلاه، أن زيادة وزن المبنى تؤدي لزيادة قيمة القوى الزلزالية الأفقية، وهذا يخالف ما يعتقده الكثير من الناس وبعض المهندسين، لذلك يجب الاهتمام بتخفيض وزن المبنى لأقصى حد ممكن، أما قيمة المعامل الزلزالي C_s فهي أقل من واحد، وبناءً عليه يلاحظ أن قيمة القوة الزلزالية الافقية V تساوي جزءاً أو نسبة من وزن المبنى، وعادة اذا كانت قيمة المعامل C_s أقل من 0.05 يكون تأثير القوة الزلزالية على المبنى محدوداً، ويمكن للمبنى أن يتحمل هذه القوة بسهولة، ولمعرفة العوامل التي تؤثر في حساب قيمة المعامل C_s والتي يعتمد عليها المهندسون في حساباتهم انظر البند (5.8).

2.4.8 طرق التحليل الديناميكية

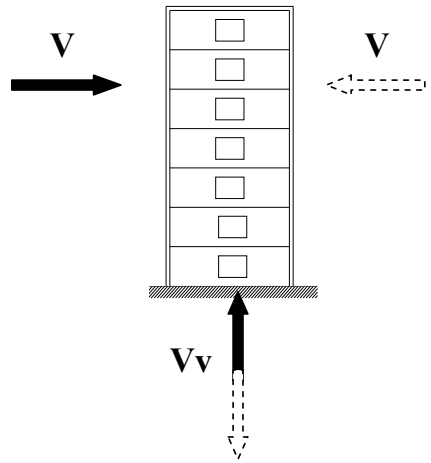
تصنف القوى الزلزالية التي تتعرض لها المباني، من حيث طبيعة تأثيرها، ضمن فئة التأثيرات والأحمال الديناميكية، وذلك لان كلاً من شدتها واتجاهها ونقطة تطبيقها تتغير مع الزمن (انظر الفصل الثالث)، لذلك تعتبر طرق التحليل والتصميم الديناميكي للمنشآت الأقرب الى الواقع، وتعتبر هذه الطرق بالمقارنة مع طرق التحليل الاستاتيكي بأنها: متقدمة، وأكثر دقة، وتتطلب وجود كوادر متخصصة، وتكلفتها أعلى، وبنفس الوقت تعتبر هذه الطرق معقدة، إلا أن وجود برامج الكمبيوتر التخصصية جعلت استخدامها سهلا"، وعادة يوصى باستخدام هذه الطريقة في المنشآت الهامة أو في المنشآت التي لا تحقق شروط استخدام الطريقة الاستاتيكية المكافئة مثل المنشآت غير المنتظمة. ومن الجدير بالذكر انه في حالة المنشآت المنتظمة تكون نتائج الطرق الاستاتيكية المكافئة متطابقة بشكل كبير مع نتائج التحليل الديناميكي.

5.8 العوامل التي تؤثر في حساب قيمة المعامل الزلزالي

تعتمد قيمة المعامل الزلزالي C_s على عدد من المؤشرات/ أو العوامل، وعادة تتضمن كودات التصميم الزلزالي في كثير من دول العالم علاقات حسابية لإيجاد قيمة هذا المعامل، وبغض النظر عن صيغة وشكل هذه المعادلات إلا ان جميعها يحتوي على المؤشرات والعوامل التالية:

1.5.8 زلزالية المنطقة

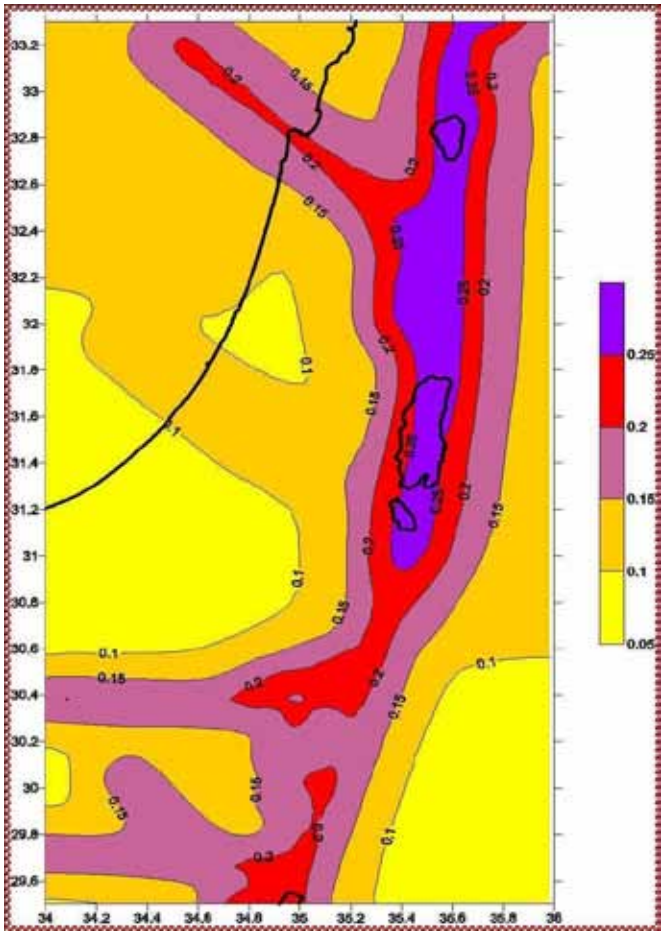
للمنطقة او للموقع أهمية كبيرة في التخفيف من مخاطر الزلازل، وفي تصميم المباني لمقاومة الهزات الأرضية، لذلك اهتمت هندسة الزلازل في انتاج خرائط للشدة الزلزالية وللتسارع الزلزالي الأرضي المتوقع، ومن خلال هذه الخرائط يتم تقسيم الدولة الواحدة الى مناطق خطورة مختلفة، فبالنسبة



شكل (8.8) : تأثير القوى الزلزالية الأفقية و الرأسية استناداً للطرق الإستاتيكية المكافئة (المؤلف)

لفلسطين تعتبر منطقة الأغوار ووادي الأردن واصبع الجليل المنطقة الأخطر، فالتسارع الزلزالي الأرضي على الصخر في هذه المناطق يتوقع ان يصل الى ما قيمته 30% من قيمة تسارع الجاذبية الأرضية، ولمزيد من المعلومات حول تقسيم المناطق في فلسطين انظر الى قيمة ذروة التسارع الزلزالي الأرضي للمناطق في فلسطين (الشكل 9.8)، وللاطلاع على مزيد من التفاصيل حول ذروة التسارع الزلزالي الأرضي PGA انظر الفصل الاول – البند 1.7.1. وإضافة الى أهمية هذا النوع من الخرائط في عملية تصميم المنشآت، تعمل الدول لإنتاج خرائط لاستخدام الأراضي وذلك من خلال تحديد المناطق التي يحتمل أن تتعرض للانزلاقات الأرضية أو التميؤ (أنظر الفصل السادس).

وعموماً يوصى دائماً الا تقام المنشآت على صدوع جيولوجية، وبغض النظر عن مدى نشاطها الزلزالي، إذ قد يؤدي أدنى تحرك في قشرة الأرض على جانبي الصدوع الى أضرار ملموسة في



شكل (9.8) : خارطة التسارع الزلزالي الأرضي في فلسطين PGA Map (الدبيك 1999)

المنشآت، وكذلك يجب الانتباه إلى خطر أمواج المد البحري " التسُنامي" ، التي قد تنجم عن زلازل تقع مراكزها السطحية في قاع البحار أو المحيطات، والتي قد تحدث بسبب انزلاق صفائح القشرة الأرضية عمودياً على بعضها، إذ تؤدي الاهتزازات المصاحبة لحدوث هذا النوع من الزلازل إلى تكوين أمواج مائية ضخمة وسريعه جدا بحيث قد تتجاوز سرعتها 800 كلم/ساعة، وتعتبر أمواج تسونامي في أندونيسيا التي اجتاحت شواطئ أندونسيا والهند وسيريلانكا وغيرها من الدول، والتي أثارها زلزال 2004/12/26 أحد أشد الأمواج وأعظمها دماراً في التاريخ، فاضافة لسرعتها الكبيرة جدا، فقد تجاوز ارتفاعها عشرة أمتار في بعض المناطق، وأدى اجتياحها للشواطئ إلى تدمير ألاف الكيلوميرات من الشواطئ، وتدمير ألاف المنازل ومقتل مئات الالاف من سكان الدول التي تأثرت بأمواج المد البحري بالإضافة إلى تشريد الملايين (انظر الشكل 8 . 10).

