

# 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

## المخلص

يؤثر التفاعل المتبادل بين التربة والمنشأ بشكل أساسي على الاستجابة الديناميكية للمنشأ حيث أن استجابة المنشأ المستند لتربة تختلف عن حالة الاستناد الموثوق، ويعتبر ذو أثر مهم لحالة وجود جدران القص وفق عدة كودات. تم في هذا البحث دراسة هذا الأثر على الاستجابة الزلزالية في المجال الخطي لجملة ثنائية كونها الجمل الأكثر استخداماً في سوريا. اعتمدت منهجية البحث على دراسة مرجعية للتحقق ومعايرة النموذج ومن ثم إجراء دراسة وفق متغيرات تشمل عدد الطوابق، ومواصفات الزلزال، ونوع التربة، وطريقة نمذجة التربة لمعرفة تأثير ذلك على الاستجابة العامة للجملة والقوى التصميمية ومعامل تعديل الاستجابة الزلزالية. بينت الدراسة زيادة الدور الطبيعي والانحراف الجانبي والعزوم الداخلية في عناصر الجملة وانخفاض قيمة القص القاعدي بالمقارنة مع المنشأ الموثوق. كما بينت ضرورة تطوير الكودات لقيم معامل تعديل الاستجابة الزلزالية الذي يتأثر بعدة متغيرات لنوع الجملة الواحدة منها عدد الطوابق ونوع التربة.

الكلمات المفتاحية: تحليل ديناميكي - تفاعل متبادل (تربة - منشأ) - جملة ثنائية -

Substructure Method- Direct Method

## Effect of Soil Structure Interaction in Seismic Response of Dual System

### Abstract

Soil Structure Interaction mainly affects the dynamic response to the structure, as the response of soil-based structure is different from fixed base. Soil-Structure interaction is an important effect in the case of shear walls according to many cods, so this research has been studied to affect the seismic response in the linear field of a Dual system being the most commonly used system in Syria. The research methodology relied on a reference study to verify and 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 in the natural period, Lateral deflection, and internal moment in the elements of the structure and a reduction in the value of base shear 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. Substructure Approach, Direct Method.

# تأثير التفاعل المتبادل بين التربة والمنشأ في الاستجابة الزلزالية للجمل الثنائية

## 1. مقدمة:

يقيم التحليل الزلزالي للتفاعل المتبادل السلوك الكلي لجملة المنشأ والأساس والوسط الجيولوجي تحت وحول الأساس من أجل حركة محددة للحقل الحر، حيث تكون الاستجابة الديناميكية للمنشأ المستند لتربة صلبة قريبة من استجابته في حالة الوثاقفة، أما إذا كانت تربة الاستناد منخفضة الصلابة فإن استجابة المنشأ تتأثر بخواصها وتختلف عن حالة الوثاقفة. يتكون مفهوم التفاعل المتبادل بين التربة والمنشأ من التفاعل العطالي والتفاعل الحركي وتشوه الأساس. ويمكن تبويب طرق نمذجة التربة وفق طريقتين أساسيتين، الطريقة المباشرة (Direct Method) تعتمد على تحليل كامل الجملة (تربة - منشأ) بخطوة واحدة؛ وطريقة الجزء السفلي من المنشأ (Substructure Method) وهي طريقة متعددة الخطوات وتكون الاستجابة الكلية فيها هي تجميع استجابة كل الخطوات. تؤثر العديد من العوامل على الاستجابة الديناميكية الكلية للمنشأ منها عمق السرير الصخري، طبيعة الأساسات، عمق الطمر، نوع طبقات التربة، ونوع المنشأ [7].

## 2. الهدف من البحث:

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

(a) دراسة تأثير التفاعل المتبادل بين التربة والمنشأ باستخدام الطريقة المباشرة (Direct Method) على عناصر الاستجابة الرئيسية (دور، قص قاعدي، انحراف جانبي).

(b) دراسة تأثير 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) حساب معامل تعديل الاستجابة الزلزالية باستخدام طريقة الجزء السفلي من المنشأ (Substructure Method) وفق المتغيرات السابقة.

### 3. مواد وطرق البحث:

#### 1.3 مراجعة تاريخية للأبحاث التي تناولت موضوع التفاعل المتبادل :

درس الباحث (Tabatabaiefar, 2012) [10] الاستجابة الديناميكية لمباني متوسطة الارتفاع أخذاً تأثير التفاعل بين التربة والمنشأ بالاعتبار، وشرح أنواع التفاعل وطريقة نمذجة مركباته في برنامج (FLAC2D)، وأجرى دراسة على طاولة الاهتزاز لنماذج أبنية وفق عدة طوابق (5-10-15) طابق، وثلاث أنواع من التربة، وثلاثة سماكات لطبقة التربة، وأربعة سجلات زمنية. استخدم تحليل التاريخ الزمني اللاخطي (Nonlinear Time History Analyses). وجد زيادة في الانتقال أعلى المنشأ مع زيادة سماكة طبقة التربة لكل أنواع الترب ولكل الارتفاعات، ويزداد كلما نقصت سرعة انتشار أمواج القص في التربة.

شرح بشار الفرخ في رسالته عام 2012 [12] التفاعل بين المنشآت الهيكلية والترب في المجال اللاخطي تحت تأثير الأحمال الزلزالية بطريقة البرمجة الرياضية حيث درس نمذجة التربة والعناصر الإطارية في المجال المستوي وتمثيلها بمجموعة من النوايبض والمخمدات المرنة في المجال الخطي وناقش لا خطية المادة في المجال اللاخطي باستخدام برنامج (MatLab) وقارن النتائج مع برنامج (Sap2000). وجد أن الانتقالات العظمى 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. النتائج مقاربة بين البرنامجين بنسبة تصل 0.2%.

قدم كلاً من (Chinmayi, and Jayalekshmi, 2016) [6] بحثاً حول أثر قساوة التربة على الاستجابة الزلزالية لمباني من البيتون المسلح إطارات وجدران قص وتأثير تغير أماكن توضع هذه الجدران، وقارن بين طريقتي تمثيل منطقة التربة

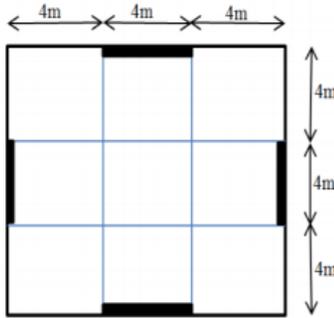
اللامحدودة (Far Field) بطريقة الطبقة الماصة (PML) وطريقة الحدود الماصة (non - reflecting boundary) على جمل بيتونية (إطارات فقط وجمل إطارات وجدران قص) متعددة الطوابق وفق نسب الشكل (1-1.5-2-3-4). تم إجراء تحليل تاريخ زمني خطي (Linear Time History) باستخدام المركبة الأفقية لزلزال السينترو (El-Centro, 1940). وجد أن النتائج مقارنة في الطريقتين الفرق بالقص القاعدي فقط بنسبة 1%. أما الانحراف الطابقي فقد كان بأصغر قيمة في حالة جدران القص المتوضعة في النواه من أجل كل أنواع التربة. يزداد الدور مع انخفاض صلابة التربة بما لا يقل عن 23% مقارنة بحالة الوثاقه. يكون الموقع الأفضل لجدران القص في الزوايا من أجل بناء مشاد على تربة سرعة موجات القص فيها أكبر أو يساوي 300 متر/ثانية ( $V_s \geq 300 \text{ m/s}$ ) وفي النواه في حالة الاستناد لتربة سرعة الموجات فيها أقل من 300 متر/ثانية ( $V_s < 300 \text{ m/s}$ ) حيث يكون القص القاعدي أقل ما يمكن.

