

تأثير التفاعل المتبادل بين التربة والمنشأ في الاستجابة الزلزالية للجمل الثنائية

طالبة الماجستير: حليلة الحريري

المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية - جامعة دمشق

الدكتورة المشرفة: هالة حسن

الملخص

تناول هذا البحث دراسة تأثير التفاعل المتبادل بين التربة والمنشأ على الاستجابة الزلزالية للجمل الثنائية كونها الجمل الأكثر استخداماً في سوريا ، من خلال دراسة السلوك الديناميكي الخطي لهذه الجمل على أساس سطحي. تم نمذجة التربة والعناصر المشكلة للجمل باستخدام برنامج (SAP2000). اعتمدت منهجية البحث على دراسة مرجعية لمعايرة النموذج المدروس ومن ثم إجراء دراسة وفق متغيرات تشمل عدد الطوابق، ومواصفات الزلزال، ونوع التربة، وطريقة نمذجة التربة لمعرفة تأثير ذلك على الاستجابة العامة للجمل والقوى التصميمية ومعامل تعديل الاستجابة الزلزالية. بينت الدراسة زيادة العزوم الداخلية والمقاطع التصميمية في عناصر الجمل مقارنة مع المنشأ الموثوق. كما بينت ضرورة تطوير الكودات لقيم معامل تعديل الاستجابة الزلزالية الذي يتأثر بعدة متغيرات لنوع الجمل الواحدة منها عدد الطوابق ونوع التربة.

الكلمات المفتاحية: تحليل ديناميكي - تفاعل متبادل (تربة - منشأ) - جمل ثنائية -
Dynamic Analysis- Dual System- Soil Structure Interaction

Effect of Soil Structure Interaction in Seismic Response of Dual System

Abstract

This research deals with the study of the effect of soil structure interaction on the seismic response of dual system, being the most used system in Syria, by studying the linear dynamic behavior of these system on a surface bases. Both the soil and structure elements of the system were modeled using SAP2000 program.

The research methodology relied on a reference study to calibrate the model and then conduct a parametric study according to parameters, number of floors, earthquake frequency, soil type, soil modelling method, to see the impact on the overall response of the system, design forces and seismic response modification factor. The study showed an increase internal moment in the elements of the structure and designed sections compared to fixed base. It also showed the need to develop cods for the values of the seismic response modification factor, which is affected by several parameters per structure type, including the number of floors and the type of soil.

Key word: Dynamic Analysis, soil-structure interaction, Dual system.

تأثير التفاعل المتبادل بين التربة والمنشأ في الاستجابة الزلزالية للجمل الثنائية

1. مقدمة:

تؤثر التربة بشكل أساسي على استجابة المنشأ حيث أن الاستجابة الديناميكية للمنشأ المستند لتربة صلبة قريبة من استجابته في حالة الوثاقفة، أما إذا كانت تربة الاستناد منخفضة الصلابة فإن استجابة المنشأ ستتأثر بخواصها، وتكون مختلفة عن حالة الوثاقفة نتيجة التفاعل المتبادل مع التربة. يتكون مفهوم التفاعل المتبادل بين التربة والمنشأ من التفاعل العطالي والحركي وتشوه الأساس. ويمكن تبويب طرق نمذجة التربة وفق طريقتين أساسيتين، الطريقة المباشرة (Direct Method) وتعتمد على تحليل كامل الجملة (تربة - منشأ) بخطوة واحدة؛ وطريقة الجزء السفلي من المنشأ (Substructure Method) وهي طريقة متعددة الخطوات وتكون الاستجابة الكلية فيها تجميع استجابة كل الخطوات [10]. ويعتبر التفاعل المتبادل ذو أثر مهم في حالة جدران القص النحيفة والطويلة والمنشآت الهامة والاستراتيجية [3].

1.1 مراجعة تاريخية للأبحاث التي تناولت موضوع التفاعل المتبادل :

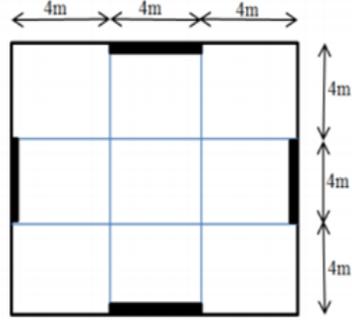
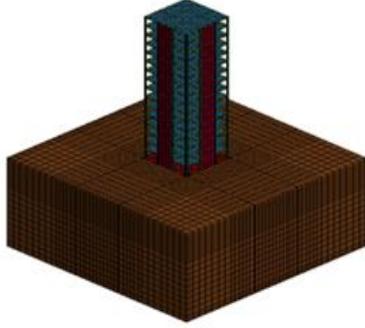
أشارت العديد من الأبحاث إلى أهمية دراسة أثر التفاعل المتبادل على استجابة الجمل الإنشائية فقد شرح بشار الفرخ في رسالته [13] التفاعل بين المنشآت الهيكلية والتراب في المجال اللاخطي تحت تأثير الأحمال الزلزالية بطريقة البرمجة الرياضية باستخدام برنامج (MatLab) ، وقارن النتائج مع برنامج (Sap2000). وجد الباحث أن الانتقالات الأعظمية في حالة التحليل اللدن-مرن أقل منها في حالة التحليل المرن. كما لاحظ زيادة الانتقالات اللدنة المرنة وانخفاض الانتقالات المرنة في بعض الحالات عند دراسة التفاعل المتبادل بين المنشأ والتربة. كانت النتائج مقاربية بين البرنامجين بنسبة تصل 0.2%.

قدمت الدراسة [6] بحثاً حول أثر قساوة التربة على الاستجابة الزلزالية لمباني من البيتون المسلح إطارات وجدران قص وتأثير تغيير أماكن توضع هذه الجدران، وقارن بين طريقتي تمثيل منطقة التربة اللامحدودة (Far Field) بطريقة الطبقة الماصة (PML) وطريقة الحدود الماصة (non – reflecting boundary) على جمل بيتونية (إطارات فقط وجمل إطارات وجدران قص) متعددة الطوابق وفق نسب شكل مختلفة. كانت النتائج متقاربة بين الطريقتين الفرق فقط بالقص القاعدي بنسبة 1%. كما وضحت أن موقع جدران القص في الزوايا هو الأفضل في حالة بناء مشاد على تربة سرعة موجات القص فيها أكبر أو يساوي 300 متر/ثانية ($V_s \geq 300$ m/s) وفي النواهي حالة الاستناد لتربة سرعة الموجات فيها أقل من 300 متر/ثانية ($V_s < 300$ m/s) حيث يكون القص القاعدي أقل ما يمكن.

تم في البحث [4] دراسة التحليل الزلزالي لمبنى قائم 12 طابق مع أخذ تأثير التفاعل المتبادل بين التربة والمنشأ باستخدام ثلاثة أنواع من التربة، وتحليل تاريخ زمني خطي وفق زلزال ألتادينا (Altadena)، نمذجت التربة وفق الطريقة المباشرة (Direct Method)، واستخدام الكود الأوروبي وبرنامج التحليل (Sap2000, v19). وجد الباحث زيادة قيم الاستجابة بشكل عام مقارنة بحالة الوثيقة مع انخفاض صلابة التربة حيث تراوحت نسبة زيادة الانحراف الطابقي بين (128-39)%.

شرحت الدراسة المرجعية [5] تأثير التفاعل المتبادل بين التربة والمنشأ على بناء 16 طابق إطارات بيتونية مسلحة مع جدران قص على حصى سطحية. استخدمت الطريقة المباشرة (Direct Method) لتمثيل التربة. استخدمت أربعة أنواع من التربة، استخدام برنامج (LS-DYNA) لإجراء تحليل تاريخ زمني خطي سجل زلزالي بعد تخفيض تسارع الذروة (PGA) إلى (0.09g). وقورنت النتائج مع حالة الوثيقة. حيث وجد أن الانحراف الجانبي والدور يزيد مع انخفاض صلابة التربة بينما ينخفض القص بنسب تراوحت بين (72-51)%. تبين الأشكال (1) و(2) المسقط الأفقي للبناء حالة الجملة الثنائية و نموذج ثلاثي بعد للجملة المدروسة، والأشكال (3) و(4) تبين نتائج الانحراف الجانبي للدراسة المرجعية و المركبة الأفقية للسجل الزلزالي بعد النقيس لزلزال

السينترو (El Centro (0.09g)). الجدول (1) مواصفات التربة وفق الدراسة المرجعية ،
والجدول (2) يبين مواصفات النموذج المدروس. تبين الجداول (3) و (4) نتائج قيم القص
القاعدي والدور في الدراسة المرجعية.



