

## أثر نمذجة الاستناد في سلوك منشأ بيتوني مسلح ذي جملة ثنائية متغير الارتفاع مع أخذ لاخطية المادة تربة- منشأ

محسن الحاج كنجو<sup>1</sup>، د.م. أمجد الحلواني<sup>2</sup>

<sup>1</sup>طالب ماجستير في قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق.

<sup>2</sup>مدرس في قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق.

### الملخص

يقدم البحث دراسة تحليلية لسلوك منشأ بيتوني مسلح ذي جملة ثنائية باعتبار تغير الارتفاع ضمن المجال (4 - 8 - 16) طابق وذلك عند أخذ التفاعل المشترك بين المنشأ والتربة (SSI). وذلك لحالات استناد متغيرة (وثاقه - نوابض وينكلر (BNWF) - تربة وفق طريقة العناصر المحدودة (FEM)) تحت تأثير سبع هزات زلزالية، بدايةً تم نمذجة المنشأ البيتوني المسلح بحالة جملة إطارية (4 - 8) طوابق بحالة استناد موثوق وحالة استناد مرن (نوابض وينكلر (BNWF) - تربة بحصية غضارية) وذلك من خلال برنامج ABAQUS 2019، وعند اجراء معايرة هذه النماذج مع الدراسة المرجعية كانت النتائج مقاربة تحت تأثير الأحمال المطبقة، ثم تم نمذجة منشأ الجملة الثنائية حالة (4 - 8) طوابق وذلك بإضافة جدار مسلح بالفتحة الثانية وزيادة عدد الطوابق إلى 16 طابق مع إضافة طبيعة استناد أخرى (وثاقه - نوابض وينكلر (BNWF) - تربة بحصية غضارية - تربة رملية غضارية)، وأخيراً تم دراسة سلوك المنشأ لكل حالة استناد على حدا باستخدام التحليل الديناميكي اللاخطي (Non linear Time History Analysis). عند أخذ الاستجابة الوسطية للهزات المطبقة كانت النتائج تشير إلى إن زيادة الارتفاع أدى إلى زيادة قيم كلاً من القص والدور والانزياحات الطابقية، حيث يزداد أثر تغيير طبيعة الاستناد على استجابة المنشأ بزيادة الارتفاع، كان هناك اختلاف واضح في سلوك المنشأ بين حالتي الاستناد المرن نوابض وينكلر (BNWF) ونمذجة التربة (FEM) مما يؤكد إن تمثيل التربة بواسطة نوابض وينكلر (BNWF) لايعطي التمثيل الحقيقي للتربة وذلك مع زيادة لاخطية المادة للتربة والمنشأ.

تاريخ الإيداع: 2022/7/7

تاريخ القبول: 2022/8/7



حقوق النشر: جامعة دمشق - سورية،

يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب

الترخيص CC BY-NC-SA 04

**الكلمات المفتاحية:** التفاعل المشترك بين المنشأ والتربة (SSI)، الجمل الثنائية، الاستناد

المرن، نوابض وينكلر (BNWF)، طريقة العناصر المحدودة (FEM)، التحليل الديناميكي اللاخطي.

## Effect of support method modeling on R\C Dual system structures behavior with different heights taking nonlinearity of materials inconsideration

Muhsen AlHaj Kanjo<sup>1</sup>, Dr. Amjad Al Helwani<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Master student of Seismic Structural Engineering Department  
Higher Institute of Earthquake Studies & Research - Damascus University.

<sup>2</sup>Teacher of Seismic Structural Engineering Department  
Higher Institute of Earthquake Studies & Research - Damascus University.

### Abstract

The research presents an analytical study of the behavior of a reinforced concrete structure with a dual structural system of (4 - 8 - 16) floors height, when taking the soil-structure interaction (SSI). This is for different supporting cases including fixed support - Winkler Springs (BNWF) – soil medium according to the finite element method (FEM)) under the influence of seven seismic earthquake records. Initially, the reinforced concrete structure was modeled with a frame structural system (4-8) floors with a fixed and flexible support conditions (Winckler Springs (BNWF) – gravel clay soil) through the ABAQUS 2019, and when calibrating these models with the reference study the results were close to each other under the influence of the applied loads. The structure of the dual structural system was modeled with heights of (4-8) floors with the addition of a R\C wall in the second span. Then increasing the number of floors to 16 and adding a new form of support (fixed - Winkler Springs (BNWF) – gravel clay soil - Soil sandy clay). Finally, the behavior of the original structure was studied for each case separately by using the nonlinear dynamic analysis (Time History Analysis), and when taking the average response to the applied records, the results indicated that the increase in height led to an increase in the values of both base shear, period, and floor drifts. The height of the structure led to a change in the behavior of the response of the structure and according to the variable supporting cases, there was a clear difference in the behavior of the structure between the two cases of elastic Winckler Springs (BNWF) and soil modeling (FEM), which confirms that the representation of the soil with Winkler Springs (BNWF) does not give the true representation of soil especially when then material of both soil and structure yields significantly.

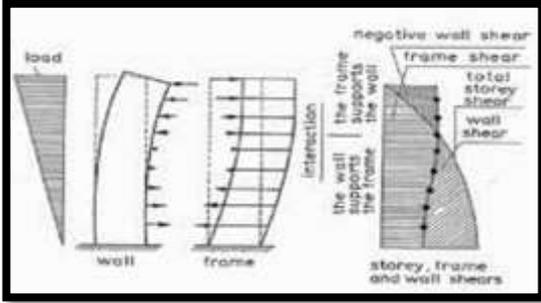
**Keywords:** Soil Structure Interaction (SSI) - Dual Structural System - Flexible support -Winckler Springs - Finite Element Method - Dynamic Analysis (Time History analysis).

Received: 7/7/2022

Accepted: 7/8/2022



**Copyright:** Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA



الشكل (1) سلوك كل من جدار القص والإطارات

تحت تأثير الأحمال الجانبية [3].

