القصل الخامس : بارامترات التصميم الزلزالي

1 .5 مقدمة

فلسفة التصميم الزلزالي تقوم على تصميم المنشأة لتحقق المقاومة والاستقرار والثبات منعاً لأي انهيار جزئي أو كلي، وتجنبًا لحدوث خسائر بشرية كارثية، وذلك عند تعرضها لزلزال، مع السماح بحدوث شقوق في العناصر غير الإنشائية، وبحيث لا تكون الشقوق في الجملة الإنشائية الحاملة خطيرة.
أما إذا تعرضت المنشأة ذاتها لزلزال كارثي شدته عالية جدًا نسبة إلى الشدة المحتمل حدوثها مرة واحدة في عمرها فيسمح بظهور شقوق شروخ كبيرة نسبيًا في عناصرها الإنشائية وغير الإنشائية، شريطة بقاء المنشأة مترابطة ومستقرة أثناء هذا الزلزال، ولا يسمح بحدوث انهيار فيها تنجم عنه خسائر في الأرواح .ومن أجل تحقيق ذلك يجب أن تصمم المنشآت لمقاومة زلزالية لا تقل عن القوى الزلزالية المحسوبة وفق اشتراطات الكودات المعتمدة (الباب الرابع من ملحق الزلازل والملحق (ج) في حالة الكود العربي السوري).

وفقًا للكود العربي السوري، يجب تصميم وتنفيذ كل المنشأة، وكل جزء منها، لمقاومة قوى أفقية دنيا تمثل قوى الزلازل، وهي عبارة عن قوى أفقية جانبية، تؤثر باتجاه المحاور الرئيسية للمنشأة، حيث تؤثر باتجاه كل محور رئيسي بصورة مستقلة في حالة المنشآت المتناظرة .أما في حالات المنشآت غير المتناظرة، أو غير المنتظمة، ومنها حالات الانتظام الأفقي ، فيلزم دراسة المنشأة مع أخذ تأثير الزلازل باتجاهي المحورين معًا، ويتم تجميع آثار الاتجاهين المتعامدين بحيث تؤخذ كامل القيمة بأحد الاتجاهين الرئيسيين و 30 %من القيمة للاتجاه الآخر.

2 .5 تحديد بارامترات التصميم الزلزالي

تتأثر الأمواج الزلزالية خلال عبورها من بؤرة الزلزال حتى سطح الأرض بعوامل كثيرة وتخضع لظواهر معقدة من انعكاسات وانكسارات وفلترة لبعض الترددات وتضخيم وتخامد. كل ذلك يجعل من تحديد الحمولات الزلزالية بدقة أمراً شبه مستحيل. بالمقابل، هناك طرق متعددة يتم بموجبها تحديد هذه الحمولات بدقة مقبولة. يتعلق نوع بارامترات التصميم الزلزالي وطريقة تحديدها بالطريقة المستخدمة في التصميم الزلزالي للمنشأ.

تسمح الكودات المختلفة ومن ضمنها الكود العربي السوري بتصميم الأبنية المقاومة للزلازل بطريقتين:

1. الطريقة الستاتيكية: تمثل حركة الأرض الزلزالية بقوة قص ستاتيكية أفقية مكافئة تطبق عند مستوى الأساسات للمبنى. توزع هذه القوة شاقولياً على كامل ارتفاع المبنى وفق علاقات مناسبة كما توزع أفقياً بحسب صلابة العناصر المخصصة لتحمل القوى الزلزالية.

1. الطريقة الديناميكية: تمثل حركة الأرض مباشرة بواسطة السجل الزمني لحركة الأرض التصميمية أو تمثل استجابة المنشأ بتحليل أنماط الاهتزاز بطيف الاستجابة .

3 .5 بارامترات التصميم الزلزالي للطريقة الستاتيكية المكافئة

تقوم الطريقة الستاتيكية المكافئة على التعويض عن أثر الزلزال بقوة ستاتيكية أفقية تطبق عند مستوى قاعدة المنشأ. يعتمد تحديد القوة الأفقية المكافئة على زلزالية المنطقة المتمثلة ببارمتر معامل المنطقة الزلزالي Z وعلى تصنيف مقطع التربة الزلزالي الذي يعتمد بدوره بشكل أساسي على سرعة انتشار الأمواج القاصة في التربة وعلى دور الاهتزاز الأساسي للموقع. يمكن تلخيص بارامترات التصميم الزلزالي بالطريقة الستاتيكية المكافئة بعامل المنطقة الزلزالي و دور الاهتزاز الأساسي لوسط التربة ومقطع التربة الزلزالي

أ- معامل المنطقة الزلزالي Z

يعبر معامل المنطقة الزلزالي Z عن التسارع الأفقي الوسطي لسطح الأرض (PGAH) كنسبة من تسارع الجاذبية الأرضية الموافق لمدة ارتداد (المدة الزمنية بالسنوات التي يتكرر فيها زلزال بنفس المواصفات) مقدارها TRP.

بحسب الكود العربي السوري فقد تم وضع خارطة زلزالية تحدد الشدات الزلزالية المتوقعة لعمر تصميمي قدره (50) خمسون عامًا مع نسبة احتمال تجاوز (Exceedance probability)لا تتعدى 10 % أي نسبة احتمال عدم تجاوز لا تقل عن 90 % ، وهذا يقابل مدة تكرار (Return period) مقدارها 475 عام بحيث يمكن للزلزال الأقصى أن يحدث مرة خلال هذه الفترة.

تعطى نسبة احتمالية التجاوز p_e للتسارع التصميمي ولو لمرة واحدة على الأقل (N≥1) خلال مدة حياة المنشأ t سنة بالعلاقة التالية :

$$P_e[N \geq 1] = 1 - e^{-\lambda t}$$

λ تمثل معدل الحدوث السنوي للزلزال الذي يتجاوز الزلزال التصميمي، الذي يمكن حسابه من العلاقة السابقة، ومن ثم يمكن مدة تكرار الزلزال التي تساوي= (1/λ)

مثال

احسب مدة تكرار زلزال من أجل نسبة احتمالية تجاوز 10% وعمر تصميمي للمنشأ t=50

الحل

من أجل احتمالية تجاوز Pe=10% وعمر تصميمي للمنشأ t=50 عام، يكون لدينا :

$$0.1=1-e^{-50\lambda} \Rightarrow e^{-50\lambda}=0.9 \Rightarrow -50\lambda=\ln(0.9) \Rightarrow \lambda=0.0021 \Rightarrow 1/\lambda=476 \quad \text{years}$$

لقد تم تقسيم القطر إلى ست مناطق زلزالية كما يلي:

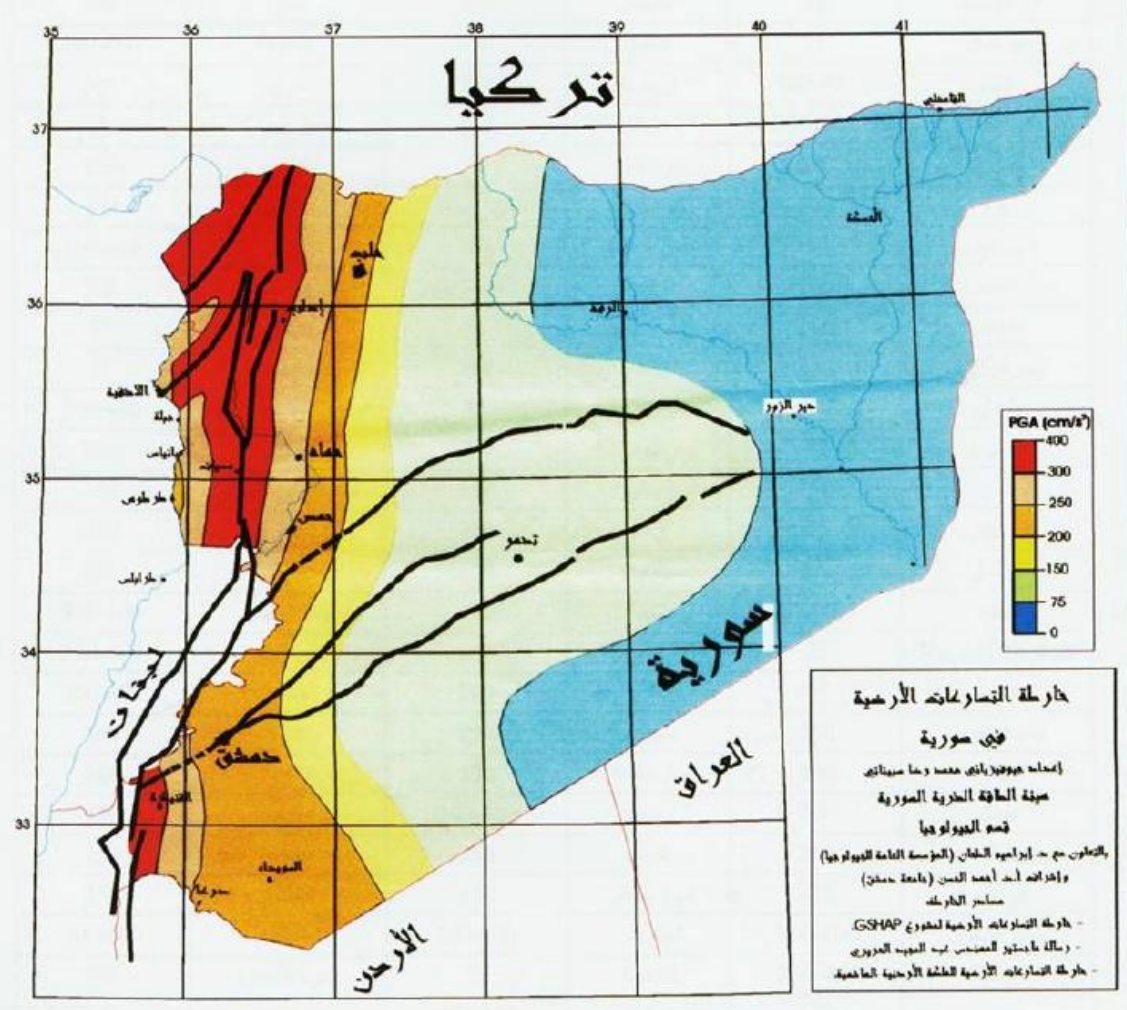
1. المنطقة (1) لا تعد معرضة لزلازل مضرة (حتى درجة MM VI)، أو تسارع (عجلة) 0.075.g
2. المنطقة (2A) لا تعد معرضة لزلازل متوسطة الشدة (حتى أقل من درجة MM VII بقليل)، أو تسارع (عجلة) 0.15g
3. المنطقة (2B) لا تعد معرضة لزلازل أكثر من متوسطة الشدة (حتى درجة MM VII)، أو تسارع 0.20g
4. المنطقة (2C) معرضة لزلازل متوسطة الشدة (حتى أكبر من درجة MM VII بقليل)، أو لتسارع 0.25g
5. المنطقة (3) تكثر فيها الزلازل و تعد معرضة لزلازل عالية الشدة (حتى درجة MM VIII)، أو لتسارع 0.30g
6. المنطقة (4) تكثر فيها الزلازل و تعد معرضة لزلازل مدمرة (أكبر من MM VIII)، أو لتسارع 0.40g أو أكثر.

المنطقة	1	2A	2B	2C	3	4
Z	0.075	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40

ملاحظة : يعتمد في تصميم المنشآت الحساسة نسبة احتمال تجاوز أقل من 10% وينتج عن ذلك شدات زلزالية تصميمية أكبر من تلك الواردة في الجدول أعلاه.

جدول بقيم التسارعات الأرضية العظمى (PGA) المحتملة على الطبقة الصخرية الصلبة خلال خمسون عاماً مع احتمالية عدم تجاوز 90% مقدرة بال cm/s^2 لأهم مراكز المدن والبلدات في سورية

المدينة أو البلدة	التسارع الأرضي	المدينة أو البلدة	التسارع الأرضي	المدينة أو البلدة	التسارع الأرضي
أبو قبيس	300-400	خناصر	200	عامودة	75
أبو الشامات	200	خنيفيس	150	عدرا	200
أبو كمال	75	دمشق	250	عشارنة	300-400
ادلب	300-400	درباسية	75	عفرين	300
أريحا	300-400	درعا	250	عين العرب	75
إزرع	250	دير الزور	75	غباغب	250
اعزاز	300	دريكيش	300-400	فرقلس	200
باب الهوى	300-400	دير عطية	200	فيق	300-400
الباب	200	راجو	300-400	قصير حمص	300
بانياس	300	رأس العين	75	قامشلي	75
بصرى الشام	250	رستن	300	القحطانية	75
بلودان	250	رقة	75	قدموس	300-400
البصيري	75	رنكوس	250	قريتين	200
تدمر	150	زبداني	250	قصر الحير الغربي	150
تل أبيض	75	زلف	200	قطنا	250
تل شنان	200	سبع بيار	150	قطيفة	250
تلكلخ	300-400	سخنة	150	قلعة الحصن	300-400
تل كوجك (اليمربية)	75	سراقب	300	قرداحة	300-400
التنف	75	سلمية	200	كسب	300-400
جديدة يابوس	250	سويداء	250	كسوة	250
جبلة	300	سد الطبقة	150	اللاذقية	300
جبول	200	سلحب	300-400	محردة	300
جديدة الوادي	250	شهبا	250	مسكنة	150
جرابلس	150	شيخ مسكين	250	مسلمية	250
جسر الشغور	300-400	شيخ بدر	300-400	مصياف	300-400
جوسية	300-400	الشحمة	75	معرة النعمان	300
جيرود	150	صافيتا	300-400	منبج	150
حارم	300-400	صلخد	250	ميادين	75
حسكة	75	صلنفة	300-400	ميدان اكبس	300-400
الحفة	300-400	صنمين	200	المالكية	75
حلب	250	صيدنايا	200	المخرم	200



الخارطة الزلزالية للجمهورية العربية السورية

ب- الدور الأساسي لوسط التربة

تقوم تربة الموقع بفلترة الحركة الزلزالية، فإذا كانت التربة قاسية (حالة الأساسات على الصخر) فإن أدوار الموجة الزلزالية سوف تكون قصيرة، أما إذا كانت التربة ضعيفة فإن أدوار الموجة الزلزالية سوف تكون طويلة.

يمكن تحديد الدور الأساسي للوسط حقلياً باستخدام الطرق السيسمية المعروفة، كما يمكن تحديده حسابياً اعتماداً على خواص التربة وسماكتها.

بفرض سلوك التربة مرن وأن التربة تستند على سرير صخري عالي الصلابة. تحسب الأدوار الطبيعية للتربة اعتماداً على سرعة الأمواج القاصة الوسطية في التربة حتى عمق معين (يؤخذ العمق 30m في أغلب الكودات)

$$T_{site} = \frac{4H}{V_s}(2n+1) \qquad n = 0,1,2,3....$$

H ارتفاع التربة بالمتر

Vs السرعة الوسطية لأمواج القص في التربة، وتحسب لطبقة تربة متجانسة كتلتها الحجمية ρ الحجمية ومعامل القص G بالعلاقة التالية :

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

إذا كان العمق من السطح الذي سيحسب من أجله سرعة الأمواج القاصة الوسطية (عادة 30m)
مكوناً من n طبقة فإن هذه السرعة تحسب بالعلاقة التالية :

$$V_s = \frac{\sum_{i=1}^{n} h_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

H سماكة التربة فوق السرير الصخري

h_i و $V_{s,i}$ سماكة كل طبقة وسرعة انتشار أمواج القص فيها

ج- مقطع التربة الزلزالي حسب الكود العربي السوري (UBC 1997)

يعتمد تصنيف مقطع التربة الزلزالي على خواص التربة السطحية حتى عمق ، وبشكل أساسي على سرعة انتشار أمواج القص ضمن هذا العمق، كما يمكن أن يتم هذا التصنيف اعتماداً نتائج تحربة الاختراق النظامية (SPT) أو على تجربة الضغط الحر وذلك في حال عدم التمكن من تحديد سرعة أمواج القص في التربة .