الشكل (1) المسقط الأفقي للبناء بحالة الجملة الثنائية وفق الدراسة المرجعية
الشكل (2) نموذج ثلاثي بعد للجملة المدروسة وفق الدراسة المرجعية

الجدول (1) مواصفات التربة وفق الدراسة المرجعية:

مقطع التربة Soil Profile	الوصف Description	سرعة موجات القص Shear Wave Velocity(m/sec)	نسبة بواسون Poisson's ratio	وحدة الوزن Unit weight(ρ) (kN/m ³)
SB	صخر Rock	1200	0.3	22
SC	تربة ذات كثافة عالية وصخر طري (كونغولوميرات) Dense soil	600	0.3	20
SD	تربة صلبة Stiff Soil	300	0.35	18
SE	تربة طرية Soft Soil	150	0.4	16

الجدول (2) مواصفات النموذج المدروس وفق الدراسة المرجعية

المعامل	القيمة	سماعة السقف m	0.15
عدد الطوابق	16	أبعاد الحصىرة m	0.3*13*13
عدد الفتحات بالاتجاه X و Y	4	الحمولات الحية	2.5 KN/m ²
طول الفتحة بالاتجاهين m	4	الحمولات الميتة	1.6 KN/m ²
الارتفاع الطائقي m	3	عمق التأسيس	0
سماعة البلاطة m	0.15	عيار البيتون	M 20
أبعاد الأعمدة m	0.6*0.6 تحت ثلاث طوابق	مقاومة الحديد	Fe 415 Mpa
أبعاد الأعمدة m	0.5*0.5 فوق ثلاث طوابق	الوزن الحجمي للبيتون	25 KN/m ³

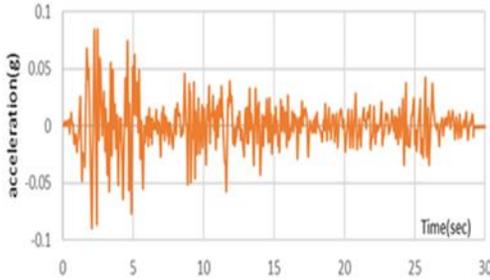
أبعاد الجوائز m	0.23*0.23	معامل مرونة البيتون	22360 KN/m ²
نسبة بواسون للبيتون	0.15	تخميد المنشأ	5%
المنطقة الزلزالية	Zone111 PGA=0.09	تخميد التربة	7%

الجدول (3) نتائج الدراسة المرجعية لقيم القص نتيجة إدخال أثر التربة على الجمل المدروسة

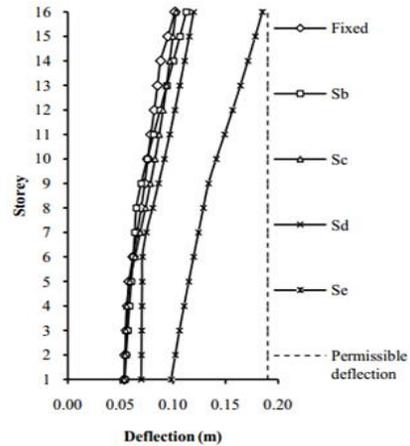
نوع البناء building type	نوع التربة Soil type	القص القاعدي Base shear(KN)		التغير في القص القاعدي Variation in base shear%
		Without SSI بدون تفاعل متبادل	With SSI مع تفاعل متبادل	Due to soil بسبب التربة
Frames and shear wall	SB	2543.20	1242.8	-51.13
	SC		688.83	-72.91
	SD		390.18	-84.66
	SE		520.24	-79.54

الجدول (4) نتائج الدراسة المرجعية لقيم الدور نتيجة إدخال أثر التربة على الجمل المدروسة

نوع البناء building type	نوع التربة Soil type	الدور الطبيعي Natural period(sec)		التغير في القص القاعدي Variation in Natural period %
		Without SSI بدون تفاعل متبادل	With SSI مع تفاعل متبادل	Due to soil بسبب التربة
Frames and shear wall	SB	1.58	1.64	3.63
	SC		1.73	9.43
	SD		1.98	25.04
	SE		2.41	52.58



الشكل (4) المربكة الأفقية للسجل الزلزالي بعد التقيس (El-Centro (0.09g))



الشكل (3) نتائج الدراسة المرجعية لقيم الانحراف الجانبي

2.1 تعريف معامل تعديل الاستجابة الزلزالية، مكوناته والعلاقات الحاكمة له:

يعد معامل تعديل الاستجابة الزلزالية من أدوات التصميم الزلزالي التي تحدد مستوى اللدونة المتوقع في الأنظمة الإنشائية خلال الزلزال وهو يعكس قدرة المنشأ على تبديد الطاقة من خلال السلوك غير المرن ويتم استخدامه لتقليل قوى التصميم المقاوم للزلازل وحساب التخمين وقدرة تبديد الطاقة والقوة الزائدة للهيكل.

عرف كود ATC19 [2] المعامل من خلال خصائص الجملة الإنشائية (المقاومة، المطاوعة، ودرجة عدم التقرير) وأوصى بالتخمين كاعتبار تصميمي.

$$R = R_S R_\mu R_R$$

■ معامل زيادة المقاومة (R_S (Over strength facto) :

$$R_S = \Omega = \frac{V_Y}{V_d}$$

V_Y : تمثل قوة القص عند الخضوع مقدرة (KN)، V_d : قوة القص التصميمية المأخوذة من كودات التصميم مثل [1] مقدرة (KN)، T: يمثل الدور الأساسي للجملة مقدراً بالثانية.

■ معامل تخفيض المطاوعة (R_μ (Ductility Reduction factor) :

$$\mu = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y}$$

معامل المطاوعة

$$Newmark \text{ and } Hall: \begin{cases} R_\mu = 1 & T < 0.03 \text{ SEC} \\ R_\mu = \sqrt{2\mu - 1} & 0.1 < T < 0.5 \text{ SEC} \\ R_\mu = \sqrt{(2\mu - 1) + 2(T - 0.5)(\mu - \sqrt{2\mu - 1})} & 0.5 < T < 1 \\ R_\mu = \mu & T > 1 \text{ SEC} \end{cases}$$

Δ_{max} : الانتقال الهدف ويؤخذ من المنحني ثنائي الخطية (m)، Δ_y : انتقال الخضوع (m)

■ معامل درجة عدم التقرير (R_R (Redundancy Factor) : قيمته تؤخذ (1).

3.1 مقارنة قيم معامل تعديل الاستجابة بين بعض الكودات العالمية:

قدمت الكودات العالمية قيمة ثابتة وحيدة لمعامل تعديل الاستجابة الزلزالية لكل نوع من أنواع الجمل الإنشائية، ولم تذكر شيء عن العوامل المؤثرة فيه، ولا عن تأثير التربة على قيمته، يوضح الجدول (5) قيم معامل تعديل الاستجابة الزلزالية الواردة في الكود العربي السوري [14] ، و بعض الكودات العالمية [12][8] و [11] ،

الجدول (5) قيم معامل تعديل الاستجابة الزلزالية في الكود العربي السوري وبعض الكودات العالمية

م	اسم الكود	الجملة الإنشائية	قيمة R
1	الكود العربي السوري، ملحق 2	الطريقة المكافئة (الجدول)	
		جملة ثنائية (جدران قص + إطارات متوسطة بنسبة مساهمة 25%)	5
		جملة ثنائية (جدران قص + إطارات متوسطة بنسبة مساهمة 50%)	5.5
		جملة ثنائية (جدران قص + إطارات خاصة بنسبة مساهمة 25%)	6
		جملة ثنائية (جدران قص + إطارات خاصة بنسبة مساهمة 50%)	7
		الطريقة المكافئة المطورة	
		جملة ثنائية (جدران قص عادية + إطارات متوسطة مقاومة للعزوم)	5.5
		جملة ثنائية (جدران قص مطاوعة + إطارات متوسطة مقاومة للعزوم)	6.5
		جملة ثنائية (جدران قص مطاوعة + إطارات خاصة مقاومة للعزوم)	7
		جملة ثنائية (جدران قص عادية + إطارات خاصة مقاومة للعزوم)	6
2	الكود الأمريكي UBC97	جدران قص مع IMRF	6.5
		جدران قص مع SMRF	8.5
3	الكود الهندي IS1893	جدران قص مطاوعة مع OMRF	4.5
		جدران قص مطاوعة مع SMRF	5
		جدران قص عادية مع OMRF	3
4	الكود النيوزيلندي New Zealand	جدران قص ثنائية (اطارات + جدران قص) متوسطة المطاوعة	4.5
		جملة ثنائية (اطارات + جدران قص) عالية المطاوعة	6
5	الكود الأوروبي Europe	جملة ثنائية (اطارات + جدران قص)	5.85
		اطارات خرسانية مقاومة للعزوم	5.85
6	الكود الياباني Japan (NBCC)2005	اطارات مطاوعة مقاومة للعزوم	R=Ro*Rd 6.8
		اطارات متوسطة المطاوعة مقاومة للعزوم	Rd 1.7 Ro 4 3.5
		جدران قص مطاوعة	1.4 2.5 5.6

2.8	1.4	2	جدران قص متوسطة المطاوعة		
2	1.3	1.5	انشاء تقليدي (اطارات مقاومة للعزوم + جدران قص)		

2. هدف البحث:

يهدف البحث لدراسة السلوك الديناميكي الخطي للجمل الثنائية على أساسات سطحية مع إدخال تأثير التفاعل بين التربة والمنشأة وسيتم ذلك من خلال:

- (a) معايرة النموذج التحليلي مع نموذج الدراسة المرجعية ومقارنة عناصر الاستجابة الرئيسية (دور، قص قاعدي، انحراف جانبي).
- (b) دراسة تأثير تغيير عدة متغيرات تشمل ثلاثة أنواع من التربة (SB, SC, SE)، وتغيير عدد الطوابق (4-8-16)، وثلاثة سجلات زلزالية ذات مواصفات مختلفة على القوى الداخلية، وانعكاس ذلك على القيم التصميمية.
- (c) دراسة تأثير التفاعل المتبادل بين التربة والمنشأة على قيم معامل تعديل الاستجابة الزلزالية وفق المتغيرات السابقة.