تبرز مدى أهمية تأثير التربة على المنشأ من منحنى الاستجابة المستخدم في تصميم المنشآت على الزلازل حيث إن التسارعات الداخلة إلى المنشآت قد يحدث لها تضخيم أو انخفاض مما يؤدي لتصميم خاطئ منذ البداية (قد يحدث انهيار أو نحصل على وفرة اقتصادية) وذلك حسب نوع الترب المدروس ودور المنشأ المدروس.

من أساليب نمذجة التربة مع المنشأ العلوي:

- 1- طريقة النوايض المكافئة للتربة أي نوايض ذات خصائص تحاكي التربة المدروسة وذلك في الاتجاهيين الأفقيين وفي الاتجاه الشاقولي ويتم ربطها مع الأساسات (تسمى نوايض وينكلر (winkler)).
- 2- طريقة العناصر المحدودة (FEM) حيث يتم تمثيل التربة بشكل كامل وفق طريقة العناصر المحدودة.
- 3- طريقة العناصر المحدودة (FEM) لحيز من التربة وطريقة العناصر المحيطة لأطراف التربة (بما يضمن عدم ارتداد الأمواج وبما يحقق الشروط المحيطة) وهذا المفهوم أصبح متداولاً بشكل تدريجي. يبقى النموذج الأول هو الأكثر شيوعاً في مسائل التصميم نظراً لبساطته والاقتصادية في عملية التحليل خصوصاً عند نمذجة المنشأ في وسط ثلاثي الأبعاد [1].

## 1. المقدمة:

يختلف التصميم الإنشائي للحالات الهندسية المتعددة والمتنوعة باختلاف وصف كلاً من: سلوك المواد (سلوك تام المرونة - سلوك تام اللدونة - سلوك مرن لدن ..... إلخ)، طبيعة استناد المنشأ المدروس (استناد صلب - استناد مرن ..... إلخ)، الحمل المطبق (هزات زلزالية - تحميل دوري ..... إلخ)، خصائص التربة المدروسة (تربة صخرية - تربة رملية - تربة غضارية ..... إلخ)، وطريقة التحليل الإنشائي المتبعة (تحليل ستاتيكي - تحليل ستاتيكي لاخطي - تحليل ديناميكي خطي - تحليل ديناميكي لاخطي ..... إلخ)، سلوك السطح البيني الفاصل بين المنشأ والتربة والعديد من البارامترات الأخرى [1]. ومع التقدم العلمي وتطور الحاسوب أصبح من الممكن أخذ موضوع التفاعل بين المنشأ والتربة بالحسبان. تدخل معظم المنشآت في مرحلة اللدونة أثناء تعرضها للهزات الأرضية نتيجة تشكل مجموعة من المفاصل اللدنة في عدد من عناصرها (في حال كانت هذه المنشآت مصممة بشكل مطاوع) وهذا ما يؤدي الى تبيد جزء من الطاقة نتيجة تشكل هذه المفاصل وهذا ما يجعل من التحليل اللاخطي للمنشآت أثناء تعرضها للهزات الأرضية ودخولها مرحلة اللدونة تحليلاً أكثر واقعية وأقرب إلى فهم السلوك الحقيقي للمنشآت [2]. حيث إن هذا السلوك يختلف بشكل واضح باختلاف نوع الجملة الإنشائية، وأهم ما يميز الجمل الثنائية بأنها تبرز أهمية الدور الذي تقوم به الجملة الإنشائية سواءً إطارات أو جدران قص كل على حدا، حيث يبرز دور الجملة الجدارية بشكل واضح في المجال المرن بينما يبرز دور الجملة الإطارية في المجال اللدن [3]، كما هو موضح في الشكل (1):

## 2. هدف البحث:

يهدف البحث إلى مقارنة الاستجابة الزلزالية للأبنية البيتونية المسلحة ذات الجمل الثنائية متغيرة الارتفاع وذلك باختلاف طبيعة الاستناد (حالة استناد وثيقة، حالة استناد على تربة بحصية غضارية مُمدجت وفق عناصر محدودة (FEM)، حالة استناد على تربة رملية غضارية مُمدجت وفق عناصر محدودة (FEM)، حالة استناد على نوابض (BNWF)).

وذلك عن طريق إجراء دراسة بارامترية لعدة نماذج معرّضة لسبع سجلات زلزالية، حيث تم أخذ الاستجابة الوسطية لهذه السجلات، وليكون هدف البحث ونتائجه أكثر أهمية تم التوجه إلى الجمل الثنائية نظراً لكثرة انتشارها في الجمهورية العربية السورية.

## 3. مراجعة الأبحاث السابقة:

قام الباحثون (Tabatabaiefar et al, 2012) [4] بدراسة منشأ مؤلف من 10 طوابق، جملته الإنشائية عبارة عن إطار بيتوني مسلح مقاوم للعزوم. يستند إلى أساس ضحل اختير بالتزامن مع ثلاثة أنواع من التربة (صنف (Ce) - صنف (De) - صنف (Ee))، حيث تكون سرعة أمواج القص في الأنواع الثلاثة ( $vs < 600$  m/s) وفقاً لمعيار أسترالي قائم. صُممت المقاطع الإنشائية بعد تطبيق تحليل السجل الزمني للاختي الديناميكي (Time history)، على أساس كل من السلوك المرن والسلوك غير المرن للمنشأ، ولحالتين (قاعدة ثابتة (FIX) - قاعدة مرنة (أي أخذ أثر ال (SSI)). أُجري تحليل ديناميكي لاختي بالكامل تحت تأثير سجلات زلزالية مختلفة. تشير النتائج إلى أن المنشأ المستند إلى تربة (صنف (Ce) لا يتغير فيه مستوى الأداء بصورة كبيرة عن حالة المنشأ المستند إلى قاعدة ثابتة، ويبقى ضمن مستوى أمان الحياة، وذلك في السلوك المرن واللدن للمنشأ، بينما حالة المنشأ المستند إلى تربة (صنف (De) - صنف (Ee) يحدث تغير واضح في مستوى الأداء، حيث يتغير من مستوى أمان الحياة

إلى مستوى قريب من الانهيار، وذلك في السلوك المرن واللدن للمنشأ. لذلك من الضروري أخذ أثر (SSI) عند التصميم الزلزالي المرن وغير المرن للمنشآت [4].