يمكن اعتماد ثلاث طرق لتصنيف التربة السطحية بعمق 30 متر :

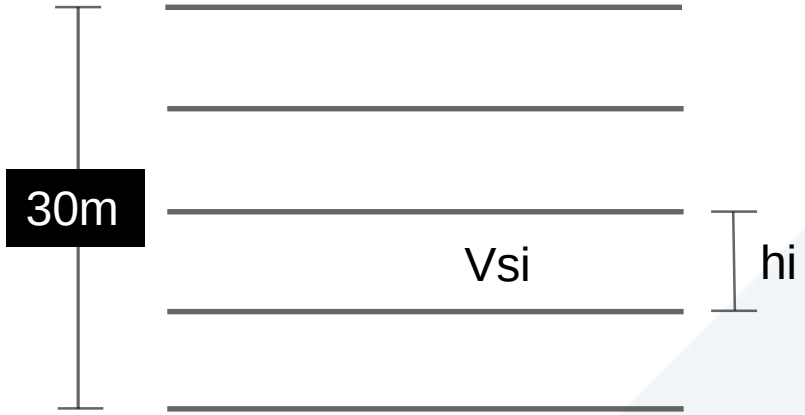
أ- التصنيف الموضعي (لسبر واحد)

➢ **الطريقة A :**

تعتمد على سرعة انتشار الأمواج القاصة في التربة

تحسب $V_{s,30}$ الوسطية بالعلاقة

$$V_{s,30} = \frac{\sum_{i=1}^{n} h_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

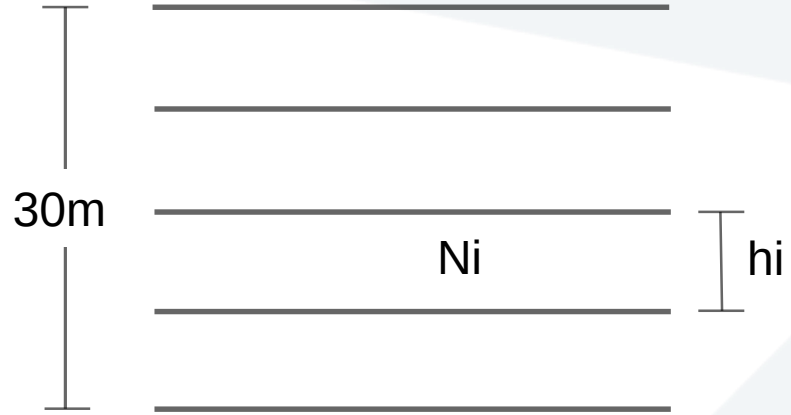


hi سماكة كل طبقة ضمن عمق 30 متر

Vsi سرعة أمواج القص في كل طبقة ضمن عمق 30 متر

➢ الطريقة B :

تعتمد على نتائج تجربة الاختراق النظامية SPT المقاسة في الحقل (دون تعديل)
لجميع أنواع الترب المفككة والمتماسكة بسماكة 30m السطحية:



تحسب $\overline{N}$ الوسطية بالعلاقة

$$\overline{N} = \frac{\sum_{i=1}^{n} h_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{h_i}{N_i}}$$

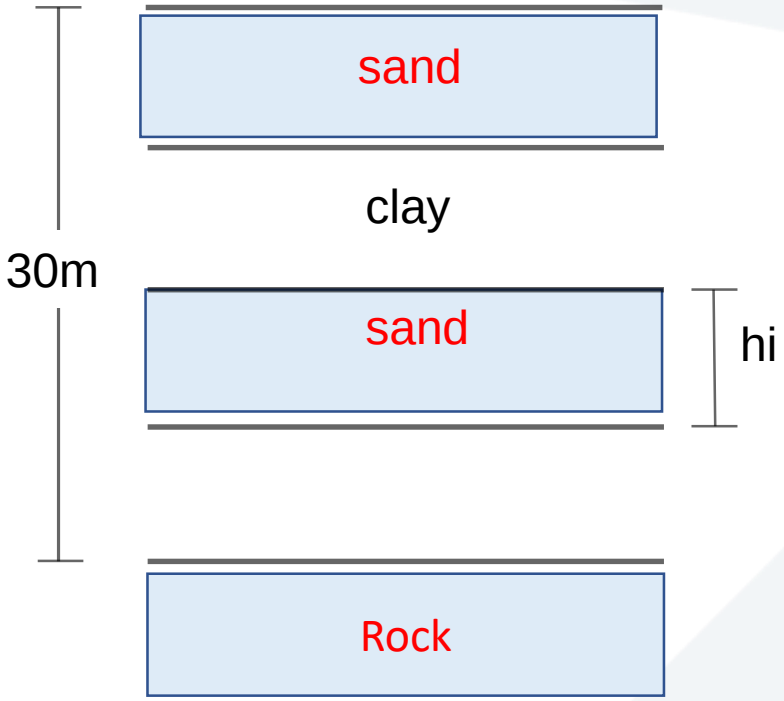
Ni مقاومة الاختراق لكل طبقة وبحيث لا تتجاوز 100دقة
(إذا كانت نتائج التجربة مرفوضة أو بالنسبة للصخر تعتبر N_i=100)

MOV_0436.mp4

➢ الطريقة c:

تعتمد إما على نتائج تجربة **الاختراق النظامية** SPT المقاسة في الحقل (دون تعديل) **للترب المفككة فقط** وبحيث لا تتجاوز 100 دقة $(N_{chi} \leq 100)$

أو على نتائج تجربة **الضغط الحر** على **الترب المتماسكة**، وبحيث لا تتجاوز مقاومة الضغط الحر (Su≤250 kPa)



أ- تجربة الاختراق النظامية SPT على الترب المفككة فقط الموجودة ضمن الـ 30m السطحية

تحديد مقاومة الاختراق النظامية N_{chi} لجميع طبقات التربة المتماسكة ضمن الـ 30m

تحسب $\overline{N}_{ch}$ الوسطية بالعلاقة

$$\overline{N}_{ch} = \frac{h_c}{\sum_{i=1}^{m} \frac{h_i}{N_{chi}}}$$

m عدد طبقات التربة المفككة (بما فيها الصخر)

h_c السماكة الكلية على كامل السبر لطبقات التربة المفككة

h_i سماكة كل طبقة مفككة من طبقات التربة

N_{chi} مقاومة الاختراق للطبقة h_i

ب- تجربة الضغط الحر على الترب المتماسكة الموجودة ضمن الـ 30m السطحية

تحسب $\bar{S}_u$ الوسطية بالعلاقة

$$\bar{S}_u = \frac{h_s}{\sum_{i=1}^{k} \frac{h_i}{S_{ui}}}$$

k عدد طبقات التربة المتماسكة

hs السماكة الكلية على كامل السبر لطبقات التربة المتماسكة

hi سماكة كل طبقة مفككة من طبقات التربة

S_{ui} مقاومة الاختراق للطبقة hi (بما فيها الصخر وبحيث تكون القيمة الأعظمية لـ Sui لأي طبقة لا تتجاوز 250kPa)

وبشكل عام تعتبر الطريقة A أفضل الطرق تليها الطريقتين B و C

ب- التصنيف العام (لكامل الموقع)