3. مواد وطرق البحث:

تم استخدام مواصفات المواد الواردة في الدراسة المرجعية [5] ، كما هو في الجدول (2).

1.3 العناصر المستخدمة في النمذجة في برنامج (SAP2000, V22):

- **نمذجة العناصر الإنشائية:** تمت نمذجة الأعمدة والجوائز بعناصر إطارية، والبلاطات وجدران القص والحصيرة كعناصر قشرية بسماكة ثابتة، تم تعريف (Diaphragm) عند مستوى الطوابق والحصيرة للحصول على انتقالات متساوية في كل مستوى.
- **نمذجة التربة:** تم استخدام عناصر (solid) لنمذجة التربة القريبة المقطعة (near field) وفق طريقة (Direct Method)، أبعاد التربة المقطعة وعمقها هي أربعة أمثال ومثلي عرض الحصيرة على التوالي. تم التعويض عن التربة اللامحدودة (far field) بالحدود الماصة (مخمدات ماسية وناظمية) وفق العلاقات الواردة في [9] والتي تم تبسيطها لتأخذ الشكل التالي:

$$T_s = \rho A v_s \quad \text{و} \quad T_n = \rho A v_p \quad \text{حيث}$$

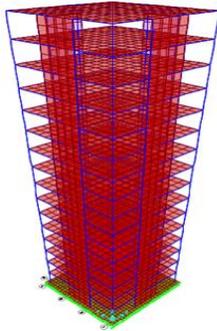
$$K = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \text{ و } G = \frac{E}{2(1+\mu)} \text{ و } v_p = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \text{ و } v_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

Tn: المخمد بالاتجاه الناظمي و Ts: المخمد بالاتجاه المماسي و vs: سرعة موجات القص (m/sec) و vp: سرعة الموجات العرضية (التوسعية) (m/sec)، و A: المساحة الكلية لجميع العناصر حول العقدة المعنية (m^2).

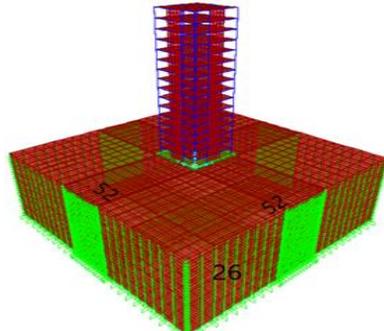
تمت نمذجة التربة في طريقة الجزء السفلي من المنشأ (Substructure Method) باستخدام عناصر (links) ذات صلابة وتخمد حسبت من العلاقات التي قدمها [7] وكانت قيم الصلابة والتخمد الديناميكي وفق الجدول (6). تبين الأشكال (5) و (6) النموذج التحليلي وفق طريقتي نمذجة التربة.

الجدول (6) قيم معاملات الصلابة والتخمد الديناميكية

dynamic	KX	KY	KZ	rx	ry	rt	cx	cy	cz	crx	cry	crz
Sb القيم الموزعة/م	6.58E+05	6.58E+05	8.06E+05	1.90E+06	1.89E+06	1.54E+06	1.27E+04	1.24E+04	1.59E+04	2.95E+04	2.94E+04	2.39E+04
Sc القيم الموزعة/م	1.49E+05	1.49E+05	1.83E+05	4.26E+05	4.21E+05	3.46E+05	3.43E+03	3.29E+03	4.38E+03	6.64E+03	6.57E+03	5.39E+03
Se القيم الموزعة/م	7939.3	7859.9	10145.8	23220.9	22128.4	16514.5	343.7	316.0	523.4	400.9	384.0	278.9



الشكل (6) النموذج التحليلي - طريقة الجزء السفلي



الشكل (05) النموذج التحليلي - الطريقة المباشرة

من المنشأ Substructure Method باستخدام برنامج (SAP2000,V22).
Direct Method باستخدام برنامج (SAP2000,V22).

2.3 نموذج المعايرة:

تم إنشاء نموذج تحليلي (16 طابق) باستخدام برنامج (SAP2000) مطابق لمعطيات الدراسة المرجعية [5] للمعايرة والتحقق، أدرجت نتائج المعايرة في الجدول (14) الذي سيرد لاحقاً.

3.3 وصف النماذج التحليلية :

المرحلة الأولى: تصميم نماذج تحليلية باستخدام الكود [8] وإجراء تحليل ديناميكي خطي لدراسة تأثير ذلك على القوى الداخلية المؤثرة في العناصر من خلال مقارنتها مع قيمها في حالة الوثاقفة وفق المتغيرات التالية:

- عدد الطوابق: الجملة الثنائية ذات المسقط المبين في الشكل (1) مع تغيير عدد الطوابق 16 طابق - 8 طوابق - 4 طوابق. الجدول (7) يبين الأبعاد التصميمية للجمل في حالات الطوابق المدروسة.
- ثلاثة سجلات زلزالية مختلفة المواصفات . كما هو مبين في الجدول (8) و الأشكال (7) و (8) و (9) .
- ثلاثة أنواع مختلفة من التربة كما هو مبين في الجدول (1). يبين الجدول (9) ترددات مكونات النموذج (تربة- منشأ-هزة).

الجدول (7) الأبعاد التصميمية للجمل في حالات الطوابق المدروسة

عدد الطوابق	حتى 3 طوابق	فوق 3 طوابق	سماكة جدران القص
4	0.35*0.35	0.35*0.35	0.15
8	0.40*0.40	0.35*0.35	0.20
16	0.6*0.6	0.5*0.5	0.25

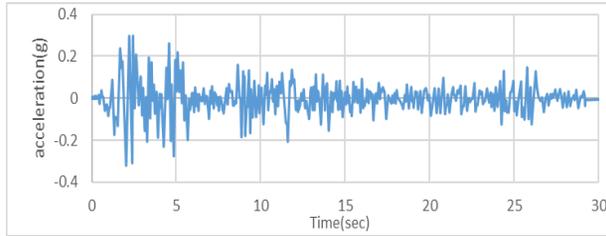
الجدول (8) مواصفات الهزات المستخدمة في التحليل

اسم الهزة الارضية			خصائص الهزة
Northridge	Erzincan	El-Centro	
0.87g	0.42g	0.32g	التسارع الارضي الاعظمي
4.91	2.76	2.16	التردد المسيطر (HZ)
14.94	20.77	30	المدة
U.S.A	Turkey	U.S.A	مكان حدوث الهزة

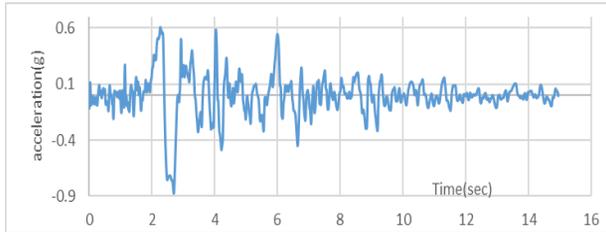
1994	1992	1940	العام
------	------	------	-------

الجدول (9) ترددات مكونات النموذج (تربة - منشأ - هزة)

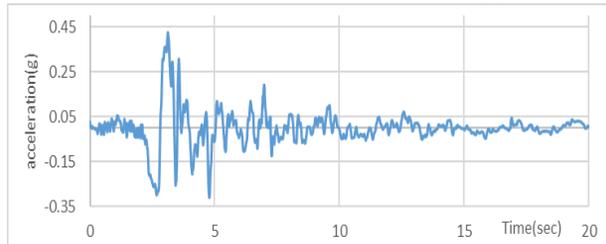
عدد الطوابق	التردد	التربة	التردد	الهزة الأرضية	التردد
16	0.62 (0.496-0.744)	SB	11.5 (9.2-13.8)	El-Centro	2.16 (1.728-2.59)
8	1.61 (1.28-1.93)	SC	5.77 (4.6-6.9)	Erzincan	2.76 (2.208-3.312)
4	4.3 (3.44-5.16)	SE	1.44 (1.152-1.728)	Northridge	4.91 (3.93-5.89)



الشكل (7) المركبة الأفقية لزلزال El Centro - 0.32g



الشكل (8) المركبة الأفقية لزلزال Northridge - 0.87g



الشكل (9) المركبة الأفقية لزلزال Erzincan - 0.42g

المرحلة الثانية: تم تصميم الجملة الإنشائية للبناء وفق المتطلبات الزلزالية لمدينة دمشق باستخدام الطريقة الاستاتيكية المطورة الواردة في الكود العربي السوري، الملحق 2، [14] حيث المنطقة الزلزالية $Z=0.25g$ ومقطع تربة SE في ثلاث حالات (16-8-4) طابق، وتم اختيار التصميم على مقطع تربة SE وذلك للحصول على نموذج يحقق

نقطة أداء في جميع الحالات. أبعاد المقاطع وتسليحها كما هو مبين في الجداول (10)-
(11-12-13).

