

## تأثير قدر الحركة الأرضية ومعامل بواسون في تحليل استجابة الموقع لترربة غضارية

رانية عبد الغني الأحمر\*<sup>1</sup> ميادة نجم الأحمد الكوسا<sup>2</sup> أمجد محمد بشير الحلواني<sup>3</sup>

\*1. طالبة دكتوراه - قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية - المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية - جامعة دمشق.

[rania.alahmar@damascusuniversity.edu.sy](mailto:rania.alahmar@damascusuniversity.edu.sy)

<sup>2</sup>. أستاذة - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق.

[mayada.kousa@damascusuniversity.edu.sy](mailto:mayada.kousa@damascusuniversity.edu.sy)

<sup>3</sup>. مدرس - قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية - المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية - جامعة دمشق.

[a.helwani@damascusuniversity.edu.sy](mailto:a.helwani@damascusuniversity.edu.sy)

### الملخص:

تعدُّ دراسة المواقع الصغيرة وتحليل استجابتها مهمة ضرورية لدراسة استجابة المنشآت السطحية وتشوهات التربة المحيطة بهذه المنشآت؛ ومن ثم دراسة التأثير المتبادل بين هذه المنشآت وبين التربة أسفلها وحولها. ولتحليل استجابة الموقع تأثير كبير في الممارسة العملية والنظرية لكل من المهندسين الإنشائيين والجيوتكنيكيين، وإن اختيار الحركة الأرضية يؤثر في نتائج هذا التحليل. لذلك تبحث هذه الورقة في تأثير قدر الحركة الأرضية على تحليل استجابة الموقع لترربة غضارية؛ باعتماد نموذج ثلاثي الأبعاد للتربة مع قاعدة متوافقة، وشروط حدود مناسبة مثل الحدود الصامتة والمجال الحر، ونماذج تأسيسية لاختطية معقدة ومتقدمة لمواد التربة؛ فضلاً عن التحليل الديناميكي اللاخطي باستعمال ثلاثة زلازل واقعية بثلاثة تصنيفات: كبيرة وقوية ومتوسطة، من أجل الحصول على نتائج واقعية وأكثر مصداقية. كما تم في هذا البحث تغيير قيم معامل بواسون للتربة المدروسة لمعرفة تأثيره في النتائج. تبين من البحث الحالي اختلاف نسبة تضخيم PGA عند سطح التربة باختلاف الهزة الزلزالية المطبقة واعتمادها على المحتوى الترددي للزلازل وسعته؛ فضلاً عن ضرورة اعتماد الحالة اللاخطية لسلوك التربة؛ إذ إن تشوهات القص ثنائي السطوح وقيم الهبوطات أعلى من تلك الخاصة بالتراب ذات السلوك الخطي. كما يجب التأكيد على ضرورة اعتماد القيم الديناميكية لمعامل بواسون وغيره من البارامترات اللازمة لتوصيف التربة عند إجراء التحليل الديناميكي لاستجابة الموقع.

**الكلمات المفتاحية:** تحليل استجابة الموقع، قدر الحركة الأرضية، معامل بواسون، تشوه القص ثنائي السطوح، الحدود الصامتة، المجال الحر، السلوك اللاخطي للتربة، المادة متعددة الخضوع والمستقلة عن الضغط، مادة غلاف تحليل الحالة الأولية.

تاريخ الإيداع: 2022/11/3

تاريخ القبول: 2023/11/30



حقوق النشر: جامعة دمشق - سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب CC BY-NC-SA

## Effect of Ground Motion Magnitude and Poisson's Ratio on Site Response Analysis for Clay Soil

Rania Abdulghani Al-Ahmar<sup>\*1</sup> Mayada Najem Al Ahmad Al Kousa<sup>2</sup> Amjad Muhammad Bachir Al-Helwani<sup>3</sup>

<sup>\*1</sup>. Eng, PhD student in the Structural Earthquake Engineering Department of the Higher Institute of Earthquake Studies and Research (HIESR)- Damascus University. [rania.alahmar@damascusuniversity.edu.sy](mailto:rania.alahmar@damascusuniversity.edu.sy)