➢ **الطريقة B :**

$$\overline{N}_{global} = \frac{\sum \overline{N}}{n}$$

n عدد السبور

يحدد مقطع التربة وفقاً لكل طريقة ثم يتم اعتماد المقطع الأسوأ

➢ **الطريقة C: N_{CH}**

$$\overline{N}_{ch,global} = \frac{\sum \overline{N}_{ch} * Hc}{\sum hc}$$

H_c السماكة الكلية لطبقات التربة المفككة لجميع السبور

➢ **الطريقة C : S_u**

$$Su_{,global} = \frac{\sum \overline{S}_u * Hs}{\sum hs}$$

Hs السماكة الكلية لطبقات التربة المتماسكة لجميع السبور

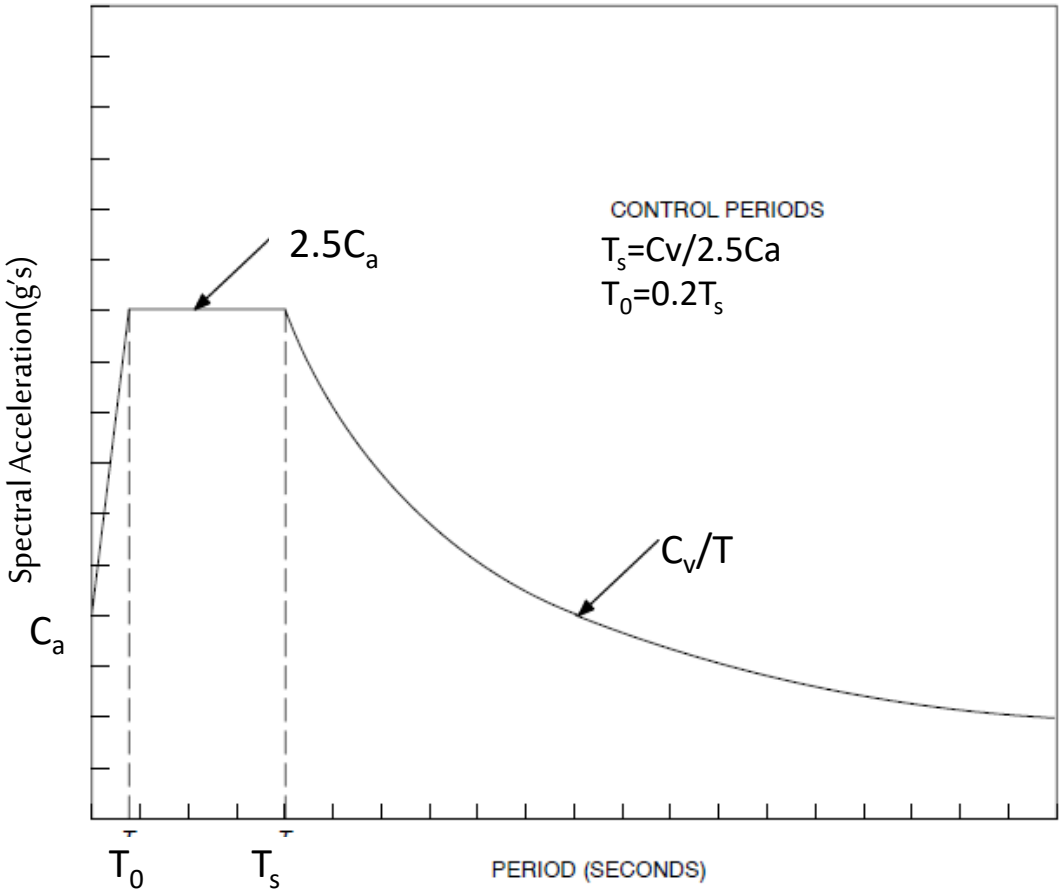
نموذج المقطع الشاقولي للتربة	تسمية المقطع الجانبي (الشاقولي) للتربة (الوصف العام)	الخصائص الوسطية للتربة ذات العمق (30.5 m) من المقطع الجانبي		
		سرعة أمواج القص $\overline{V_s}$ (m/sec)	تجربة الاختراق النظامية $(\overline{N})$ أو $(\overline{N_{CH}})$ للترب غير المتماسكة من طبقات التربة (blows/ft) (ضربة/قدم)	مقاومة القص غير المصرفة $\overline{S_U}$ (kPa)
S_A	صخر صلب (قاس)	1500	-	-
S_B	صخر	760 - 1500	-	-
S_C	تربة ذات كثافة عالية جداً وصخر طري (كونغلوميرات)	360 - 760	> 50	> 100
S_D	تربة صلبة	180 - 360	15 – 50	50 – 100
S_E[1]	تربة طرية	< 180	< 15	< 50
S_F		أي قطاع يحتوي تربة لها واحدة أو أكثر من الخواص الآتية: ١- تربة قابلة للانهيار أو التصدع تحت حمل زلزالي مثل التربة المتميعة، أو الغضار سريع وعالي الحساسية، أو التربة القابلة للانهيار ضعيفة التماسك. ٢- الطفل و/أو الغضار عالي اللدونة، حيث: $(H > 3m)$ ، H: سماكة التربة. ٣- الغضار عالي اللدونة جداً، حيث: $(H > 8m)$ بمؤشر لدونة:	

4 .5 بارامترات التصميم الزلزالي للطريقة الديناميكية

يمكن دراسة الاستجابة الديناميكية للمنشأ إما باستخدام الطيف التصميمي أو السجلات الزمنية الزلزالية