الجدول (10) أبعاد المقاطع التصميمية المستخدمة في الدراسة وتسليحها:

الأعمدة	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
الأبعاد	30*30	35*35	40*40	40*40	50*50	60*60	80*80	90*90
نسبة التسليح %	1%	1.5%	1.5%	2.3%	2%	2.5%	2.3%	2.3%
B1	35*35		B2	30*30		B3	25*25	
W1								
W2								
W3								

الجدول (11) المقاطع التصميمية في حالة 16 طابق:

بناء 16 طابق	العمود الركني	العمود لوسطي	العمود الطرفي	جدار القص
16-15-14-13	C2	C5	C5	W1
12-11-10-9-8-7	C3	C6	C6	W1
6-5-4-3	C5	C7	C7	W2
2-1	C7	C8	C8	W3

الجدول (12) المقاطع التصميمية في حالة 8 طابق:

بناء 8 طواق	العمود الركني	العمود لوسطي	العمود الطرفي	جدار القص
4-5-6-7-8	C2	C2	C2	W1
1-2-3	C3	C3	C4	W2

الجدول (13) المقاطع التصميمية في حالة 4 طابق:

بناء 8 طواق	العمود الركني	العمود لوسطي	العمود الوسطي	جدار القص
4	C1	C1	C1	W1
1-2-3	C3	C3	C3	W1

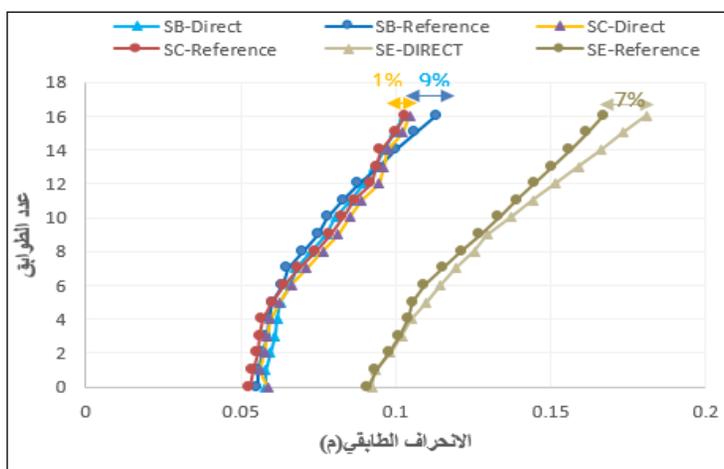
4. نتائج التحليل ومناقشتها:

1.4 نتائج معايرة النموذج مع الدراسة المرجعية [5] :

تمت إدراج نتائج المعايرة مع الدراسة المرجعية في حالة الجملة الثنائية حالة الاستناد لأنواع مختلفة من التربة كما هو مبين في الجدول (14). كانت النتائج متوافقة في قيم الدور في كل أنواع التربة. هناك اختلاف في قيم القص في التربة (SB) بحدود 3% وفي (SC) بحدود 5% وفي التربة (SE) يصل لـ (10) %. الفرق النسبي في الانحراف الجانبي حالة التربة (SB) هو (9%). الفرق النسبي في الانحراف الجانبي حالة التربة (SC) هو (1%). الفرق النسبي في الانحراف الجانبي حالة التربة (SE) (7%). وعليه سيتم اعتماد النموذج وفق المدخلات السابقة لإكمال البحث. يبين الشكل (10) معايرة الانحراف الجانبي للنموذج المدروس مع الدراسة المرجعية.

الجدول (14) نتائج معايرة النموذج التحليلي مع الدراسة المرجعية

جملة اطارية جدارية	الدور(sec)		القص(KN)		الانحراف الجانبي (m)		الفرق النسبي في الدور%	الفرق النسبي في القص%	الفرق النسبي في انحراف الطابق الأخير%
	الدراسة المرجعية LS DYNA	نموذج SAP2000	الدراسة المرجعية LS DYNA	نموذج SAP 2000	الدراسة المرجعية LS DYNA	نموذج SAP2000			
SB	1.64	1.64	1242	1209	0.113	0.102	0	3	9
SC	1.73	1.74	688	727	0.103	0.104	0	5	1
SE	2.41	2.40	.520	576	0.18	0.167	0	10	7



الشكل (10) معايرة الانحراف الجانبي للنموذج المدروس مع الدراسة المرجعية

2.4 نتائج الدراسة التحليلية وفق متغيرات البحث على القوى الداخلية:

1.2.4 نتائج تحليل نموذج 16 طابق:

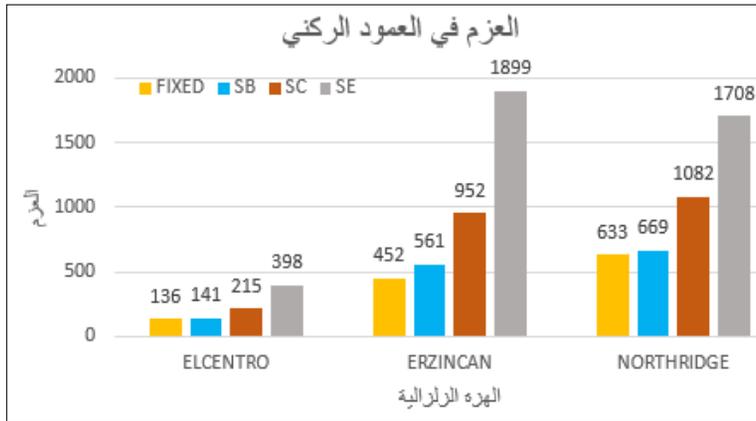
■ تأثير متغيرات الدراسة على القوى الداخلية في العمود الركني في الطابق الأرضي:

تبين بعد تحليل ودراسة المنشأ أن الإطار المحيطي بجوار جدران القص هو الإطار الأخطر من ناحية القوى الداخلية لذلك تم مقارنة قيم القوى الداخلية المؤثرة في عموده الركني وجانزه في الطابق الأرضي مع القيم في حالة الوثيقة، يوضح الجدول (15) نتائج

القوى المحورية والعزوم في العمود الركني بعد تحليل النموذج في برنامج (SAP2000,V22). انخفضت القوة المحورية بنسب متفاوتة في التربة (SB, SC) في كل الزلازل بينما زادت بنسبة (3.4%) مع زلزال السينترو (El Centro) فقط. زادت العزوم الداخلية مع انخفاض صلابة التربة وبنسب مختلفة حسب تردد الزلزال كان أكبرها في التربة (SE) مع زلزال إيرزكان (Erzincan). يوضح الشكل (11) مقارنة العزم في العمود باختلاف نوع التربة والاستناد لكل الزلازل.