<sup>2</sup>. Prof, Professor in the Structural Engineering Department at the Civil Engineering Faculty- Damascus University. [mayada.kousa@damascusuniversity.edu.sy](mailto:mayada.kousa@damascusuniversity.edu.sy)

<sup>3</sup>. Dr, Lecturer in the Structural Earthquake Engineering Department of the Higher Institute of Earthquake Studies and Research (HIESR)- Damascus University. [a.helwani@damascusuniversity.edu.sy](mailto:a.helwani@damascusuniversity.edu.sy)

### Abstract

Studying small sites and analyzing their response are considered important tasks for studying the surface structures' response and the surrounding soil deformations, in addition to studying the soil-structure interaction between these structures and the soil beneath and surrounding them. The site response analysis significantly affects practical and theoretical practice for structural and geotechnical engineers. Furthermore, the selection of ground motions influences the analysis results. This paper examines the effect of the ground motion magnitude on site response analysis of clay soil by adopting a three-dimensional soil model with a compliant base, and appropriate boundary conditions. These include quiet and free-field boundaries, and advanced complex nonlinear constitutive models for soil materials. Nonlinear dynamic analysis is adopted; using three real earthquakes with different classifications: major, strong, and moderate. This is used to obtain more reliable results. The effect of Poisson's ratio on the studied soil is evaluated by changing its value. It can be observed that PGA ratio amplification at the soil surface differs according to the frequency content and amplitude of the applied earthquake. It is important to adopt the nonlinear behavior of the soil, as the octahedral shear strains and settlement values are higher than those of soils with a linear behavior. It is also necessary to emphasize the adoption of the dynamic values of Poisson's ratio and other parameters required to characterize the soil when performing the dynamic site response analysis.

**Keywords:** Site Response Analysis, Ground Motion Magnitude, Poisson's Ratio, Octahedral Shear Strain, Free-Field, Quiet Boundaries, Nonlinear Behavior of Soil, Pressure Independent Multi Yield Material, Initial State Analysis Wrapper Material.

Received: 03/11/2022

Accepted: 30/11/2022



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

## المقدمة:

الأرضية المتوافقة مع طيف تصميم الصخور وستة مقاطع تعريف للتربة من ثلاث مناطق في هانوي (فيتنام) لإجراء التحليلات. تبين أن نتائج الاستجابة المحسوبة تختلف عن طيف التصميم؛ إذ تكون أقل من قيم طيف التصميم لصفن الموقع D، وأعلى من قيم الصنف C. علاوة على ذلك، تؤدي التحليلات الخطية المكافئة EQL إلى تقييم أعلى لكل من أطيف الاستجابة المقيسة والتسارعات الأرضية العظمى على السطح من تلك المحسوبة بطريقة NL؛ لأن الأخيرة تولد كمية أكبر من اللاخطية.

وقد أشار عددٌ من الباحثين إلى عدم كفاية تحليل استجابة الموقع أحادي البعد لحساب عدم التجانس في الطبقات تحت سطح الأرض [4],[5],[6]. أُجريت تحليلات استجابة الموقع ثنائية الأبعاد للنظر في تأثير التباين المكاني لسماكة الطبقات الجوفية وصلابتها [7],[8],[9],[10]. ومع ذلك، لا تزال هذه التحليلات في المرحلة الأولية للمواقع الصغيرة بالأمتار على الرغم من أهميتها في تصميم منطقة الصخر الأساس الضحلة. بينما ركزت معظم الأبحاث على الأحواض الكبيرة التي يبلغ طولها كيلومترات عدة.

درست تأثيرات ميول الحواف في السلوك الديناميكي للأحواض الغضارية الكبيرة. ولهذا الغرض اختير عدد من الترتيبات للميل على جوانب صخرة الأساس لتشمل كلاً من الميول الخفيفة والشديدة؛ وذلك من خفيف  $10^\circ$  و  $20^\circ$  إلى أكثر انحداراً  $30^\circ$  و  $40^\circ$ ؛ فضلاً عن أخذ ثلاثة أنواع من الغضار، وهي القاسي والمتوسط والطري [11]. أظهرت نتائج التحليلات ثنائية الأبعاد أن أنواع الغضار، وكتافة الحركات لها تأثير في الاستجابة ثنائية الأبعاد لمواقع الأحواض؛ إذ إن نمط التضخيم لا يختلف فقط من أجل الأنواع المختلفة للغضار؛ وإنما يختلف أيضاً باختلاف شدات الحركات المطبقة، وذلك لكل نوع من أنواع الغضار. أظهرت نتائج هذا البحث التأثير المهم لشدة الحركة الأرضية في السلوك ثنائي الأبعاد للوديان.