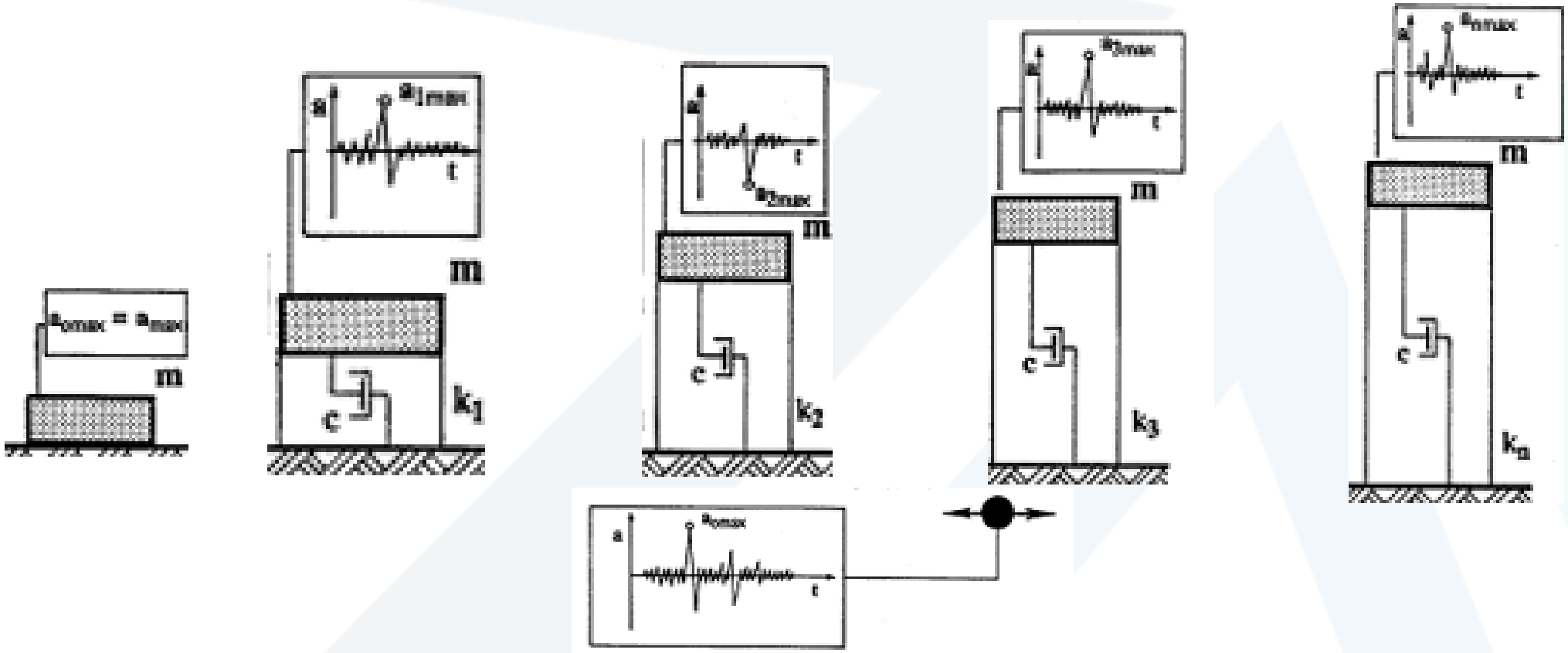
أ- الطيف التصميمي

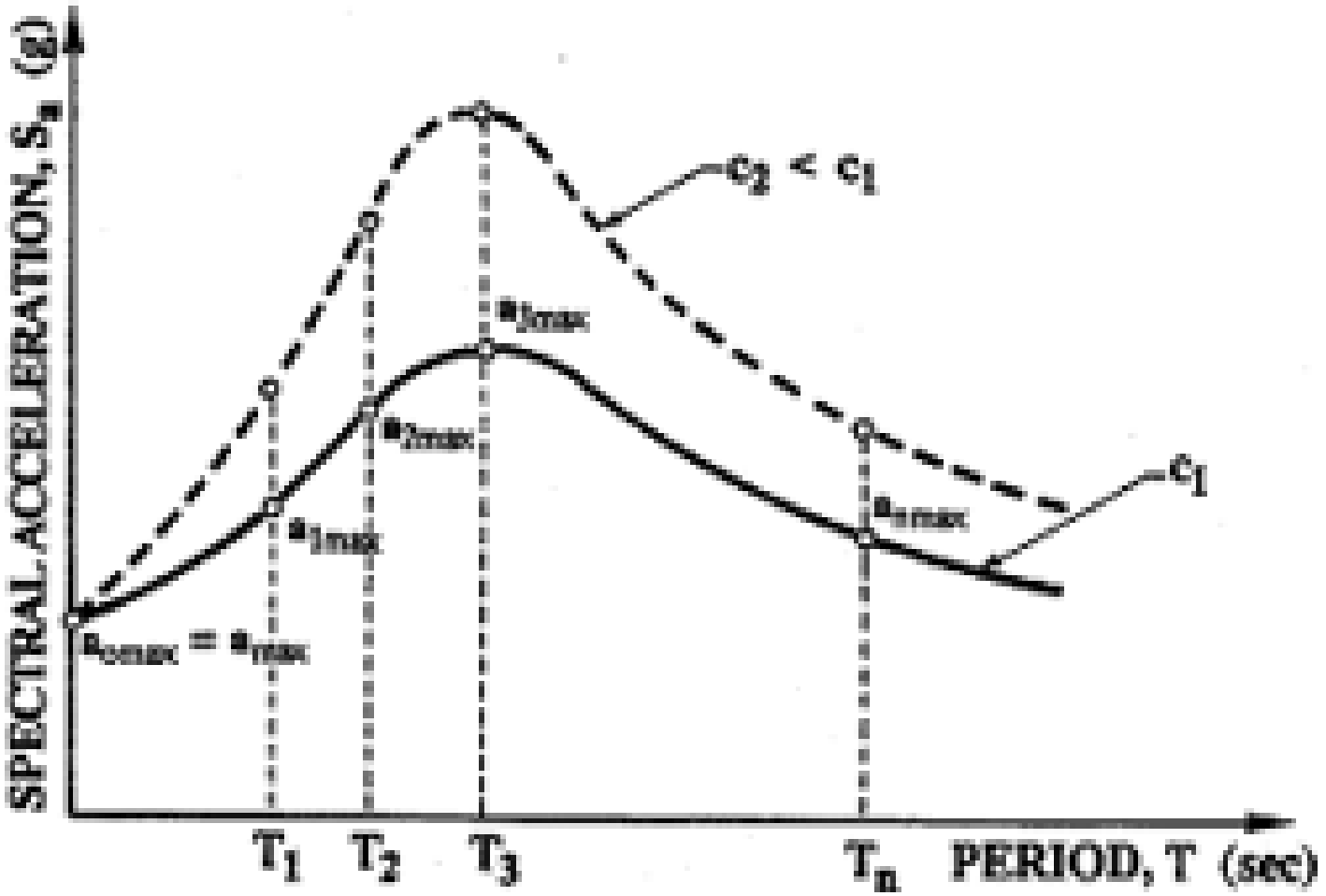
من أجل فهم الطيف التصميمي سنتعرف في البداية على أطياف الاستجابة



أطياف الاستجابة (Response Spectra)

يعرف طيف الاستجابة لحركة زلزالية ما بمنحني الاستجابة العظمى (مطال التسارع أو السرعة أو الانتقال) لحركة زلزالية معينة (سجل زمني لتسارع) من أجل عدد من الجمل ذات درجة حرية واحدة لها ترددات طبيعية مختلفة. تمتلك هذه الجمل عادة نفس التخامد C ونفس الكتلة m ولكن صلاباتها K مختلفة. يستخدم المنحني المستنتج لطيف الاستجابة في تقدير استجابة أي جملة خطية أخرى بناء على ترددها الطبيعي للاهتزاز.




SPECTRAL ACCELERATION, S_a (g)
$c_2 < c_1$
c_1
a_{3max}
a_{2max}
a_{1max}
a_{nmax}
$a_{1max} = a_{max}$
T_1
T_2
T_3
T_n
PERIOD, T (sec)

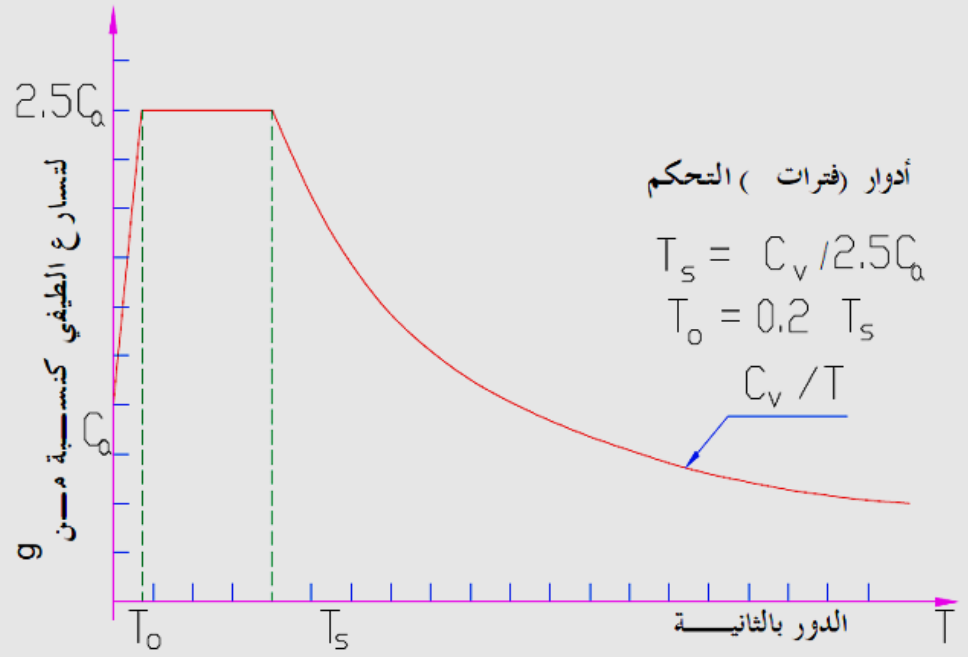
الأطياف التصميمية (Design Spectra)

