

مقارنة الاستجابة الزلزالية للأبنية البيتونية العالية ذات الجملة الأنبوبية - أنبوب داخل أنبوب - مع أخذ التأثير المتبادل بين التربة والمنشأ

م. عامر النداف⁽¹⁾

د. م. أمجد الحلواني⁽³⁾

د. م. هالة حسن⁽²⁾

الملّخص

تعتبر جملة أنبوب داخل أنبوب من أبرز الجمل الإنشائية المقاومة للأحمال الجانبية في الأبنية البيتونية العالية، حيث تتألف هذه الجملة غالباً من أنبوب خارجي مكون من إطارات خاصة مقاومة للعزوم وأنبوب داخلي مكون من جدران قص. إنّ التفاعل المتبادل بين التربة والمنشأ له دورٌ في تحديد سلوك الجملة الإنشائية قد يؤخذ بالحسبان أو يُهمل، وذلك تبعاً للمنشأ ونوع التربة. يقدم البحث دراسة تحليلية باستخدام التحليل الديناميكي وفق برنامج Abaqus2019 لمقارنة الاستجابة الزلزالية لنماذج من الأبنية البيتونية العالية جملتها أنبوب داخل أنبوب وذات ارتفاعين مختلفين ومع أخذ أثر نوعين من الترب إحداهما صخرية والأخرى سيلتية بحصية مقارنةً مع حالة القاعدة الموثوقة (دون أخذ أثر التربة). بينت النتائج زيادة قيم الانتقالات الطبقية للمنشآت بوجود التربة السيلتية البحصية مقارنة مع المنشآت ذات القاعدة الموثوقة، بينما تقاربت قيم الانتقالات في حالتي التربة الصخرية والقاعدة الموثوقة، كما أنّ أخذ أثر التربة أدى إلى انخفاض قيم قوى القص القاعدي ما لم يتم الاقتراب من حادثة الطنين.

كلمات مفتاحية: التأثير المتبادل بين التربة والمنشأ - جملة أنبوب داخل أنبوب - التربة السيلتية البحصية - التربة الصخرية - التحليل الديناميكي - طريقة العناصر المحدودة.

(1) طالب ماجستير في قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق، سورية.

(2) استاذ مساعد في قسم الهندية الإنشائية الزلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق، سورية.

hala.hasan@damascusuniversity.edu.sy -mail:

(3) مدرس في قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق، سورية.

Comparison of seismic response of high-rise RC buildings with Tubular system -tube in tube- considering the effect of soil structure Interaction

Eng. Amer Al-naddaf⁽¹⁾

Dr. Eng .Hala Hasan⁽²⁾

Dr. Eng. Amjad Al Helwani⁽³⁾

Abstract

Tube-in-tube is considered as one of the most important seismic resistant structural systems in high rise RC buildings, this system usually consists of an outer tube composed of special moment resisting frames (SMRF) and an inner tube that consists of shear walls.

The soil structure interaction (SSI) has role in determining the behavior of the structural system, that could be taken in to account or not. depending on the structural system and soil type.

This research presents an analytical study using dynamic analysis according to Abaqus 2019 program, to compare the seismic response of several high RC building models that use the tube in tube system and have two different heights, by taking the effect of two kinds of soils, rocky and gravel-silt soils comparing to the fixed base case (without soil effect).

The results have showed an increase in storey displacements in the presence of gravel-silt soil compared to structures with fixed base, while the results in rocky soil and fixed base were so close. In addition, taking soil effect led to a decrease in base shear values unless resonance is not close.

Keywords: Soil structure interaction (SSI) - tube in tube system – gravel silt soil – rocky soil - dynamic analysis - finite element method.

⁽¹⁾Master student of Seismic Structural Engineering Department - Higher Institute of Earthquake Studies & Research - University of Damascus, Syria

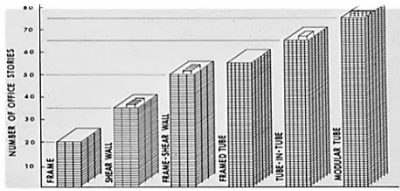
⁽²⁾ Associate professor of Seismic Structural Engineering Department - Higher Institute of Earthquake Studies & Research - University of Damascus, Syria.

E-mail: hala.hasan@damascusuniversity.edu.sy

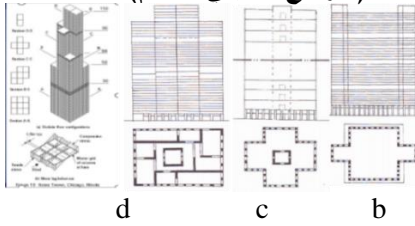
⁽³⁾ Teacher of Seismic Structural Engineering Department- Higher Institute of Earthquake Studies & Research - University of Damascus, Syria

1. المقدمة:

يربط بين الأنبوبين بلاطة بحيث تكون المساحة بين الأنبوبين خالية تماماً من الأعمدة، وفي جملة الأنبوب الخارجي يكون التباعد بين الأعمدة متراوح بين 2.5-4.5 متراً، أما الجوائز الرابطة بين هذه الأعمدة فعمقها يتراوح بين 1.2 - 0.6 متراً وبعرض يتراوح بين 0.25-0.9 متراً، أما في جملة الأنبوب الداخلي فتكون عبارة عن جدران قص على شكل نواة داخلية كبيرة المساحة نسبةً للأنبوب الخارجي، بحيث تُقدَّر أبعاد الأنبوب الداخلي بثلاث أبعاد الخارجي تقريباً [14].



الشكل (1) عدد الطوابق التقديري المتوافق مع كل جملة إنشائية (الارتفاع الطابقي ≈ 3 م) [15].



الشكل (2) جملة الأنبوب الأحادي، (b) جملة الأنبوب الثنائي، (c) جملة الأنابيب المتعددة، (d) جملة الأنابيب المجمع [10].

من جانب آخر فقد تركزت الأبحاث في الآونة الأخيرة على دراسة التأثير المتبادل بين التربة والمنشأ لما له من دور واضح في تبيان السلوك الفعلي للجملة الإنشائية، حيث يُقصد بالتأثير المتبادل بين المنشأ والتربة تأثير مواصفات المنشأ على سلوك التربة وكذلك تأثير مواصفات التربة وسلوكها على السلوك الإنشائي للمنشأ خلال فترة التحميل [11].

- يتم اتصال التربة بالمنشأ [12] كما بالشكل (3) بطريقتين:
1. تمثيل التربة بنواض ومخمدات: حيث تتم نمذجة التربة بجملة من النواض والمخمدات.
 2. تمثيل التربة بالعناصر: حيث تتم نمذجة التربة بمجموعة من الطبقات المتتالية باستخدام طريقة العناصر المحدودة.

يعود تاريخ الأبنية العالية إلى مئات وحتى آلاف السنين حيث حاول المهندسون والمعماريون تصميم وإنشاء الأبنية الأكثر ارتفاعاً، وقد تجلت هذه الفكرة في بناء الأهرامات منذ العصور القديمة مروراً بالكنايس والكاتدرائيات حتى سباق ناظحات السحاب في وقتنا هذا، وساعد التقدم في مجال الهندسة ومواد البناء المهندسين المعماريين والمدنيين على تصميم وتنفيذ أشكال مختلفة من الأبنية العالية وذات جمل إنشائية متنوعة وجريئة ولاستخدامات مختلفة.