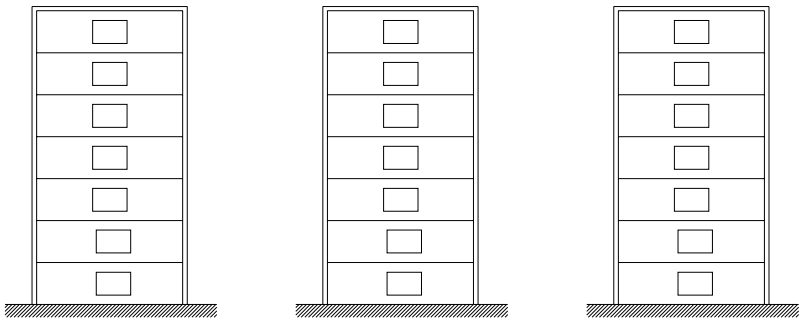
شكل (10.8) : أمواج المد البحري تسونامي (اندونيسيا 2004/12/26)

خلال المحاضرة، سيتم عرض صور حية للمجسات واللواقط المائية التي تستخدمها محطات الإنذار المبكر، بالإضافة الى مشاهدة عرض لآلية عمل ومراحل نقل المعلومات والإشارات وتوصيلها للشواطئ. كما سيتم عرض نموذج محوسب لسرعة انتشار أمواج المد البحري التي احدثها زلزال اندونيسيا عام 2004، ومن خلال نموذج انتشار الموجات سيتم ملاحظة انه لو كانت هناك أنظمة للإنذار المبكر في منطقة الدول التي تعرضت لامواج المد البحري لتمكنت هذه الدول من إخلاء الشواطئ قبل وصول الموجات اليها.

أمثلة ونقاش:

مثال (5.8): تم بناء ثلاثة مبانٍ على تربة صخرية في ثلاث مدن فلسطينية، هي: أريحا، والخليل، وغزة (انظر الشكل 8 . 11)، فإذا كانت هذه المباني متشابهه في عدد الطوابق وأشكالها وأبعادها واساساتها، فهل ستكون القوى الزلزالية التي ستتعرض لها هذه المباني متساوية؟

الجواب: بما أن المباني متشابهه في كل شئ باستثناء المنطقة الموجودة فيها، فإن القوى الزلزالية التي ستتعرض لها هذه المباني ستكون مختلفة وغير متساوية



شكل (11.8) : درجة الأضرار لنفس المبنى ستختلف من مدينة إلى أخرى في حالة التعرض لنفس الزلزال (المؤلف)

مثال (6.8): هل تعرضت فلسطين والدول العربية لامواج المد البحري "تسونامي**؟** "

الجواب: نعم، فقد أظهرت الأحداث الزلزالية أن فلسطين وعدداً من الدول العربية قد تعرضت تاريخيا لأمواج المد البحري "تسونامي" أكثر من مره، فمثلاً في عام 1759 ونتيجة للزلازل الذي تعرضت له فلسطين والدول المجاورة ساهمت أمواج المد البحري في تدمير عشرات القرى والبلـــدات الفلـــسطينية واللبنانية ومقتل الآلاف من الأشخاص.

مثال (7.8): هل يمكن التخفيف من اثار أمواج المد البحري "تسونامي"؟

الجواب: نعم، وذلك من خلال تنفيذ عدد من الاجراءات، وأهمها:

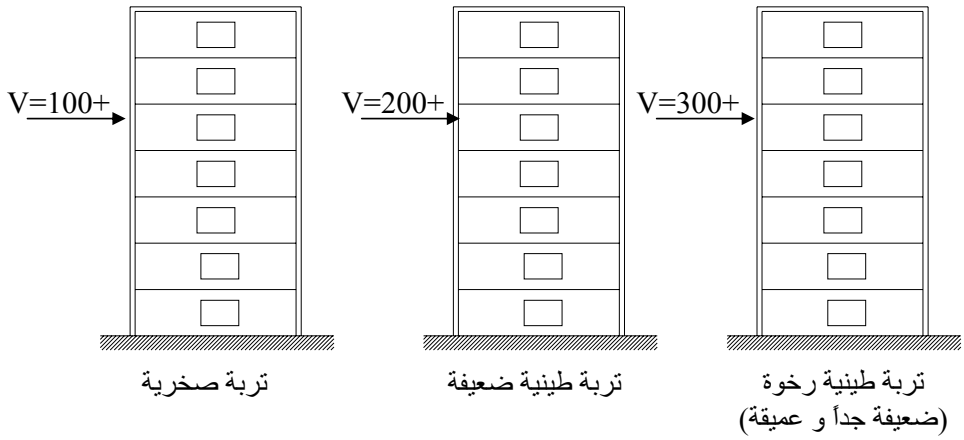
- اعتماد سياسة لاستخدام الأراضي وتجنب وضع المنشآت الهامة والحـــساســـة جـــداً عـــلى محاذات الشواطئ مباشرة.
- استخدام أنظمة الإنذار المبكر يُساهم بشكل كبير في تقليل الخسائر البشرية، حيث تعمل أنظمة ومحطات الإنذار المبكر على تحذير سكان شواطئ المحيطات والبحار من اقتراب موجـــات تسونامي.

2.5.8 تربة التأسيس

تتأثر القوى الزلزالية التي تتعرض لها المنشآت بشكل كبير بنوعية التربة (طينية، ورملية، وصخرية، ..الخ) فالتربة الطينية مثلاً تعمل على تضخيم القوى الزلزالية، فكلما كانت التربة أكثر ضـــعفاً ازدادت

القوى الزلزالية، اما تربة التأسيس الصخرية فليس لها تأثير تضخيمي. فمثلا اذا اعتبرنا انه تم بناء ثلاث منشآت (مبانٍ) في مدينة نابلس، واذا كانت هذه المباني متشابهة في ابعادها (الارتفاع والعرض والارتفاع) وفي عدد الطوابق والنظام الإنشائي والأساسات ومواد البناء المستخدمة، ولكنها تختلف فقط بنوعية تربة التأسيس، حيث: المبنى الاول تم إقامته على أرض صخرية قوية، وتربة تأسيس المبنى الثاني تتكون من أرض طينية ضعيفة وعميقة، في حين تتكون تربة تأسيس المبنى الثالث من تربة طينية ضعيفة جداً/ أو رخوه وعميقة جداً، وإذا اعتبرنا ان المبنى الأول (المقام على ارض صخرية قوية) سيتعرض لقوى زلزالية (V) مقدارها 100 طن فان المبنى الثاني قد يتعرض لقوى زلزالية أفقية مقدارها 200 طن، في حين قد يتعرض المبنى الثالث لقوة قد تصل الى 300 طن أو ربما أكثر (انظر الشكل 12.8).

وفي العادة تكون المباني المقامة على التربة الطينية عرضة للهبوط في حالة حصول هزات أرضية، أما التربة الرملية فتكون عرضة للتميؤ (انظر ظاهرة تميؤ التربة في الفصل الثاني والسادس)، ومما يجدر التنبيه إليه، أن المنشآت المقامة على الانحدارات الجبلية قد تكون عرضة لحصول أضرار، وذلك بسبب انزلاقات التربة التي تحمل الاساسات وهذا يستدعي أخذ الاحتياطات اللازمة من خلال جعل التربة التي تستند عليها القاعدة أفقية بالإضافة إلى اختيار نوع القواعد والاساسات المناسبة .



شكل (12.8) : ثلاث مباني في مدينة نابلس لها نفس التشكيل المعماري و الإنشائي و تختلف فيما بينها في تربة الموقع (المؤلف)

3.5.8 التردد الطبيعي للمباني

اذا تساوى أو اقترب التردد الطبيعي للمبنى مع التردد الطبيعي لتربة الموقع، ففي هذه الحالة يتعرض المبنى للتضخيم الزلزالي، بمعنى تتضاعف القوى الزلزالية التي يتعرض لها المبنى، وقد يصل مقدار

هذا التضخيم الى عشرة أضعاف أو أكثر من قيمة القوى الزلزالية التصميمية الاصلية، وهذا ما يسمى علمياً بظاهرة الرنين (Resonance). وبطبيعة الحال لا يمكن للمباني أن تصمد أمام هذه الظاهرة، والمطلوب هندسياً هو تجنب ظاهرة الرنين في المباني، فقد أظهر كثير من الأحداث الزلزالية، ومنها ما حصل اثناء زلزال المكسيك سنة 1985 ان حصول ظاهرة الرنين قد ادى الى انهيار عدد كبير جداً من المباني، ففي بعض مناطق المكسيك تعرضت المباني التي يتراوح ارتفاعها يتراوح بين 16 و 22 طابق للانهيار، في حين صمدت المباني التي ارتفاعها 40 أو 50 طابقاً والموجودة في نفس المنطقة، ولمزيد من المعلومات حول التضخيم الزلزالي أنظر الفصل السادس.