الجدول (15) نتائج القوى المحورية والعزم في العمود الركني للنموذج المدروس حالة 16 طابق

القوى المدروسة	الهزة	الطريقة المباشرة Direct Method				الفرق النسبي %		
		rigid	SB	SC	SE	SB	SC	SE
القوة المحورية KN	El-Centro	872	638	626	902	-26	-28	+3.4
	Erzincan	3209	2778	2888	2524	-13	-10	-21
	Northridge	4531	3889	3924	2350	-14	-38	-48
عزم الانعطاف KN.m	El-Centro	136	141	215	398	+3.6	+58	+192
	Erzincan	452	561	952	1899	+24	+110	+320
	Northridge	633	669	1082	1708	+5.7	+71	+170



الشكل (11) مقارنة العزم في العمود باختلاف نوع التربة والاستناد لكل زلزال (16 طابق)

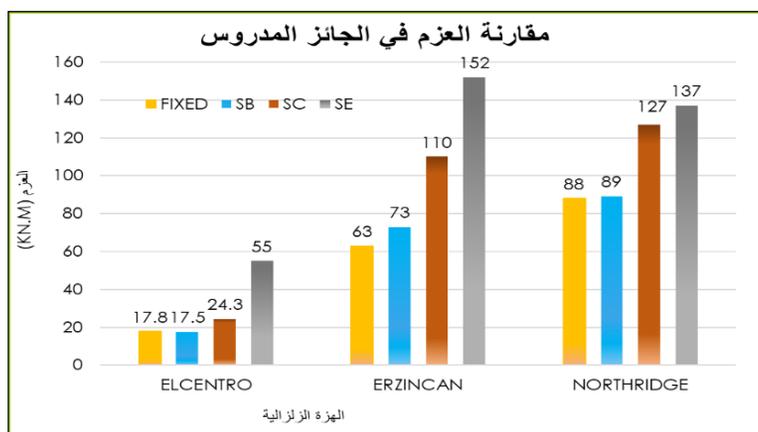
■ تأثير متغيرات الدراسة على القوى الداخلية في جوائز الطابق الأرضي (16 طابق) :

تزداد عزوم الانعطاف وقوى القص بشكل يتناسب طردياً مع انخفاض صلابة التربة

مقارنة بالوثاقفة، كما هو موضح في الجدول (16). كانت أكبر نسبة فرق في التربة (SE) مع زلزال السينترو (El-Centro) لقوة القص (207%) ولعزم الانعطاف (210%). يوضح الشكل (12) مقارنة العزم في الجائز باختلاف نوع التربة والاستناد لكل زلزال.

الجدول (16) نتائج قوى القص والعزم في الجائز المدروس حالة 16 طابق.

القوى المدروسة	الهزة	الطريقة المباشرة Direct Method				الفرق النسبي %		
		rigid	SB	SC	SE	SB	SC	SE
عزم الانعطاف KN.m	El-Centro	17.8	17.5	24.3	55.2	-2	+36	+210
	Erzincan	63	73	110	152	+15	+74	+141
	Northridge	87.9	89	127	137	+1	+44	+55
قوة القص (KN)	El-Centro	26	25.5	35	80	-3	+35	+207
	Erzincan	91	106	160	222	+15	+75	+143
	Northridge	128	129	184	200	+1	+44	+56



الشكل (12) مقارنة العزم في الجائز المدروس باختلاف نوع التربة والاستناد لكل زلزال (16 طابق)

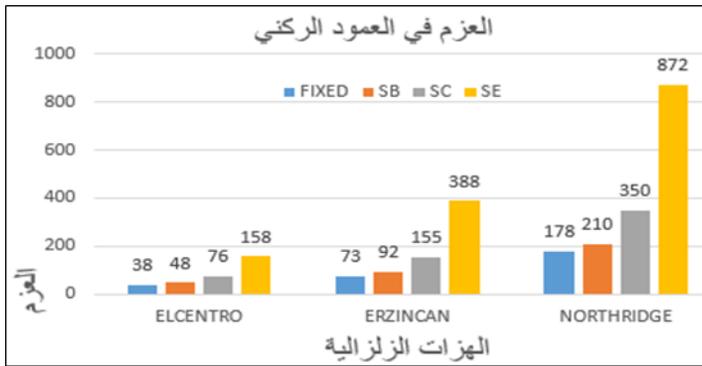
2.2.4 نتائج تحليل نموذج 8 طوابق:

تأثير متغيرات الدراسة على القوى الداخلية في العمود الركني في الطابق الأرضي: يظهر الجدول (17) قيم القوى المحورية والعزوم في العمود الركني حيث تبين اختلاف سلوك العمود مع انخفاض عدد الطوابق. تغيرت قيم القوة المحورية بنسب مختلفة حسب نوع التربة وتردد الزلزال، وزادت العزوم الداخلية مع انخفاض صلابة التربة وبنسب مختلفة حسب تردد الزلزال كان أكبرها في التربة (SE) مع زلزال إيرزكان (Erzincan)

بنسبة فرق (440%) . يبين الشكل (13) مقارنة العزم في العمود باختلاف نوع التربة والإستناد لكل زلزال (8 طابق).

الجدول (17) نتائج القوى المحورية والعزم في العمود الركني للنموذج المدروس حالة 8 طوابق

القوى المدروسة	الهزة	الطريقة المباشرة Direct Method				الفرق النسبي %		
		rigid	SB	SC	SE	SB	SC	SE
القوة المحورية (KN)	El-Centro	341	350	334	263	+3	-3	-23
	Erzincan	562	531	641	926	-3	+16	+67
	Northridge	1409	1231	1453	1475	-13	+3	+5
عزم الانعطاف KN.m	El-Centro	38	48	76	158	+26	100	+415
	Erzincan	73	92	155	388	+27	+115	+440
	Northridge	178	210	350	872	+18	+96	+390



الشكل (13) مقارنة العزم في العمود الركني باختلاف نوع التربة والإستناد لكل زلزال (8 طابق)

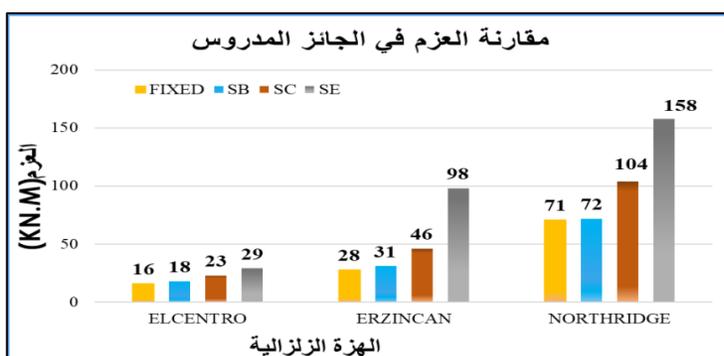
■ تأثير متغيرات الدراسة على القوى الداخلية في جوائز الطابق الأرضي حالة 8 طوابق:

يبين الجدول (18) قوى القص والعزم في الجوائز المدروس حيث زادت عزوم الانعطاف وقوى القص بشكل يتناسب طردياً مع انخفاض صلابة التربة. كانت أكبر نسبة فرق في التربة (SE) مع زلزال إيرزنكان (Erzincan) لعزم الانعطاف (250%) والقص (239%). أعطى زلزال السينترو (El-Centro) أكبر نسب زيادة في التربة (SB) (12.5%) للعزم و(10%) للقص، بينما أعطى زلزال إيرزنكان (Erzincan) أكبر زيادة

في التربة (SC) (64%) للعزم و(58%) للقص. يبين الشكل(14) مقارنة العزم في الجائز باختلاف نوع التربة والاستناد لكل زلزال في حالة (8 طابق).

الجدول(18) نتائج قوى القص والعزم في الجائز المدروس حالة 8 طوابق.

القوى المدروسة	الهزة	الطريقة المباشرة Direct Method				الفرق النسبي %		
		rigid	SB	SC	SE	SB	SC	SE
عزم الانعطاف (KN.m)	El-Centro	16	18	23	29	+12.5	+43	+81
	Erzincan	28	31	46	98	+11	+64	+250
	Northridge	71	72	104	158	+1	+46	+122
قوة القص (KN)	El-Centro	20	22	28	35	+10	+40	+75
	Erzincan	36	39	57	122	+8	+58	+239
	Northridge	88	89	130	197	+1	+48	+124



الشكل(14) مقارنة العزم في الجائز باختلاف نوع التربة والاستناد لكل زلزال حالة 8 طوابق.

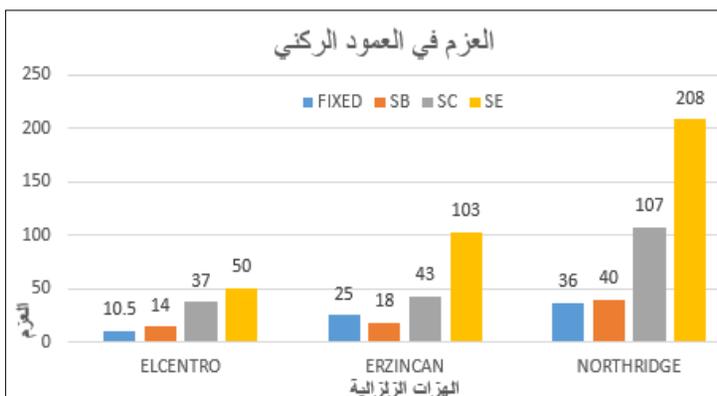
3.2.4 نتائج تحليل نموذج 4 طوابق:

■ تأثير متغيرات الدراسة على القوى الداخلية في العمود الركني في الطابق الأرضي: يظهر الجدول (19) قيم القوى المحورية والعزوم في العمود الركني حيث زادت القوة المحورية بنسب مختلفة حسب نوع التربة والزلزال ويقوم أكبر من حالة 8 طوابق. بينما زادت العزوم الداخلية مع انخفاض صلابة التربة وبنسب تختلف حسب تردد الزلزال كان أكبرها في التربة (SE) مع زلزال نورثريديج (Northridge) الذي أدى إلى زيادة في العزم بنسبة (477%) وزيادة في القوة المحورية بنسبة (77%) حالة التربة (SE). بينما أدى

زلزال السينترو (El Centro) إلى زيادة في العزم بنسبة (236%) وزيادة في القوة المحورية بنسبة (154%) مع التربة (SC). تصرفت التربة (SB) بشكل مختلف في كل زلزال. يبين الشكل (15) مقارنة العزم في العمود باختلاف نوع التربة والاستناد لكل زلزال.