أختلف الخبراء والاختصاصيون في تعريف الأبنية العالية ولكن من أهم وأحدث التعاريف ما جاء لدى المجلس الأمريكي للأبنية العالية والتخطيط المدني CTBUH [1] حيث اعتبر أن المباني المرتفعة لأكثر من 50m هي مبانٍ عالية (tall Buildings) بينما المباني المرتفعة لأكثر من 300m هي مبانٍ عالية جداً (Super-tall Buildings) أما المباني المرتفعة لأكثر من 600m هي مبانٍ عملاقة (Mega-tall Buildings).

تنوعت الجمل الإنشائية المقاومة للأحمال الجانبية في الأبنية البيتونية العالية حسب عدد طوابق البناء [15] كما في الشكل (1) فمنها جملة الإطارات، جملة جدران القص، الجملة الثنائية (إطارات مع جدران قص)، جملة الإطارات المكتفة (Outrigger)، الجملة الأنبوبية بأنواعها كما هو موضح في الشكل (2) (جملة الأنبوب الأحادي - جملة الأنبوب الثنائي - جملة الأنابيب المتعددة - جملة الأنابيب المجمعّة متفاوتة الارتفاعات (bundled system) [10].

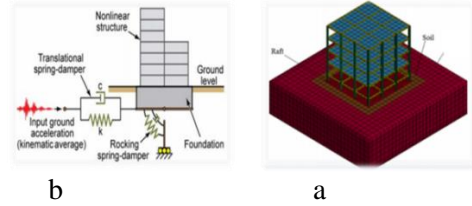
هذا البحث يتطرق لدراسة سلوك أحد أنواع الجملة الأنبوبية - جملة الأنبوب الثنائي (أنبوب داخل أنبوب - Tube in Tube) حيث تتألف هذه الجملة مما يأتي:

- ✓ أنبوب خارجي: عبارة عن إطارات مقاومة للعزوم.
- ✓ أنبوب داخلي: عبارة عن جدران قص.

وقام الباحثون (Dode et al, 2015) [3] بدراسة مقارنة سلوك مبنى بيتوني عالٍ مؤلف من 40 طابق وفق طريقة التحليل الديناميكي وبثلاث حالات للمبنى (مشاد على قاعدة موثوقة - مشاد على تربة قدرة تحملها

250 ton/m^2 وأخرى 80 ton/m^2)، حيث توصل الباحثون إلى أن بارامترات التربة تلعب دوراً رئيسياً في التحكم بقيم انتقالات المبنى حيث أن قيم الانتقالات تزداد عند تحليل الأبنية العالية مع أخذ تأثير تفاعل تربة - منشأ بعين الاعتبار وهذه الزيادة تتبع لنوع التربة وقدرة تحملها، كما أن قيم الدور الطبيعي ازدادت في نموذجي الحالة الثانية والثالثة (عند أخذ تأثير تفاعل تربة - منشأ بعين الاعتبار) مقارنة مع نموذج الحالة الأولى (قاعدة موثوقة) [3].

في حين قامت الباحثة (سنا كنفاني، 2010) [14] بدراسة سلوك الأبنية العالية ذات الجمل الإنشائية أنبوب داخل أنبوب تحت تأثير الحمولات الزلزالية عبر مقارنة استجابة ثلاثة مباني عالية ذات جملة أنبوبية متشابهة بالموصفات، مختلفة بالارتفاع الكلي، الأحمال المطبقة بالإضافة للوزن الذاتي، أحمال ميتة 2.5 Kn/m^2 وحية 4 Kn/m^2 وحمولة زلزالية ستاتيكية. وإجهاد ضغط البيتون 45 Mpa وحد سيلان الفولاذ 450 Mpa . أما الجملة الإنشائية المعتمدة جملة أنبوب داخل أنبوب فالأنبوب الخارجي مربع الشكل عبارة عن إطارات خاصة مقاومة للعزوم التباعد بين أعمدتها 4.5 m ويربط بين الأعمدة جوائز ساقطة بعرض 0.5 m وبعمق 0.75 m وأبعاد هذا الأنبوب $22.5 \times 22.5 \text{ m}$. بينما الأنبوب الداخلي مربع الشكل عبارة عن نواة مؤلفة من جدران قص تحتوي فتحات وأبعاد هذا الأنبوب $7.5 \times 7.5 \text{ m}$ ، ويربط بين الأنبوب الداخلي والأنبوب الخارجي بلاطة بيتونية ذات سماكة ثابتة تقدر بـ 18 cm . يبين الشكل (4) المسقط الأفقي لطابق متكرر (جملة أنبوب داخل أنبوب) المعتمد في دراسة الباحثة [14].



الشكل (3): a. تمثيل التربة بطريقة العناصر المحدودة، b. تمثيل التربة بطريقة النواض والمخمدات. [8],[2]

2. هدف البحث:

يهدف البحث إلى مقارنة الاستجابة الزلزالية للأبنية البيتونية العالية ذات الجملة الإنشائية (أنبوب داخل أنبوب) بإدخال أثر التفاعل المتبادل بين التربة والمنشأ وبدونه، وذلك عن طريق إجراء دراسة بارامترية لعدة نماذج معرّضة لسجل زلزالي واحد وفق الاتجاه X ويختلف فيها ارتفاع المنشأ ونوع استناده.

وليكون هدف البحث ونتائجه أكثر ربطاً مع التوجه الواقعي الحالي في تصميم وتنفيذ الأبنية المحلية أختيرت ارتفاعات المباني لتتوافق مع الأبنية الموجودة أو المخطط لتنفيذها في مدينة دمشق وما حولها ($H_1 = 20$ طابق، $H_2 = 25$ طابق)، واعتمدت مواصفات التربة لمنطقتين إحداهما في دمشق والأخرى في ريفها (تربة صخرية S1، تربة سيلتية بحصية S2) بالمقارنة مع القاعدة ذات الوثيقة التامة، وتم تحريض النماذج باستخدام سجل زلزالي عالمي Elcentro حيث قيمة الشدة العظمى فيه $\text{PGA} = 0.348 \text{ g}$ تقارب القيمة التي حددها الكود العربي السوري لمنطقة دمشق أو ريفها.

3. مراجعة الأبحاث السابقة:

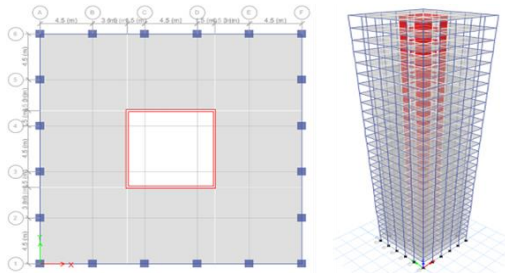
قام الباحث (منهل موسى، 2012) [16] بدراسة تأثير الفعل المتبادل بين التربة والمنشأ على استجابة المنشآت الخاضعة لأفعال زلزالية في الساحل السوري، حيث لاحظ وجود تأثير لظاهرة التفاعل المتبادل بين التربة والمنشأ عندما تم تغيير عدد الطوابق مع الحفاظ على نوع التربة، وكما أن هناك تأثير ملحوظ لهذه الظاهرة على زيادة الانتقالات الطابقية بنسبة تراوحت بين 40% وحتى 100% [16].

تراوحت بين 37% وحتى 50.9% مقارنة مع أنظمة الجمل الإنشائية المقاومة الأخرى [4].