ولتجنب ظاهرة الرنين يجب معرفة العلاقة بين نوعية التربة وترددها الطبيعي، وكذلك العوامل التي تتحكم بالتردد الطبيعي للمباني، وعادة تتأثر قيمة التردد الطبيعي للمبنى بالعوامل التالية:

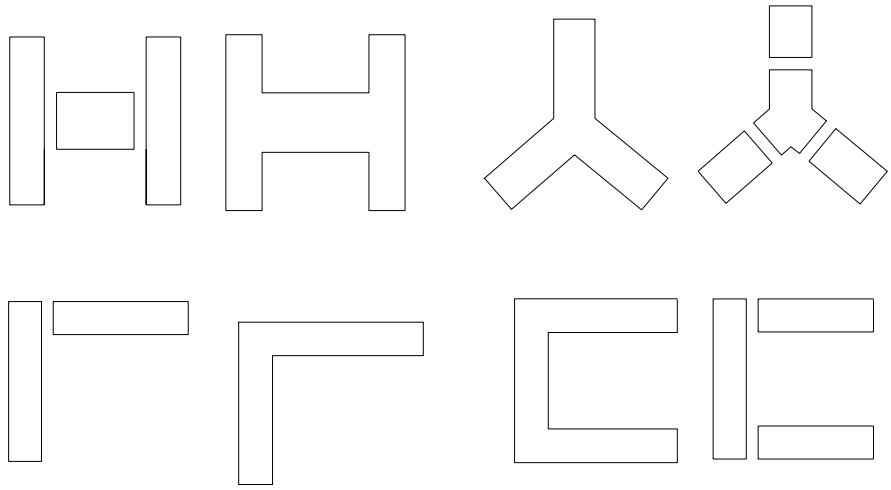
- شكل وأبعاد المبنى.
- النظام الإنشائي المستخدم (أعمدة مسلحة أو جدران مسلحة وجدران حاملة أو مزيج من الأعمدة المسلحة والجدران المسلحة).
- مواد البناء المستخدمة.
- عدد الطوابق.

4 . 5 . 8 أشكال وأبعاد المنشآت

يتأثر السلوك الزلزالي للمنشآت بشكل كبير بأشكال مساقطها و بأبعادها، لذلك يتطلب أستخدام طرق التصميم الزلزالي العادي (التحليل الاستاتيكي المكافئ) توفير مستوى عالٍ من الانتظام و التماثل للمنشآت، وعليه، فعند اختيار شكل المباني، يجب مراعاة البساطة والتماثل في توزيع كل من الكتل والعناصر الإنشائية (انظر الفصل السابع البند 2.3.7)، ويوصى دائماً بالابتعاد عن استخدام الأشكال والكتل المعقدة وغير المتماثلة في مساقطها الأفقية والرأسية، فالأبنية ذات الأشكال المعقدة ، كالأبنية التي تكون مساقطها الافقية على شكل الأحرف L,U,T وغيرها تتعرض عند تأثير أحمال الزلازل الأفقية عليها لعزوم التواء Torsional Moments ، وهذا يعني تعرض المبنى لقوى زلزاليه اضافية. وفي كثير من حالات المباني المركبة المعقدة يمكن تحقيق التماثل لهذه المباني من خلال تقسيمها الى اجزاء بواسطة استخدام الفواصل الزلزالية (انظر الشكل 8 . 13).

ويشترط كذلك عند استخدام طرق التصميم الزلزالي العادي بأن لا تتجاوز نسبة نحافة المبنى (العلاقة بين ارتفاع المبنى وعرضه) عن 4، بالاضافة الى ضرورة الالتزام بالعلاقات والنسب الهندسية بين طول المبنى وعرضه، ولمزيد من المعلومات حول تأثير نحافة المبنى على سلوكه الزلزالي انظر الفصل

السابع الشكل (7 . 22). سيتخلل جلسة النقاش والمحاضرات اعطاء امثله وعرض مشاهد لاحداث ووقائع زلزالية تظهر من خلالها الاضرار والانهيارات في المباني النحيفة أو النحيفة جدا.



شكل (13.8): استخدام الفواصل الزلزالية لتحقيق التماثل لأشكال المباني المركبة أو المعقدة (المؤلف)

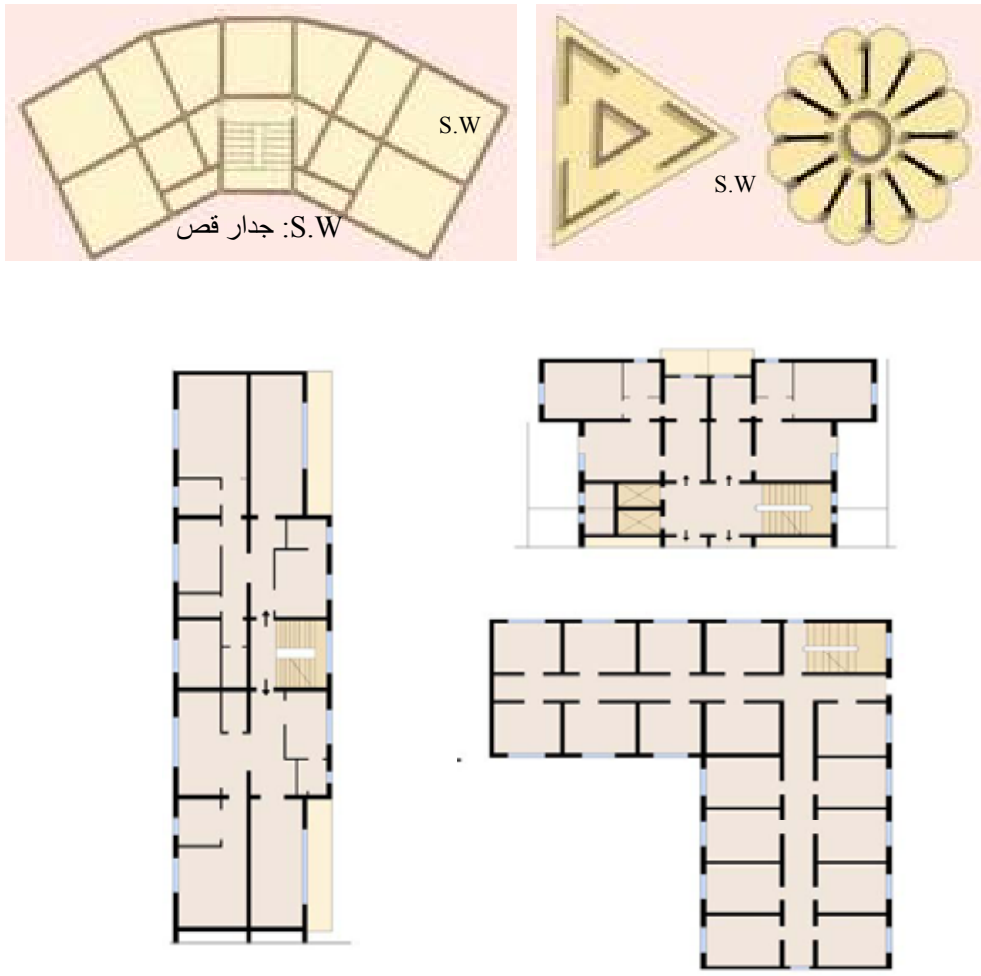
8 . 5 . 5 الفواصل الزلزالية

يتطلب استخدام طرق التحليل الأستاتيكي المكافئ تحقيق الانتظام والتماثل للأبنية، ولتحقيق هذا الشرط في المباني المركبة (انظر الشكل 13.8 والفصل السابع البند 3.7) يجب تزويد هذه الأبنية بفواصل زلزالية، وتستخدم هذه الفواصل كذلك بين المباني المتجاورة المتلاصقة وذلك لمنع اصطدامها أثناء اهتزازها (انظر الشكل 7 . 7)، وتزداد أهمية هذه الفواصل في الأبنية المتلاصقة المرتفعة.