الجدول (19) نتائج القوى المحورية والعزم في العمود الركني حالة 4 طوابق

القوى المدروسة	earthquake	الطريقة المباشرة Direct Method				الفرق النسبي %		
		rigid	SB	SC	SE	SB	SC	SE
القوة المحورية	El-Centro	35	40	89	56	+11	+154	+60
	Erzincan	85	54	98	108	-36	+15	+27
	Northridge	122	117	234	217	-4	+91	+77
عزم الانعطاف	El-Centro	10.5-	14	37	50	+36	+236	+351
	Erzincan	25	18	43	103	-30	+42	+315
	Northridge	36	40	107	208	+14	+157	+477



الشكل (15) مقارنة العزم في العمود باختلاف نوع التربة والاستناد لكل زلزال (4 طوابق)

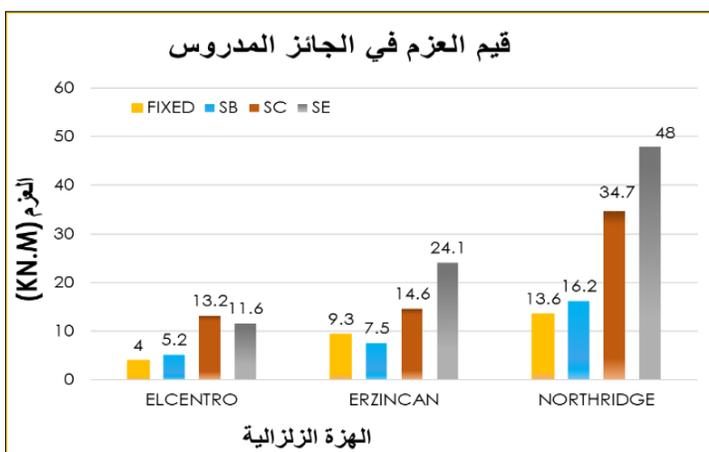
■ تأثير متغيرات الدراسة على القوى الداخلية في جوائز الطابق الأرضي حالة 4 طوابق:

تبين زيادة عزم الانعطاف وقوى القص بشكل يتناسب طردياً مع انخفاض صلابة التربة كما هو موضح في الجدول (20) حيث كانت أكبر نسبة فرق في التربة (SE) مع زلزال نورثريديج (Northridge) لعزم الانعطاف (252%) والقص (496%). أعطى زلزال السينترو (El Centro) أكبر نسب زيادة في التربة (SB) (30%) للعزم و(106%)

للقص، والترتبة (SC) (230%) للعزم و(365%) للقص. يوضح الشكل (16) مقارنة قيم القص والعزم في الجائز المدروس حالة 4 طوابق. وبناءً على ماسبق نجد أن إدخال التفاعل المتبادل يقود إلى زيادة أبعاد المقاطع التصميمية للأعمدة والجوائز.

الجدول (20) نتائج قوى القص والعزم في الجائز حالة 4 طوابق.

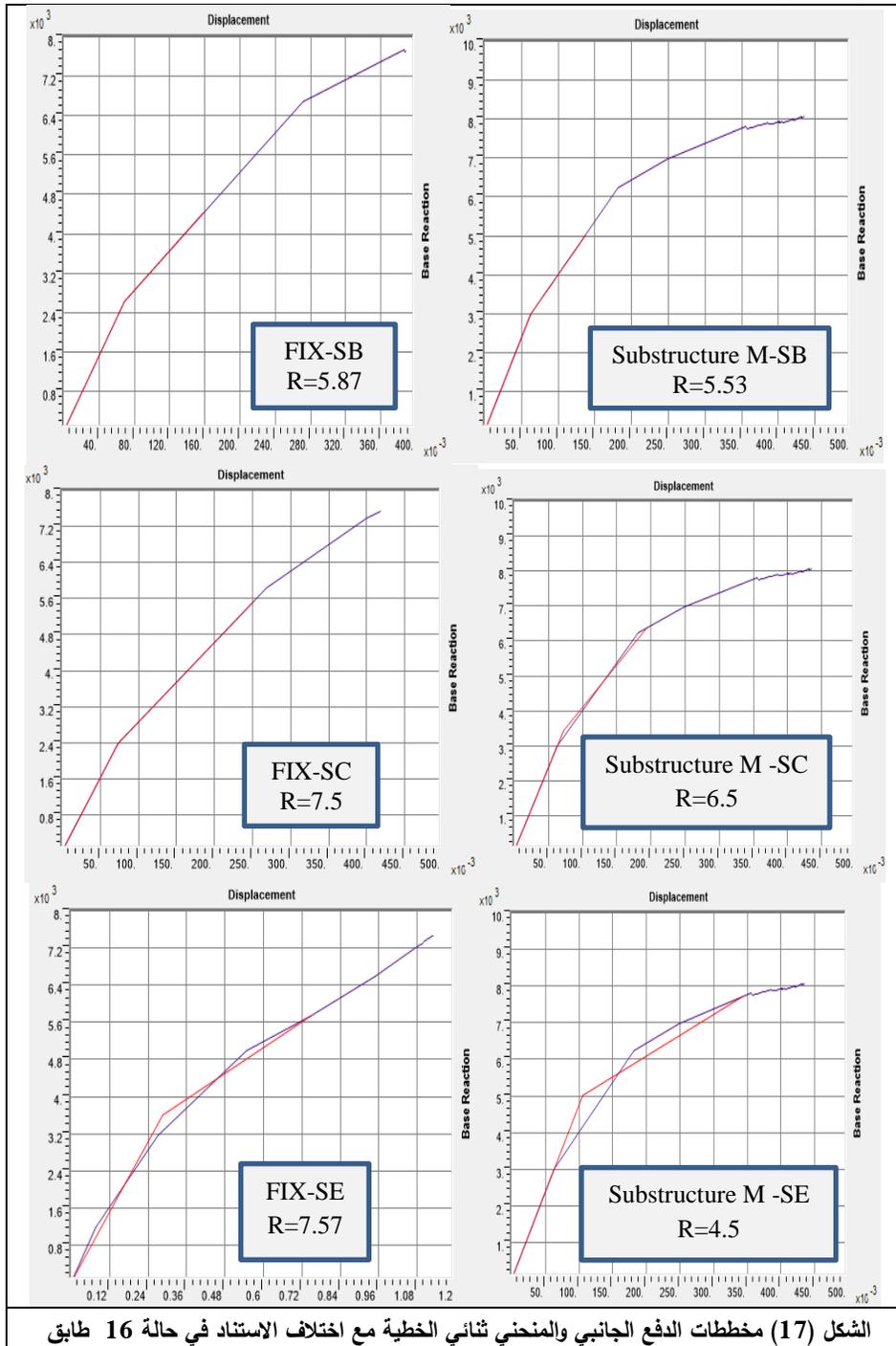
القوى المدروسة	earthquake	الطريقة المباشرة Direct Method				الفرق النسبي %		
		rigid	SB	SC	SE	SB	SC	SE
عزم الانتعاط	El-Centro	4	5.2	13.2	11.6	+30	+230	+90
	Erzincan	9.3	7.5	14.6	24.1	-19	+57	+159
	Northridge	13.6	16.2	34.7	48	+19	+155	+252
قوة القص	El-Centro	3.4	7	15.8	17	+10 6	+365	+400
	Erzincan	8.2	9	17.5	35	+10	+113	+327
	Northridge	11.9	20	41.5	71	+68	+249	+496