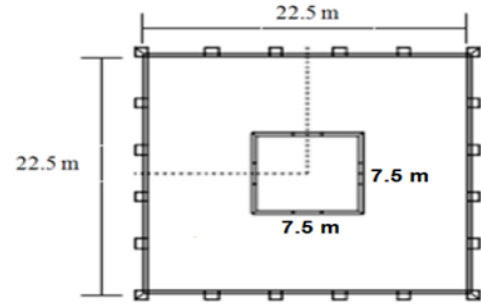
4. معايرة الدراسة المرجعية [14]:

بدايةً في هذا البحث أجريت دراسة تحليلية لأحد نماذج الدراسة المرجعية [14] ومعايرته ستاتيكيًا على مرحلتين، المرحلة الأولى معايرة النموذج المدروس على برنامج Etabs مع نموذج الدراسة المرجعية [14] والمرحلة الثانية معايرة النموذج المدروس على برنامج Abaqus مع النموذج المدروس على برنامج Etabs ليتم التحقق من صحة النموذج ومتابعة الدراسة على برنامج Abaqus.

اعتمد النموذج ذو الـ 30 طابق والذي يقابل ارتفاع 105.5 m، كما اعتمدت مواصفات المواد وخواص العناصر وكافة المتغيرات كما وردت في الدراسة المرجعية [14]، يوضح الشكل (5) النموذج المدروس وفق برنامج Etabs، حيث تم تطبيق بالإضافة لحمل الوزن الذاتي، الحمل الميت والحي والحمولة الزلزالية الستاتيكية باتجاه X فقط، وبين الجدول (1) الفروق النسبية لقيمة الدور الطبيعي والانتقال الأفقي Ux للطابق الأخير التي تم مقارنتها عند المرحلة الأولى من المعايرة، يعود سبب الاختلاف في قيمتي الدور إلى قيمة أبعاد تقسيم العناصر (وفق تعليمة Mesh or Divide) حيث لم يُذكر صراحةً نوع التعليمة المعتمدة أو أبعاد التقسيمات المستخدمة وفق نموذج الدراسة المرجعية [14].



الشكل (5): المسقط والنموذج الفراغي للبناء وفق برنامج Etabs

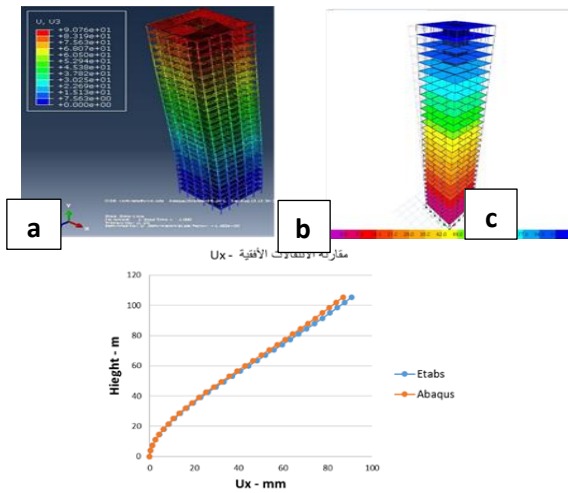


الشكل (4): مسقط أفقي للنموذج (جملة أنبوب داخل أنبوب) [14].

تم التحليل باستخدام الطريقة الستاتيكية المكافئة وطريقة التحليل الستاتيكي اللاخطي عبر برنامج Etabs، وكانت من أهم النتائج التي توصلت لها الباحثة إظهار مدى إسهام التفاعل بين الأنبوبين الداخلي والخارجي لجملة أنبوب داخل أنبوب في تخفيف الانتقال الكلي للمنشأ حيث تزداد نسبة التخفيض في الانتقال الكلي للمنشأ كلما ازداد عدد الطوابق، كما بينت أن نسبة مساهمة الإطارات الخاصة المقاومة للعووم (الأنبوب الخارجي) في مقاومة الحمولة الجانبية تزداد باتجاه الطوابق العليا كما تزداد هذه النسبة مع ازدياد عدد الطوابق [14].

كما قام الباحثون (Rao et al, 2016) [4] بدراسة بحثية لمقارنة سلوك وأداء خمس جمل إنشائية مقاومة للأحمال الجانبية لمبنى من الخرسانة المسلحة بارتفاع 90 متر مع اعتماد البارامترات الزلزالية والأحمال ذاتها لكافة النماذج، حيث كانت الجمل الإنشائية المدروسة هي:

جملة جدران القص shear walls، جملة الإطارات frame، جملة أنبوب داخل أنبوب tube in tube، جملة الأنابيب المجمعّة bundled system وجملة الإطارات المكثفة Outrigger system، وتم استخدام تحليل التآريخ الزمني اللاخطي لتشير النتائج النهائية وفق الدراسة إلى أن نظام الأنابيب المجمعّة bundled system هو النظام الأفضل ليستخدم كجمل إنشائية مقاومة للأحمال الجانبية لما يديه من ميزات في التحكم الزلزالي ضمن الأبنية العالية المتناظرة، حيث انخفضت قيم الانتقال الطابقية في هذا النظام بحدود نسبة



الشكل (7): a. شكل الانتقالات الأفقية وفق Abaqus، b. شكل الانتقالات الأفقية وفق Etabs، c. مخطط مقارنة قيم الانتقالات الأفقية الطابقية مع ارتفاع المنشأ وفق البرنامجين.

5. مواد وطرق ومنهجية البحث:

فيما يأتي سنورد كافة البيانات والمعلومات المستخدمة في البحث لإجراء الدراسة التحليلية البارامترية المطلوبة.

5.1 خواص المواد والأحمال:

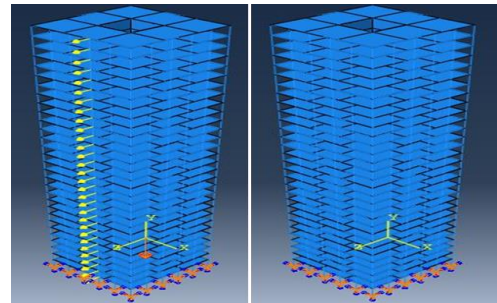
الجدول (3): خواص المواد المستخدمة وقيم الأحمال.

| القيمة | خواص المواد والأحمال |
|---|----------------------------------|
| $f_c = 45 \text{ Mpa}$ | إجهاد ضغط الببتون |
| $E_c = 38907.6 \text{ Mpa}$ | معامل مرونة الببتون |
| $\nu_{\text{Concret}} = 0.2$ | معامل بواسون للببتون |
| $\gamma_c = 24 \text{ Kn/m}^3$ | الوزن الحجمي للببتون |
| $f_y = 450 \text{ Mpa}$ | حد السيلاز لفلوآز التسليح الطولي |
| $f_{ys} = 250 \text{ Mpa}$ | حد السيلاز لفلوآز التسليح العرضي |
| $E_{st} = 389076 \text{ Mpa}$ | معامل مرونة الفلوآز |
| $\nu_{\text{Steel}} = 0.2$ | معامل بواسون للفلوآز |
| $\gamma_{st} = 77 \text{ Kn/m}^3$ | الوزن الحجمي للفلوآز |
| تتناسب مع الكود العربي السوري | نسبة التسليح المئوية للعناصر |
| حسب تسارع الجاذبية الأرضية 9.81 m/s^2 | حمولة الوزن الذاتي |
| $DL = 2.5 \text{ Kn/m}^2$ | الحمولة الميتة |
| $LL = 4 \text{ Kn/m}^2$ | الحمولة الحية |
| تأريخ زمني EL-CENTRO | الحمولة الزلزالية |
| | سجل زلزالي (وفق الاتجاه X) |