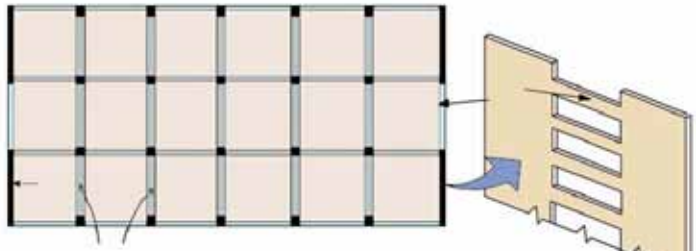
8 . 5 . 6 جدران القص

يؤثر نوع النظام الانشائي المستخدم في البناء على قيمة التردد / او الزمن الدوري الطبيعي للمنشأ وبالتالي على سلوكه الزلزالي، ففي أكثر من منطقة تعرضت لهزات أرضية، برهنت الجدران المسلحة/او جدران القص (Shear Walls) على سلوك وتصرف جيد عند تعرضها للهزات الأرضية، وأدت في معظم الحالات الى الحد من الأضرار وذلك شريطة أن توضع هذه الجدران في الأماكن المناسبة وأن توزع بشكل متماثل حول المحورين x و y **فزيادة صلابة المبنى من خلال تكثيف الجدران المسلحة يؤدي لتقليل التشوهات والازاحات الجانبية للمبنى.**

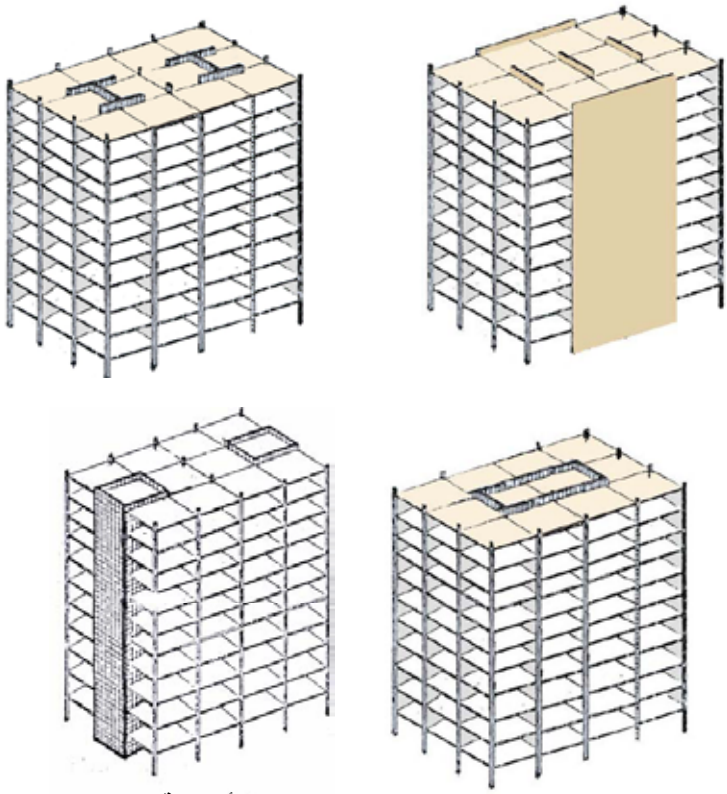
ولمزيد من المعلومات حول جدران القص وموقعها انظر الأشكال (8 . 14 و8 .15)، أمـــا بالنـــسبة لتسليح هذه الجدران فيمكن أن تكون مسلحة بالكامل، أو يمكن وضع حديد التسليح في أطراف الجدران فقط ، مع مراعاة ضرورة تسليح الأطارات المحيطة بفتحات النوافذ والأبواب الموجـــودة فـــي هـــذه الجدران.



شكل (14.8) : إمكانية استخدام جدران القص في جميع أشكال المباني (المؤلف)



استخدام جدران القص كعناصر ثانوية



استخدام جدران القص كعناصرّ أساسية

شكل (15.8) : بعض أشكال ومواقع جدران القص في المباني

8 . 5 . 7 الممطولية (الليونة) Ductility

تؤدي زيادة ممطولية المبنى وعناصره الإنشائية الى التقليل من قيمة القوى القاصة الزلزالية V، وتعمل الممطولية على اكساب المبنى مقدرة على كسب وفقد الطاقة الزلزالية، ولمزيد من المعلومات حول الممطولية والعوامل التي تؤدي الى زيادتها انظر البند (3.8).

8.5.8 عناصر الربط والتكتيف

تعتمد المنشآت في مقاومة أفعال الزلازل على كفاءة عناصر التكتيف الأفقية (البلاطات والجسور) في مقاومة قوى الزلازل الأفقية المؤثرة على البناء ، ونقلها إلى عناصر المقاومة الرأسية (الأعمدة والجدران) ، ويشترط في عناصر التكتيف أن تكون من القوة بحيث لا تؤدي إلى حدوث تشوهات أو أضرار في المباني .

ويمكن اعتبار جدران الطوب الموجودة بين الأعمدة جدران تكتيف ، فهي تزيد من جساءة وصلابة الهيكل الخرساني (الأعمدة والجسور) عند تعرضها لقوى أفقية ، ومن الجدير بالذكر أن تعرض جدران الطوب المستخدمة في فلسطين لزلزال قوته 6 6.5 درجة على مقياس ريختر، قد يؤدي الى انهيارها او حصول اضرار كبيرة فيها، لذا يجب العمل على تطوير نمط وطريقة بناء هذه الجدران وذلك من خلال منع تساقطها (انظر الفصل السابع البند 2.3.7).

6.8 من أهم توصيات هندسة الزلازل لتصميم منشآت مقاومة للهزات الأرضية

بناءً على ضوابط وتوصيات المراكز والمعاهد العلمية، واستناداً للعبر المستفادة من الأحداث الزلزالية التي تعرضت لها كثير من دول العالم، يجب العمل على تصميم المباني والمنشآت لمقاومة افعال الزلازل، علماً أن الالتزام بضوابط الحد الأدنى والمتمثلة في الضوابط والتوصيات التالية، سيساهم بشكل كبير في تحسين السلوك الزلزالي للمنشآت:

- الاهتمام بالموقع وتربة التأسيس وعدم البناء في المناطق المعرضة لانزلاقات أرضية أو البناء فوق التشققات الأرضية ، وذلك من خلال إجراء فحص للتربة وكذلك إجراء الدراسات الجيوفيزيائية اللازمة .
- تجنب البناء على الأراضي الرملية القابلة للتميؤ.
- تجنب ظاهرة الرنين وذلك من خلال ضبط العلاقة بين التردد الطبيعي لكل من الموقع والمبنى.
- الاشراف الهندسي على عملية الحفر لتجنب الحفر والقطع غير المناسب وخصوصاً في الأرض المنحدرة ذات الطبيعية الطينية الحورية (مثال : ما حصل في منطقة الجبل الأبيض في نابلس) .
- توزيع عناصر المقاومة الرأسية (الأعمدة وجدران القص) على شكل شبيكات (باتجاه المحاور (Y,X).
- تحقيق التماثل والانتظام في المستوى الافقي لكل من شكل المبنى ولكتل عناصره.
- توزيع العناصر الانشائية بشكل متماثل او شبهه تماثل، بحيث يتم تقريباً تطابق مركز الكتلة مع مركز الصلابة.

ـــ تجنب استخدام البلكونات المعلقة (الكابولي) وخصوصاً البلكونات ذات البحور الكبيرة والمحملة بجدران .

ـــ تجنب استخدام ظاهرة اونظام الطابق الرخو (Soft Story) ، سواء في الطابق الأراضي أو أي طوابق أخرى .

ـــ تجنب استخدام الأعمدة والجسور القصيرة، وفي حالة تعذر ذلك لأسباب معمارية او وظيفية، ففي هذه الحالة يجب الالتزام بالحلول ومتطلبات التسليح اللازمة كتكثيف الاساور.

ـــ استخدام جدران القص ووضعها في الاماكن المناسبة وبشكل متماثل .

ـــ عدم زيادة نسبة حديد التسليح الطولي عن الحد المسموح به ، مع تأمين الممطولية الضرورية للمنشأ .

ـــ الاهتمام بتكثيف الكانات في أطراف الأعمدة والجسور وربطها جيداً لضمان عدم فكها أثناء عملية صب الخرسانة .

ـــ تسليح إطارات فتحات النوافذ والأبواب.

ـــ ربط وتشريك الجدران الخرسانية ــ الحجرية وخصوصاً الخارجية منـــهـــا مـــع الأعمـــدة والأسقف السفلية والعلوية، وذلك من خلال استخدام حديد تسليح.