هو المغلف لأطياف الاستجابة للعديد من الحركات الزلزالية مع تعديلها بحيث تأخذ بعين الاعتبار أنماطاً أعلى للاهتزاز أو لكي تأخذ بعين الاعتبار السلوك اللاخطي للمنشآت (الشكل). تختلف الأطياف التصميمية عن أطياف الاستجابة، فأطياف الاستجابة لزلزال ما غير منتظمة، ويعكس شكلها تفاصيل محتواها الترددي وأطوارها. أما الأطياف التصميمية فهي بشكل عام ملساء ومنتظمة

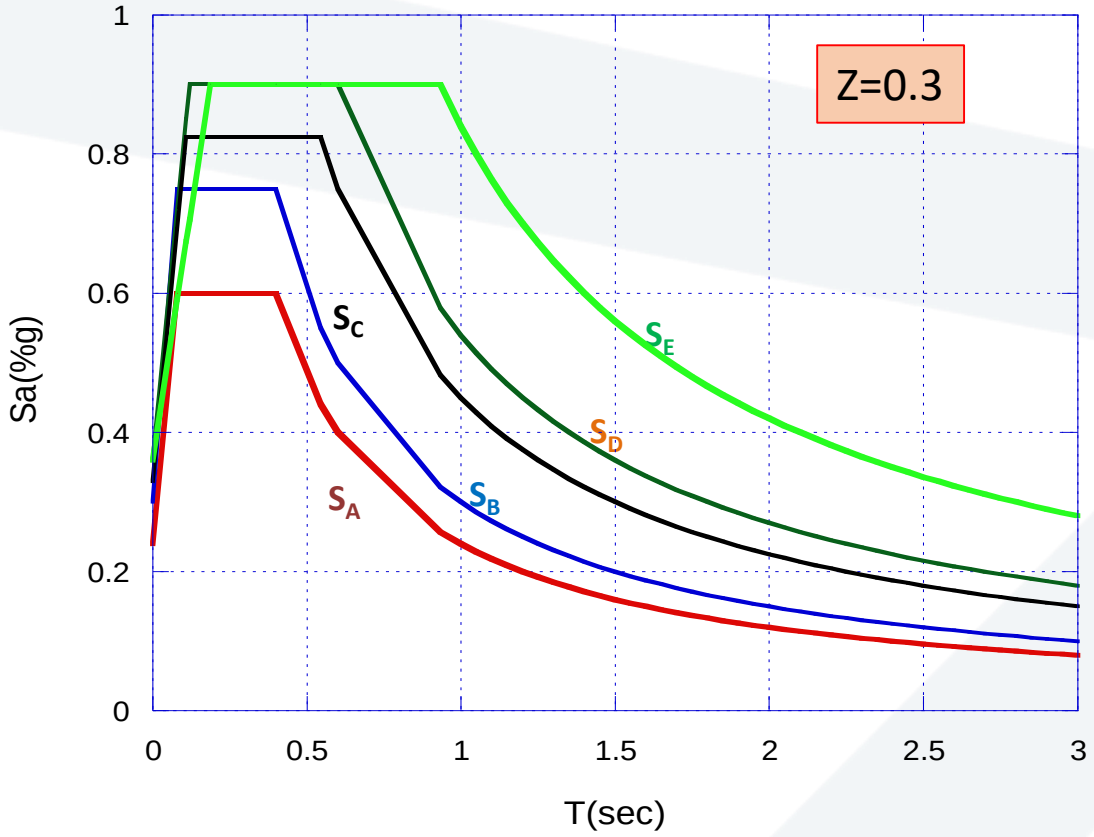
حدد الكود العربي السوري الطيف التصنيفي التالي :

تسمية المقطع الجانبي (الشاقولي) للتربة (الوصف العام)	نموذج المقطع الشاقولي للتربة
صخر صلب (قاس)	S_A
صخر	S_B
تربة ذات كثافة عالية جداً وصخر طري (كونغلوميرات)	S_C
تربة صلبة	S_D
تربة طرية	S_E (1)

الشكل : الأطياف التصميمية اللابعدية لعدد من أنواع الترب (UBC 1997).



الشكل (٥-١) طيف الاستجابة التصميمي



الوصف العام	صخر صلب	صخر	ترب كثافتها عالية	تربة صلبة	تربة طرية
تصنيف مقطع التربة	S_A	S_B	S_C	S_D	S_E

الجدول 2.4a المعامل الزلزالي (Ca)

نموذج المقطع الشاقولي للتربة	معامل المنطقة الزلزالي (Z)					
	Z=0.075	Z=0.15	Z=0.2	Z=0.25	Z=0.3	Z=0.4
S_A	0.06	0.12	0.16	0.20	0.24	0.32 Na
S_B	0.08	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40 Na
S_C	0.09	0.18	0.24	0.29	0.33	0.40 Na
S_D	0.12	0.22	0.28	0.32	0.36	0.44 Na
S_E	0.19	0.30	0.34	0.35	0.36	0.36 Na

الجدول 2.4b المعامل الزلزالي (Cv)

نموذج المقطع الشاقولي للتربة	معامل المنطقة الزلزالي (Z)					
	Z=0.075	Z=0.15	Z=0.2	Z=0.25	Z=0.3	Z=0.4
S_A	0.06	0.12	0.16	0.20	0.24	0.32 Nv
S_B	0.08	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40 Nv
S_C	0.13	0.25	0.32	0.38	0.45	0.56 Nv
S_D	0.18	0.32	0.40	0.47	0.54	0.64 Nv
S_E	0.26	0.50	0.64	0.74	0.84	0.96 Nv

يحتاج رسم الطيف التصميمي لموقع المشروع إلى تحديد بارامترين زلزاليين وهما معامل المنطقة الزلزالي Z، بالإضافة إلى مقطع التربة الزلزالي

الجدول 2.4b المعامل الزلزالي (Cv)

نموذج المقطع الشاقولي للتربة	معامل المنطقة الزلزالي (Z)					
	Z=0.075	Z=0.15	Z=0.2	Z=0.25	Z=0.3	Z=0.4
S_A	0.06	0.12	0.16	0.20	0.24	0.32 Nv
S_B	0.08	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40 Nv
S_C	0.13	0.25	0.32	0.38	0.45	0.56 Nv
S_D	0.18	0.32	0.40	0.47	0.54	0.64 Nv
S_E	0.26	0.50	0.64	0.74	0.84	0.96 Nv
S_F	انظر الملحوظة (١)					

الجدول 2.4a المعامل الزلزالي (Ca)

نموذج المقطع الشاقولي للتربة	معامل المنطقة الزلزالي (Z)					
	Z=0.075	Z=0.15	Z=0.2	Z=0.25	Z=0.3	Z=0.4
S_A	0.06	0.12	0.16	0.20	0.24	0.32 Na
S_B	0.08	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40 Na
S_C	0.09	0.18	0.24	0.29	0.33	0.40 Na
S_D	0.12	0.22	0.28	0.32	0.36	0.44 Na
S_E	0.19	0.30	0.34	0.35	0.36	0.36 Na
S_F	انظر الملاحظة (١)					

ب-السجلات الزمنية للحركة الزلزالية

في العديد من الحالات لا يمكن لطيف الاستجابة أن يصف بشكل مناسب آثار اهتزاز الأرض، ولا بد في هذه الحالة من استخدام السجلات الزمنية للحركة (مثال: المسائل اللاخطية كدراسة استجابة الوسط باعتبار السلوك اللدن للتربة).