الجدول (1): المرحلة الأولى من المعايرة.

| من حيث | نموذج الدراسة المرجعية [14] Etabs | النموذج المدروس Etabs | الفرق النسبي % |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|----------------|
| دور الاهتزاز للنمط الأول | 2.80 sec | 2.93 sec | 4.64% |
| الانتقال الأعظمي للطابق الأخير | 0.170 m | 0.174 m | 2.35 % |

يوضح الشكل (6) النموذج المدروس وفق برنامج Abaqus وهو خاضع للأحمال الجانبية المأخوذة من توزيع القوة الزلزالية الستاتيكية Ex في نموذج Etabs المدروس سابقاً مع وجود حمولة الوزن الذاتي فقط وإلغاء الفتحات في جدران القص لتسهيل عملية النمذجة في المرحلة الثانية من المعايرة. يبين الجدول (2) الفروق النسبية لدور الاهتزاز وقيمة الانتقال الشاقولي للطابق الأرضي والوزن الذاتي للمبنى التي تمت مقارنتها عند المرحلة الثانية من المعايرة، في حين يبين الشكل (7) مخطط وشكل الانتقالات الأفقية Ux الناتجة عن الأحمال الجانبية الستاتيكية باتجاه X فقط في البرنامجين حيث بلغت قيمة أكبر نسبة اختلاف مئوية بين Etabs و Abaqus في انتقال الطابق الأخير 4.39%.



الشكل (6): النموذج الفراغي وتوزيع القوى الجانبية الستاتيكية

للبناء وحمولة الوزن الذاتي وفق برنامج Abaqus.

الجدول (2): المرحلة الثانية من المعايرة.

| من حيث | النموذج المدروس Abaqus | النموذج المدروس Etabs | الفرق النسبي % |
|---|------------------------|-----------------------|----------------|
| دور الاهتزاز | 2.04 sec | 1.92 sec | 5.88% |
| وسطي الانتقالات الشاقولية للطابق الأرضي | 0.750 mm | 0.759 mm | 1.20% |
| إجمالي الوزن الذاتي للمبنى | 140199.61 KN | 142563.44 KN | 1.69% |

الجدول (6): أبعاد حوائط النماذج المدروسة.

| النماذج | | | | الواحدة | من حيث |
|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|--|
| H2=87.5 m | | H1=70 m | | - | البناء |
| التربة S2 | التربة S1 | التربة S2 | التربة S1 | - | نوع التربة |
| 3.5 | 5 | 3.5 | 5 | kg/cm ² | قدرة تحمل التربة |
| 506.25 | 506.25 | 506.25 | 506.25 | m ² | مساحة المسقط |
| 25 | 25 | 20 | 20 | storey | عدد الطوابق |
| 23.31 | 19.50 | 20.85 | 17.44 | m | طول ضلع الحصىرة الحسابية باعتبارها مربعة |
| 25 | 25 | 25 | 25 | m | طول ضلع الحصىرة الفعلية باعتبارها مربعة |
| 1.25 | 1.25 | 1.10 | 1.10 | m | سماكة الحصىرة H |

5.4 مواصفات الترب المستخدمة:

بالرجوع إلى تقارير ترب محلية لمباني واقعية، اعتمدت المواصفات الرئيسية للترب (كالكثافة والتماسك و...) وفق الجدول (7)، واستُنتجت باقي الخصائص وفق المعادلات الأساسية المعروفة في الهندسة الجيوتكنيكية (كسرعة الأمواج القصية ومعامل قص التربة و...).

الجدول (7) بارامترات الترب المستخدمة في النماذج.

| من حيث | الواحدة | المواصفات | |
|--|--------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| | | التربة S1 | التربة S2 |
| اسم التربة | - | ريف دمشق - دمشق - المزة - ماروتا سيتي | ريف دمشق - منطقة التل |
| مكان وجود التربة في الجمهورية العربية السورية | - | - | - |
| نوع مقطع التربة | - | تربة صخرية | تربة سيلتية بخصبة |
| الإجهاد المسموح للتربة | kg/cm ² | 5 | 3.5 |
| الوزن الحجمي γ | Kn/m ³ | 23 | 21 |
| الكثافة ρ | kg/m ³ | 2345 | 2141 |
| زاوية الاحتكاك الداخلي φ | درجة | 36 | 25 |
| زاوية التمدد الحجمي ψ | درجة | 6 | 0 |
| التماسك C | kg/cm ² | 2.00 | 0.55 |
| معامل بواسون ν | - | 0.27 | 0.30 |
| معامل المرونة الاستاتيكي E _s | kg/cm ² | 1800 | 700 |
| معامل المرونة الديناميكي E _d | kg/cm ² | 28800 | 2380 |
| معامل قص التربة G | kg/cm ² | 11339 | 915 |
| سرعة الأمواج القصية V _s | m/s | 689 | 205 |
| نموذج مقطع التربة وفق الكود العربي السوري | - | SC | SD |
| سماكة طبقة التربة H | m | 30 | 30 |
| أبعاد حقل التربة L _x X L _y | m x m | 225x125 | 225x125 |
| دور التربة T | sec | 0.17 | 0.59 |
| تردد التربة W | rad/sec | 36.06 | 10.72 |

5.2 النماذج المدروسة وأبعاد العناصر:

اعتمد المسقط الأفقي للدراسة المرجعية [14] الموضح بالشكل (4) في نماذج الدراسة التحليلية البارامترية لهذا البحث المبينة في الجدول (4)، كما أنّ أبعاد مقاطع الأعمدة والجوائز وسماكة الجدران والبلاطات موضحة في الجدول (5).

الجدول (4): بارامترات النماذج المدروسة في هذا البحث.

| رقم النموذج | اسم النموذج | مواصفات النموذج | | |
|-------------|---------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| | | نوع الاستناد | ارتفاع المنشأ | اسم الهزة |
| 1 | Model - Fixed.H1.E1 | وثيقة ثامة = Fixed | H1 = 70 m 20 stories | E1= EL-CENTRO PGA= 0.348 g |
| 2 | Model - S1.H1.E1 | تربة صخرية = S1 | | |
| 3 | Model - S2.H1.E1 | تربة سيلتية بخصبة = S2 | | |
| 4 | Model - Fixed.H2.E1 | وثيقة ثامة = Fixed | H2 = 87.5 m 25 stories | E1= EL-CENTRO PGA= 0.348 g |
| 5 | Model - S1.H2.E1 | تربة صخرية = S1 | | |
| 6 | Model - S2.H2.E1 | تربة سيلتية بخصبة = S2 | | |

الجدول (5) أبعاد العناصر الخطية والمساحية في النماذج.

| من حيث | أبعاد الأعمدة / cm (الأنبوب الخارجي) | | أبعاد الجدران / cm (الأنبوب الداخلي) | |
|----------|---|----------|--------------------------------------|----------|
| | 20 story | 25 story | 20 story | 25 story |
| storeys | | | | |
| 1 | 85*85 | 90*90 | 50 | 55 |
| 2 to 5 | 85*85 | 90*90 | 45 | 50 |
| 6 to 10 | 80*80 | 85*85 | 35 | 45 |
| 11 to 15 | 75*75 | 80*80 | 25 | 35 |
| 16 to 20 | 70*70 | 75*75 | 20 | 25 |
| 21 to 25 | - | 70*70 | - | 20 |
| Beams | الجوائز على كامل محيط الأنبوب الخارجي بأبعاد 50*75 cm | | | |
| Slabs | البلاطات تربط بين الأنبوبين بسماكة 18 cm | | | |

5.3 أبعاد الحوائط المستخدمة:

صُممت الحوائط المبينة أبعادها في الجدول (6) باعتبارها بلاطة مصممة ذات سماكة واحدة بالاعتماد على قدرة تحمل التربة وحمولات وأبعاد الأعمدة والتباعد بين محاور الأعمدة.