درس (Bakhtyar, 2017) [4] في رسالته التحليل الزلزالي لمبنى قائم 12 طابق مع أخذ تأثير التفاعل المتبادل بين التربة والمنشأ باستخدام ثلاثة أنواع من التربة، وتحليل تاريخ زمني خطي (Linear Time History) وفق زلزال ألتادينا (Altadena) ( ونمذج التربة وفق الطريقة المباشرة (Direct Method)، واستخدام الكود الأوروبي وبرنامج التحليل (Sap2000, v19). وجد الباحث زيادة قيم الاستجابة بشكل عام (القص القاعدي، الانحراف الطابقي، والانتقالات بين الطوابق والعزوم عند القاعدة) مقارنة بحالة الوثاقه مع انخفاض صلابة التربة حيث تراوحت نسبة زيادة الانحراف الطابقي بين (39-128)%، وأن تأثير التفاعل المتبادل يكون مهماً عند دراسة المنشآت الاستراتيجية مثل الأبنية العالية والسدود المفاعلات النووية.

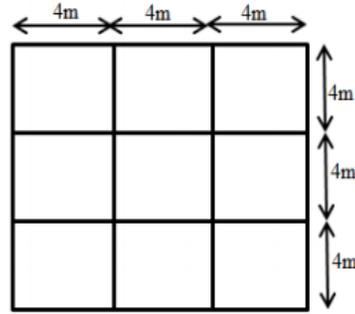
### 2.3 الدراسة المرجعية المعتمدة لإجراء المعايرة [5] :

قدم الباحثان (Chinmayi, and Jayalekshmi, 2013) [5] بحثاً حول تأثير التفاعل المتبادل بين التربة والمنشأ على بناء 16 طابق إطارات بيتونية مسلحة مع جدران قص على حصىرة سطحية. استخدمنا الطريقة المباشرة (Direct Method) لتمثيل التربة. استخدمنا أربعة أنواع من التربة، وقرنا النتائج مع حالة الوثاقه. قرنا

(الدور-القص القاعدي-الانحراف الطابقي) بين حالتي الجملة الإطارية والجملة الإطارية الجدارية في حالتي الاستناد الموثوق والاستناد لأنواع تربة مختلفة وفق الكود الهندي وباستخدام برنامج (LS-DYNA) وإجراء تحليل تاريخ زمني خطي ( Linear Time History) لسجل زلزالي بعد تخفيض تسارع الذروة (PGA) إلى (0.09g). تبين الأشكال (1) و(2) المسقط الأفقي للبناء حالة الجملة الإطارية والجملة الإطارية الجدارية، والشكل (3) يبين المركبة الأفقية للسجل الزلزالي بعد التقيس لزلزال السينترو (El-Centro (0.09g)). الجدول(1) يبين مواصفات التربة وفق الدراسة المرجعية ، والجدول (2) يبين مواصفات النموذج المدروس.



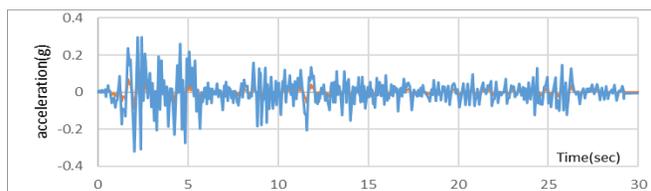
الشكل (2) المسقط الأفقي للبناء حالة الجملة الإطارية الجدارية وفق الدراسة المرجعية [5]



الشكل (1) المسقط الأفقي للبناء حالة الجملة الإطارية وفق الدراسة المرجعية [5]

الجدول(1) مواصفات التربة وفق الدراسة المرجعية [5] :

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



الشكل (3) المركبة الأفقية للسجل الزلزالي بعد التقيس (El-Centro (0.09g))

الجدول (2) مواصفات النموذج المدروس وفق الدراسة المرجعية [5]

المعامل	القيمة	سماكة السقف	0.15
عدد الطوابق	16	أبعاد الحصىرة	0.3*13*13
عدد الفتحات بالاتجاه X و Y	4	الحمولات الحية	2.5 KN/m <sup>2</sup>
طول الفتحة بالاتجاهين	4	الحمولات الميتة	1.6 KN/m <sup>2</sup>
الارتفاع الطائقي	3	عمق التأسيس	0
سماكة البلاطة	0.15	عيار البيتون	M 20
أبعاد الأعمدة	تحت 0.6*0.6 ثلاث طوابق	مقاومة الحديد	Fe 415
	فوق 0.5*0.5 ثلاث طوابق	الوزن الحجمي للبيتون	25KN/m <sup>3</sup>
أبعاد الجوائز	0.23*0.23	معامل مرونة البيتون	22360 KN/m <sup>2</sup>
نسبة بواسون للبيتون	0.15	تخميد المنشأ	5%
المنطقة الزلزالية	Zone111 PGA=0.09	تخميد التربة	7%

يتم إجراء تحليل ديناميكي خطي (Liner Time History) باستخدام برنامج (SAP2000,V22) للمعايرة مع الدراسة المرجعية [5] ، وتحليل ستاتيكي لاخطي (Non liner Static Analysis (Pushover)) لحساب معامل تعديل الاستجابة.

#### 4. النتائج والمناقشة:

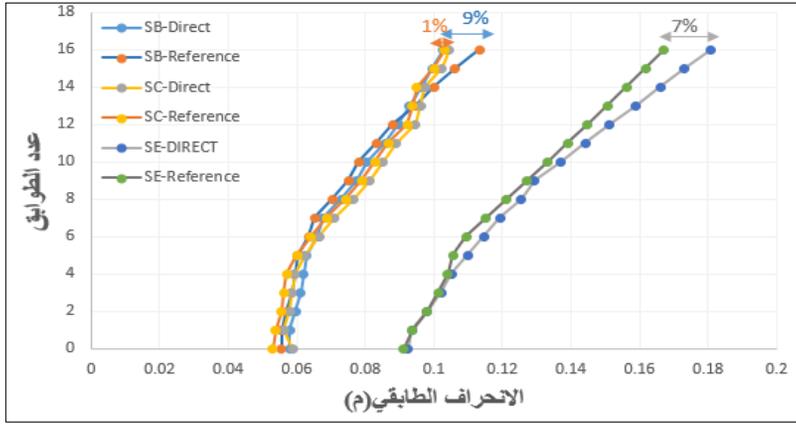
##### 1.4 معايرة نتائج النموذج مع نتائج الدراسة المرجعية [5] :

تمت المعايرة مع الدراسة المرجعية في حالة الجملة الإطارية-الجدارية حالة الاستناد لأنواع مختلفة من التربة كما هو مبين في الجدول (3). 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%). يبين الشكل (4) معايرة الانحراف الجانبي في حالة الجملة الإطارية الجدارية.