قدم الباحثون (Lu et al, 2016) [5] دراسة بارامترية شاملة للتحقق من الأداء الزلزالي لمباني القص متعددة الطوابق مع أخذ أثر التفاعل المشترك بين المنشأ والتربة (SSI). صُمم أكثر من 40000 من نماذج وحيدة درجة الحرية (SDF) ومتعددة درجات الحرية (MDOF)، على أحمال زلزالية جانبية مختلفة، بحيث يتم تأمين مطاوعة معينة، وذلك لتمثل مجموعة واسعة من منشآت البناء التي أنشئت على أساسات ضحلة. اعتمد النموذج المخروطي لمحاكاة السلوك الديناميكي للنصف المرن من التربة المتجانسة، حيث دُرِس منشأ متغير الارتفاع (1 طابق - 5 طوابق - 10 طوابق - 15 طابق - 20 طابق)، مع أخذ أثر (SSI). خضع هذا المنشأ لثلاث مجموعات من الزلازل الاصطناعية المتوافقة مع الطيف بشكل منسجم مع أنواع التربة المختلفة، نمط الحمل الجانبي التصميمي، عدد الطوابق، الدور الأساسي، نسبة النحافة وحالة الموقع. تظهر النتائج عموماً أن أثر (SSI) يمكن أن يقلل بنسبة (60%) من مقاومة المنشأ ومطاوعته، وخاصة المنشآت ذات نسبة نحافة منخفضة ومطاوعة منخفضة. يتبين أن أنماط التحميل الجانبية الأفقية التصميمية هي أكثر ملائمة للمنشآت ذات القاعدة المرنة والأدوار الطويلة، في حين أن نمط التحميل الجانبي التصميمي ذا الشكل شبه المنحرف يمكن أن يوفر أفضل حل للمنشآت ذات القاعدة المرنة والأدوار القصيرة [5].

قدم الباحثون (Petridis et al, 2018) [6] دراسة حول تأثير التفاعل المتبادل بين المنشأ والتربة في الهشاشة الزلزالية للإطارات البيتونية المسلحة المقاومة للعزوم (RC). ولهذا السبب استُخدمت إطارات مقاومة للعزوم وذلك وفق حالات عدة (طابقان - 4 طوابق - 9 طوابق) وصُممت وفق الكود الزلزالي اليوناني. اختيرت التربة الغضارية التي تم التعامل

قوة القص القاعدي وذلك بالمقارنة مع حالة قاعدة ثابتة (FIX)، في حالة نوابض وينكلر (BNWF) يصل الاختلاف إلى ما فوق (20%) في نسبة الإزاحة الأعظمية وفي قوة القص القاعدي وذلك بالمقارنة مع حالة قاعدة ثابتة [7].

#### 4. توصيف النموذج:

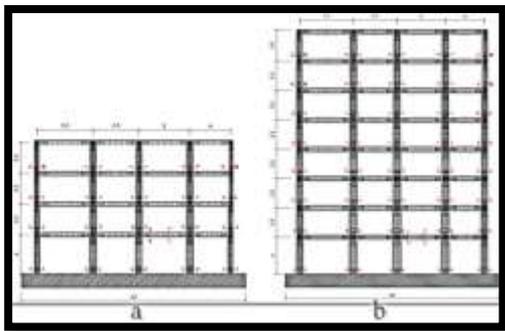
بدايةً في هذا البحث أجريت دراسة تحليلية لنموذج الدراسة المرجعية [7]. تمت معايرة القص القاعدي والانزياحات الطابقية مع الدراسة [7]، ومن ثم تمت إجراء الدراسة البارامترية المعتمدة في هذا البحث. فيما يأتي سنورد كافة البيانات والمعلومات المستخدمة.

#### 1.4. النماذج المدروسة وأبعاد العناصر:

يبين الشكل (2) مقطع طولي للمبنى المدروس وتفاصيل التسليح وأبعاد الأعمدة والجوائز للمنشأ المدروس وفق حالتين (4 طوابق - 8 طوابق)، كما يبين الجدول (1) خصائص المنشأ:

الجدول (1) خصائص المنشأ

BUILDING	H (M)	TOTAL MASS (T)	$\rho$	$F_c$ (MPa)	$F_y$ (MPa)	E (MPa)	$\nu$	EQ
4 FLOORS	13.6	292.9	$2.5 \frac{T}{M^3}$	25	450	28500	0.18	مقطع 7 طوابق مونت زلزالية (X) مونت زلزالية (Y)
8 FLOORS	26.7	492.8	$2.5 \frac{T}{M^3}$	25	450	28500	0.18	مقطع 7 طوابق مونت زلزالية (X) مونت زلزالية (Y)



الشكل (2): (a) حالة المنشأ مؤلف من 4 طوابق، (b) حالة المنشأ مؤلف من 8 طوابق [7].

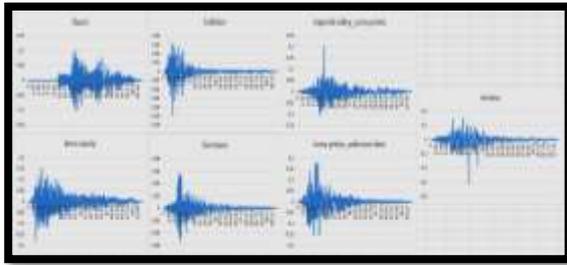
معها في الممارسة الهندسية، وتم نمذجة الجملة الإنشائية (تربة - أساسات - منشأ) وذلك وفق ثلاث حالات لطبيعة الاستناد (قاعدة ثابتة - قاعدة مرنة تستند إلى نوابض وينكلر (BNWF) - قاعدة مرنة تستند إلى نوابض مجمعة (أي تستند إلى نابض واحد بحيث يعبر هذا النابض عن عدة نوابض وهكذا في كل اتجاه). أظهرت النتائج إنه كلما كان عدد الطوابق أقل كانت المطاوعة أعلى وذلك عند أي حالة محددة للأضرار، ومن ثم تتوقف قدرة تحمل المنشأ للتسارع الأرضي المطبق وذلك وفق طريقة تشغيل المنشأ. ومن الخطأ إهمال تأثير التربة على المنشأ، أن التسارع الذي يتحمله المنشأ يختلف وفق حالة الاستناد (إما يحدث تضخيم في التسارع أو تخفيض) [6].

