



# الزلازل ... وتأثيرها على المنشآت الخرسانية وكيفية تخفيف مخاطرها

اعداد

---

المهندس المدني / بختيار عبدالرحمان احمد

الزلازل ...  
وتأثيرها على المنشآت الخرسانية  
وكيفية تخفيف مخاطرها

اعداد/

المهندس المدني/ بختيار عبدالرحمان احمد  
السليمانية

هاتف/ 07701542790

## فهرست المحتويات

| الصفحة | الموضوع  |
|--------|--|
| 4      | 1 مقدمة  |
| 5      | 2 الزلازل ( الهزات الأرضية)                              |
| 6      | 3 أسباب الزلازل (الهزات الأرضية)                         |
| 10     | 4 تأثيرات الزلازل (الهزات الأرضية) على المباني           |
| 18     | 5 كيفية تخفيف مخاطر الزلازل (الهزات الأرضية) على المباني |

## 1- المقدمة:

إن أسوأ الكوارث 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 بصورة 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 مقاومة لأفعال الزلازل.

## 2- الزلازل:

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

تُعرف السيسمولوجيا (**Seismology**) على أنها علم الهزات الأرضية أو الزلازل، وهي أحد فروع الجيوفيزياء، وبشكل عام يهتم علم الزلازل بدراسة هيكلية وطبقات الكرة الأرضية، وبأصل وسبب وآلية حصول الهزات. وبدورها تعتمد هندسة الزلازل (**Earthquake engineering**) على معطيات علم الزلازل، وتهتم بتحليل أثر الاهتزازات على العناصر الإنشائية واستقرار المنشآت، وذلك من خلال دراسة تصرف هذه المنشآت تحت تأثير الزلازل. وقد شهد النصف الثاني من القرن العشرين تطوراً واضحاً لهندسة الزلازل، بحيث شملت تطبيقاتها جميع أنواع المنشآت المدنية والصناعية والزراعية وغيرها، وأصبحت تعالج المشاكل الدقيقة للمنشآت.

### 3- أسباب الزلازل (الهزات الأرضية):

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 التفسيرات لم تخرج عن إطار الأساطير والخرافات أحياناً. 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:

3-1-1 - الزلازل التكتونية (Tectonic Earthquakes).

3-1-2 - الزلازل البركانية (Volcanic Earthquakes).

3-1-3 - الزلازل الانهيارية (Collapse Earthquakes).

ب - أسباب غير طبيعية.

وهي الزلازل التي تنتج من نشاطات الإنسان (Man-Made Earthquakes) التي تخل بالتوازن 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.

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

### 3-1-1 - 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 فإن 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، إضافة 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.

## 2-1-3- الزلازل البركانية (Volcanic Earthquakes) .

في المناطق الضعيفة من القشرة الأرضية، تندفع الصخور المنصهرة والمنطقة 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  $D = 1-10 \text{ Km}$ .

عمق المركز الجوفي  $D < 1 \text{ Km}$ .

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.



### 3-1-3- 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.

## 4 - تأثيرات الهزات الأرضية على المباني:

### (1-4) اعتبارات عامة

تعرض المنشآت عادة إلى أنواع مختلفة من الأحمال، وتصنف هذه الأحمال استناداً لطبيعتها 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 يتعرض لها

المباني، فيمكن تلخيصها بالتأثيرات الموضحة في الشكل (1.4) 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

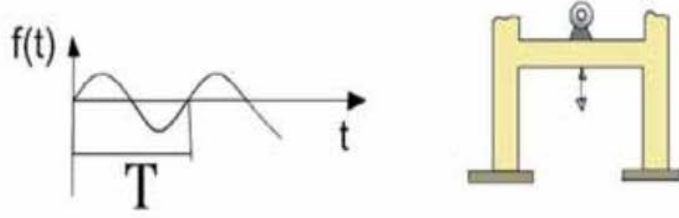
من خلال (قواعد ارتكاز المنشآت الأساسات)، أي أن الحركات الأرضية الزلزالية تؤثر في قواعد

المبنى، ومن ثم تنتقل هذه الأحمال من القواعد إلى المبنى.