وفق النمطين الأول ω_1 والثاني ω_2 وبالتعويض في المعادلة (1) الممثلة لعلاقة ريليه [5] وحل جملة معادلتين بمجهولين نحصل على قيم معاملات ريليه لتخامد البيتون، والجدول (9) يبين القيم المطلوبة.

الجدول (9) معاملات تخميد البيتون في النماذج المدروسة.

| البناء | تردد البناء الأول W1 | تردد البناء الثاني W2 | معامل التخميد D1 | معامل التخميد D2 | α | β |
|-------------|----------------------|-----------------------|------------------|------------------|----------|---------|
| H1 = 70.0 m | 4.772 | 18.178 | 0.05 | 0.048 | 0.35749 | 0.00442 |
| H2 = 87.5 m | 3.534 | 13.394 | 0.05 | 0.048 | 0.26445 | 0.00599 |

5.6.2 معاملات تخميد التربة: ينشأ التخامد في التربة من المواصفات الأساسية لمكوناتها (الزوجة- الاحتكاك- اللدونة-..)، ويلعب التخامد دوراً مهماً في تحديد مدى استجابة التربة للأحمال الخارجية المطبقة عليها.

تم حساب معاملات تخامد التربة α, β من خلال علاقتي (Ju & Ni, 2007) [6] المبينتين بالمعادلتين (2) و(3).

$$\alpha = \frac{2\omega_1\omega_2(D_1\omega_2 - D_2\omega_1)}{(\omega_2^2 - \omega_1^2)} \quad \text{معادلة (2)}$$

$$\beta = \frac{2(D_2\omega_2 - D_1\omega_1)}{[\pi(\omega_2^2 - \omega_1^2)]} \quad \text{معادلة (3)}$$

حيث ω_1, ω_2 قيم تردد التربة والهزة الزلزالية على الترتيب. D_1, D_2 قيم التخامد للتربة والهزة الزلزالية على الترتيب.

يمكن اعتماد تخامد التربة والهزة مساوياً إلى $D_1 = D_2 = 5\%$ واعتماداً على قيم ترددات التربة الواردة في الجدول (7) والتردد المسيطر للهزة الزلزالية المستخدمة الوارد في الجدول (8) وبالتعويض في علاقتي (Ju & Ni, 2007) [6] نحصل على القيم المطلوبة كما يوضحها الجدول (10).

الجدول (10) معاملات تخميد التربة في النماذج المدروسة.

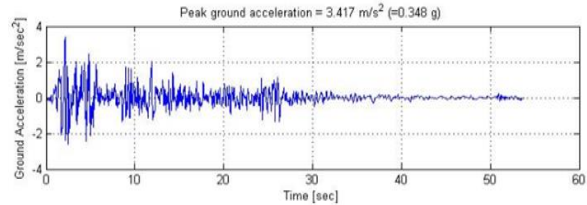
| اسم الهزة | نوع التربة | تردد التربة W1 | تردد الهزة W2 | معامل التخميد للتربة D1 | معامل التخميد للهزة D2 | α | β |
|-----------|------------|----------------|---------------|-------------------------|------------------------|----------|---------|
| EL- | S1 | 36.06 | 9.23 | 0.05 | 0.05 | 0.73489 | 0.00070 |
| CENTRO | S2 | 10.72 | 9.23 | 0.05 | 0.05 | 0.49597 | 0.00160 |

5.7 نمذجة العناصر والتحليل وفق برنامج Abaqus:

برنامج Abaqus [5] برنامج تحليلي يعتمد على النمذجة الرقمية باستخدام طريقة العناصر المحدودة، ويحتوي على

5.5 مواصفات السجل الزلزالي المستخدم:

يبين الشكل (8) تغير قيمة التسارع مع الزمن للسجل الزلزالي Elcentro [7] المعتمد في هذه الدراسة، كما يبين الجدول (8) الخواص الأساسية لهذه الهزة الزلزالية.



الشكل (8) تغير التسارع مع الزمن في زلزال Elcentro [7].

الجدول (8) خواص الهزة الزلزالية لسجل Elcentro [7].

| اسم الهزة | EL-CENTRO |
|--|-----------|
| التسارع الأرضي الأعظمي (g) | 0.348 g |
| التسارع الأرضي الأعظمي (m/s ²) | 3.417 |
| المدة الفعلية للهزة (sec) | 30 |
| تواتر الهزة المسيطر (Hz) | 1.47 |
| تردد الهزة المسيطر (rad/sec) | 9.23 |
| دور الهزة المسيطر (sec) | 0.68 |

5.6 قيم معاملات تخميد البيتون والتربة في النماذج:

5.6.1 معاملات تخميد البيتون: تعطى علاقة ريليه [5]

الخاصة بحساب التخامد وفق المعادلة (1).

$$\alpha + \beta \omega_i^2 = 2\omega_i D_i \quad \text{معادلة (1)}$$

حيث α, β معاملات ريليه المتعلقة بكتلة وقساوة المنشأة البيتونية المسلحة، ω_i تمثل قيم تردد البناء وفق أنماط الاهتزاز، D_i تعبر عن قيمة التخامد. تُقدَّر قيمة تخامد المنشآت البيتونية المسلحة حوالي 5% لذلك سيتم حساب α, β عبر فرض نسبتي مختلفتين للتخامد ولكن متقاربتين،

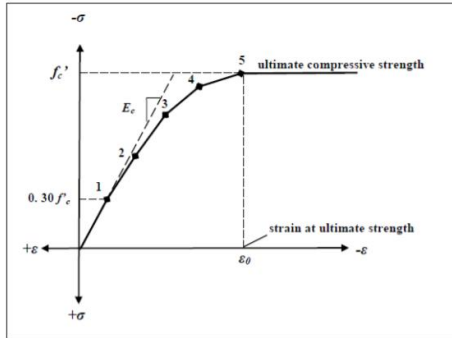
$$D_1 = 5\%, D_2 = 4.8\%$$

ولا بد من حساب قيم الترددات ω_i للنماذج المدروسة ذات الوثائق عبر القيام بحل مسألة القيم المميزة [9] باستخدام برنامج Abaqus والتي تعطي القيمة المميزة للنمط Eigenvalue وتواتر المنشأة والسرعة الزاوية لها ونسب مشاركة الكتل الفعالة حسب أنماط الاهتزاز، اعتمدت قيمة تردد البناء

8 عقد، لنمذجة حيز التربة الواقع خارج نطاق الحصيرة حتى حدود العناصر اللامنتهية. استُخدم العنصر الفراغي المستمر اللامنتهي CIN3D8 المكون من 8 عقد، من أجل نمذجة العناصر المحيطة اللامنتهية عند كل طرف حر من حيز التربة ذات العرض 15m عند كل جانب من الجوانب الأربعة لحقل التربة، التي تضمن امتصاص آثار الهزة الزلزالية عند وصولها لها، وعدم انعكاسها بوصفها موجةً مرتدةً على البناء، ولتقسيم العناصر في حيز التربة اعتمد مبدأ تصغير أبعاد التقسيمة الواحدة كلما اقتربنا من البناء.