يهدف تحليل استجابة الموقع لحساب استجابة رواسب التربة تحت تأثير حركة زلزالية أرضية، وذلك عند عدم وجود منشأ (ويسمى استجابة المجال الحر)، ويعد مقدمة لتحليل التأثير المتبادل بين المنشأ والتربة (SSI)؛ إذ يجب حساب استجابة الموقع للمجال الحر قبل تحليل التأثير المتبادل [1]. يوفر تحليل استجابة الموقع تصوراً وتوقعاً لعدد من المخرجات والبارامترات الضرورية مثل السجلات الزمنية للتسارعات على سطح الأرض والتي تعد جوهرية للتحليل والتصميم الزلزالي، وكل من PGA و PGV اللذان يُعدان مؤشرات جيدة في تحديد المخاطر الزلزالية للمباني المنخفضة والمباني العالية على التوالي، والإجهادات والتشوهات لتقييم حالة التربة، والهبوطات لتصميم الأساسات.

تناول عددٌ من الأبحاث دراسة استجابة رواسب التربة، وتأثير مواصفات حركات الإدخال الأرضية، وظروف التربة المحلية في تحليل استجابة الموقع. اعتمد تحليل الاستجابة الأرضية أحادي البعد من قبل عدد من الباحثين. حُقّق في أهمية التحليل اللاخطي لتوصيف السلوك الزلزالي للغضار الطري، وتأثيره في استجابة أساسات الأوتاد الاحتكاكية؛ باستعمال اختبار أجهزة الطرد المركزي عالية الجاذبية [2]. استعمل برنامج DEEPSOIL لإجراء تحليل الاستجابة الأرضية أحادية الأبعاد، واستعملت الإثارات الجيبية كحركات إدخال. أظهر بحثهم تأثير استجابة التربة الغضارية بصلابة القص ومقاومة التربة؛ فضلاً عن شدة الزلزال. وهذا بدوره يؤثر بصورة مباشرة في استجابة الأوتاد الفردية ومجموعاتها؛ مع حدوث تخفيض في حالة الإثارة الأقوى، وتضخيم أكبر في حالة الإثارة صغيرة الشدة. وأشار الباحثون إلى أهمية استعمال حركات أكثر واقعية في المستقبل.

قُدِّرت قابلية تطبيق الكود الفيتنامي لمقاومة الزلازل TCVN 2012: 9386 من خلال سلسلة من تحليلات استجابة الموقع أحادية البعد (1D)؛ باستعمال كل من المنهجيات اللاخطية (NL) والخطية المكافئة (EQL) [3]. استعمل عددٌ من الحركات

تأثير قدر الحركة الأرضية ومعامل بواسون في تحليل استجابة.....

الأحمر، الأحمد الكوسا والحلواني

إن الهدف الرئيس من هذه الورقة هو تقييم تحليل استجابة الموقع لتربة من الغضار من الصنف  $S_D$ ، وذلك عند تعرضها لثلاث حركات أرضية تصنف كمتوسطة وقوية وكبيرة، وذلك في كل من حالة السلوك الخطي واللاخطي لمادة التربة؛ باستعمال نموذج تربة ثلاثي الأبعاد؛ فضلاً عن اعتماد شروط الحدود المناسبة لتمثيل الحالة الفعلية لهذه المواقع والاختيار المناسب للنماذج التأسيسية اللاخظية المطوّرة لمواد تربة الموقع وكذلك اعتماد التحليل الديناميكي اللاخطي باستعمال زلازل حقيقية مما يجعل تحليل استجابة الموقع يعطي نتائجاً قريبةً من الواقع. كما تهدف إلى تقييم تحليل استجابة الموقع عند تغيير قيمة معامل بواسون للتربة الغضارية المدروسة؛ لمعرفة تأثير اختيار قيمه على استجابة التربة.