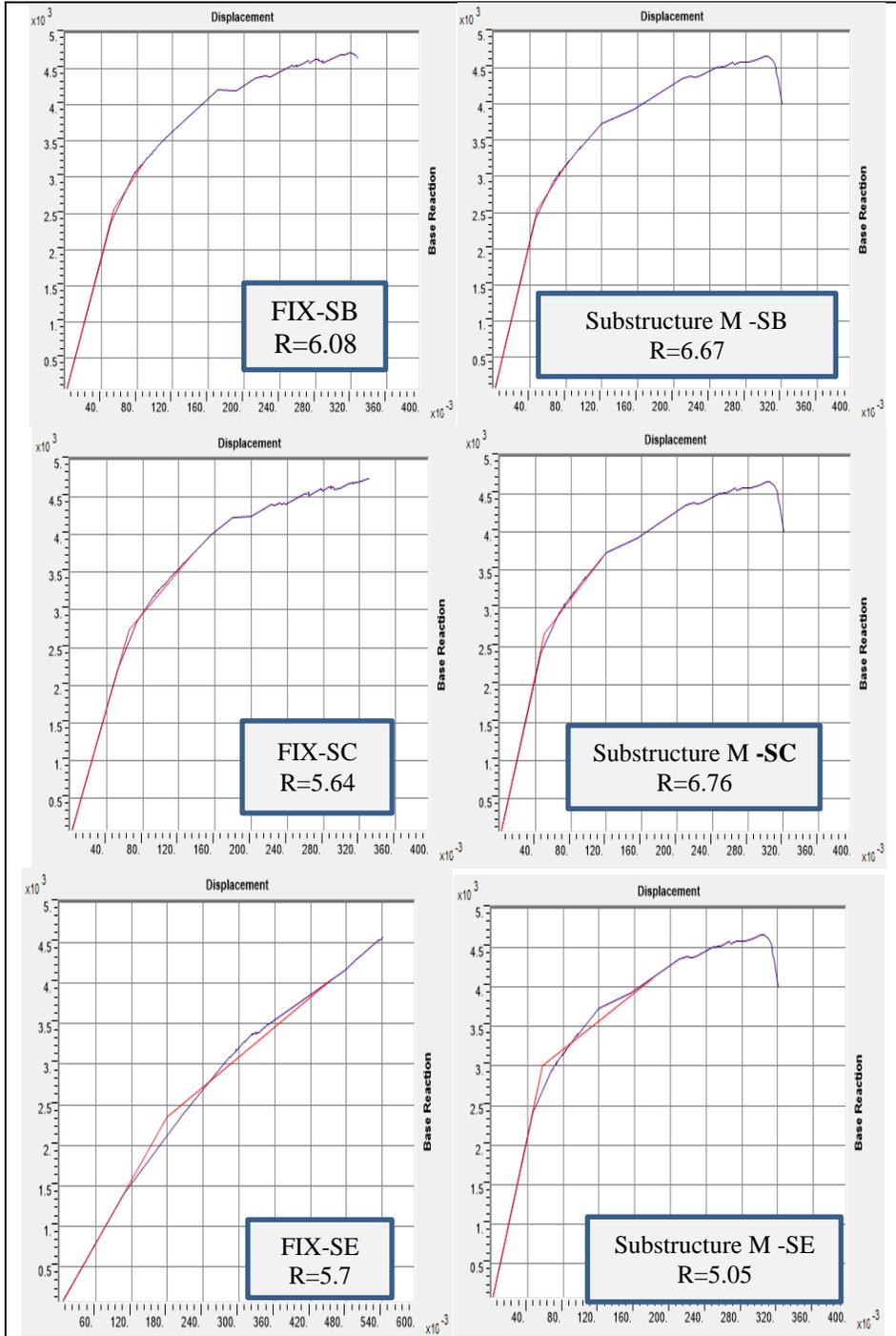
الشكل (16) مقارنة العزم في الجائز باختلاف نوع التربة والاستناد لكل زلزال حالة 4 طوابق.

3.4 دراسة تأثير التفاعل المتبادل على قيم معامل تعديل الاستجابة للنماذج المدروسة: تم حساب العوامل المكونة لمعامل تعديل الاستجابة بعد إجراء تحليل الدفع الجانبي للنماذج المدروسة (PUSHOVER) وبمساعدة المنحنيات ثنائية الخطية في الحالات المختلفة لتربة الاستناد وعدد الطوابق. يوضح الشكل (17) المنحنيات الناتجة في حالة 16 طابق، والشكل (18) في حالة 8 طابق، والشكل (19) في حالة 4 طابق

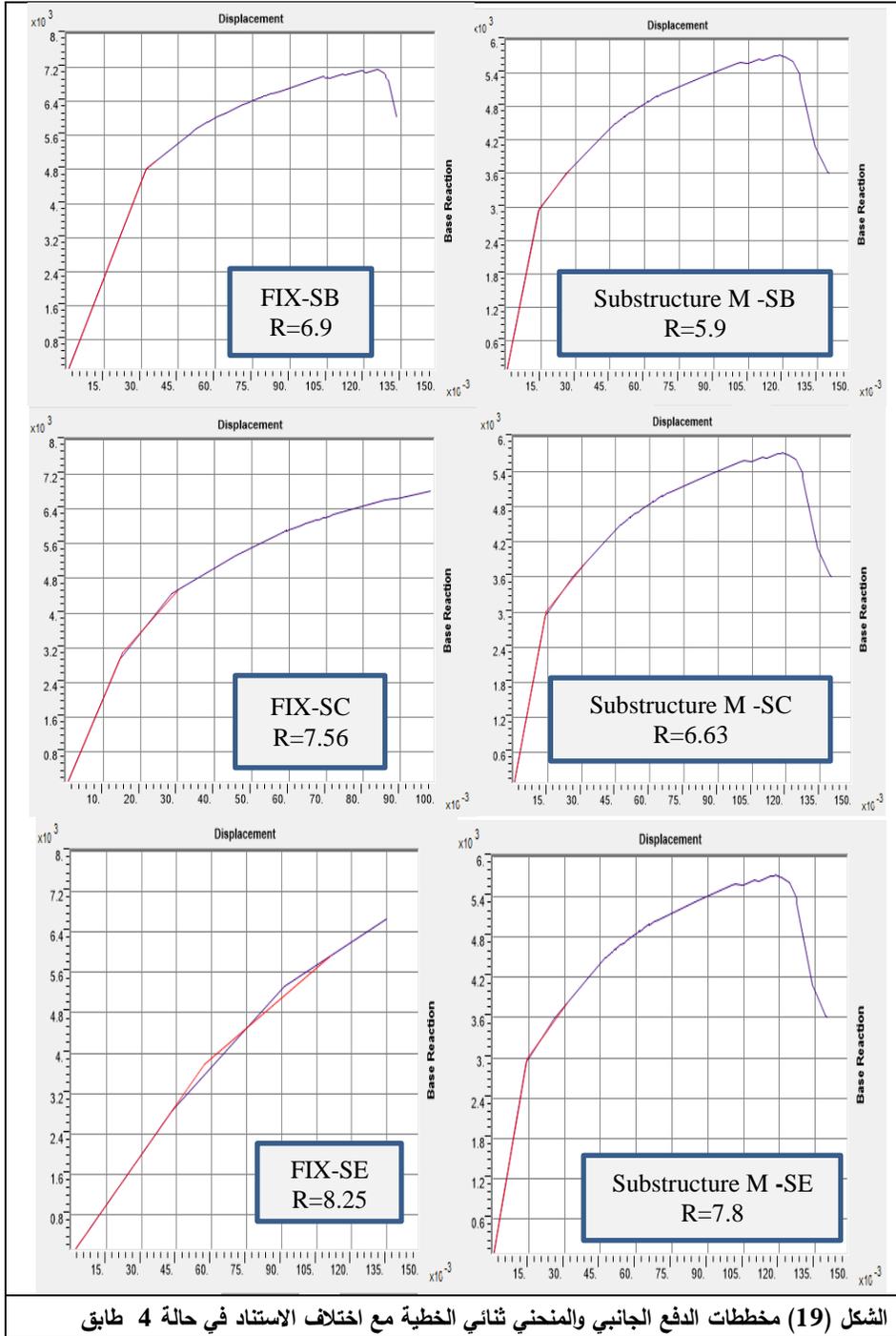
مع إيضاح القيم عليها في حالة الاستناد على تربة وحالة الوثاقه.