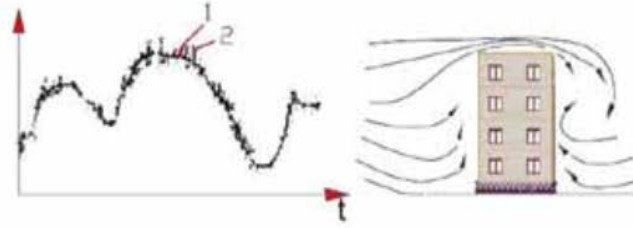
وبلا شك تعتبر الهزات الأرضية التأثير الديناميكي الأكثر أهمية وذلك بسبب ما ينتج عنها من دمار

وخسائر بشرية ومادية وخصوصاً في التجمعات السكانية الكبيرة، الأمر الذي فرض استخدام علم

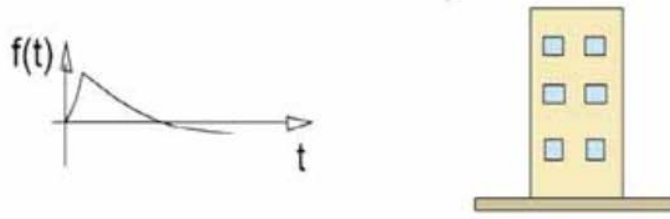
هندسة الزلازل (**Earthquake Engineering**) في الأعمال الإنشائية وذلك لإيجاد الأفكار والحلول



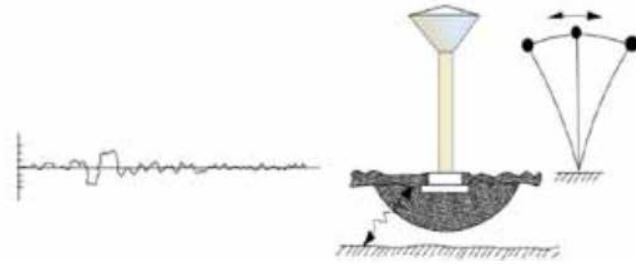
(أ) تأثير حركة الاهتزازات الناتجة عن الماتورات



(ب) تأثير حركة الرياح على المباني



(ج) تأثير الانفجارات على المباني



(د) تأثير الحركات الاهتزازية الأرضية على المنشآت

شكل (1-4) : 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 الزلازل نفسه وإنما هندسة كل شئ يتأثر بالزلازل، وذلك من خلال تصميمه وتنفيذه لمقاومة أفعال الزلازل وتوفير متطلبات السلامة العامة الأخرى. ويمكن تمثيل تأثير الهزات الأرضية على المنشآت من خلال الإثارة الديناميكية التي تطبق على قاعدة ارتكاز المنشآت، أما التصرف الزلزالي للمنشآت فيمكن تحليله باعتباره (موضوع اهتزازات ) كما موضح فى الشكل(1-1-1-د) خصائص الحركات الاهتزازية للمنشأ والمتمثلة في كل من سعة الاهتزازات وترددتها ومدة تأثيرها، فيمكن إيجادها من خلال استخدام النماذج الرياضية، وحالياً يتوافر للمهندس المصمم عدد من برامج التحليل المتطورة والتي تُساهم بشكل كبير في تسهيل وتبسيط عملية النمذجة وجميع العمليات التحليلية والتصميمية اللازمة

## 4 - 2 آلية تأثير الهزات الأرضية على المباني:

تحدث الزلازل حركات اهتزازية معقدة جداً وكننتيجة لهذه الحركات أظهرت جميع تسجيلات الأحداث الزلزالية أن الرسوم البيانية لكل من إزاحة وسرعة وتسارع الحركات الزلزالية تكون معقدة وغير منتظمة بمعنى آخر تكون هذه التسجيلات عشوائية ومتغيرة مع الزمن والاتجاه والمقدار. ولتوضيح آلية تأثير الحركات الاهتزازية الأرضية على المنشآت، يمكن تقسيم حركات المبنى لثلاث مراحل، هي:

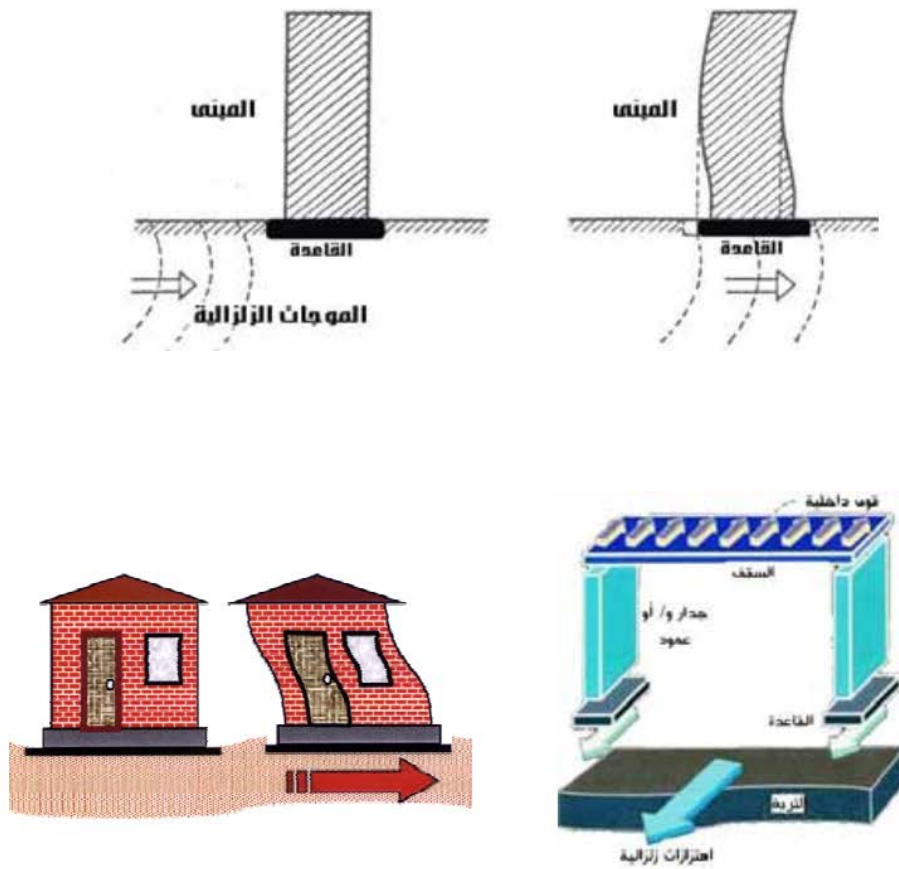
### المرحلة الأولى:

عند وصول الموجات الزلزالية إلى المبنى كما موضح في الشكل (1-2-4) ستؤثر حركاتها الاهتزازية على قواعد "أساسات المبنى فتحركها، وإذا كانت أساسات المبنى صلبة جداً فإنها حركاتها ستكون انتقالية وبالاتجاهات الثلاث، بمعنى تعمل الحركات الاهتزازية الأرضية في الاتجاه شمال - جنوب على تحريك (إزاحة) القواعد باتجاه شمال - جنوب، في حين ستؤدي الحركات الأرضية شرق - غرب إلى تحريك القواعد بنفس الاتجاه، أما الحركات الاهتزازية الرأسية أعلى - أسفل فإنها ستؤدي بدورها إلى تحريك القواعد بنفس الاتجاه أنظر إلى حركات المبنى الموضحة في الشكل (2-2-4 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، فيتحرك جسم المبنى بحركات معاكسة لحركات القواعد "لكل فعل رد فعل مساوٍ له في المقدار ومعاكس في الاتجاه"، انظر الشكل (1-2-4) فحركة المبنى هذه ترتبط ارتباطاً وثيقاً بكتلته الذاتية، ويمكن تعريفها على أنها نوع من المقاومة الذاتية، علماً أن حركة المبنى الفجائية تعرضه لصدمة ديناميكية، وقد تؤدي لحصول تشوهات وأضرار في المبنى.

### المرحلة الثاني :

خلال هذه المرحلة تستمر الحركات الاهتزازية الأرضية وتنتشر الموجه/ الموجات في جسم المبنى، ويعمل المبنى في هذه الحالة كعضو كابولي مثبت في القاعدة، ويبدأ في الاهتزاز بالاتجاهات الثلاث، فمثلاً: إذا وضع في مبنى محطة لرصد الحركات الاهتزازية وحصل زلزال فان هذه المحطة ستسجل الحركات الاهتزازية في الثلاث اتجاهات: شرق - غرب، وشمال - جنوب، وأسفل - أعلى، أنظر الشكل (3-2-4) 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 لآخر.

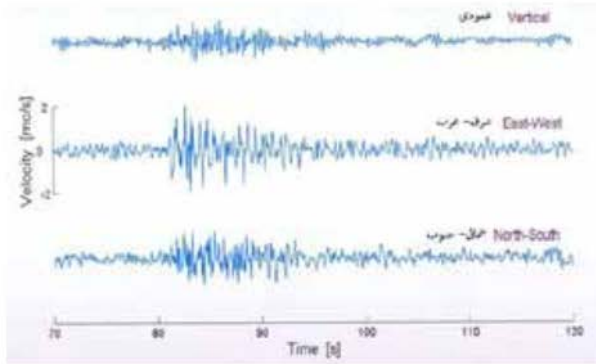


شكل (1-2-4): آلية تأثير الموجات الزلزالية على أساسات المبنى وردة الفعل التي يطورها جسم المبنى



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

شكل (2-2-4): الحركات المحتملة للمباني في حالة كانت أساسات هذه المباني عالية الصلابة