تأثير التفاعل المتبادل بين التربة والمنشأ في الاستجابة الزلزالية للجمل الثانية

الجدول (3) نتائج معايرة الجملة الإطارية الجدارية مع الدراسة المرجعية [5]

جملة اطارية جدارية	الدور(sec)		القص (KN)		الانحراف الجانبي (m)		الفرق النسبي في الدور %	الفرق النسبي في القص %	الفرق النسبي في انحراف الطابق الأخير %
	التراسة LS DYNA	نموذج SAP2000	التراسة LS DYNA	نموذج SAP 2000	التراسة 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 (4) معايرة الانحراف الجانبي في حالة جملة اطارية -جدارية مع الدراسة المرجعية [5]

#### 2.4 دراسة المتغيرات المؤثرة في النتائج:

تم دراسة تأثير نوع الاستناد، ونوع التربة، وعدد الطوابق، وتغيير مواصفات الزلزال المؤثر باستخدام الطريقة المباشرة لنمذجة التربة. يبين الجدول (4) الأبعاد التصميمية للجمل في حالات الطوابق المدروسة، كما يبين الجدول (5) مواصفات الهزات المستخدمة في التحليل. و يبين الجدول (6) ترددات مكونات النموذج (تربة- منشأ-هزة). تبين الأشكال (5) و (6) و (7) المركبات الأفقية للهزات المدروسة .

الجدول (4) الأبعاد التصميمية للجمل في حالات الطوابق المدروسة

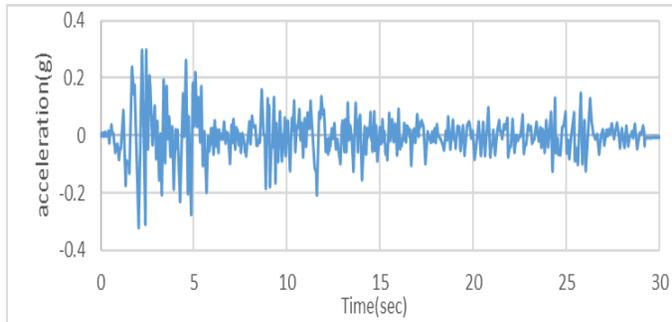
عدد الطوابق	حتى 3 طوابق	فوق 3 طوابق	سماعة جدران القص
4	0.35*0.35	0.35*0.35	0.15
8	0.40*0.40	0.35*0.35	0.20
16	0.6*0.6	0.5*0.5	0.25

الجدول (5) مواصفات الهزات المستخدمة في التحليل

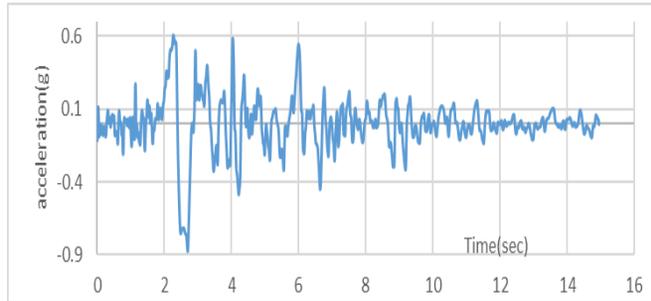
اسم الهزة الارضية			خصائص الهزة
Northridge	Erzincan	El-Centro	قيم الخصائص الديناميكية
0.87g	0.42g	0.32g	التسارع الارضي الاعظمي
4.91	2.76	2.16	التردد المسيطر (HZ)
14.94	20.77	30	المدة
U.S.A	Turkey	U.S.A	مكان حدوث الهزة
1994	1992	1940	العام

الجدول (6) ترددات مكونات النموذج (تربة - منشأ - هزة)

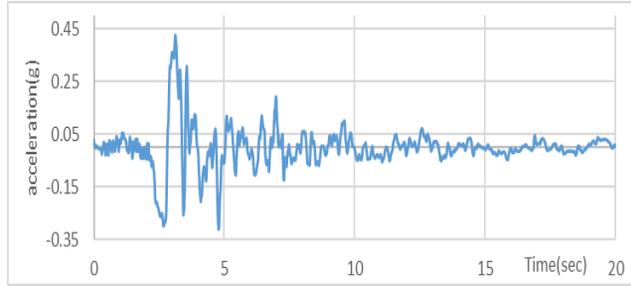
عدد الطوابق	التردد	التربة	التردد	الهزة الأرضية	التردد
16	0.62 (0.496-0.744)	SB	11.5 (9.2-13.8)	El-Centro	2.16 (1.728-2.59)
8	1.61 (1.28-1.93)	SC	5.77 (4.6-6.9)	Erzincan	2.76 (2.208-3.312)
4	4.3 (3.44-5.16)	SE	1.44 (1.152-1.728)	Northridge	4.91 (3.93-5.89)



الشكل (5) المركبة الأفقية للزلزال El-Centro - 0.32g



الشكل (6) المركبة الأفقية للزلزال Northridge - 0.87g



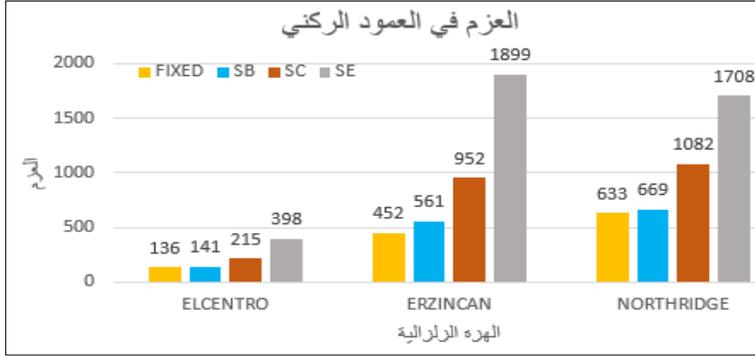
الشكل (7) المركبة الأفقية لزلزال 0.42g - Erzincan

#### 1.2.4 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 وجائزه في الطابق الأرضي، كما هو موضح في الجدول (7). 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 وينسب مختلفة حسب تردد الزلزال كان أكبرها في التربة (SE) مع زلزال إيرزنكان (Erzincan). يوضح الشكل (8) مقارنة العزم في العمود باختلاف نوع التربة والاستناد لكل الزلازل.