ـــ تأمين نوعية جيدة للخرسانة (مقاومة جيدة للخرسانة) في عملية التصميم وضمان تحقيق هذه النوعية أثناء التنفيذ ، من خلال الاهتمام بصب ورج الخرسانة (يمنع صب الخرسانة عن ارتفاع يزيد عن 1.5 متر ، وذلك حتى لا تتفكك وتنفصل محتويات الخرسانة) .

ـــ الاهتمام بدقة تنفيذ شاقولية الأعمدة والجدران والعناصر الأخرى .

ـــ الاهتمام بالتنفيذ الجيد لخط مسار حديد التسليح، وذلك أثناء مروره من طابق إلى آخر ، وبين الجسور أو بين عمود وجسر.

ـــ الاهتمام بالمفصل (منطقة تقاطع الجسور والأعمدة) ، بحيث يتم الحصول على نوعية جيدة للخرسانة ، مع الحرص على إبقاء كانات أو أساور الأعمدة في منطقة المفصل والعمل على تكثيف هذه الكانات.

بجانب التوصيات التي تم ذكرها، هناك عدد من الضوابط والتوصيات في التصميم والتنفيذ، لا مجـــال هنا لذكرها. ويُشار الى انه من خلال نتائج اللجان الاختـــصاصية تبـــين أن أكثـــر مـــن 50 % مـــن الانهيارات التي تحدث من جراء التأثر بالهزات أرضية، سببها في الغالب أخطاء في التنفيذ.

االفصل التاسع

التربية الزلزالية والتخفيف من مخاطر الزلازل

9 . 1 مقدمة

تُعرف الزلازل على أنها ظاهرة كونية لا يعلم وقت حدوثها بالضبط إلا عالم الغيب سبحانه وتعالى ولا يستطيع أحد منعها، ولكن يجب على الناس أن يتعلموا كيف يواجهون مخاطرها ليخففوا منها، حيث دلت الخبرات العملية العالمية من الزلازل، التي حدثت بالماضي، أن أي إجراء وقائي يتخذه الفرد يخفف عليه وعلى أفراد عائلته من حدة خطر الزلازل، وأن السيطرة على الموقف بأعصاب هادئة أثناء حدوث الهزات الارضية مهم لمعالجة الصدمة، واتخاذ القرار السليم بحكمة وروية.

وقد أصدر المؤلف، في العام 1997 نشرة عامة لتوعية المواطنين بإجراءات الوقاية والتهيئة وكيفية التصرف أثناء وبعد حصول الزلازل، وخلال السنوات الماضية، وبهدف الوصول الى اكبر عدد ممكن من المواطنيين تم نشر محتويات النشرة في عدد من الصحف المحلية، وكذلك تم عرضها من خلال المحاضرات العامة، وموقع مركز علوم الارض وهندسة الزلازل في جامعة النجاح على شبكة الانترنت "ولمزيد من المعلومات يمكن للقارئ الرجوع الى عنوان المركز على شبكة الانترنت www.najah edu"، ولأهمية الموضوع تم تخصيص هذا الفصل لموضوع التربية الزلزالية **(اجراءات الوقاية والتهيئة)**.

9 . 2 اجراءات الوقاية والتهيئة وكيفية التصرف اثناء وبعد حصول الزلازل

1.2.9 إجراءات الوقاية والتهيئة قبل حدوث الزلزال

- حدد مدى عامل الأمان للمنزل أو مكان العمل وهذا يتطلب:

  تقييم وضع المكان من الناحية الإنشائية، ومعرفة مدى الخطورة التي قد تلم به في حالة حدوث زلزال.

  يفضل إجراء ما يلزم من معالجة أو صيانة لرفع الكفاءة وإكساب المبنى تجاوباً أفضل عند حدوث الزلزال.

- تعايش مع ظاهرة حدوث الزلازل واقتنع بأن الزلزال حدث طبيعي وثقف أفراد عائلتك بوسائل الحماية والوقاية وسبل تخفيف الأخطار والأضرار .

- إذا رغبت بإنشاء مبنى فعليك:

التقيد بالمواصفات الفنية الخاصة بالأبنية.

تصميم المشروع باعتماد مواصفات البناء المقاوم للزلازل.

اعتماد مهندس يدرك متطلبات الحماية والوقاية من خطر الزلازل.

- رتب أوضاع أثاث بيتك أو مكتبك بحيث يمكن أن تتجاوب مع الاهتزازات .

يفضل تثبيت الأثاث الكبير والقابل للكسر.

عدم تعليق الأشياء الثقيلة على الجدران الخفيفة أو جدران القواطع أو القسامات الداخلية

إبقاء أبواب الخزائن مغلقه بوساطة زرافيل.

أمن المواد القابلة للاشتعال في أوعية آمنة وضعها في أماكن بعيدة عن مصدر النيران

- تعلم وتدرب على إخماد الحرائق والإسعافات الأولية وعمليات الإنقاذ .
- اعمل على تأمين ما عندك ضد الكوارث الزلزالية .
- احتفظ بكمية من المواد الغذائية المعلبة، وعبوات ماء تكفيك وعائلتك لعدد من الايام .

- احتفظ براديو يعمل بالبطارية، وشنطة إسعاف.

- جهز حقيبة طوارئ واحتفظ بداخلها الأدوات التالية:
  - حقيبة للإسعافات الأولية.
  - راديو يعمل بالبطارية.
  - مصباح يدوي يعمل بالبطارية.
  - أدوات يدوية (مطواه، مفتاح مفكك، حبل)
  - صفاره

2.2.9 كيف تتصرف أثناء حدوث الهزات الارضية

- **إذا كنت خارج المبنى : يجب عليك عمل الآتي :**

الابتعاد عن المنازل ومآذن المساجد .

الابتعاد عن الممرات المزدحمة والضيقة .

الابتعاد عن الأشجار الكبيرة، وأعمدة النور، والهاتف، وأبراج الكهرباء .

الزم أرصفة المشاة، ولا تمر تحت الأسلاك الكهربائية .

إذا كنت في الأسواق الجأ فوراً إلى تحت القناطر أو المداخل، ولا تدخل ثانية إلى الأبنية المهتزة وابتعد عن منطقة الخطر .

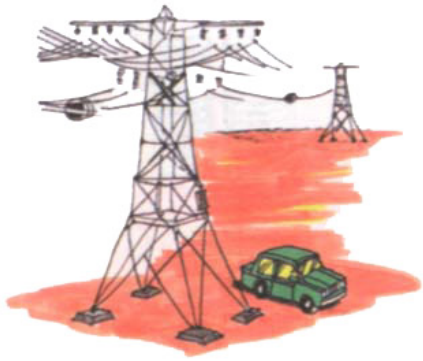
- **إذا كنت في الطرقات العامة أو في شاطئ البحر :**

لا تزاحم الآخرين .وابتعد عن المنازل والجدران والأشجار والأسلاك الكهربائية .

ابتعد عن الشوارع الخاصة بالسيارات .

عدم المرور فوق أو تحت الجسور المعلقة .

تحرك في اتجاه الأرض اليابسة بعيداً عن شاطئ البحر .



- **إذا كنت في وادٍ أو منطقه جبلية :**

ابتعد عن الآبار أو البرك أو السدود .

ابتعد عن الأرض الرخوة أوالمشبعه بالمياه إلى المنطقة اليابسة .

ابتعد عن الصخور المتساقطة في المناطق الجبلية .

ابتعد عن الهاويات .

- **إذا كنت تقود سيارتك :**

خفف السرعة .

اتجه إلى اليمين وأوقف السيارة في المكان المناسب .

لا توقف سيارتك تحت الأسلاك الكهربائية، أو الصخور المعلقة، أو الصخور المتساقطة .

اجلس داخل السيارة، ولا تخرج منها حتى تنتهي الهزة .

- **إذا كنت داخل المبنى : يجب عليك عمل الآتي :**

الابتعاد عن فتحات الشبابيك والجدران الخارجية .

الدخول تحت إحدى الطاولات أو تحت السرير يضمن لك الحماية من الأشياء المتساقطة.

لا تستعمل المصاعد والأدراج إذا كنت بالطوابق العلوية .
لا تحاول أن تقفز من الشرفات أو الشبابيك أو الأبواب العلوية.

لا تندفع أثناء الاهتزاز إلى الخارج إلا إذا تأكدت إن ذلك ممكن وسهل ولا يسبب إضراراً.
تذكر أن التقييم المسبق للبيت (تم ذكره في البند أ) يساعدك على أخذ قرار الخروج أو البقاء في المكان.