3 مجسات لتسجيل الحركات الزلزالية

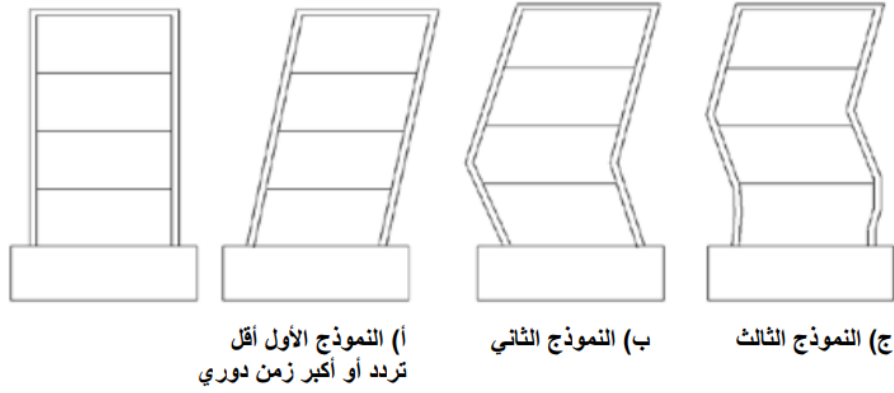
شكل (3-2-4): تسجيلات الحركات الاهتزازية الأرضية في الاتجاهات الثلاث

### المرحلة الثالثة :

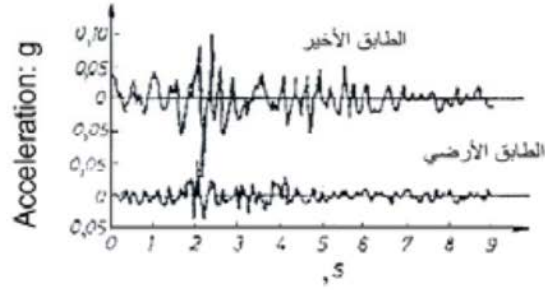
بعد أن تقف الحركات الاهتزازية الأرضية يستمر المبنى بالحركة لمدة إضافية من الزمن وتسمى هذه الحركة بالحركات الاهتزازية الحرة، في حين تسمى حركته خلال المرحلة الثانية بالحركات الاهتزازية المثارة. ويعتقد الكثير من الناس وبعض المهندسين أن حركات المبنى الاهتزازية تكون اهتزازية بندوليه فقط انظر إلى الشكل (4-2-4 أ)، وهذا غير صحيح لان المبنى يحتمل أن يتعرض إلى ثلاثة نماذج من الحركات الاهتزازية انظر الشكل (4-2-4). 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 (5-2-4) 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 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 كتل المبنى، لذلك وبهدف الحصول على نماذج وحلول هندسية إنشائية أقرب إلى الواقع يلجأ المصمم أثناء إجراء التحليل الديناميكي للمنشآت إلى تجزئة المنشأ الواحد إلى عدد من الكتل، علماً أن العلاقة بين عدد كتل المنشأ الواحد ودقة الحل تعتبر علاقة طردية





شكل (4-2-4): نماذج الحركات الاهتزازية المحتملة للمنشآت



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

شكل (4-2-5): نماذج لتسجيلات الحركات الأرضية الزلزالية

## 5 - كيفية تخفيف مخاطر الزلازل (الهزات الأرضية) على المباني :

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، لا تكمن في الزلزال نفسه، "فالزلازل لا يقتل، وما يفعل ذلك هو المباني، أو الحرائق، والانزلاقات الأرضية التي تثيرها الزلازل"، بل تكمن في عدم جاهزيتنا، فالعديد من المباني والبنى التحتية لا تتوافر فيها متطلبات المقاومة للزلازل.

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.

يعتمد حجم أو مستوى المخاطر الناتجة عن كارثة ما على عدد من العوامل والمعايير، أهمها هو الزلزال مصدر وطبيعة الكارثة، وفي حالة الزلازل يكون الخطر أو مصدر الخطر - (Hazard) 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 يحدث خسائر ومخاطر كبيرة، فمثلاً تتعرض اليابان، وولاية كاليفورنيا، لزلزال قوية، ومع ذلك يكون تأثيرها (أي المخاطر الناتجة) في كثير من الحالات وكانت الخسائر كبيرة ، في حين تعرضت الكثير من دول العالم الثالث، مثل: العراق و إيران وتركيا والمغرب الى زلازل بقوة (6 الى 7) درجة حسب مقياس ريختر تقريباً.