الجدول (7) القوى المحورية والعزم في العمود الركني

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



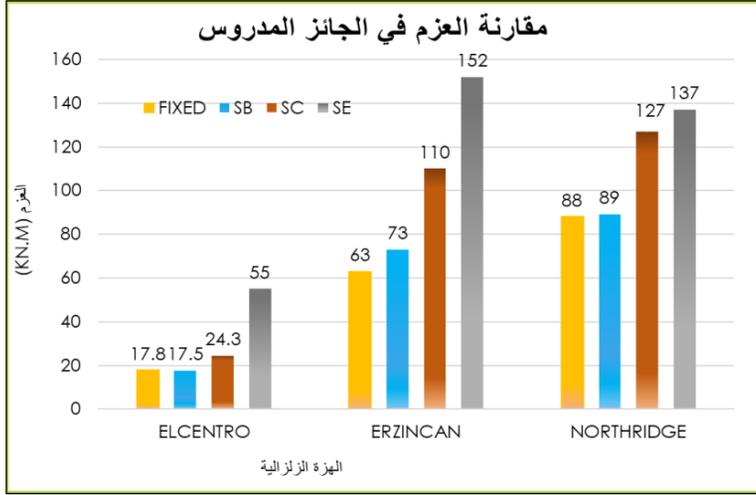
الشكل (8) مقارنة العزم في العمود باختلاف نوع التربة والاستناد لكل زلزال (16 طابق)

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

تبين بعد مقارنة القوى الداخلية في الجوائز بين حالة التفاعل المتبادل وحالة الوثاقفة زيادة عزوم الانعطاف وقوى القص بشكل يتناسب طردياً مع انخفاض صلابة التربة، كما هو موضح في الجدول (8). كانت أكبر نسبة فرق في التربة (SE) مع زلزال السينترو (El-Centro) لقوة القص (207%) ولعزم الانعطاف (210%). يوضح الشكل (9) مقارنة العزم في الجوائز باختلاف نوع التربة والاستناد لكل زلزال.

الجدول (8) قوى القص والعزم في الجوائز 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



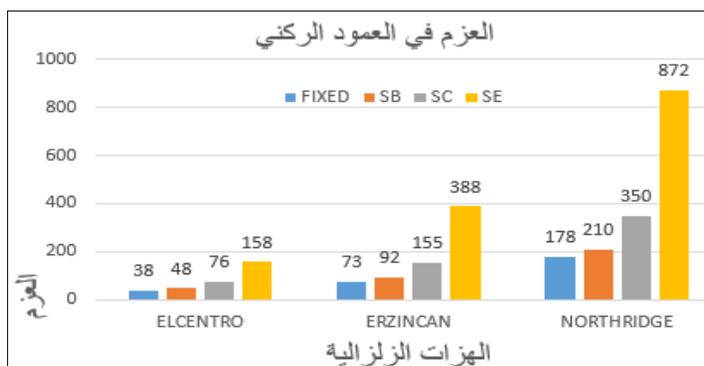
الشكل (9) مقارنة العزم في الجانز باختلاف نوع التربة والاستناد لكل زلزال (16 طابق)

#### 2.2.4 نموذج 8 طوابق:

■ تأثير متغيرات الدراسة على القوى الداخلية في العمود الركني في الطابق الأرضي: يظهر الجدول (9) 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 إيرزنكان (Erzincan) بنسبة فرق (440%). يبين الشكل (10) مقارنة العزم في العمود باختلاف نوع التربة والإستناد لكل زلزال (8 طابق).

الجدول (9) قيم القوى المحورية والعزم في العمود الركني 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



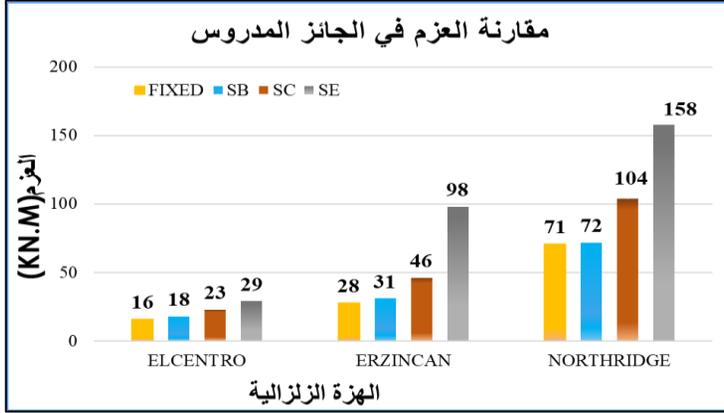
الشكل (10) مقارنة العزم في العمود باختلاف نوع التربة والإستناد لكل زلزال (8 طابق)

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

يبين الجدول (10) 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 (11) مقارنة العزم في الجوائز باختلاف نوع التربة والاستناد لكل زلزال في حالة (8 طابق).

الجدول (10) قوى القص والعزم في الجوائز 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 (11) مقارنة العزم في الجانز باختلاف نوع التربة والاستناد لكل زلزال حالة 8 طوابق.

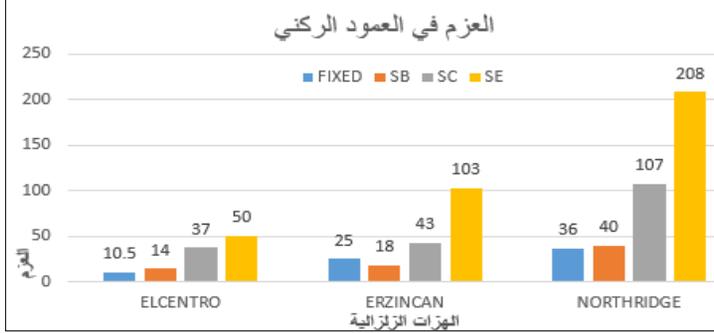
### 3.2.4 نموذج 4 طوابق:

■ تأثير متغيرات الدراسة على القوى الداخلية في العمود الركني في الطابق الأرضي: يظهر الجدول (11) قيم القوى المحورية والعزوم في العمود الركني حيث زادت القوة المحورية بنسب مختلفة حسب نوع التربة والزلزال وقيم 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). تصرف التربة (SB) بشكل مختلف في كل زلزال. يبين الشكل (12) مقارنة العزم في العمود باختلاف نوع التربة والاستناد لكل زلزال.