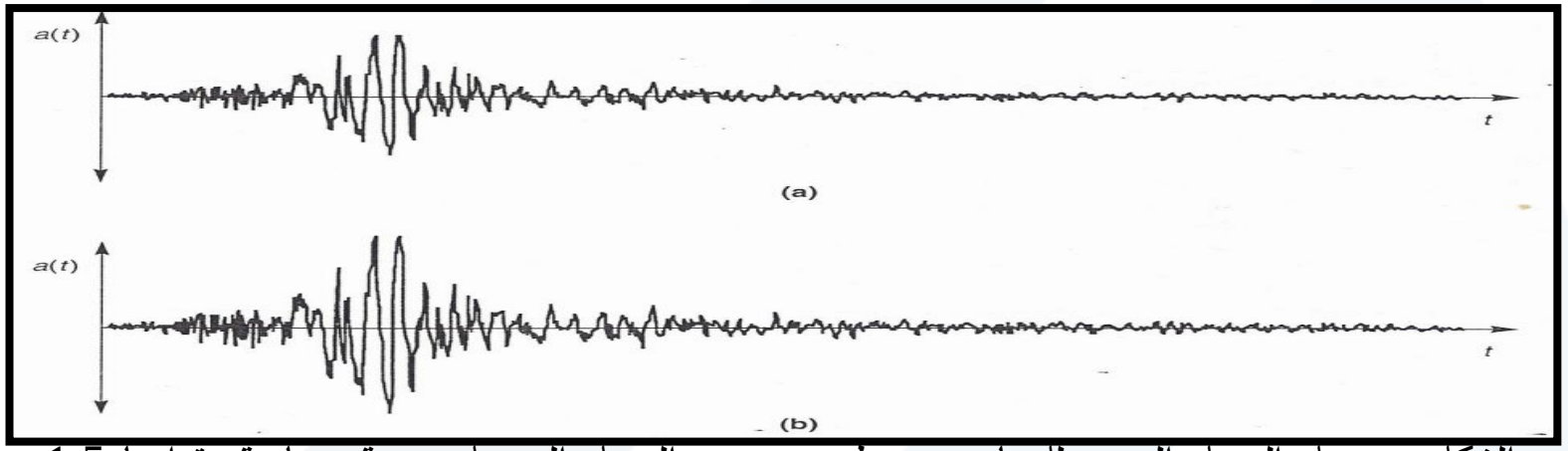
استناداً إلى توصيات الـ ASCE (American Society of Civil Engineering) لعام 2005 فإنه يجب اختيار السجلات الزلزالية اعتماداً على زلازل قد حصلت وتكون ذات شدة زلزالية و بعد للفالق الزلزالي وميكانيزم تتوافق مع الحالة المدروسة، وفي حال عدم توفر هذه السجلات فإنه يمكن استخدام سجلات اصطناعية مناسبة توافق حركة الأرض في الموقع المدروس، ويتوجب معايرة التسجيلات المستخدمة بحيث أن طيف الاستجابة للتسجيلات المعايرة لا يقل عن طيف الاستجابة التصميمي ضمن مجال الدور (0.2T1-1.5T1).

في أغلب الحالات لا تتحقق نحتاج لتشكيل سجلات اصطناعية (Artificial ground motions) . يمكن تشكيل هذه الحركات بعدة طرق ولكن التحدي الأساسي الذي يواجه هذه السجلات هو ضرورة كون هذه الحركات منطقية ومتوافقة مع البارامترات الهدف. إن المسألة ليست سهلة فالعديد من السجلات المشكلة اصطناعياً تبدو منطقية في مجال الزمن ولكنها ليست كذلك في مجال الترددات، وبالعكس. كما أن العديد من سجلات التسارع تبدو منطقية ولكن عند مكاملتها بالنسبة للزمن تعطي سجلات زمنية غير منطقية للسرعة و/أو للانتقال.

تصنف أغلب الطرق المستخدمة في توليد سجلات الحركة الاصطناعية ضمن ثلاث فئات أساسية :

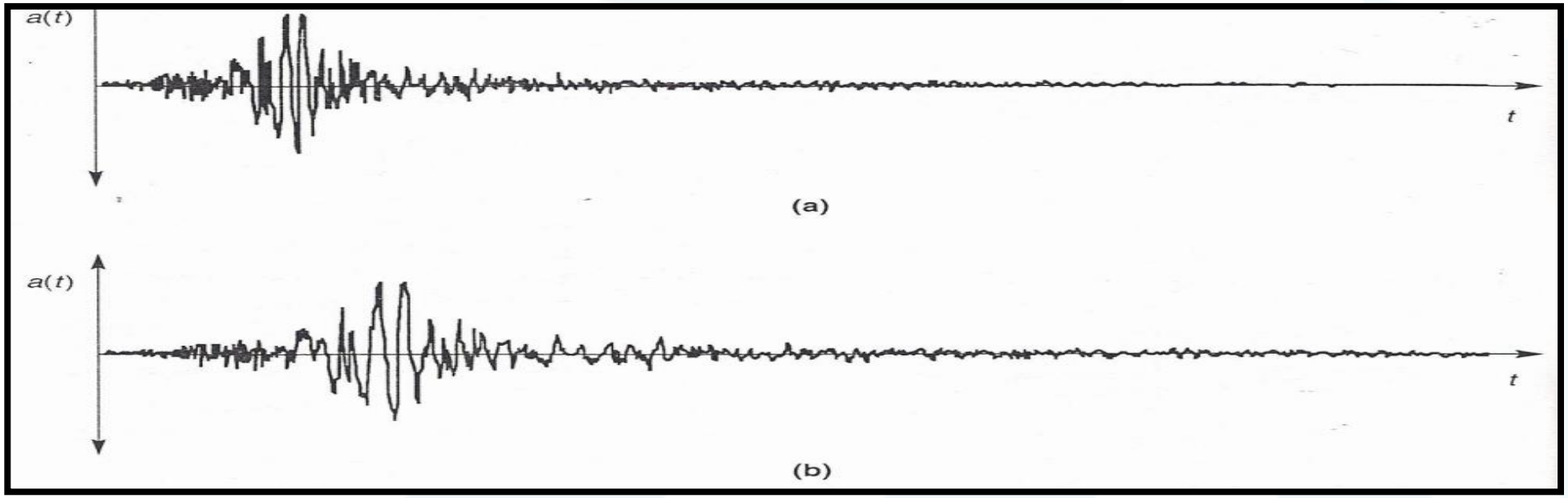
1. تعديل حركات الأرض المسجلة
2. توليد حركات أرضية اصطناعية في مجال الزمن
3. توليد حركات أرضية اصطناعية في مجال الترددات

إن أبسط تلك الطرق هي تعديل الحركات الأرضية المسجلة، حيث تستخدم المستويات العظمى للحركة كالتسارع الأعظمي والسرعة الأعظمية كنسب معيارية من أجل تعديل مستوى الاهتزاز المختار زيادة أو نقصاناً (النسبة المعيارية=نسبة القيمة العظمى للبارامتر المراد الحصول عليه إلى القيمة العظمى للبارامتر المسجل والذي نريد تعديله)، ويجب أن تكون هذه النسبة محصورة بين 0.25 و 4 (الشكل)



الشكل : تعديل السجل الزمني للتسارع عن طريق ضرب السجل المسجل بنسبة معيارية مقدارها 1.5
(a السجل المسجل ، b السجل المعدل)