## عوامل وكيفية تقليل مخاطر الزلزال:

### 1-5 عدم الاخطاء فى طبيعة الموقع:

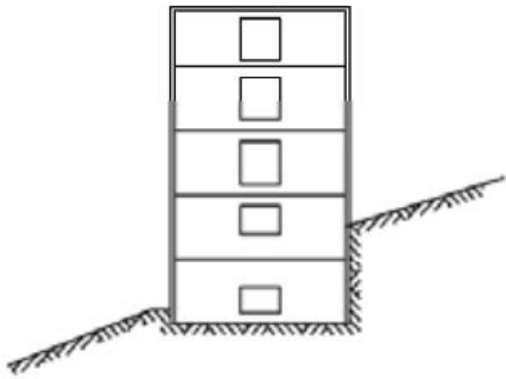
لطبيعة الموقع وتربة التأسيس تأثير كبير على سلوك المبنى الزلزالي، فقد أظهرت الوقائع والأحداث الزلزالية في كثير من دول العالم، كالزلازل التي حصلت في كل من : سان فرناندوا سنة 1971 و فرانسسا - رومانيا ، 1977 والمكسيك ، 1985 وليمابرتا - كاريفورنيا ، 1989 وايران ، 1990 والفلبين ، 1990 وكوستاريكا ، 1991 ونوثرديج - كاريفورنيا ، 1994 وكوبي - 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:

### 2-5 عدم البناء على الأراضي الجبلية شديدة الانحدار وعلى أرض لها قابلية للانزلاقات الأرضية : عدم

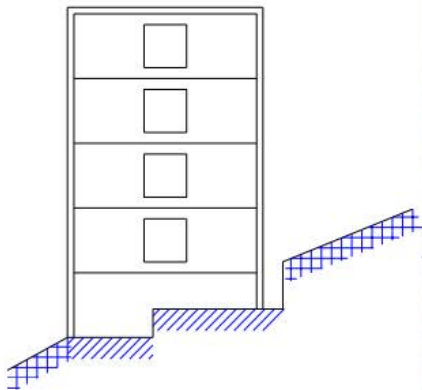
البناء على الأراضي الجبلية شديدة الانحدار دون إجراء التسويات اللازمة قد يؤدي إلى ارتفاع قابلية الإصابة الزلزالية للمباني، وخصوصاً إذا كانت تربة التأسيس تتكون من الصخر الجيري المفكك (كما مبينة في الشكل (2-5) ولتجنب عامل تأثير طوبغرافية وانحدار الموقع، يجب إعطاء الأولوية دائماً لتسوية الموقع وجعله أفقياً أسفل المبنى (شكل 1-2-5) وفي حالة المباني ذات المساحات الكبيرة يمكن إجراء تسويات متدرجة أي تسوية الأرض على شكل درج (شكل 2-2-5).



الشكل (2-5)



شکل (1-2-5)



شکل (2-2-5)

### 3-5: عدم 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، إذا تعرضت تربة الموقع لحصول ظاهرة التميؤ، فقد أظهرت الأحداث والتجارب الزلزالية أن التربة الرملية المشبعة بالرطوبة تنمياً أي تصبح كالماء عند تعرضها للهزات الأرضية وخصوصاً القوية منها .

### 4-5 عدم 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، يؤدي 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).

## 5-5 عدم أخطاء تتعلق بالتشكيل المعماري والإنشائي للمباني :

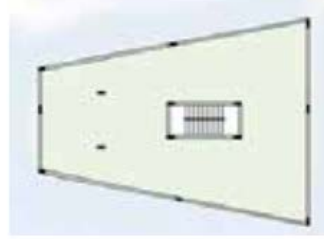
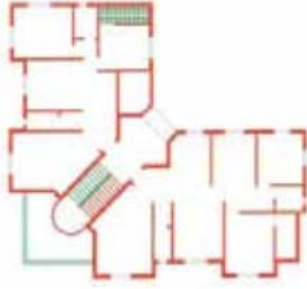
للتشكيل المعماري وابعاد المبنى، ولنوع وتوزيع وطريقة ربط العناصر الإنشائية (العناصر الإنشائية)، هي العناصر الحاملة، مثل الأعمدة، والجسور، والجدران الحاملة، والاسقف، والقواعد، اما العناصر غير الإنشائية فهي العناصر المحمولة، كجدران الطوب والرخام والبلاط والديكور... الخ (فلها دور

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 بما يلي

### 5-5-1 استخدام مبانٍ اشكال مساقطها الأفقية غير منتظمة/غير متماثلة:

عدم تحقيق التماثل التقريبي لأشكال المساقط الأفقية للعديد من المباني (الشكل 5-5-1) يسهم بشكل كبير في ارتفاع قابلية إصابتها الزلزالية، فقد أظهرت الدراسات والاحداث الزلزالية ان تحقيق التماثل في أشكال المساقط الأفقية للمباني، يساهم 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 الأفقية.