بينما قدم الباحثون (Tomeo et al, 2018) [7] نتائج التحليلات الديناميكية غير الخطية لإطارات بيتونية مقاومة للعزوم (RC MRF) مع تغير في عدد الطوابق (4 طوابق - 8 طوابق). أجريت هذه التحليلات مع الأخذ بالحسبان أثر التفاعل المتبادل بين المنشأ والتربة (SSI). وعُبر عن المنشأ المدروس وفق حالات عدة: 1- قاعدة ثابتة (FIX)، 2- قاعدة مرنة تم نمذجة التربة وفق العناصر المحدودة (FEM)، 3- قاعدة مرنة عُبر عن التربة بنوابض وينكلر (BNWF). أظهرت النتائج أنه يوجد اختلاف واضح في القص القاعدي وفي الإزاحة الطابقية الأعظمية بين نموذج العناصر المحدودة (FEM) ونموذج القاعدة الثابتة (FIX) ونموذج نوابض وينكلر (BNWF). يعود هذا الاختلاف الرئيسي إلى اختلاف التخميد في الحالات الثلاث. تتعكس الاختلافات في خصائص التربة ومستوى التصميم الزلزالي للمنشآت والتقنية المعتمدة في النمذجة لآثار التفاعل المتبادل بين التربة والمنشأ (SSI) على أنها انخفاض في الطلب الزلزالي. في حالة العناصر المحدودة (FEM) يصل الاختلاف إلى ما فوق (50%) في نسبة الإزاحة الأعظمية وإلى ما فوق (20%) في

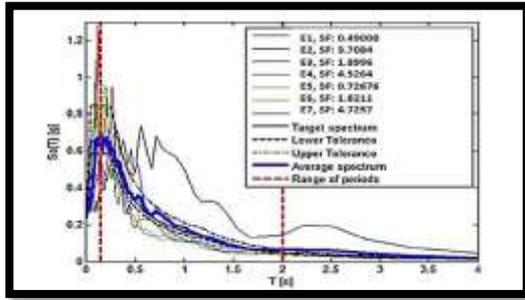


الجدول (4) الهزات المطبقة [9]

رقم الهزة	اسم الهزة	PGA (G)	PGA $m/c^2$	زمن الهزة
E1	DUZCE	0.1G	0.981	42.32
E2	HOLLISTE	0.05G	0.491	39.99
E3	IMPERIAL VALLEY	0.21G	2.06	39.36
E4	KERN COUNTY	0.18G	1.77	54.36
E5	LIVERMORE	0.06G	0.59	39.99
E6	LOMA PRIETA	0.18G	1.77	39.99
E7	VICTORIA	0.63G	6.18	24.61



الشكل (6) الهزات المدروسة.



الشكل (7) طيف الاستجابة للهزات المدروسة.

#### 5.4. نمذجة العناصر والتحليل وفق برنامج Abaqus:

تمت نمذجة المبنى مع التربة اعتماداً على برنامج ABAQUS 2019 [10]، حالة (PLANE - STRAIN) تشوهات مستوية، تم استخدام معيار انهيار مور-كولمب لتوصيف سلوك التربة، الواحدات المستخدمة في النمذجة  $(N/m^2)$ .

الجدول (3) مواصفات التربة

عمق التربة (H)	30 m
نوع التربة	تربة ذات خلائط غضارية بحصية (تربة 1)
سرعة أمواج القص ( $V_{50}$ )	250 m/c
الكثافة (P)	2 T/m <sup>3</sup>
التماسك (C)	65 kPa
معامل المرونة (E)	120 MPa
معامل القص الديناميكي ( $G_D$ )	127.4 MPa
معامل بواسون (Y)	0.3
دور التربة (T)	0.48 S
التردد الزاوي ( $\Omega$ )	13.1 RAD/c
أبعاد التربة (B * H)	142*30 (m)
زاوية الاحتكاك ( $\Phi$ )	35
زاوية التوسع ( $\Psi$ )	12

تم حساب معاملات تخامد التربة  $\alpha, \beta$  من خلال علاقتي

(Ju & Ni, 2007) [8] المبينتين بالمعادلتين (5) و (6).

$$\alpha = \frac{2\omega_1\omega_2(D_1\omega_2 - D_2\omega_1)}{(\omega_2^2 - \omega_1^2)} \dots \dots \dots (5)$$

$$\beta = \frac{2(D_2\omega_2 - D_1\omega_1)}{[\pi(\omega_2^2 - \omega_1^2)]} \dots \dots \dots (6)$$

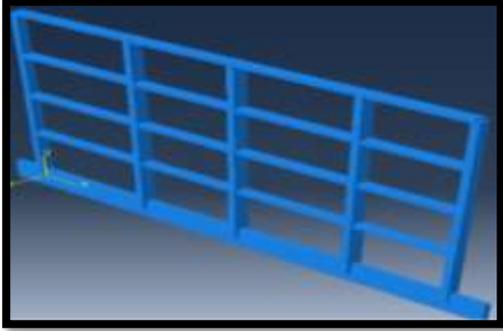
حيث  $\omega_1, \omega_2$  قيم تردد التربة والهزة الزلزالية على الترتيب.

$D_1, D_2$  قيم التخامد للتربة والهزة الزلزالية على الترتيب.