الجدول (11) القوى المحورية والعزم في العمود الركني حالة 4 طوابق

القوى المدروسة	earthquake	Direct Method الطريقة المباشرة				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
--	------------	----	----	-----	-----	-----	------	------



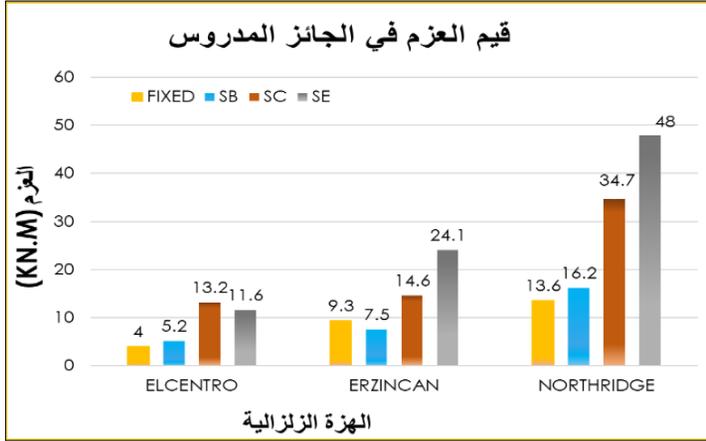
الشكل (12) مقارنة العزم في العمود باختلاف نوع التربة والاستناد لكل زلزال (4 طوابق)

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

تبين زيادة عزوم الانعطاف وقوى القص بشكل يتناسب طردياً مع انخفاض صلابة التربة كما هو موضح في الجدول (12) حيث كانت أكبر نسبة فرق في التربة (SE) مع زلزال نورثريدج (Northridge) لعزم الانعطاف (252%) والقص (496%). أعطى زلزال السينترو (El-Centro) أكبر نسب زيادة في التربة (SB) (30%) للعزم و(106%) للقص، والتربة (SC) (230%) للعزم و(365%) للقص. يوضح الشكل (13) مقارنة قيم القص والعزم في الجوائز المدروس حالة 4 طوابق. وبناءً على ما سبق نجد أن إدخال التفاعل المتبادل يقود إلى زيادة أبعاد المقاطع التصميمية للأعمدة والجوائز.

الجدول (12) يبين قوى القص والعزم في الجوائز حالة 4 طوابق.

القوى المدروسة	earthquake	الطريقة المباشرة Direct Method				الفرق النسبي %		
		rigid	SB	SC	SE	SB	SC	SE
عزم الانعطاف	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 (13) مقارنة العزم في الجانز باختلاف نوع التربة والاستناد لكل زلزال حالة 4 طوابق.

### 3.4 معامل تعديل الاستجابة الزلزالية:

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 التخميد وقدرة تبديد الطاقة والقوة الزائدة للهيكل.

### 1.3.4 مكونات المعامل والعلاقات الحاكمة:

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

$$R = R_S R_\mu R_R$$

■ معامل زيادة المقاومة (Over strength facto):  $\Omega$

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

$V_Y$  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 (Ductility Reduction factor):  $R_\mu$

$$\mu = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} \quad \text{معامل المطاوعة}$$

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

$\Delta_{max}$  : الانتقال الهدف ويؤخذ من المنحني ثنائي الخطية (m)،  $\Delta_y$  : انتقال الخضوع (m)

■ معامل درجة عدم التقرير ( $R_R$  (Redundancy Factor) :  
وتؤخذ قيمته تساوي الواحد

#### 2.3.4 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 (13) قيم معامل تعديل الاستجابة الواردة في الكود السوري، والجدول (14) يوضح مقارنة بين قيمه الواردة في بعض الكودات العالمية.

الجدول (13) يبين قيم معامل الاستجابة في الكود السوري

م	قيم R وفق الكود السوري الطريقة المكافئة (الجدول [13])	R
1	جملة ثنائية (جدران قص + إطارات متوسطة بنسبة مساهمة 25%)	5
2	جملة ثنائية (جدران قص + إطارات متوسطة بنسبة مساهمة 50%)	5.5
3	جملة ثنائية (جدران قص + إطارات خاصة بنسبة مساهمة 25%)	6
4	جملة ثنائية (جدران قص + إطارات خاصة بنسبة مساهمة 50%)	7
<b>قيم R وفق الكود السوري المكافئة المطورة [13]</b>		
1	جملة ثنائية (جدران قص مطاوعة + إطارات متوسطة مقاومة للزوم)	5.5
2	جملة ثنائية (جدران قص عادية + إطارات متوسطة مقاومة للزوم)	6.5
3	جملة ثنائية (جدران قص مطاوعة + إطارات خاصة مقاومة للزوم)	7
4	جملة ثنائية (جدران قص عادية + إطارات خاصة مقاومة للزوم)	6

الجدول (14) قيم معامل تعديل الاستجابة في بعض الكودات العالمية

قيم R وفق كود [11] UBC97			
6.5	IMRF		1 جدران قص مع
8.5	SMRF		2 جدران قص مع
قيم R وفق الكود الهندي [8] IS1893			
4.5	OMRF		1 جدران قص مطاوعة مع
5	SMRF		2 جدران قص مطاوعة مع
3	OMRF		3 جدران قص عادية مع
4	SMRF		4 جدران قص عادية مع
قيم R وفق الكود النيوزيلندي [9] New Zealand			
4.5			1 جملة ثنائية (اطارات + جدران قص) متوسطة المطاوعة
6			2 جملة ثنائية (اطارات + جدران قص) عالية المطاوعة
قيم R وفق الكود الأوروبي [9] Europe			
5.85			1 جملة ثنائية (اطارات + جدران قص)
5.85			2 اطارات خرسانية مقاومة للعزوم
قيم R وفق الكود الياباني [9] Japan (NBCC)2005			
R=Ro*Rd	Rd	Ro	1 اطارات مطاوعة مقاومة للعزوم
6.8	1.7	4	
3.5	1.4	2.5	2 اطارات متوسطة المطاوعة مقاومة للعزوم
5.6	1.6	3.5	3 جدران قص مطاوعة
2.8	1.4	2	3 جدران قص متوسطة المطاوعة
2	1.3	1.5	4 انشاء تقليدي (اطارات مقاومة للعزوم + جدران قص)

### 3.3.4 تصميم البناء

تم تصميم الجملة الإنشائية للبناء وفق المتطلبات الزلزالية لمدينة دمشق وفق الطريقة الاستاتيكية المطورة حيث المنطقة الزلزالية  $Z=0.25g$  ومقطع تربة SE في ثلاث حالات (4-8-16) 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 (15-16-17-18).