- **المعاقون من الحركة :**

إذا كان قاعداً على الكرسي المتحرك يظل قاعداً على الكرسي .
يوقف العجلات .
يضع يديه على رأسه للحماية .

إذا كان على السرير أو بدون كرسي متحرك، يسعى للحصول على الحماية تحت الطاولة أو السرير .

3.2.9 كيف تتصرف فور انتهاء الزلزال

تذكر دائماً بأن هناك هزات لاحقة ستحدث قد تسبب أضراراً كبيرة، لذا يجب عليك وبسرعة عمل الآتي:

داخـــــــــــل المبنى :

فصل التيار الكهربائي، واطفاء الموقد وغلق محبس الغاز.

غلق المحبس الرئيسي للمياه .

ارتداء الملابس الواقية " خوذه ، قفاز، حذاء " .

استمع إلى المذياع وتابع الإجراءات، وتقيد بتعليمات الدفاع المدني والجهات الرسمية .

إذا كانت أمورك وأمور عائلتك بخير وأمان التحق بالجهات الرسمية أو الدفاع المدني لتقديم المساعدة.

لا تستمع للإشاعات التي عادة ما تكثر في مثل هذه الحالات.

لا تستعمل الهاتف الا للضرورة القصوى.

9. 3 كيف تتعامل مع الزلازل في المدارس

- عند الشعور بالهزة يجب المحافظة على الهدوء وعدم الانفعال لتجنب التصرف غير السليم.
- يحتمي الطلاب تحت مقاعد الدراسة لتجنب تطاير الزجاج.
- يحتمي المعلمون تحت المناضد أن وجدت أو في فتحات الأبواب أو قرب الزوايا الداخلية للمبنى مبتعدون عن الجدران الخارجية والنوافذ.
- بعد انتهاء الهزة يقوم المعلمون بتنظيم عملية إخلاء المباني المدرسية من الطلاب بنظام

وهدوء، حسب الخطة الموضوعة مسبقاً من قبل المدارس بالتعاون مع الدفاع المدني.

- يتم تجميع الطلاب في أماكن بعيدة عن المباني بمسافة لا تقل عن ارتفاعها وبعيداً عن خطوط الكهرباء، والاستماع لتعليمات الدفاع المدني من خلال وسائل الأعلام المتاحة.
- يتم فصل التيار الكهربائي من القواطع الرئيسية في المبنى.
- لا يتم استخدام الهاتف إلا للضرورة القصوى مثل الإبلاغ عن الإصابات.
- يتم إخلاء الإصابات خارج المبنى ويتم عمل الإسعافات الأولية بانتظار وصول سيارات الإسعاف في حالة وجود إصابات.

References: **المراجع**

AL – Dabbeek, j., (2000.), "Expected Seismic performance of Palestinian Common Buildings," Expert Meeting on Earthquake Engineering and Seismic Retrofit (UNESCO, Beirut,) Nov. 2000.

AL – Dabbeek, j., and Abdel Hakeem, J., (2003), Earthquake Scenarios, "Vulnerability and Expected Seismic Performance of Buildings and lifelines in Palestine," living with Risk, Expert Workshop, Cairo, Egypt, Dec. 2003.

Al-Dabbeek, J., and El-Kelani, R., (2005),"Dead Sea Earthquake of 11 February 2004, ML 5.2: Post Earthquake Damage Assessment in the West Bank, Palestine," the International Earthquake Engineering Conference, Nov. 2005, Jordan.

AL–Tarazi, E., (1992), "Investigation and Assessment of Seismic Hazard in Jordan and its Vicinity": Ph. D. Thesis, Ruhr – Universitat, Bochum, Germany.

Al - Qaryouti, M. Amrat, A., Q., and Maias, O., (1997) "Amplification Factor and Predominant period for the Site of Jordan Seismological Observatory Building Using Microtremar Measurements": Jordan Seismological Observatory, Buletin No. 29, Amman.

Aderson, J., (2001), "Dynamic Response of structures": The Seismic Design Handbook, Fazard Naeim, second edition, Kluwer Academic Publishers.

American Concrete Institute (1995), Building Code Requirements for Reinforced Concrete ACI 318 – 95 Detroit, Michigan.

Barazangi, M., (1983), "A summary of the seismotectonics of the Arab region", In Assessment of earthquake risk in the Arab region, K. Cidinsky & Rouhban (Editors), UNESCO Publication, 43- 77.

Campbell, K.W. and Bozorgnia, Y., (1994), "Near – Source Attenuation of Peak Horizontal Acceleration From Worldwide Accelerograms Recorded from 1957 to 1993", Proc 5th U.S.National Conf. Earthquake Eng., Vo1.3, 283-292, Chicago, Illinois.

Campbell, K.W., (1988), "Predicting Strong Ground Motion in Utah,", Evaluation of Regional and Urban Earthquake and Risks in Utah edited by W.W. Hays and P.L. Gori.

Chopra, A,K., (2001), "dynamics of structures", Theory and applications to Earthquake Engineering, Second Edition, Prentice Hall, New Jersey 07458.

DESERT Team, (2004), "The crustal structure of the Dead Sea Transform": Geophysics, J. Int. 156, 655 – 681.

Dawood,S., M., (1995), "Probabilistic Assessment of Seismic Hazard in the Eastern Arab Region", The International conference on Earthquake Engineering, Amman-Jordan, Oct. 1995.

David, J. Dowrick, (1987), "Earthquake Resistant Design for Engineers and Architects", 2nd Ed.,John Wiley and Sons, New York.

European Macroseismic Scale (1998). Working Group M.S., European Seismological Commission Luxembourg Cahiers du Center European de Geodynamique at de Seismologie, Vo 1. 15.

Earthquake Engineering Research Institute (1996). "Scenario for a Magnitude 7.0 Earthquake on the Hayward Fault": Report, EERI Publication No. HF-96.

Earthquake Engineering Research Institute, (1999), "The Athens, Greece Earthquake of September 7, 1999": Special Earthquake Report Learning from Earthquake, Volume 33, Number 11.

Earthquake Engineering Research Institute (1996). "Post -Earthquake Investigation Field Guide," Learning from Earthquake, Publication No. 96-1.

Earthquake Engineering Research Institute, (2003). "The Boumerdes Algeria, Earthquake May 21, 2003, learning from Earthquake, Reconnaissance Report, Oct 2003.

El–Isa, Z., Mechi, J., Prodehl, c. Makris, J. and Rihm, R., (1987), "A Crustal Structure Study of Jordan derived from seismic refraction data, Tectonophysics, 138, 235 – 253.

Elnashai, A., S. and El-Khoury, R., (2004), 'Earthquake Hazard in Lebanon," Imperial College Press, London WC2H 9HE.

Federal Emergency Management Agency (1998), "NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and other structures," FEMA 302, Part I and II, Building Seismic Safety Council, Washington, D.C., 1998.

Fournier d'Albe, E., (1988), "The Assessment of Seismic Risk," Edited by Koridze, A.: Seismic Risk assessment and Design of Building Structures, (UNESCO), Omega Scientific, England, , U.K., 31-46.

Hanson, R.D., (1996). "The evaluation of reinforced concrete members damaged by earthquake," Earthquake Spectra, 12 (3), 457-478.

Husein Malkawi, A.I., (1997), "Assessment of liquefaction potential and evaluation of settlements in sands due to earthquake shaking at Aqaba Bridge proposed hotel": Prepared For Arab Center for Engineering Studies (ACES), 95, PP.

Husein Malkawi, A., Numayr K. and Barakat S., (1999), "The Aqaba Earthquake of November 22, 1995, EERI", Earthquake Spectra, Volume 15 No. 3 August 1999.

Husein Malkawi, A. I. and Fahmi, Kh. J., (1999), "Locally derived earthquake ground motion attenuation relations for Jordan and conterminous areas": Quarterly Journal of Engineering Geology, 29, 309 – 319 November.

Hu,X., Liu, and Dong, W. (1996). "Earthquake Engineering," First Edition, Cahmpand and Hall, London SEI 8HN, U.k.

Idriss, I.M., (1990). "Influence of local Site Conditions on Earthquake Ground Motions," Proc. 4th U.S. Nat. Conf. Earthquake Engineering Vol. l. 55-57, Plam Springs, California

International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies IFRCRCS, (1999), World Disaster Report Geneva, Switzerland Academiques, Paris.

Ifrim,M., (1984), "Dinamica Structurilor Si Inginerie Seismica", Institutul de constructi – Bucres,ti, Romania.