الشكل (17) مخططات الدفع الجانبي والمنحني ثنائي الخطية مع اختلاف الاستناد في حالة 16 طبق



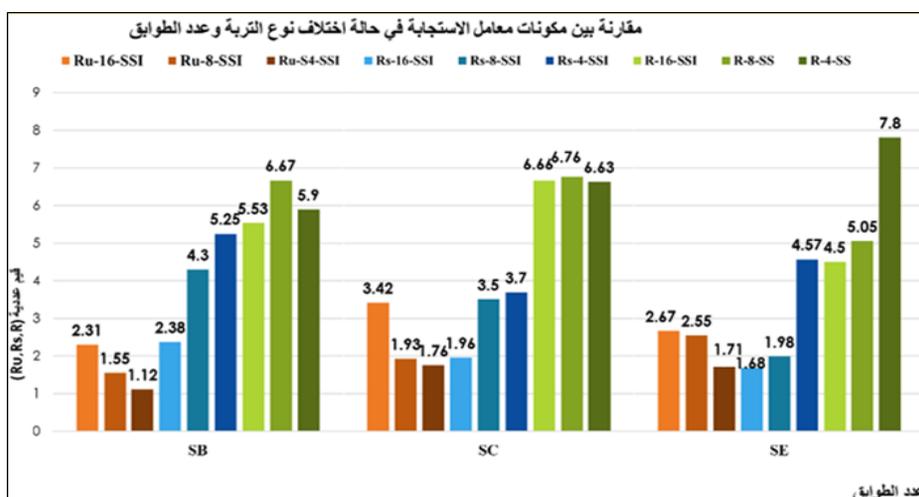
الشكل (18) مخططات الدفع الجانبي والمنحني ثنائي الخطية مع اختلاف الاستناد في حالة 8 طابق



1.3.4 دراسة تأثير المتغيرات على معامل تعديل الاستجابة الزلزالية:

■ تأثير اختلاف عدد الطوابق مع تثبيت نوع التربة:

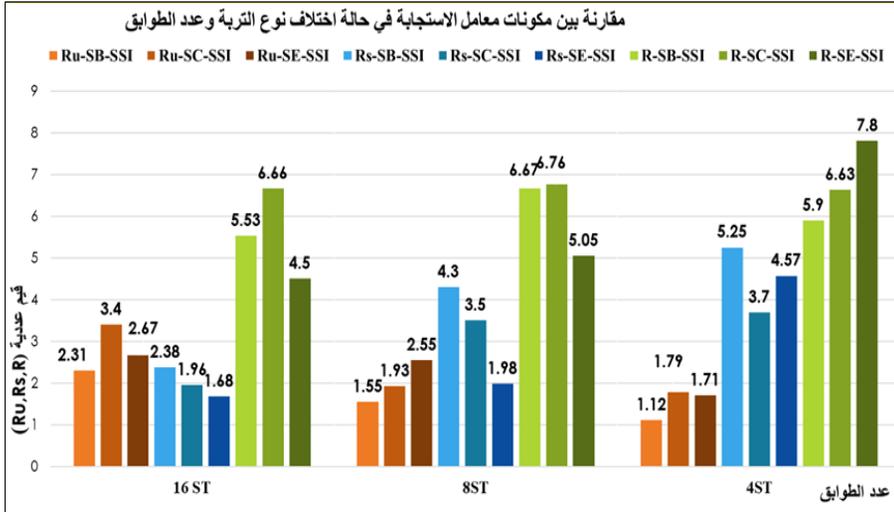
يبين الشكل (20) مقارنة قيم معامل تعديل الاستجابة لكل تربة باختلاف عدد الطوابق، فقد أعطت حالة 8 طوابق أكبر قيمة لمعامل تعديل الاستجابة الزلزالية (6.67) و (6.76) في التربة (SB) والتربة (SC) على التوالي. بينما أعطت حالة 4 طوابق أكبر قيم للمعامل (7.8) في التربة (SE). أي تختلف قيم معامل تعديل الاستجابة باختلاف نوع التربة وعدد الطوابق.



الشكل (20) مقارنة مكونات معامل تعديل الاستجابة الزلزالية حالة اختلاف عدد الطوابق وتثبيت نوع التربة

■ تأثير اختلاف نوع التربة مع تثبيت عدد الطوابق:

يبين الشكل (21) مقارنة تأثير تغير نوع التربة مع تثبيت عدد الطوابق حيث وجد أن قيم معامل تعديل الاستجابة تزيد مع انخفاض صلابة التربة في حالة 4 طابق وتنخفض في حالة 8 و 16 طابق ماعدا التربة (SC)، حيث أعطت قيم مقارنة في كل أنواع التربة (6.66) في حالة 16 طابق، (6.76) في حالة 8 طوابق، (6.63) في حالة 4 طوابق.



الشكل (21) مقارنة مكونات معامل تعديل الاستجابة الزلزالية حالة اختلاف نوع التربة وتثبيت عدد الطوابق

5. نتائج البحث:

■ يحدث التضخيم في الاستجابة في حال توافق أحد ترددات البناء الطبيعية مع مجال تردد التربة أو الزلزال أو كليهما، يعبر عن توافق تردد التربة مع مجال تردد زلزال (حالة التربة (SC) مع زلزال Northridge) بالتأثير المحلي للتربة، ويعبر عن توافق تردد البناء مع مجال تردد التربة (في حالة (4) طوابق في مجال تردد التربة (SC) ، وحالة (8) طوابق ضمن مجال تردد التربة الرملية (SE))، وتردد البناء مع مجال تردد الهزة (في حالة (8) طوابق مع (Erzincan , El Centro) وحالة (4) طوابق مع (Northridge))، بالرنين أو تضخيم الاستجابة والذي أدى في كل الحالات إلى زيادة القوى الداخلية باختلاف عدد الطوابق.

■ تزداد العزوم الداخلية في الأعمدة والجوائز مقارنة بالوثاق مع انخفاض صلابة التربة باختلاف عدد الطوابق ومواصفات الزلزال (أكبر نسبة زيادة في الجوائز كانت في حالة 4 طوابق التربة SE مع زلزال نورثردج 496%، وفي العمود 477%) بسبب التضخيم الناتج من توافق تواترات مكونات الجملة.

■ تتغير قيم معامل تعديل الاستجابة باختلاف نوع التربة وعدد الطوابق عند ادخال التفاعل المتبادل مقارنة بحالة الاستناد الموثوق وتميل إلى الزيادة مع انخفاض عدد

الطوابق بقيم مختلفة حسب نوع التربة (أكبر قيمة كانت 7.8 للتربة SE حالة 4 طوابق وأصغر قيمة كانت 4.5 للتربة SE مع 16 طابق).

■ اعتبرت الكودات قيمة واحدة لمعامل تعديل الاستجابة للجمل الثنائية (في الكود العربي السوري $R=6.5$) بغض النظر عن خصائص الجملة والارتفاع الطابقي وطبيعة الاستناد (وثاق أو تربة) وهو غير كافي لأن قيمه تختلف باختلاف هذه الخصائص للنوع الواحد من الجمل وبالتالي فإن ربط الكودات قيمة R بقيمة ثابتة لنوع الجملة غير كافي.

■ يزيد إدخال أثر التفاعل المتبادل متطلبات التصميم حيث يزيد أبعاد مقاطع الجملة وزمن التحليل وبالتالي هو ذو كلفة أعلى.

■ ضرورة إدخال تأثير التفاعل المتبادل في جميع الدراسات والتصاميم لأن إهماله يعطي تصميم بعيد عن الواقع .

6. المراجع

- [1] ASCE 7-10. 2010- **Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.**
- [2] ATC-19. 1995- **Structural Response Modification Factors.** Applied Technology Council. Redwood City, California, USA.
- [3] ATC40 (Applied Technology Council). 1996- **Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings.** Vol: 1 Ch.: 10. USA.
- [4] Bakhtyar, Saleh Ahmmad. 2017- **Earthquake Analysis of 12 Story Building Considering Built on Three Type of Soil Include Effect of Soil Structure.**" Gaziantep University. Turkey. 75 p.
- [5] Chinmayi H.K., Jayalekshmi B.R. 2013- **Soil-Structure interaction effects on seismic response of a 16 story RC framed building with shear wall"**. National Institute of Technology Karnataka, India.
- [6] Chinmayi. H. K, and Jayalekshmi, B. R. 2016- **Effect of soil stiffness on seismic response of reinforced concrete buildings with shear walls.** National Institute of Technology Karnataka, Mangalore, India.
- [7] Gazetas G. (1991). **Foundation vibrations.** In: Fang HY, editor. Foundation engineering handbook. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold's. p. 93-553.
- [8] IS 1893. 2000- Indian Standard. **Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures.** Part: 1. India.
- [9] Lysmer. J, and Kuhlemeyer. R. L., 1969- **FINITE DYNAMIC MODEL FOR INFINITE MEDIA.** Journal of the ENGINEERING MECHANICS DIVISION Proceedings of the American Society of Civil Engineers USA. P:859-877.
- [10] NEHERP ,2012- **Soil Structure Interaction for Building Structure.** NEHRP Consultants Joint Venture A partnership of the Applied Technology Council and the

Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering.

- [11] Priestley, M.J.N et al., 2007- **Direct Displacement-Based Seismic Design of Structures**. North Carolina State University, USA.
- [12] UBC.1997- **Uniform Building Code. Structural Design Requirement**. USA. 545 p

المراجع العربية

- [13] الفرّح، بشار. (2012) - دراسة التفاعل بين المنشآت الهيكلية والترتبة في المجال اللاخطي تحت تأثير الحمال الزلزالية بطريقة البرمجة الرياضية. رسالة ماجستير. الهندسة الإنشائية الزلزالية. المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية. جامعة دمشق. ص:178
- [14] الكود العربي السوري ، الملحق 2، 2013- تصميم وتحقق المباني والمنشآت المقاومة للزلازل. نقابة المهندسين السورية، الطبعة الثانية، دمشق، 270ص.