• رُبطت كافة العناصر (الإطارية، الصفائحية، الحصيرة، التربة) عند نقاط التقائها فيما بينها ربطاً تاماً بحيث ترتبط كافة درجات الحرية.

• اعتمد السلوك التلدي (مرن - لدن تام) من أجل توصيف سلوك مادة البيتون كما هو موضح في الشكل (10)، في حين تم استخدام معيار انهيار مور - كولومب لتوصيف سلوك التربة والذي يعتمد على خاصيتين أساسيتين للمادة هما التماسك C وزاوية الاحتكاك الداخلي ϕ .

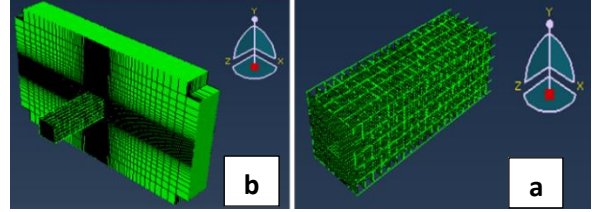


الشكل (10): السلوك التلدي لمادة البيتون (مرن-لدن تام) [5].

• أُجري تحليل ديناميكي لا خطي نوع Dynamic Implicit [5] وفق برنامج Abaqus عن طريق إجراء اختبار نمطي Modal testing للسلوك الديناميكي للمنشأ (حل مسألة توازن ديناميكية) [9]، إذ تُعطى معادلة الحركة بشكل مصفوفي مختصر [13]، وفق المعادلة (4) كما يأتي:

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = \{F(t)\} \quad (4)$$

مكتبة هائلة من العناصر وطريقة توصيف سلوكها (المطاوع أو سريع الانهيار)، يبين الشكل (9) أحد النماذج المدروسة وفق هذا البرنامج مع وجود حقل التربة وبدونه.



الشكل (9) a. أحد النماذج مع الوثاق التامة،

b. أحد النماذج مع التربة.

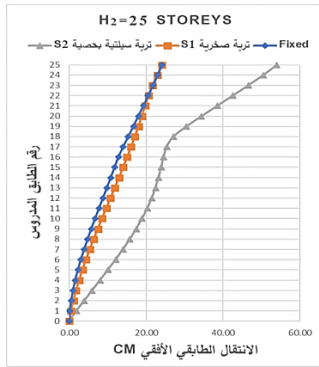
لقد تمت عملية النمذجة [5]، [9] على الشكل الآتي:

• من أجل أعمدة المنشأ وجوائزه استُخدم العنصر الإطاري الفراغي B31 (يرمز الحرف إلى نوع العنصر Beam والرقم 3 إلى التمثيل ثلاثي البعد أما الرقم 1 فيدل على التابع الخطي الممثل لسلوك العنصر)، حيث قُسمت الأعمدة والجوائز من هذا العنصر بطول 0.5 m للتقسيم الواحدة.

• من أجل البلاطات والجدران استُخدم العنصر الصفائحي الفراغي S4R وهو عنصر قشري يتحمل القوى في مستويه وخارج مستويه ويرتبط مع باقي العناصر بأربع عقد على زواياه، حيث قُسمت البلاطات والجدران من هذا العنصر بأبعاد 1x1 m للقطعة الواحدة.

• استُخدمت فرضية Rigid Diaphragm لنمذجة سلوك البلاطات الطابقية وهي فرضية مستخدمة بشكل واسع في نمذجة الأبنية البيتونية المسلحة.

• من أجل نمذجة الحصيرة وحيز التربة تحت البناء استُخدم العنصر الفراغي المنتهي C3D4 المكون من 4 عقد، لنمذجة حيز التربة ضمن مجال الحصيرة (ضمن مجال 2 متر من كافة جوانب الحصيرة الطرفية والسفلية). استُخدم العنصر الفراغي المنتهي C3D6 المكون من 6 عقد، لنمذجة حيز التربة الواقع تحت مساحة الحصيرة عرضاً وطولاً ولنهاية نطاق التربة عمقاً. استُخدم العنصر الفراغي المنتهي C3D8R المكون من



الشكل (12): تغير الانتقال الطابقي الأفقي الأعظمي باتجاه X مع الارتفاع لنموذج الـ 25 طابقاً في الحالتين (fixed-SSI).
الجدول (11): قيم الانتقال الأفقي الطابقي الأعظمي بالاتجاه X في الطابق الأخير (cm).

| ارتفاع النموذج | عدد الطوابق | Fixed وثيقة | Soil S1 تربة صخرية | Soil S2 تربة سيلتية بحصية |
|----------------|-------------|-------------|--------------------|---------------------------|
| H1= 70.0 m | 20 storeys | 13.99 | 14.51 | 33.95 |
| H2= 87.5 m | 25 storeys | 24.08 | 24.06 | 53.99 |



الشكل (13): تغير قيمة الانتقال الأعظمي باتجاه X في الطابق الأخير حسب طبيعة الاستناد (fixed-SSI) للنموذجين 20 و 25 طابق. من الأشكال الثلاثة الأخيرة وقيم الجدول (11) نلاحظ أنّ قيم الانتقالات الطابقية الأفقية الأعظمية تزداد عند إدخال تأثير SSI بعين الاعتبار مقارنة مع الوثيقة التامة Fixed مع ثبات عدد طوابق المبنى، حيث ستخفّض قساوة المبنى عند أخذ أثر التربة بعين الاعتبار نتيجةً لتغير طبيعة الاستناد والاتصال بين الحصيرة والتربة لما هو دون الوثيقة التامة وصولاً للمسند الثابت أو بينهما، مما ينعكس على زيادة قيمة الدور الطبيعي للمنشأ وبالتالي زيادة قيم الانتقالات الطابقية الأفقية الأعظمية في النموذج، حيث تتقارب قيم الانتقالات الأفقية الأعظمية

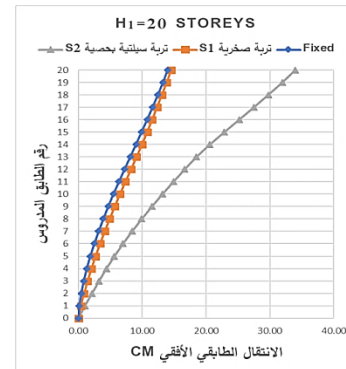
حيث: $[M]$ مصفوفة الكتلة، $[C]$ مصفوفة التخماد، $[K]$ مصفوفة القساوة. $\{y\}$ شعاع التسارع، $\{y\}$ شعاع السرعة، $\{F(t)\}$ شعاع الانتقال. $\{F(t)\}$ شعاع الأحمال الديناميكية المطبقة على المنشأ مع الزمن في كل طابق. حُرِّض المنشأ باستخدام السجل الزلزالي Elcentro بالاتجاه X ثم سُجِّلت استجابة المنشأ خلال المدة الفعلية للهزة الزلزالية عبر رصد الحركة الأفقية بالاتجاه X لنقطة من كل طابق في النماذج لمقارنة الانتقالات الأفقية الطابقية الأعظمية، وحُسِب مجموع قوة القص القاعدي عند أسفل أعمدة الأنابيب الخارجي وجدان الأنابيب الداخلي وذلك باتجاه تحريض الزلزال للمبنى.