Jordan Seismological Observatory **JSO**, (1988 – 2005), "Earthquakes in Jordan and adjacent areas": NRA, Jordan, Seis. Obs. Bull, No. 19 – 37.

Joyner, W. B. and Boore, D. M., (1981), "Peak Horizontal Acceleration and Velocity from Strong Motion Records Including Records from the 1979 Imperial Valley, California, Earthquake". Bull. Seism. Soc. Am., Val. 71, No. 6, 2011 – 2038.

Klinger, R.E. (1994). "Performance of Masonry Structures in the Northridge, California Earthquake of January 17, 1994," Technical Report 301-94 of the Masonry Society, Boulder, USA.

Lang, K., and Bachmann, H., (2004). "Seismic Vulnerability of Existing Buildings": A case study of the city of Basel, Earthquake Spectra (EERI), Volume 20, No.1.

Lagorio, H.J, (1990). "An Architects Guide to Nonstructural Seismic Hazards", John Wiley & Sons Inc., New York, 1990.

Mario Paz, (1994), "International Handbook of Earthquake Engineering", First Edition, by Chapman and Hall, N Y 10119, 331-341.

Mc Gavin, L. (1981), "Earthquake Protection of Essential Building Equipments" John wiley.

Mourad, Sh., (1998), "Seismic Design Philosophy": Lecture Notes for the Training course on Seismic Retrofit and Upgrading Fundamentals, Cairo Univ. and UNSCO Regional, Cairo Office.

Matthys, L. Salvadori, M., (1992), "Why Buildings Fall Down, How Structures Fail", by Keving Woest.

Moroianu, A., (1984), "Siguranta Baragjelor in Regiuni Seismic", Editure tehnica, Bucuresti, Romania.

Naeim, F., (2001), "The Seismic Design Handbook": second edition, Kluwer Academic Publisher.

Naeim, F., and Anderson, J., (1996), "Design Classification of Horizontal and Vertical Earthquake Ground Motion", a continuation of the research initiated by the 1993 FEMAL/EERI Professional Fellowship A ward, JAMA Report / No. 7738.68-96.

NEHRP, (1997), "Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings", 1997 Edition, Building Seismic Safety Council, Washington, D.C..

NEHRP (1997), "Guide Lines for the Seismic Rehabilitation of Buildings", FEMA-273, Building Seismic Safety Council, Washington, D.c.

Pop, I., Negoita, A., and others (1985). "Inginerie Seismica", Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti.

Oliveria, C., (2003). "Seismic Vulnerability of Historical Constructions, Bulletin of Earthquake Engineering": European Association for Earthquake Engineering, Vol. 1, No.1.

Peter S., and Marjanal, L., (1988), “Estimation of Expected seismic Vulnerability”: UNESCO INEEC, Omega scientific, U.K., 47-62.

Priscu, R., Popvici, A., and others (1980), "Earthquake Engineering of Hydraulic Structures": Edituro Didactica Si Pedagogica, Bucuresti.

Paulay, T., (1986) "The Design of Ductile Reinforced Concrete Structural Walls for Earthquake Resistance," EERI Earthquake Spectra 2, No. 4, 783-823, Oct.

Radu, P., and others, (1980), "Ingineria Seismica a Constructiilor Hidrotehnice": editura didactica si pedagogica, Bucuresti, Romania.

Robin, A., and others, (1983). “Assessment and Mitigation of Earthquake Risk in the Arab Region": UNESCO, PAMERAR Program.

Romo, M.P. and Seed, H.B. (1986) "Analytical mode lling of dynamic soil response in the Mexico Earthquake of September 19, 1985, "Proceedings, ASCE International Conference on the Mexico Eqthquakes-1985, Mexico City, PP. 148-162.

Salvadori, M., (1983). "Constructii Lupta Impotriva Gravitatiei, Editura Albatros, Bucuresti.

Sheppard, P., (1988), "Estimation of Expected Seismic Vulnerability": Koridze, A.: Seismic Risk Assessment and Design of Building Structures, (UNESCO), Omega scientific, England.

Sadek,A,. (1998). “Seismic Evaluation of Existing structures,” Lectures Notes for the Training Course on Seismic Retrofit and Upgrading Fundamentals, UNESCO Regional office, Cairo.

Steven K., (1996). “Geotechnical Earthquake Engineering": University of Washington, Prentice Hall, New Jersey 07458.

Stone, W.,C., Yoke, F.,Y., Celebi, M., Hanks, T., and Leyendecker, E.,V., (1987), "Engineering Aspect of the September 19, 1985. Mexico Earthquake", NBS Building Science Series 165, National Bureau of Standard, Washington, D.C

U.S. Geological Survey Circular, (2000), “Implications for Earthquake Risk Reduction in the United States from the Kocaeli, Turkey, Earthquake of August 17, 1999”: circular 1193.

Uniform Building Code UBC, (1997), “Edition, International conference of Building Officials”: Whittier, California, 1997.

Uniform Building Code UBC, (1994), “International conference of Building officials”: 1994 edition, Whittier, California.

UNESCO, (1995), “Training Material for Disaster Reduction”, Participation in Structural Upgrading, project Delft, the Netherlands.

USAID-MERC Project Team, (2004), “Earthquake Hazard Assessment and Building Code”: Final report, Earth Sciences and Seismic Engineering Center at An Najah National University.

William, L., (1996). "Ground Failure Phenomena", Scenario for a Magnitude 7 Earthquake on the Hayward Fault, Earthquake Engineering Research Institute (EERI), CA HF-96, with support from the Federal Emergency Management Agency (FEMA).

Walter, H., Bagher, M., and Jodi, M., (1998), "Seismic Zonation": A Closing Activity of the International Decade for Natural Disaster Reduction, Monograph, Presses.

International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, (1999), "World Disaster Report": Geneva, Switzerland.

Yuxian Hu,, (1999). "Seismic Risk Assessment and Disaster Management": International Training Course 2000, Potsdam, Germany.

Earthquake Engineering Research Institute, (1973-2007). Newsletters and Reconnaissance reports,

ـ تقارير المعهد الأمريكي لابحاث هندسية الزلازل (EERI)، حول زلزال سان فرناندوا 1971، والمكسيك 1985، وأرمينيا 1988، وليمابرتا ـ كاريفورنيا 1989، وإيران 1990، والفلبين 1990، وكوستاريكا 199، ونوثريدج ـ كاريفورنيا 1994، وكولومبيا 1999، وتركيا 1999، وتايوان 1999، والهند 2001 والسلفادور2001، وبام ـ إيران 2003، واندونيسيا ـ جزيرة سومطرة (تسونامي) 2004، واليابان 2004، وباكستان 2005، وأندونيسيا 2006، واليابان 2007.

المراجع باللغة العربية

أبوديه ايوب، 1986 "عيوب الأبنية" الطبعة الأولى، المطبعة الوطنية، عمان.

الدبيك جلال، (2007)، "قابلية الاصابة والسلوك الزلزالي المتوقع للمباني في الضفة الغربية، فلسطين" مجلة الجامعة الاسلامية ـ غزة، المجلد الخامس عشر، العدد الاول، يناير 2007.

الدبيك جلال، (2007) ، "الزلازل وجاهزيتنا"، الطبعة الأولى، عمادة البحث العلمي، جامعة النجاح الوطنية.

الدبيك جلال، (2006)، "تصميم المباني لمقاومة أفعال الزلازل"، دوسية مساق – مشروع كتاب، كلية الهندسة، جامعة النجاح الوطنية.

الدبيك جلال، (2006)، "الزلازل وجاهزيتنا بكل صراحة"، مقالة، الجزيرة نت، www.aljazeera.net

الدبيك جلال ، (2000)، "أنماط المباني الدارجة محلياً والزلازل" مجلة المهندس الفلسطيني العدد 45، 100 .103

الدبيك جلال ، (2000)، "التفجيرات التجريبية في البحر الميت" مجلة المهندس الفلسطيني العدد 45، 109 .110

الدبيك جلال، (1999)، "تخفيف مخاطر الزلازل في فلسطين"، الحلقة الدراسية الرابعة لمجالس البحث العلمي العرب، اليمن.

الدبيك جلال، جردانه عصام، الجوهري عبد الحكيم، (1998)، "الدراسات والفحوصات الهندسية ومعالجة الانزلاقات في منطقة الجبل الأبيض ـ نابلس"، ندوة الفحوصات الهندسية وتطور الصناعة الإنشائية، كتاب أبحاث الندوة صفحة 163 – 192، فلسطين.