الجدول (15) أبعاد المقاطع المستخدمة في الدراسة وتسليحها:

الاعمدة	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
الابعاد	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 (16) أبعاد المقاطع المستخدمة في حالة 16 طابق وتسليحها:

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 (17) أبعاد المقاطع المستخدمة في حالة 8 طابق وتسليحها:

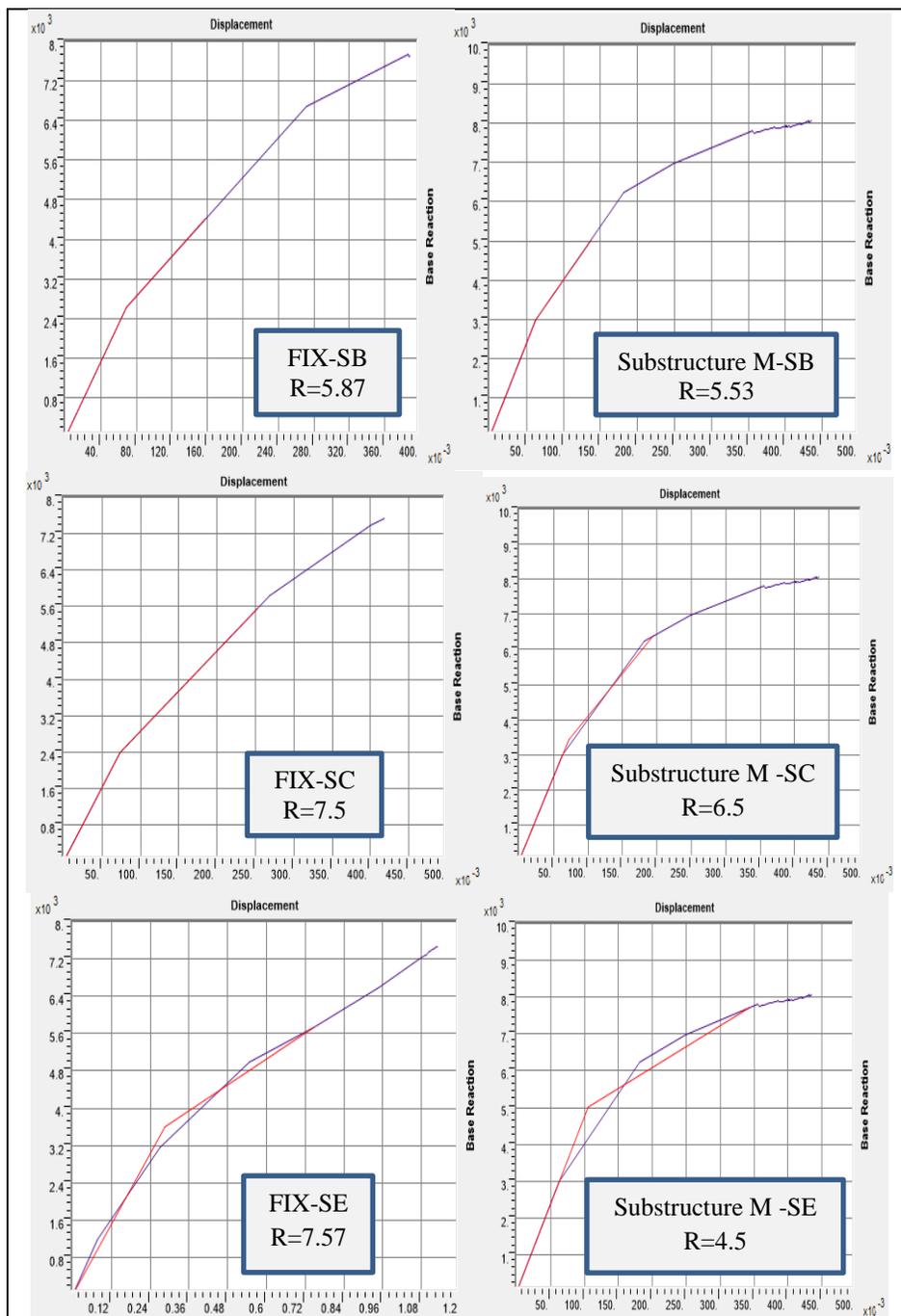
بناء 8 طواق	العمود الركني	العمود لوسطي	العمود الطرفي	جدار القص
4-5-6-7-8	C2	C2	C2	W1
1-2-3	C3	C3	C4	W2

الجدول (18) أبعاد المقاطع المستخدمة في حالة 4 طابق وتسليحها:

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

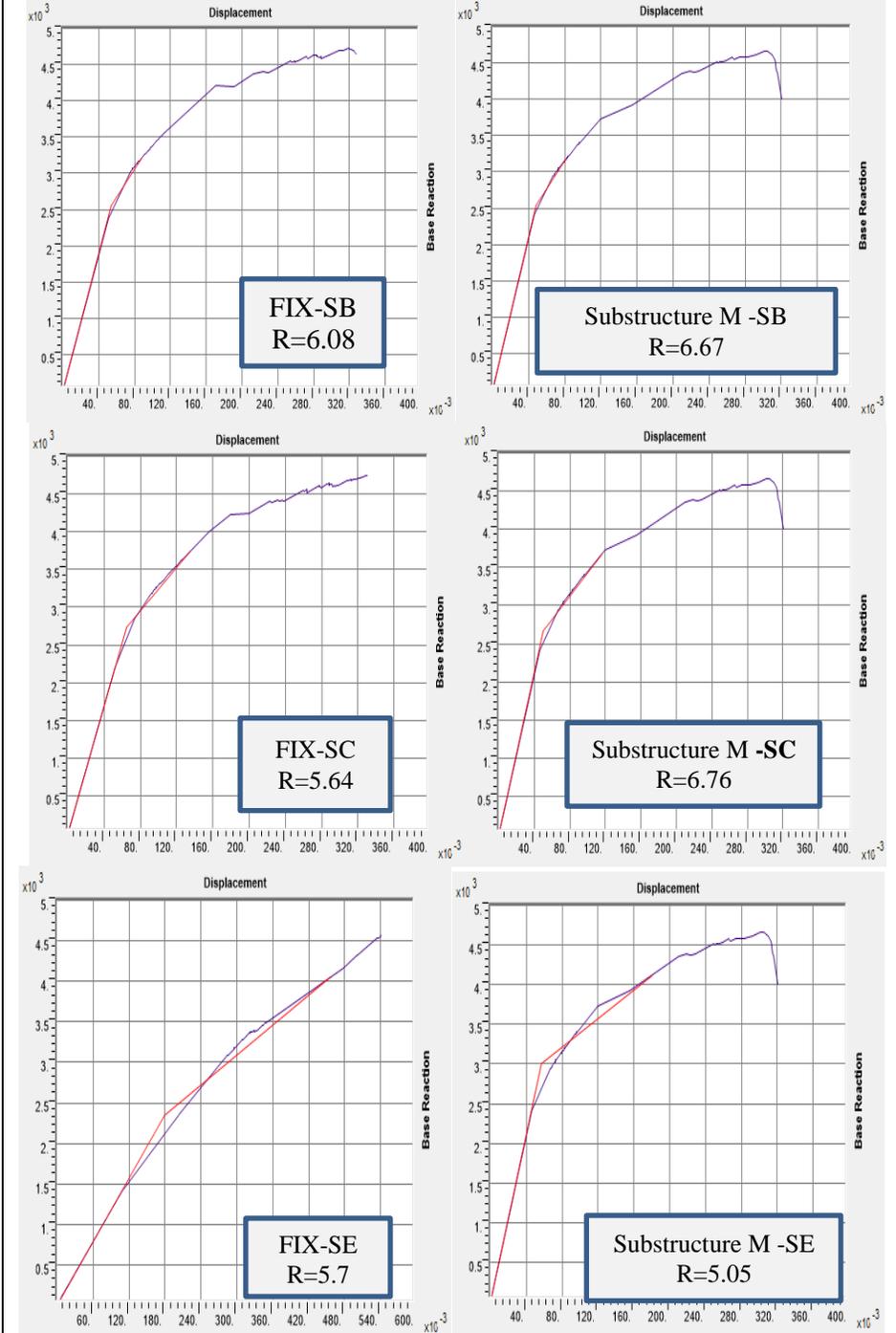
#### 4.3.4 حساب معامل تعديل الاستجابة الزلزالية:

تم حساب العوامل المكونة لمعامل تعديل الاستجابة بعد إجراء تحليل الدفع الجانبي للبناء (PUSHOVER) وبمساعدة المنحنيات ثنائية الخطية في الحالات المختلفة لتربة الاستناد وعدد الطوابق. يوضح الشكل (14) المنحنيات في حالة 16 طابق، والشكل (15) المنحنيات في حالة 8 طابق، والشكل (16) المنحنيات في حالة 4 طابق مع إيضاح القيم عليها في حالة الاستناد على تربة وحالة الوثاقعة.

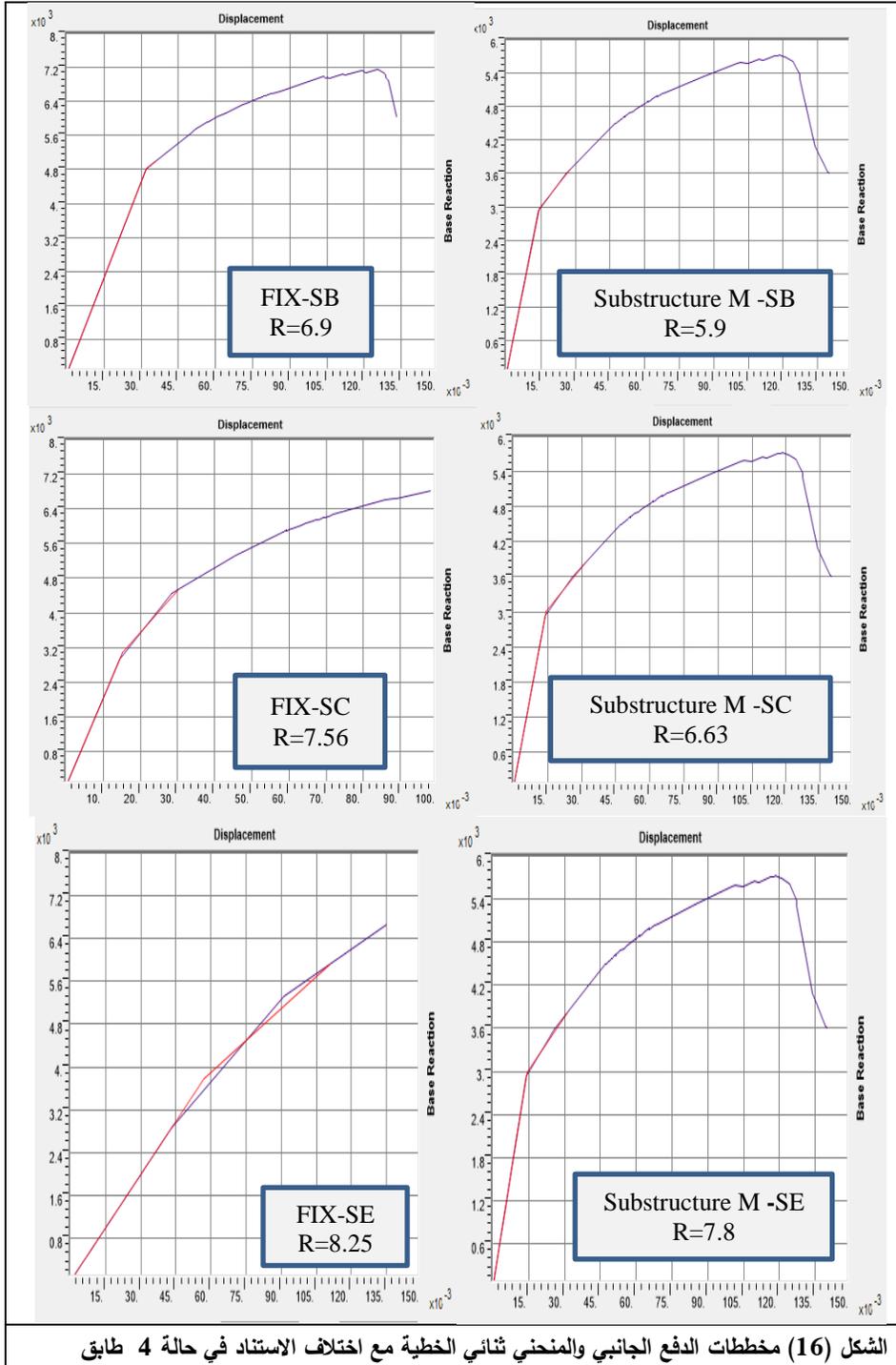


تأثير التفاعل المتبادل بين التربة والمنشأ في الاستجابة الزلزالية للجمل الثانية

الشكل (14) مخططات الدفع الجانبي والمنحني ثنائي الخطية مع اختلاف الاستناد في حالة 16 طبق



الشكل (15) مخططات الدفع الجانبي والمنحني ثنائي الخطية مع اختلاف الاستناد في حالة 8 طبق

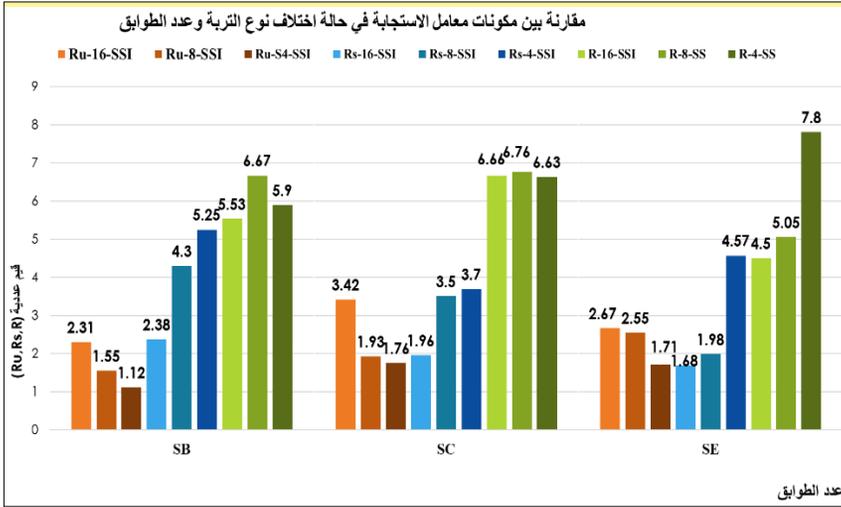


الشكل (16) مخططات الدفع الجانبي والمنحني ثنائي الخطية مع اختلاف الاستناد في حالة 4 طابق