6. النتائج ومناقشتها:

أجريت مقارنات عامة بين كافة النماذج المدروسة للجملة الإنشائية (أنبوب داخل أنبوب) باختلاف ارتفاعها وشكل استنادها، وتمّ التوصل إلى مجموعة النتائج الآتية:

6.1 نتائج الانتقالات الطابقية الأعظمية باتجاه X:

تبين الأشكال (11) و (12) و (13) والجدول (11) تغير قيم الانتقالات الطابقية مع الارتفاعين (20، 25 طابقاً) ووفق الحالتين المدروستين (fixed-SSI).



الشكل (11): تغير الانتقال الطابقي الأفقي الأعظمي باتجاه X مع الارتفاع لنموذج الـ 20 طابقاً في الحالتين (fixed-SSI).

72.11%، 65.79%، 59.02% للوثاقفة، التربة الصخرية،
والتربة السيلتية البحصية على الترتيب.

6.2 نتائج قوة القص القاعدي باتجاه X:

نتيجةً للانحراف المعياري الكبير بين القيمة الوسطية والقيمة الأعظمية لقوة القص القاعدي بالاتجاه X (اتجاه تطبيق الهزة الزلزالية)، ولقيام بمقارنة دقيقة وصحيحة وخالية من قيم شاذة فقد اعتمدت قيمة قوة القص الوسطية $V_{x-average}$ للنماذج المدروسة والتي تعبر عن المجموع الإجمالي لقوى القص القاعدي عند أسفل الأعمدة في الأنبوب الخارجي وعند أسفل جدران القص بالاتجاه X في الأنبوب الداخلي وذلك عند الوثاقفة التامة في نماذج الـ Fixed وما يقابلها عند منسوب أعلى الحصيرة في نماذج الـ SSI. يبين الشكل (14) والجدول (12) تغير قيم قوة القص القاعدي مع الارتفاع (20، 25 طابقاً) ووفق الحالتين المدروستين (fixed-SSI).



الشكل (14): تغير قيم قوة القص القاعدي الوسطية باتجاه X حسب طبيعة الاستناد (fixed-SSI) للنموذجين 20 و 25 طابق.

الجدول (12): قيم قوة القص القاعدي (KN).

| ارتفاع النموذج | عدد الطوابق | Fixed وثاقفة | Soil S1 تربة صخرية | Soil S2 تربة سيلتية بحصية |
|----------------|-------------|--------------|--------------------|---------------------------|
| H1= 70.0m | 20 storeys | 7933.8 | 7823.0 | 12178.5 |
| H2 = 87.5m | 25 storeys | 11399.8 | 9549.9 | 16040.8 |

من الشكل (14) والجدول (12) نلاحظ أنّ قيمة قوة القص القاعدي تنخفض - ما لم يحصل توافق أو تقارب بين الدور المسيطر للهزة الزلزالية ودور التربة- عند إدخال تأثير SSI

للمباني المستندة على تربة صخرية مقارنة بالمباني ذات الوثاقفة التامة حيث كانت أكبر تغيرات في قيم الانتقالات الأفقية الأعظمية (المتواجدة عند الطابق الأخير) باتجاه تطبيق الهزة 3.71%، -0.10% للمباني ذات الطوابق 20، 25 على التوالي.

تزداد قيم الانتقالات الأفقية الأعظمية للمباني المستندة على تربة سيلتية بحصية مقارنة بالمباني ذات الوثاقفة التامة حيث كانت أكبر زيادات في قيم الانتقالات الأفقية الأعظمية (المتواجدة عند الطابق الأخير) باتجاه تطبيق الهزة 142.63%، 124.18% للمباني ذات الطوابق 20، 25 على التوالي.

يُفسر شكل تغير الانتقال الجانبي للمنشأ مع الارتفاع الطابقي لحالة التربة السيلتية البحصية إضافةً لما ذكر سابقاً من انخفاض في قساوة المنشأ عند أخذ أثر التربة بالحسبان فإنّ تقارب دور اهتزاز التربة S2 من دور اهتزاز الهزة الزلزالية Elcentro أدى لحصول حادثة الطنين التي ضحمت قيم الانتقالات الحاصلة، كما أنّ تماسك التربة S2 (0.05 Mpa) منخفض نسبياً مقارنةً مع تماسك التربة S1 (0.2 Mpa)، وبالتالي فإنّ انخفاض التماسك يعطي حرية أكبر لذرات التربة بالحركة عند تحريضها بهزة زلزالية، مما ينعكس على زيادة قيم الانتقالات الجانبية للمنشأ المستند على هذه التربة، وإنّ زيادة عدد طوابق المبنى تزيد من ارتفاعه وتصبح مساهمة الأنماط العليا أكثر احتمالية، مما يؤثر على شكل منحنى الانتقال الجانبي للمنشأ لذلك اختلف نوعاً ما منحنى الانتقال الـ 25 طابقاً عن مبنى الـ 20 طابقاً للتربة S2.

من جهة أخرى مع ثبات طبيعة الاستناد فإنّ قيمة الانتقال الأفقي الأعظمي باتجاه تحريض الهزة (الاتجاه X) تزداد بنسب مختلفة مع ازدياد ارتفاع المنشأ، فعند ازدياد عدد طوابق المبنى بنسبة 25% كانت نسب الزيادة في قيمة الانتقال الأفقي الطابقي الأعظمي باتجاه X في الطابق الأخير وفق التالي:

بعين الاعتبار مقارنة بالوثيقة التامة Fixed مع ثبات عدد طوابق المبنى. إن تقارب الدور المسيطر للهزة الزلزالية من دور التربة يجعل قوة القص القاعدي تزداد نتيجة حصول حادثة الطنين وبالتالي حدوث تضخيم في قيمة القوة. انخفضت قيمة قوة القص القاعدي باتجاه تطبيق الهزة للمباني المستندة على تربة صخرية مقارنة بالمباني ذات الوثيقة التامة وكانت نسب انخفاض القوة -1.40%، -16.23% للمباني ذات الطوابق 20، 25 على التوالي، بينما ازدادت قيمة قوة القص القاعدي باتجاه تطبيق الهزة للمباني المستندة على تربة سيلتية بحصية مقارنة مع المباني ذات الوثيقة التامة بسبب التقارب بين دور الهزة المسيطر $T_{Elcentro} = 0.68 \text{ sec}$ ودور التربة البحصية السيلتية $T_{S2} = 0.59 \text{ sec}$ حيث كانت نسب ازدياد قوة القص القاعدي 53.50%، 40.71% للمباني ذات الطوابق 20، 25 على التوالي.

وأيضاً من جهة أخرى مع ثبات طبيعة الاستناد فإن قيمة قوة القص القاعدي تزداد بنسب مختلفة مع ازدياد ارتفاع المنشأ، فعند ازدياد عدد طوابق المبنى بنسبة 25% كانت نسب زيادة قوة القص القاعدي 43.69%، 22.07%، 31.71% للوثيقة، التربة الصخرية، والتربة السيلتية البحصية على الترتيب.