الدرويش، إبراهيم (1975). "الخلطات الخرسانية"، الناشر منشأة المعارف، الإسكندرية، رقم الإيداع بدار الكتب 75/2050.

ايلوش محمد، (1996) "أساسيات علوم الزلازل والهندسة الزلزالية"، الطبعة الأولى، ايداع ع ــ 1996/1/94، دمشق، سوريا.

السمارة محمد، (2006) "اساسيات ديناميك المنشآت والهندسة الزلزالية" الطبعة الاولى، دمشق.

السنوي سهل، (1997) " أساسيات علم الزلازل"، الطبعة الأولى، صنعاء، اليمن.

ابو المجد شريف، كمال منير، سلامة عمرو، الابياري شادية، (1997)، تصدع المنشآت الخرسانية وطرق اصلاحها"، الطبعة الثانية، دار النشر للجامعات، مصر.

الكود العربي الموحد للمباني والمنشآت المقاومة للزلازل، (2005). مجلس وزراء الإسكان والتعمير العرب، دمشق.

الشريف روحي، (1996)، "انشاء المباني"، الجزء الاول: الاعمال الهيكلية، الطبعة الثالثة، عمان، الاردن.

الشريف روحي، (1982)، "تكنولوجيا وخواص الخرسانة"، الطبعة الأولى، عمان، الاردن.

جمعه، حسين (1997)، "انهيار العمارات ــ الأسباب الهندسية والقانونية"، مكتب الدراسات والاستشارات الهندسية، الطبعة الاولى، رقم الإيداع الدولي 19/22874/، مصر 977.

عمرات عبد القادر (1995) "كيف تقاس الزلازل"، دورية مرصد الأردني، العدد 27، عمان.

عمرات عبد القادر (2000)، "دراسة أولية حول تفجيرات البحر الميت" دورية مرصد الزلازل الأردني، العدد 32، عمان.

عزالدين محمد كمال (1987)، دراسة وتحقيق حول "كشف الصلصة عن وصف الزلزالية " لجلال الدين السيوطي، الطبعة الاولى، عالم الكتب، بيروت.

واكد خليل، (1996)،"تصميم المنشآت الخرسانية لمقاومة الرياح والزلازل"، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة.

نشرات توعية وإرشاد "قبل وأثناء وبعد" الزلازل/الكوارث، صادرة عن عدد من المؤسسات الفلسطينية والعربية والدولية، وأهمها:

مركز علوم الأرض وهندسة الزلازل في جامعة النجاح 1997.

المديرية العامة للدفاع المدني ــ إدارة الكوارث والتعاون الدولي 2004 و 2006، الأردن.

المركز الوطني للبحث المطبق في هندسة مقاومة الزلازل والمديرية العامة للحماية المدنية، 1997، الجزائر.

المعهد الدولي لهندسة الزلازل وعلم الزلازل (IIEES)، دائرة العلاقات العامة، بالتعاون مع برنامج الأمم المتحدة الإنمائي UNDP، 1997 إيران.

معهد دراسات الزلازل في جامعة Bogazici University تركيا، 2003
اتحاد لجان الإغاثة الطبية الفلسطينية، "قيادة وإدارة الطوارئ والأزمات، 2000، فلسطين.
اللجنة الوطنية العليا للتخفيف من آثار الكوارث، اليمن.
سلطة المصادر الطبيعية، والدفاع المدني الأردني (عدد من النشرات)، الأردن.
الهلال الأحمر الفلسطيني، 2005.

وثائق تاريخية لاحداث زلزالية تعرضت لها المنطقة:

الاتابكي، جمال الدين ابي المحاسن يوسف بن تغري بردي، 813 ــ 874 هـ: النجوم الزاهرة في ملوك مصر والقاهرة. قدم له وعلق: محمد حسين شمس الدين، طـ 1، دار الكتب العلمية، بيروت 1992.

الحنبلي، قاضي القضاة ابو اليمن القاضي مجير الدين، (1973)، الانس الجليل بتاريخ القدس والخليل، جزئين ، ب . ط، مكتبة المحتسب، عمان ــ الأردن.

الحوت، بيان نويهض، (1991)، فلسطين، القضية ــ الشعب الحضارة، التاريخ السياسي من عهد الكنعانيين حتى القرن العشرين 1917، ط 1 دار الاستقلال للدراسات والنشر، بيروت.

النمر، احسان، (1975)، تاريخ جبل نابلس والبلقاء، 4 أجزاء، ب.ط، جمعية عمال المطابع التعاونية، نابلس.

الموسوعة الفلسطينية، (1984)، القسم العام، أربع مجلدات، ط1، ب. د، دمشق.

حمودة، احمد عبد الرحمن وآخرون، (1990) موسوعة المدن الفلسطينية، ط1، دار الثقافة م.ت.ف.

عز الدين محمد كمال (1987)، دراسة حول كتاب كشف الصلصلة عن وصف الزلزلة لجلال الدين السيوطي، عالم الكتب، الطبعة الأولى.

وثائق مكتبة بلدية نابلس، موضوع الزلزال، رقم الموضوع(21)، الملف رقم(7): مشروع الاسكان (1928 – 1945)، عدد اوراق الملف (178).

سجلات بلدية نابلس، موضوع السجل: ضبط مقررات المجلس البلدي 1925 – 1927 رقم الموضوع (27)، رقم السجل (5)، عدد أوراق السجل (207).

وثائق وتقرير: جريدة البشير بيروت، وجريدة الجامعة العربية القدس، وجريدة حكومة فلسطين الرسمية (الوقائع) القدس، وجريدة الكرمل ــ حيفا، وجريدة الفتح ــ مصر، وجريدة فلسطين ــ يافا ، الاعداد الصادرة خلال الفترة 7/15 – 1927/7/30، مكتبة بلدية نابلس.

يحمل الدكتور جـــلال نمـــر الدبيـــك درجة الدكتوراه في الهندسة من جامعة كلوج نابوكا التقنية فـــي رومانيا. التخصص العـــام : هندسة بناء (انشاءات)، والتخصص الدقيق : منشآت مقاومـــة للـــزلازل "هندسة زلازل"، عمل منذ العام 1989 حتى 1996 في جامعة صنعاء باليمن، وجامعة بيرزيت فـــي فلسطين. ويعمل حالياً محاضراً في كلية الهندسة بجامعة النجاح الوطنية في فلسطين، ومديراً لمركـــز علوم الأرض وهندسة الزلازل في الجامعة.

من أهم نشاطاته وأعماله:

- المشاركة في عشرات المؤتمرات والندوات وورشات العمل المحلية والعربية والدولية حول الموضوعات المختلفة لهندسة الزلازل (تصميم المباني لمقاومة الزلازل، وتأهيل المباني القائمة زلزالياً، وتحليل الأخطار، وإدارة الكوارث).
- إجراء عدد كبير من الدراسات والأبحاث وتقديم الاستشارات العلمية لصالح مؤسسات محلية وعربية ودولية.
- تقديم مئات المحاضرات العامة والبرامج الإعلامية المرئية والمسموعة والمكتوبة، وذلك لرفع المستوى الثقافي والعلمي في موضوعات تخفيف المخاطر الزلزالية وتحليل الأخطار والمباني المقاومة للزلازل.
- نشر عشرات الأبحاث والمقالات حول المواضيع المختلفة لهندسة الزلازل المختلفة وإدارة الكوارث، وذلك من خلال المجلات العلمية والمؤتمرات والندوات وورشات العمل والصحف ومواقع الانترنت المحلية والعربية والدولية.
  تاليف ونشر نشر كتاب "الزلازل وجاهزيتنا"
- **العضوية** في عدد من المعاهد والمراكز واللجان العلمية وأهمها:
  - المعهد الأمريكي لأبحاث هندسة الزلازل EERI.
  - لجنة التعليم الهندسي في اتحاد المهندسين العرب ممثلاً لفلسطين.
  - لجنة التعليم الهندسي في الفدرالية الدولية ممثلاً لفلسطين.
  - مجموعة خبراء RELEMR الدولية " تخفيف مخاطر الزلازل في حوض البحر المتوسط" الممولة من اليونسكو، و المجموعة العربية الشرق أوسطية MESF والتي تعنى بالزلازل وتخفيف مخاطرها.
  - الهيئة الوطنية العليا للتخفيف من أخطار الكوارث (نائب رئيس الهيئة).
  - بالإضافة إلى عضوية ورئاسة لجان علمية وتحضيرية واستشارية في ندوات وورشات عمل ومؤتمرات محلية وعربية ودولية.