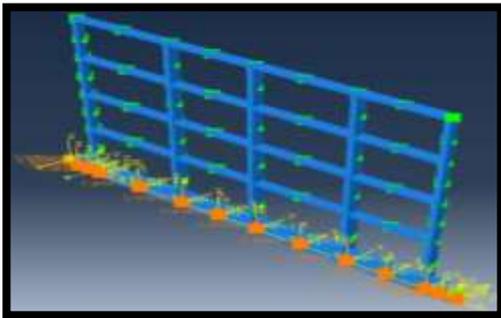
#### 4.4. مواصفات السجلات الزلزالية المستخدمة:

تم تطبيق 7 هزات مختلفة الشدة و أخذ الاستجابة الوسطية للحصول على نتائج المبنى، كما هو مبين بالجدول (4) والاشكال (6) و (7) كان الفرق في متوسط (PGA) بين هذه الهزات والهزات الموجودة ضمن الدراسة المرجعية [7] (4%) حيث إن الهزات المستخدمة في المعايرة تختلف عن الهزات الموجودة ضمن الدراسة المرجعية، تم تجميع سبع هزات [9] بحيث تحقق تقارب في قيمة الوسطي لـ (PGA).

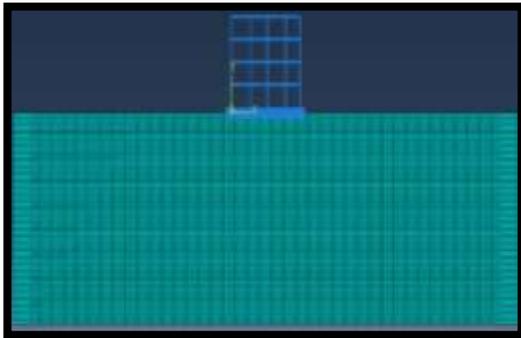
المحدودة (FEM)، قاعدة مرنة تم التعبير عن التربة بنوابض وينكلر (BNWF). تبيين الأشكال (8)، (9)، (10)، (11)، (12) و (13) النماذج المدروسة وفق برنامج Abaqus:



الشكل (8) نموذج 4 طوابق حالة استناد وثيقة.



الشكل (9) نموذج 4 طوابق حالة استناد نوابض.



الشكل (10) نموذج 4 طوابق حالة استناد تربة.

من أجل نمذجة أعمدة المنشأ وجوائزه استخدم العنصر الإطاري الفراغي B 31، إذ يرمز الحرف إلى نوع العنصر والرقم 3 إلى التمثيل ثلاثي البعد، أما الرقم 1 فيدل على التابع الخطي الممثل لسلوك العنصر، وهو عنصر يتشوه بفعل القوى المحورية والقص والعزم والفتل. قسمت الأعمدة والجوائز من هذا العنصر بطول 0.5m للتقسيم الواحدة، أما من أجل البلاطات وجدران القص العناصر ذات المساحات الكبيرة بالنسبة إلى ثخانتها فقد استخدم العنصر الصفائحي الفراغي S4R وهو عنصر قشري يتحمل القوى في مستويه وخارج مستويه، فُسمت البلاطات وجدران القص من هذا العنصر بأبعاد 1x1m للقطعة الواحدة.

استخدمت فرضية الحجاب الطابقي الصلد Rigid Diaphragm لنمذجة سلوك جدار القص.

من أجل نمذجة حيز التربة تحت البناء استخدم العنصر المنتهي C2D2 المكون من 2 عقد، لنمذجة حيز التربة ضمن مجال الحصىرة. استخدم العنصر المنتهي C2D4 المكون من 4 عقد، لنمذجة حيز التربة الواقع تحت مساحة الحصىرة طولاً ولنهاية نطاق التربة عمقاً. استخدم العنصر المنتهي C2D4R المكون من 4 عقد، لنمذجة حيز التربة الواقع خارج نطاق الحصىرة حتى حدود العناصر اللامنتهية. استخدم العنصر المستمر اللامنتهي CIN2D، من أجل نمذجة العناصر المحيطية اللامنتهية عند كل طرف حر من حيز التربة ذات العرض 15m عند جانبي حفل التربة، التي تضمن امتصاص آثار الهزة الزلزالية عند وصولها لها، وعدم انعكاسها بوصفها موجة مرتدة على البناء، ولتقسيم العناصر في حيز التربة اعتمد مبدأ تصغير أبعاد التقسيم الواحدة كلما اقتربنا من البناء، ورُبطت كافة العناصر عند نقاط التقائها فيما بينها ربطاً تاماً بحيث ترتبط كافة درجات الحرية.

عبر عن المنشأ المدروس وفق حالات عدة (قاعدة ثابتة (FIX)، قاعدة مرنة تم نمذجة التربة وفق العناصر

#### 1.5.4. قيم القص القاعدي:

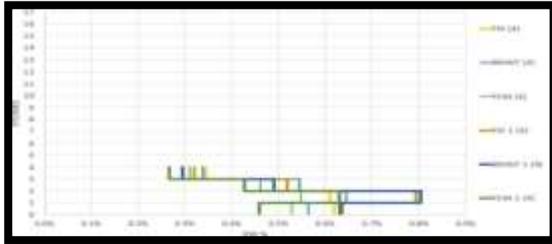
يبين الشكل (14) قيم المقارنة للقص القاعدي عن الدراسة المرجعية:



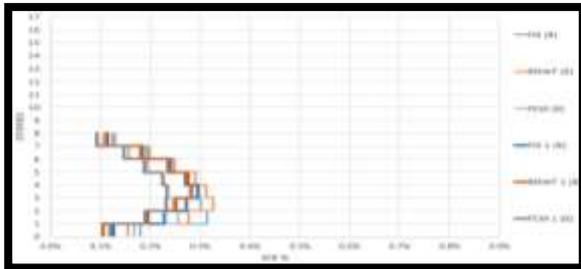
الشكل (14) قيم القص القاعدي والفروقات عن الدراسة المرجعية. بلغت أكبر نسبة اختلاف (11.9%) لمنشأ ذي 4 طوابق بحالة النوابض، ونسبة (14.1%) لمنشأ ذي 8 طوابق بحالة نمذجة التربة.