زلزال الفلبين 1990

زلزال الفلبين 1990

(الشكل 5-5-1) اشكال مساقطها الأفقية غير منتظمة/ غير متماثلة



### 2-5-5 استخدام مبانٍ اشكال مساقطها الجانبية غير منتظمة/غير متماثلة:

تحقيق التماثل في أشكال المساقط الجانبية للمباني يسهم 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 حالة الأراضي 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 (الشكل 2-5-5) في المدن والتجمعات السكانية، سيؤثر، بشكل واضح، على قابلية الإصابة الزلزالية لهذه المباني.

زلزال كوبي- اليابان 1995



زلزال كوبي- اليابان 1995

(الشكل 5-5-2) اشكال مساقطها الأفقية غير منتظمة/غير متماثلة

### 3-2-5 عدم استخدام فواصل الزلزالية:

عدم استخدام الفواصل الزلزالية بين المنشآت أو اجزاء المنشأ الواحد وعدم الالتزام بالعرض المطلوب لهذه الفواصل قد يؤدي إلى تصادم هذه المباني ( الشكل 3-2-5 )

ولمنع تصادم المباني المتجاورة/ أو المتلاصقة 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 الإنشائية: نظام الأعمدة والجسور المسلحة، ونظام الهياكل/ أو الأطارات الخرسانية المسلحة، ونظام الجدران المسلحة، والنظام المشترك أعمدة وجدران مسلحة، ونظام الجدران الحاملة غير المسلحة.



زلزال المكسيك 1985

## زلزال المكسيك 1985



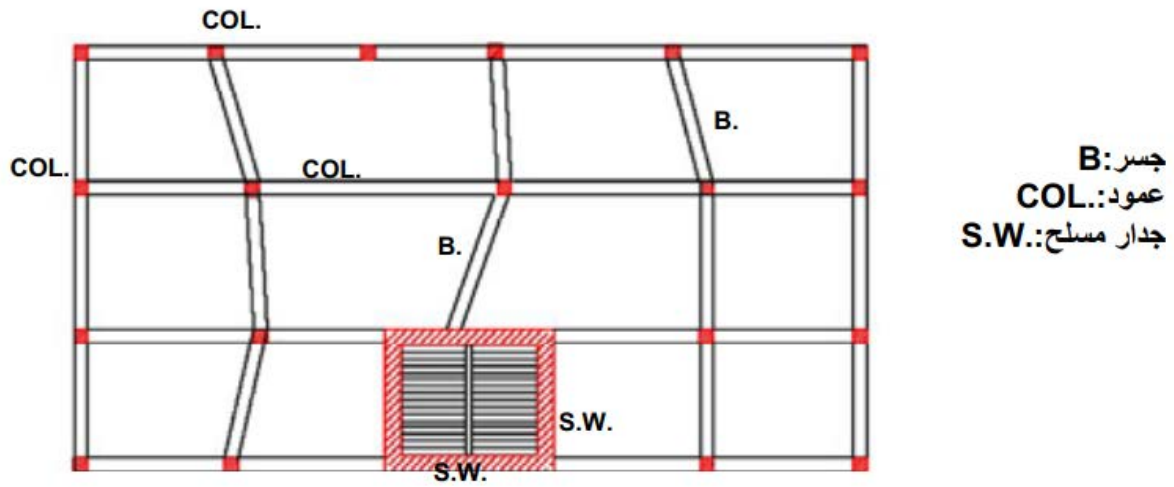
شكل (3-2-5): احتمال حصول تصادم للمباني المتلاصقة (المتجاورة) بسبب عدم كفاية عرض الفواصل الزلزالية

### 4-2-5 عشوائية توزيع الأعمدة والجسور المسلحة في المستوى الأفقي للمباني.

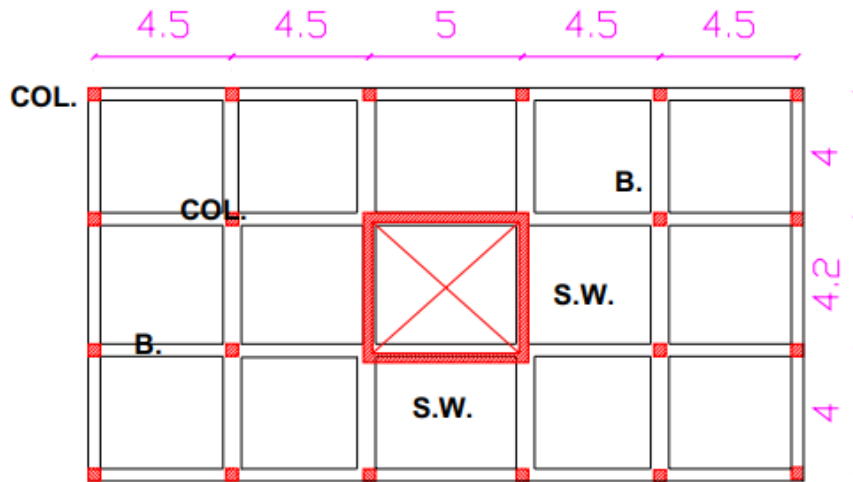
بنظرة سريعة إلى واقع تصميم وتنفيذ المباني يلاحظ أن توزيع الأعمدة في بعض من الحالات يكون عشوائياً وغير متماثل، وذلك لان عملية توزيع هذه الأعمدة تتأثر بشكل كبير بتوزيع وتقسيم الغرف والفراغات، أي تتأثر بالتصميم المعماري، وغالباً لا يأخذ المهندس المعماري بالاعتبار ضرورة توزيع الأعمدة بشكل متماثل، وبعد الانتهاء 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 (4-2-5-أ)