#### 5.3.4 دراسة تأثير المتغيرات على معامل تعديل الاستجابة الزلزالية:

■ تأثير اختلاف عدد الطوابق على معامل تعديل الاستجابة الزلزالية مع تثبيت نوع التربة:

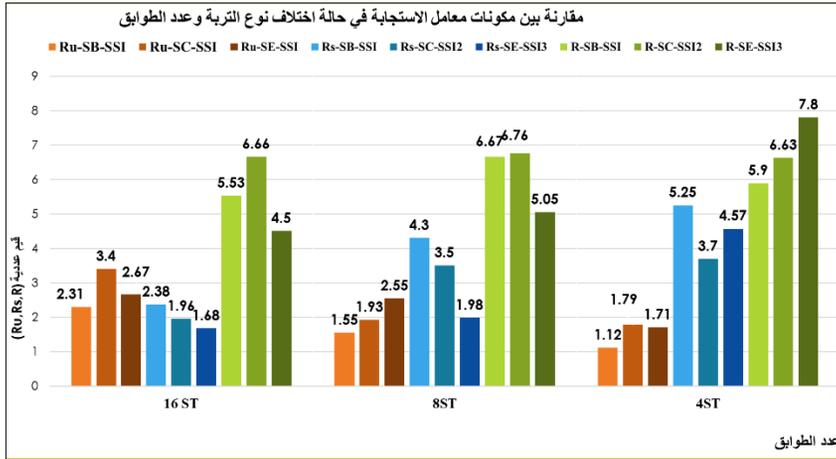
يبين الشكل (17) مقارنة قيم معامل تعديل الاستجابة لكل تربة باختلاف عدد الطوابق، فقد أعطت حالة 8 طوابق أكبر قيمة لمعامل تعديل الاستجابة الزلزالية (6.67) و (6.76) في التربة (SB) والتربة (SC) على التوالي. بينما أعطت حالة 4 طوابق أكبر قيم للمعامل (7.8) في التربة (SE). أي تختلف قيم معامل تعديل الاستجابة باختلاف نوع التربة وعدد الطوابق.



الشكل (17) مقارنة مكونات معامل تعديل الاستجابة الزلزالية حالة اختلاف عدد الطوابق وتثبيت نوع التربة

■ تأثير اختلاف نوع التربة على معامل تعديل الاستجابة الزلزالية مع تثبيت عدد الطوابق:

يبين الشكل (18) 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 مقاربة في كل أنواع التربة (6.66 في حالة 16 طابق، 6.76 في حالة 8 طوابق، 6.63 في حالة 4 طوابق).



الشكل ( 18 ) مقارنة مكونات معامل تعديل الاستجابة الزلزالية حالة اختلاف نوع التربة وثبيت عدد الطوابق

## 5. الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذا البحث دراسة تأثير التفاعل المتبادل على الاستجابة الديناميكية للجمل الثنائية وفق عدة متغيرات، حيث تم دراسة تأثير تغيير عدد الطوابق ومواصفات الزلزال ونوع الاستناد ونوع تربة الاستناد وانعكاس ذلك على القوى الداخلية في الجوائز والأعمدة وعلى أبعاد مقاطعها، كما تم دراسة أثر ذلك على قيم معامل تعديل الاستجابة للجمل في حال إدخال التفاعل المتبادل . وتم الوصول للنتائج التالية:

- تزداد قيم عناصر الاستجابة العامة (دور - انحراف جانبي) وينخفض القص القاعي وتزداد العزوم الداخلية في الأعمدة والجوائز مقارنة بالوثاقة مع انخفاض صلابة التربة باختلاف عدد الطوابق ومواصفات الزلزال (ماعد التربة (SC) مع زلزال (Northridge) نتيجة التأثير المحلي للتربة الناتج من توافق تردد التربة مع تردد الهزة).
- تتغير قيم معامل تعديل الاستجابة بنسب تختلف باختلاف نوع التربة وعدد الطوابق عند ادخال التفاعل المتبادل مقارنة بحالة الاستناد الموثوق.
- اعتبرت الكودات العالمية قيمة واحدة لمعامل تعديل الاستجابة للجمل الثنائية (في الكود العربي السوري  $R=6.5$ ) بغض النظر عن خصائص الجمل والارتفاع الطابقي وطبيعة الاستناد (وثاقة 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.

- يتأثر مكونا معامل تعديل الاستجابة بتغير عدد الطوابق ونوع التربة.
- يزيد إدخال أثر التفاعل المتبادل متطلبات التصميم حيث يزيد مقاطع الجملة وزمن التحليل وبالتالي هو ذو كلفة أعلى.

#### التوصيات:

- دراسة مقارنة بين طرق نمذجة التربة على الجمل التثائية في المجال اللاخطي.
- دراسة التفاعل المتبادل بين التربة والمنشأ على الأبنية في حال تغيير نوع الأساس (أساسات منفردة -أوتاد).
- دراسة تأثير إدخال التفاعل المتبادل اللاخطي مع السلوك اللاخطي للمنشآت الخاصة.

#### 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. P: 75.
- [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] Chowdhury, Indrajit, and Dasgupta, Shambhup. 2009- **Dynamic of structure and Foundation- A unified approach, Application 2.** Chennai. India. CRC Press Balkema. P:884
- [8] IS 1893. 2000- Indian Standard. **Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures.** Part: 1. India.
- [9] Priestley, M.J.N et al., 2007- **Direct Displacement-Based Seismic Design of Structures.** North Carolina State University, USA.
- [10] Tabatabaiefar, Sayed Hamid Reza 2012- **Determining Seismic Response of Mid-rise Building Frames Considering Dynamic Soil-Structure Interaction"**. PH.D. Thesis. University of Technology Sydney. UTS. P: 263.
- [11] UBC.1997- **Uniform Building Code. Structural Design Requirement.** USA. P:545

### In Arabic

- [12] Al Farah, Bashar. 2012- **NONLINEAR SOIL SKELETON STRUCTURES INTERACTION UNDER SEISMIC LOADING VIA MATHEMATICAL PROGRAMMING.** Higher Institute of Earthquake Studies and Research, Structural Earthquake Engineering. Damascus University. Syria. P: 178
- [13] Syrian Arabic Code. (2013). **Designing and Checking of structure against Earthquake.** Syria. P: 271