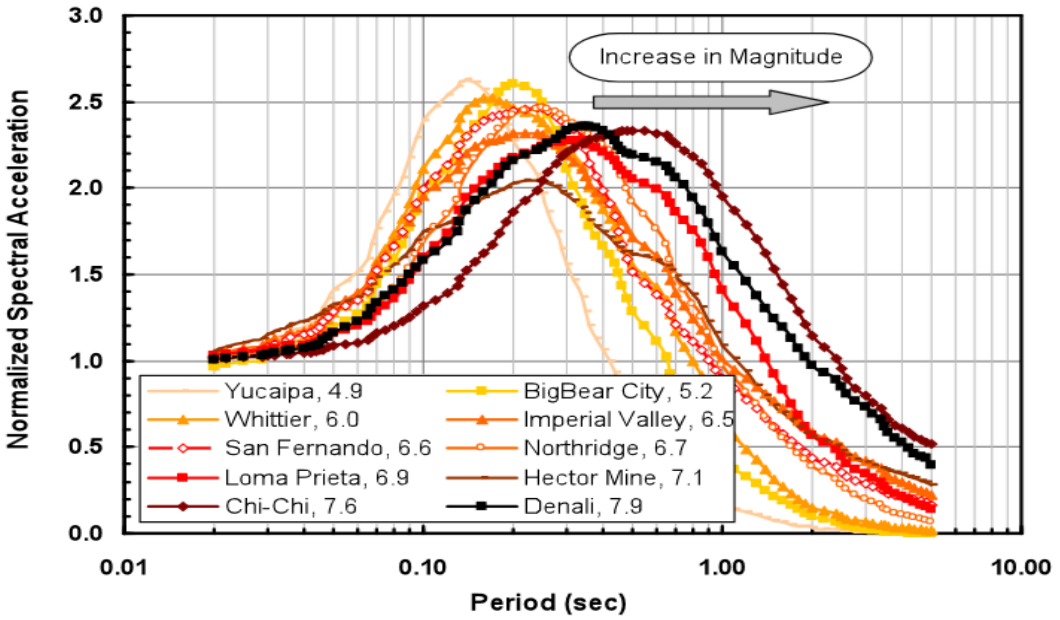
من أجل تعديل السجل الزمني المسجل، لا يكفي فقط تعديل المطال وإنما هناك أيضاً محتوى ترددي ودوراً مسيطراً ومدة للحركة الزلزالية. لقد تم أيضاً إعادة التشكيل من أجل تعديل المحتوى الترددية لحركة مسجلة وذلك بضرب خطوة الزمن لحركة مسجلة رقمياً (digital) بنسبة الدور المسيطر للحركة المرغوب الحصول عليها إلى الدور المسيطر للحركة المسجلة (الشكل). بالنتيجة، هذه الطريقة تغير المحتوى الترددي على كامل الطيف، كذلك مدة الحركة الزلزالية، لذا يجب استخدامها بحذر.



الشكل : تعديل السجل الزمني للتسارع عن طريق تصعيد خطوة الزمن بمقدار 1.3
(a السجل المسجل ، b السجل المعدل)

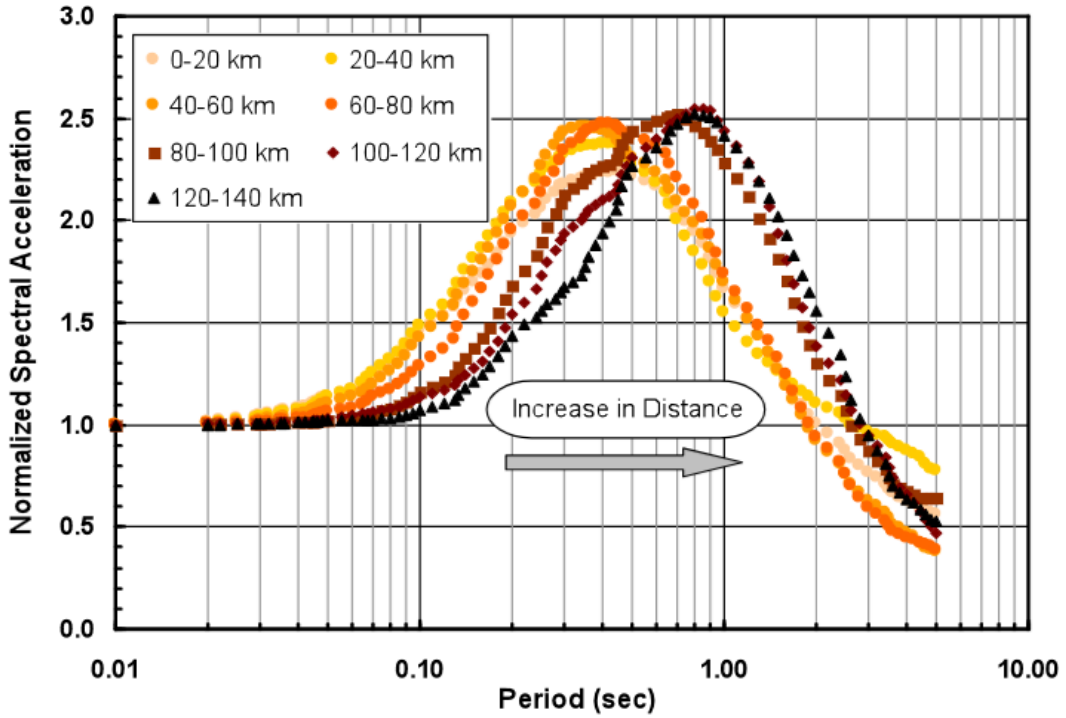
نشير إلى أنه في أغلب الحالات لا يكفي فقط تعديل المطال وإنما يجب تعديل المحتوى الترددي إذ أنه قد أظهرت الدراسات أن زيادة شدة الزلزال تترافق مع زيادة في الدور المسيطر للحركة الزلزالية.

يبين الشكل التالي أشكال طيف الاستجابة لشدات من 4.9 حتى 7.9، نلاحظ بأن الدور المسيطر يتغير من 0.15 ثانية من أجل الشدة 4.9 إلة 0.5 ثانية للشدة 7.9



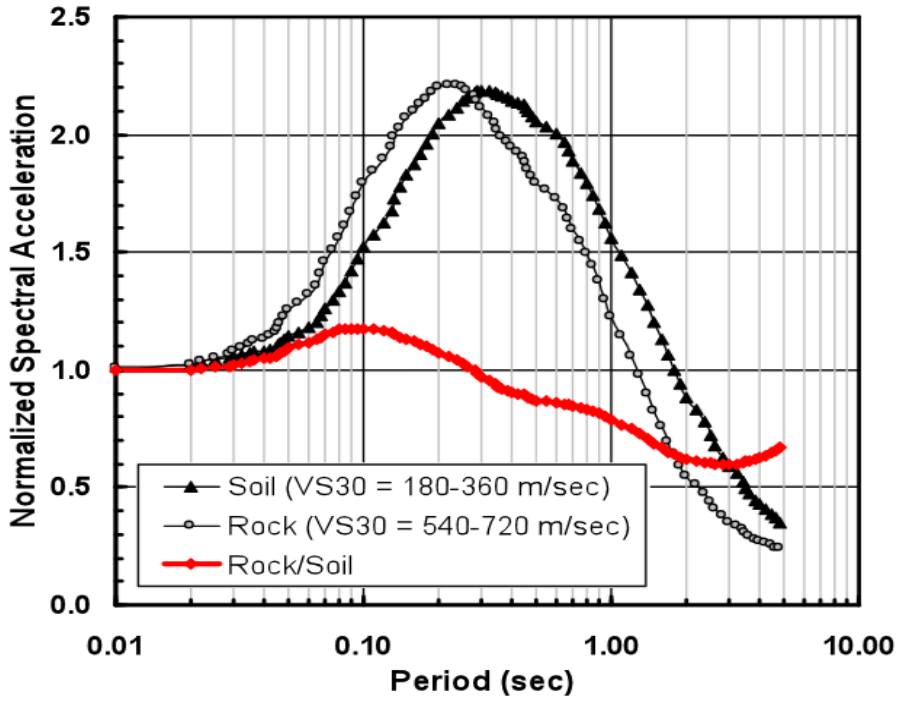
Comparison of average spectral shape of earthquakes in magnitude range of 4.9 to 7.9 (Increase in magnitude shifts the predominant period to higher values).

وكذلك فإن زيادة بعد الموقع عن الفالق يزيد من قيمة الدور المسيطر (تحدث فلترة للترددات المرتفعة)



Shift of predominant period of average spectral shape to higher values with increase in average distance within each 20 km distance bin (Data values correspond to the 1999 M7.6 Chi-Chi earthquake).

كما أن لطبيعة التربة وتطبقاتها تأثيراً هاماً حيث يكون الدور المسيطر في الموقع الصخري أصغر من الدور المسيطر في التربة وأن الدور المسيطر ينخفض مع ازدياد قيمة السرعة V_{30} في الوسط (زيادة صلابة الوسط).



Comparison of average "rock" and "soil" spectral shapes and their transfer function (Rock/Soil).