#### 2.5.4. قيم الانزياحات الداخلية (%IDR):

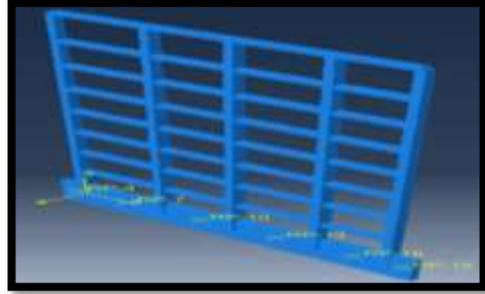
تبين الأشكال (15) و (16) قيم الاختلاف في الانزياحات الطابقية عن الدراسة المرجعية:



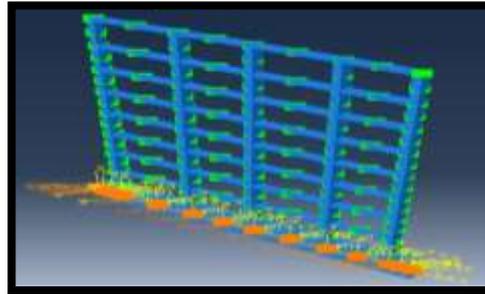
الشكل (15) قيم الانزياحات الطابقية والفرق مع الدراسة المرجعية حالة 4 طوابق ولحالات الاستناد الثلاث.



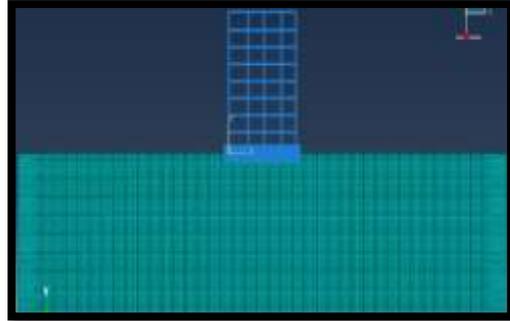
الشكل (16) قيم الانزياحات الطابقية والفرق مع الدراسة المرجعية حالة 8 طوابق ولحالات الاستناد الثلاث.



الشكل (11) نموذج 8 طوابق حالة استناد وثيقة.



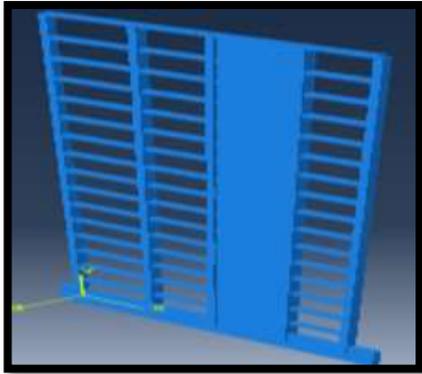
الشكل (12) نموذج 8 طوابق حالة استناد نوابض.



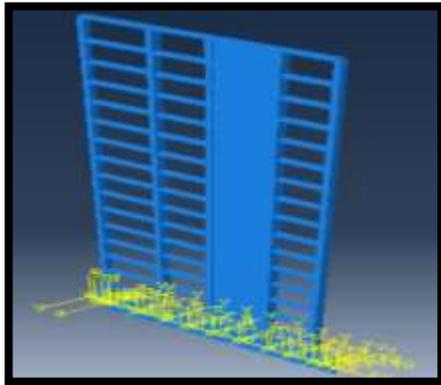
الشكل (13) نموذج 8 طوابق استناد تربة.

بعد اجراء التحليل الديناميكي اللاخطي والحصول على نتائج الاستجابة الزلزالية للجمال الإنشائية التي تمت مقارنتها مع الدراسة المرجعية [7] لتأكيد وتوثيق النتائج، نبين فيما يلي نتائج المقارنة:

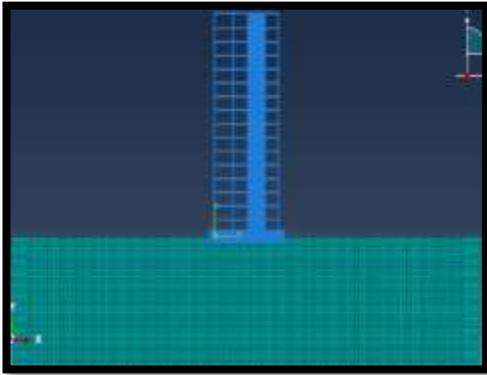
تم التعبير عن نماذج الدراسة المرجعية وفق الرموز التالية: (A1,B1,C1) تعبر عن حالة منشأ مؤلف من 4 طوابق ولحالة استناد (وثيقة، نوابض، تربة) على الترتيب، بينما تعبر الرموز (D1,E1,F1) عن حالة منشأ مؤلف من 8 طوابق ولحالة استناد (وثيقة، نوابض، تربة) على الترتيب.



الشكل (17) نموذج 16 طابق - حالة استناد وثيقة.



الشكل (18) نموذج 16 طابق - حالة استناد نوابض.



الشكل (19) نموذج 16 طابق - حالة استناد تربة.

## 6. النتائج:

بعد إجراء المقارنات بين كافة النماذج المدروسة للجملة الإنشائية باختلاف ارتفاعها وشكل استنادها، تمّ التوصل إلى النتائج التالية:

## 5. الدراسة البارامترية:

اعتمد المقطع الطولي للدراسة المرجعية [7] الموضح بالشكل (2) في نماذج الدراسة التحليلية البارامترية لهذا البحث حيث إنه تم إضافة جدار بيتوني مسلح ضمن الفتحة الثانية للجمال الإطارية المدروسة سابقاً، ومن ثم زيادة عدد الطوابق إلى 16 طابق، وإضافة تربة أخرى للاستناد (تربة ذات خلائط عضارية رملية).