ويعتبر توزيع الأعمدة والجسور على شكل شبكيات في المساقط الأفقية للمباني، أي توزيعها بشكل أحد أهم متطلبات التصميم الزلزالي **Y** و **X** متماثل حول المحاور الطولية والعرضية للمبنى المحاور للمباني) انظر الشكل (4-2-5-ب) حيث يمكن للأعمدة والجسور في هذه الحالة أن تعمل كإطارات/ هياكل إنشائية فراغية او مستوية في كل من الاتجاه الطولي والعرضي للمبنى



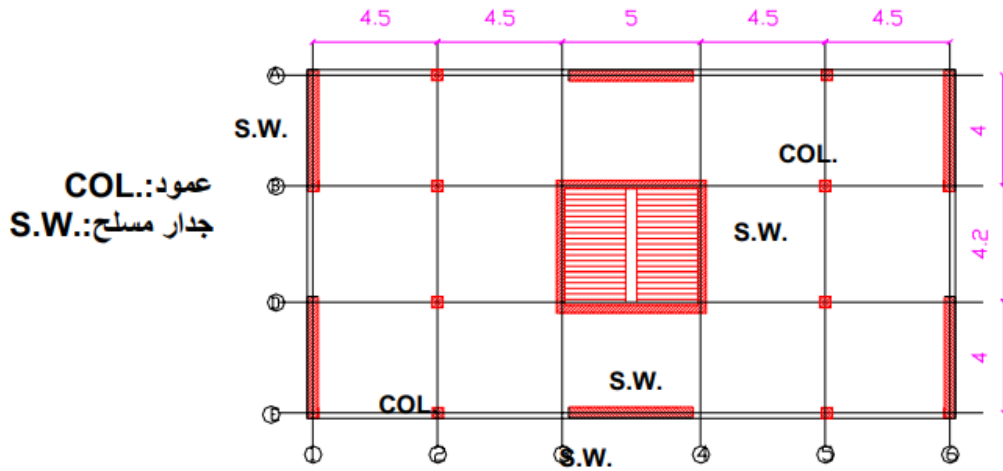
(1- 4-2-5) توزيع للأعمدة و الجسور بشكل عشوائي في المسقط الأفقي للمبنى



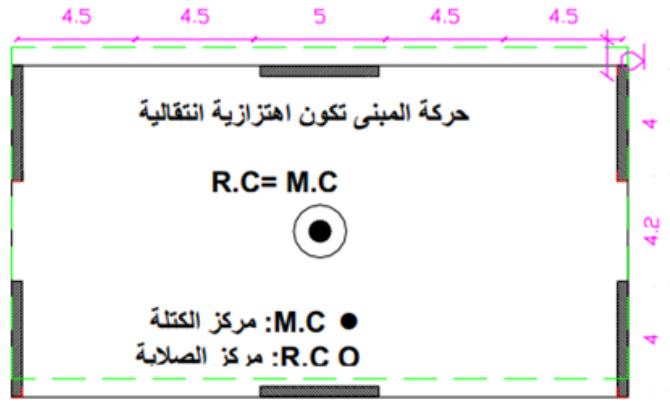
شكل (2-4-5-ب): توزيع الأعمدة و الجسور بشكل منتظم و متماثل في المسقط الأفقي للمبنى

### 5-2-5 - عدم تحقيق التماثل التقريبي في توزيع العناصر الإنشائية الرأسية في المساقط الأفقية:

تحقيق التماثل التقريبي لتوزيع العناصر الإنشائية الرأسية في المساقط الأفقية للمباني يساهم، 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 الرياح ستكون حركته الاهتزازية من نوع الحركات الاهتزازية الانتقالية (الشكل 5-2-5-1 و ب) أما في حالة تركيز توزيع العناصر الإنشائية في أحد أجزاء المبنى، فإن ذلك سيؤدي الى ابتعاد مركز صلابة المبنى عن مركز كتلته أو مركز شكله، وهذا يسمى علمياً بالانحراف المركزي، أي انحراف مركز الصلابة عن مركز الكتلة، ويعرف هذا الانحراف في معظم المراجع العالمية بـ (  $e_0$  ) وبدوره سيؤدي هذا الانحراف الى تعرض المبنى لحركات اهتزازية انتقالية وأخرى دورانية التوائية ومن الجدير بالذكر، أنه كلما زادت قيمة الانحراف (  $e_0$  ) زادت قوى وعزوم (الشكل 5-2-5-ت) الالتواء التي يتعرض لها المبنى.