7. الاستنتاجات:

7.1 تتقارب الاستجابة الزلزالية للأبنية البيتونية العالية ذات الجملة الإنشائية (أنبوب داخل أنبوب) عند اعتبارها مستندة على تربة صخرية من استجابتها عند اعتبارها مستندة كوثيقة تامة، مما يتيح المجال لإهمال وجود التربة الصخرية واعتبارها بمثابة الوثيقة التامة عند الدراسة، مما يوفر الجهد وزمن التحليل ويعطي نتائج موثوقة وصحيحة.

7.2 تختلف الاستجابة الزلزالية للأبنية البيتونية العالية ذات الجملة الإنشائية (أنبوب داخل أنبوب) عند اعتبارها مستندة على تربة سيلتية بحصية عن استجابتها عند اعتبارها مستندة كوثيقة تامة، مما يؤكد على ضرورة إدخال التأثير المتبادل بين التربة والمنشأ عند الدراسة والتصميم، كما أن تغير مواصفات التربة يؤثر على سلوك الجملة الإنشائية، لذلك يجب عدم الاكتفاء بالتصميم بناءً على قيمة قدرة تحمل التربة فقط وإنما دراسة حقل التربة تحت البناء بكافة مواصفاته.

7.3 تزداد قوى القص القاعدي والانتقالات الأفقية الأعظمية باتجاه تحريض الهزة الزلزالية بازدياد عدد طوابق البناء مع ثبات طبيعة الاستناد، وتزداد هذه القيم عند اقتراب أو توافق دور الهزة الزلزالية المسيطر من دور التربة.

7.4 عند دراسة الاستجابة الزلزالية للأبنية البيتونية يجب اتخاذ الإجراءات المناسبة لكيلا تتقارب القيم بين دور الهزة الزلزالية المسيطر ودور التربة، لأن ذلك يؤدي إلى حصول حادثة الطنين، ومن ثمّ تتضخم قيم القوى والانتقالات المحسوبة للبناء تضخماً ملحوظاً.

8. التوصيات والأعمال المستقبلية:

- 8.1 إعادة دراسة الاستجابة الزلزالية للأبنية البيتونية العالية ذات الجملة الإنشائية (أنبوب داخل أنبوب) مع تغيير بارامترات أخرى للمقارنة ومعرفة انعكاسها على سلوك واستجابة الجملة الإنشائية، وإمكانية تعميم النتائج بشكل أوسع، ومنها:
- ✓ زيادة عدد السجلات الزلزالية إلى 3 أو 7 سجلات مختلفة المحتوى الترددي والشدة العظمى PGA.
 - ✓ تصغير التباعد بين الأعمدة (المجازات) في الأنبوب الخارجي المكون من إطارات خاصة مقاومة للعزوم.
 - ✓ اعتبار الأنبوب الداخلي إطارات خاصة مقاومة للعزوم والأنبوب الخارجي جدران قص مع فتحات.
 - ✓ اعتبار الأنبوبين الداخلي والخارجي كلاهما مكون من إطارات خاصة مقاومة للعزوم.
 - ✓ اعتبار الأنبوبين الداخلي والخارجي كلاهما مكون من جدران قص مع فتحات.
 - ✓ زيادة عدد طوابق البناء لأكثر من 25 طابق.
- 8.2 إجراء دراسة مقارنة لسلوك الأبنية البيتونية العالية ذات الجمل الأنبوبية المختلفة (جملة أنبوب أحادي - جملة أنبوب ثنائي - جملة متعددة الأنابيب) مع أخذ التأثير المتبادل بين التربة والمنشأ بعين الاعتبار .
- 8.3 دراسة أثر أنواع أخرى من الترب على الاستجابة الزلزالية للأبنية البيتونية العالية ذات الجملة أنبوب داخل أنبوب.

المراجع References

- [9] الحلواني، أمجد، وعبد الواحد، محمد خير. (2019). دراسة الخصائص الديناميكية للمباني البيتونية باستخدام قياسات تجريبية للاهتزاز المحيط والنمذجة الرقمية. مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية. مج:35. عدد1. ص-ص: 83-97. دمشق: سوريا. جامعة دمشق.
- [10] درويش، عماد. (1997). تصميم الأبنية العالية لمقاومة الرياح. ط:2. دمشق: سوريا. دار دمشق للطباعة والنشر والتوزيع. ص: 312.
- [11] عقّاش، مهند. (2015). محاضرات في التأثير الديناميكي المتبادل بين المنشآت وترتّب التأسيس. جامعة دمشق/المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية. دمشق.
- [12] فرح، بشار. (2012). دراسة التفاعل بين المنشآت الهيكلية والترتبة في المجال اللاخطي تحت تأثير الأحمال الزلزالية بطريقة البرمجة الرياضية. رسالة ماجستير. الهندسة الإنشائية الزلزالية. المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية. جامعة دمشق. سوريا. ص:178.
- [13] كعدان، عمار. (2009). أسس التحليل الديناميكي والتصميم على الزلزال. حلب: سوريا. مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية/منشورات جامعة حلب. ص:490.
- [14] كنفاني، سناء. (2010). سلوك الأبنية العالية ذات الحمل الإنشائية (أنبوب داخل أنبوب) تحت تأثير الحمولات الزلزالية. رسالة ماجستير. الهندسة الإنشائية الزلزالية. المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية. جامعة دمشق. ص:86.
- [15] الكود العربي السوري، الملحق السادس عشر. (2018). تصميم المباني العالية وتنفيذها. ط:1. دمشق: سوريا. نقابة المهندسين. ص:303.
- [16] موسى، منهل. (2012). دراسة تأثير الفعل المتبادل بين التربة والمنشأ على استجابة المنشآت الخاضعة لأفعال زلزالية في الساحل السوري. رسالة ماجستير. الهندسة الإنشائية. كلية الهندسة المدنية. جامعة تشرين. سوريا. ص:142.
- [1] CTBUH Height Criteria for Measuring & Defining Tall Buildings. (2017). council on tall building and urban habitat. Chicago: USA. ctbuh.org. 8p.
- [2] Chinmayi. H.K, and Jayalekshmi, B.R. (2016). Effect of soil stiffness on seismic response of reinforced concrete buildings with shear walls Springer International Publishing Switzerland. Berlin. 18p.
- [3] Dode, P.A., Hement, S., and Nadar, J. (2015). Soil Structure Interaction of Tall Buildings. International Journal of Computer Applications. ISSN: 0975-8887, pp.15-18.
- [4] Rao, S., Ghorpade, V., and Rekha, V. (2016). Performance of lateral systems on tall buildings. International Journal of Civil Engineering and Technology. V:7. Issue 6. pp.550-557.
- [5] Getting Started with Abaqus, Version 6.14. (2014). The Abaqus Software is a product of Dassault Systèmes Simulia Corp. USA. 693p.
- [6] 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.
- [7] <http://www.eng.ucy.ac.cy/petros/Earthquakes>, for seismic records.
- [8] Deierlein, G., Reinhorn, A., and Willford, M. (2010). NEHRP Seismic Design Technical Brief-Nonlinear Structural Analysis for Seismic Design. National Institute of Standards and Technology. California. NIST GCR 10-917-5. 36p.