يبين الجدول (5) مواصفات التربة ذات الخلائط العضارية الرملية:

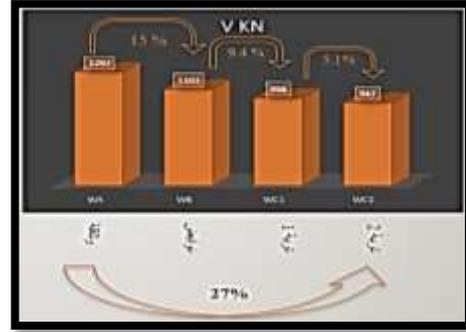
الجدول (5) مواصفات التربة

عمق التربة (H)	30 m
نوع التربة	تربة ذات خلائط عضارية رملية (تربة 2)
سرعة أمواج القص ( $V_{s0}$ )	$160 \text{ m/s}$
الكثافة (P)	$1.8 \text{ T/m}^3$
التماسك (C)	$49 \text{ kPa}$
معامل المرونة (E)	$100 \text{ MPa}$
معامل القص الديناميكي ( $G_D$ )	$41.8 \text{ MPa}$
معامل بواسون (Y)	0.3
دور التربة (T)	0.75 S
التردد الزاوي ( $\Omega$ )	$8.34 \text{ RAD/s}$
أبعاد التربة (B * H)	142*30 (m)
زاوية الاحتكاك ( $\Phi$ )	35
زاوية التوسع ( $\Psi$ )	6

تم تطبيق الهزات الزلزالية الواردة ضمن الجدول (4) ومن ثم المقارنة بين حالات الاستناد المختلفة والارتفاعات المتغيرة. تبين الأشكال (17)، (18) و (19)، النماذج المدروسة وفق برنامج Abaqus2019 وذلك بعد إضافة الجدار وزيادة الارتفاع:

## 1.6. القص القاعدي والدور:

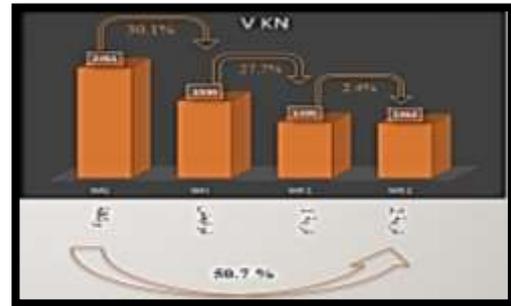
تبين الأشكال (20)، (21) و (22) الاختلاف في قيم القص القاعدي وذلك لحالة منشأ ذي جملة ثنائية وفق حالات الاستناد المتغيرة لحالة (4-8-16) طابق على الترتيب:



الشكل (20) قيم القص القاعدي للجملة الثنائية حالة 4 طوابق. بلغت أكبر قيمة انخفاض للقص القاعدي بنسبة (27%) بين حالي الوثاقاة والتربة ذات الخلائط الغضارية الرملية.

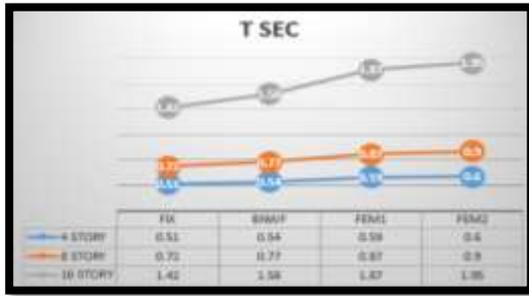


الشكل (21) قيم القص القاعدي للجملة الثنائية حالة 8 طوابق. بلغت أكبر قيمة انخفاض للقص القاعدي بنسبة (27.5%) بين حالي الوثاقاة والتربة ذات الخلائط الغضارية الرملية.



الشكل (22) قيم القص القاعدي للجملة الثنائية حالة 16 طوابق.

بلغت أكبر قيمة انخفاض للقص القاعدي بنسبة (50.7%) بين حالي الوثاقاة والتربة ذات الخلائط الغضارية الرملية. يبين الشكل (23) قيم الدور المختلفة حسب طبيعة الاستناد مع زيادة الارتفاع، حيث إنه تم حساب الدور في النماذج التحليلية وذلك من خلال رصد الانتقال الأفقي للطابق الأخير ولسبع هزات أفقية في نفس الاتجاه وأخذ الانتقال الوسطي لهذه الاستجابات بعد إجراء التحليل الديناميكي اللاخطي وتحويله عبر أطراف فورييه لمعرفة التردد المسيطر للمنشأ وذلك من خلال برنامج (FLAC) أهم ما يميز طريقة أطراف فورييه هو التعامل مع المساواة الأتية وليس الابتدائية كما في التحليل النمطي.



الشكل (23) قيم الدور المختلفة

حسب طبيعة الاستناد مع زيادة الارتفاع.

- 1- إن أثر تغير ارتفاع المنشأ أدى إلى زيادة قيمة كل من القص القاعدي والدور.
- 2- يزداد أثر تغيير طبيعة الاستناد على المنشأ بزيادة ارتفاع المنشأ.

## 2.6. الانزياحات الطابقية (IDR%):

تبين الأشكال (24)، (25) و (26) الاختلاف في قيم الانزياحات الطابقية وذلك لحالة منشأ ذي جملة ثنائية وفق حالات الاستناد المتغيرة لحالة (4-8-16) طابق على الترتيب:

2.7. تتغير الحالة الإجهادية للتربة بسبب تغير حالة التربة (كحقل حر أو تحت المبنى) و بتغير مواصفات التربة وهذا ما يؤثر على السلوك الفعلي للمنشأ.

3.7. تزداد قوى القص القاعدي الانزياحات الطابقية الأعظمية باتجاه تحريض الهزة الزلزالية بازدياد الارتفاع عند نفس طبيعة الاستناد.

4.7. تتأثر الاستجابة الزلزالية للأبنية البيتونية (الجملة الثنائية) بدقة توصيف السلوك للاختي للمادة سواء للتربة أو المنشأ.