شكل (5-2-5-1) تماثل في توزيع الأعمدة و الجدران المسلحة أو الجدران الحاملة

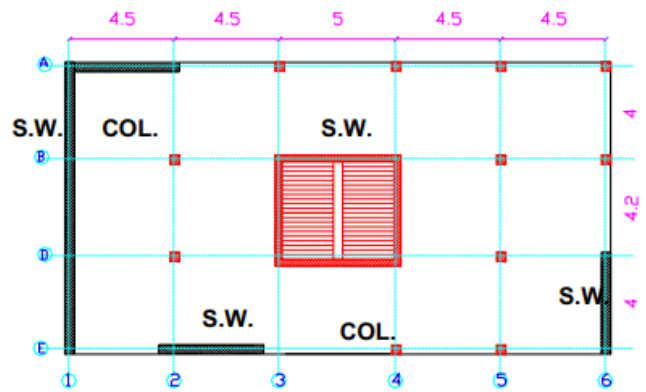


القوى الزلزالية الأفقية المكافئة

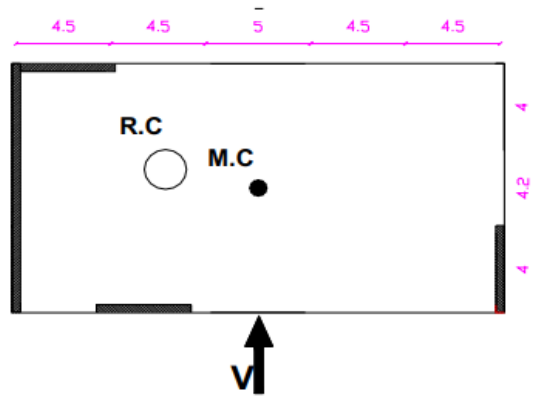


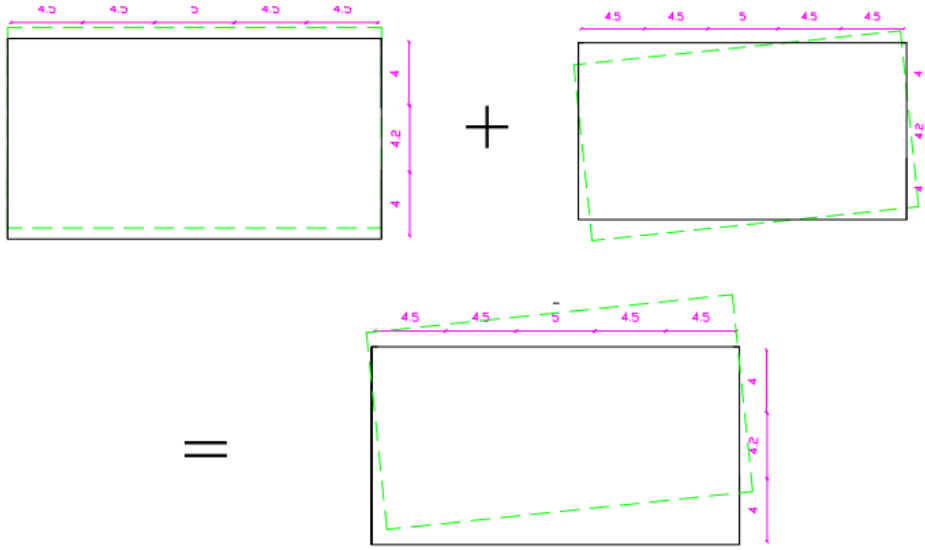
ب- تطابق مركز الصلابة مع مركز الكتلة  $e_o = 0$

شكل 5-2-5-ب: توزيع العناصر الإنشائية الرأسية بشكل متماثل



عمود: COL.  
جدار مسلح: S.W.





شكل (5-2-5-ت): انحراف مركز الصلابة عن مركز الكتلة بسبب عدم التماثل في توزيع العناصر الإنشائية الرأسية

النهاية



المصادر/

1- كتاب الزلازل وتخفيف مخاطرها تأليف/ د. جلال الدبيك

2- الانترنت.