5.7. يمكن أن يتم تمثيل التربة بواسطة النواض وذلك للأبنية ذات الارتفاعات المنخفضة (حالة 4 طوابق)، بينما في المنشآت المرتفعة فإنّ النواض لا تعبّر عن السلوك الحقيقي للتربة، حيث إنه يزداد أثر لاختية مادة التربة على استجابة المنشأ بزيادة الارتفاع.

## 8. التوصيات والأعمال المستقبلية:

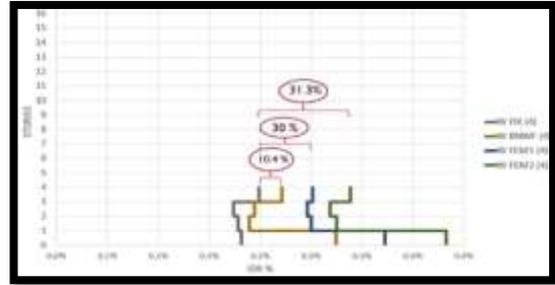
1.8. اقتراح منهجية أكثر دقة بما يتعلق بتصميم المنشآت ذات الجمل الثنائية تحت تأثير الأحمال الزلزالية عند أخذ تأثير التربة على المنشأ وخاصة في المجال للاختي للتربة والمنشأ معاً وذلك بسبب التغييرات الواضحة التي تظهر في سلوك المنشأ.

2.8. دراسة أثر لاختية المادة في الجمل الثنائية تحت تأثير الأحمال الزلزالية على التأثير المتبادل بين المنشأ والتربة، وذلك عند التصميم المبني على الأداء في المجال عالي التلدن لما له من أهمية في تغيير سلوك المنشأ.

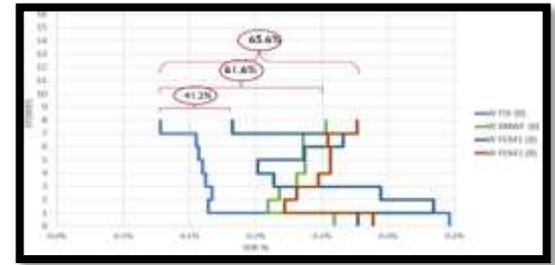
3.8. يجب زيادة الدقة في تعريف السلوك الحقيقي للمواد المدروسة وهذا ما يؤدي إلى الوصول إلى نتائج أقرب للواقع.

4.8. تُمثّل التربة بواسطة النواض وذلك بحالة الأبنية ذات الارتفاعات المنخفضة.

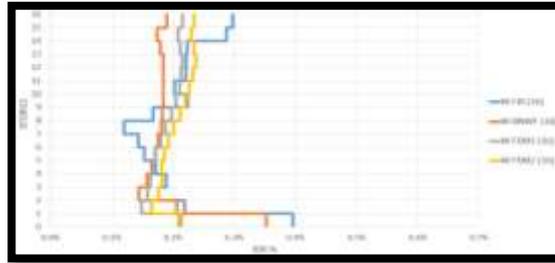
**التمويل:** هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).



الشكل (24) قيم الانزياحات الطابقية للجملة الثنائية حالة 4 طوابق. كان الفرق الأكبر (31.3%) بحالة التربة ذات الخلاط الغضارية الرملية عن حالة الوثاقفة في الطابق الأول.



الشكل (25) قيم الانزياحات الطابقية للجملة الثنائية حالة 8 طوابق. كان الفرق الأكبر (65.6%) بحالة التربة ذات الخلاط الغضارية الرملية عن حالة الوثاقفة في الطابق الأخير.



الشكل (26) قيم الانزياحات الطابقية للجملة الثنائية حالة 16 طوابق.

كان الفرق الأكبر (56.44%) بحالة التربة ذات الخلاط الغضارية الرملية عن حالة الوثاقفة في الطابق الأخير.

## 7. الاستنتاجات:

1.7. تختلف الاستجابة الزلزالية للأبنية البيتونية (الجملة الثنائية) عند عدّها مستندة إلى تربة ذات خلاط غضارية (بحصية - رملية) عن استجابتها بعدّها مستندة كوثاقفة تامة.

## المراجع References

1. عفاش، مهند. (2015). محاضرات في التأثير الديناميكي المتبادل بين المنشآت وترب التأسيس. جامعة دمشق/المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية. دمشق. سوريا.
2. فرح، بشار. (2012). دراسة التفاعل بين المنشآت الهيكلية والتربة في المجال اللاخطي تحت تأثير الأحمال الزلزالية بطريقة البرمجة الرياضية. رسالة ماجستير. الهندسة الإنشائية الزلزالية. المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية. جامعة دمشق. سوريا.
3. Sigmund, V., Guljas, I. and Hadzima-Nyarko, M., 2008, October. **Base shear redistribution between the R/C dual system structural components**. In the 14th World conference on earthquake engineering.
4. Reza Tabatabaiefar, S.H., Fatahi, B. and Samali, B., 2012. **Seismic behavior of building frames considering dynamic soil-structure interaction**. International Journal of Geomechanics, 13(4), pp.409-420
5. Lu, Y., Hajirasouliha, I. and Marshall, A.M., 2016. **Performance-based seismic design of flexible-base multi-storey buildings considering soil-structure interaction**. Engineering Structures, 108, pp.90-103.
6. Petridis, C. And Pitilakis, D., **Soil-Structure Interaction Effect On Earthquake Vulnerability Assessment Of Moment Resisting Frames: The Role Of The Structure**.
7. Tomeo, R., Pitilakis, D., Bilotta, A. and Nigro, E., 2018. **SSI effects on seismic demand of reinforced concrete moment resisting frames**. Engineering Structures, 173, pp.559-572.
8. Shen-Haw, JU., Sheng-Huoo, NI. (2007). **Determining Rayleigh damping parameters of soils for finite element analysis**. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. China. pp.1239-1255.
9. <http://www.eng.ucy.ac.cy/petros/Earthquakes>, for seismic records.
10. Getting Started with Abaqus, **Version 6.14. (2014). The Abaqus Software is a product of Dassault Systèmes Simulia Corp.** USA. 693p.