## 2- مواد البحث وطرائقه:

اعتمد المنهج التحليلي في هذا البحث من خلال النمذجة ثلاثية الأبعاد (FEM)؛ باستعمال برنامج Opensees [14] و STKO [15] كعلاج قبل التحليل وبعده. يجدر ملاحظة أن 'أوامر' Opensees و STKO كُتبت ضمن علامات اقتباس لتمييزها. استعمل محلل Openseemp لتحليل النماذج المدروسة بعد تقسيمها إلى أقسام (أو أجزاء) عدة من أجل إجراء التحليل المتوازي.

### 2-1- اعتبارات النمذجة الديناميكية:

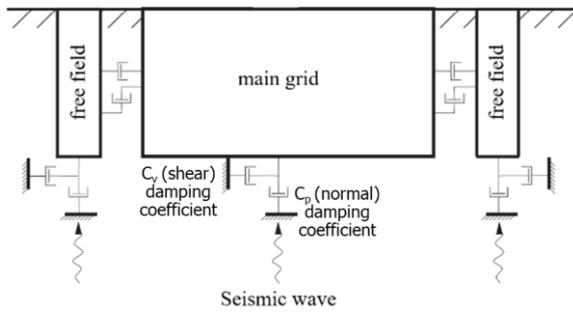
اعتمدت عدة معايير واعتبارات من أجل النمذجة الديناميكية وهي: اعتماد الشروط الحدية المتضمنة كلاً من الحدود الصامتة وحدود المجال الحر؛ فضلاً عن اعتماد القاعدة المتوافقة، والتحميل الديناميكي باستعمال السجل الزمني لسرعة الحركة الأرضية من خلال معامل التخميد من أجل إثارة قاعدة التربة، كما اعتُبر انتشار الموجة الدقيق وهندسية الشبكة باعتماد تحليل تحويل فورييه السريع؛ فضلاً عن استعمال تخميد ريلي. وسيُفصّل في هذه الاعتبارات ضمن الفقرات التالية:

### 2-1-1. الشروط الحدية:

أجري تحليلً ديناميكيً ثنائي الأبعاد لسته مقاطع جانبية صغيرة المقياس تحت سطح الأرض في شبه الجزيرة الهندية؛ باستعمال FLAC-2D من خلال اعتماد شروط حدية مناسبة وبحسبان التخميد الهستيري [12]. اختير ثلاث عشرة حركة أرضية كمدخلات للتحليل، وعُبر عن نتائج تحليل استجابة الموقع بعامل التضخيم للأدوار القصيرة (Fc) وعامل التضخيم للأدوار الطويلة (Fs). يُظهر عامل التضخيم للأدوار الطويلة في حالة مواقع التربة القاسية قيماً أقل من قيمه للأدوار القصيرة. على العكس من ذلك، أدت التربة الطرية إلى قيم أعلى لعامل التضخيم للأدوار الطويلة من تلك الخاصة بالأدوار القصيرة.

يتضح من الأبحاث السابقة أن تحليلات استجابة الموقع اعتمدت على نماذج أحادية وثنائية الأبعاد للترب المدروسة. وبخصوص تحليلات استجابة الموقع ثنائية الأبعاد، فقد ركز البحث على أحواض كبيرة بطول كيلومترات عدة، وأوصى بدراسة المواقع الصغيرة بالأمتار. وبصورة عامة، لم تجمع معظم الأبحاث عند دراسة تأثير الحركة الأرضية بين النموذج ثلاثي الأبعاد للتربة مع القاعدة المتوافقة، وشروط الحدود المناسبة مثل الحدود الصامتة والمجال الحر، والنماذج التأسيسية اللاخظية المتقدمة لمواد التربة؛ فضلاً عن ضرورة استعمال زلازل واقعية وبقدر مختلف عند إجراء التحليل الديناميكي اللاخطي من أجل دراسة تحليل استجابة الموقع. وقد اعتمدت هذه الاعتبارات عند دراسة تأثير أنواع الترب الغضارية في تحليل استجابة الموقع [13]؛ بدون التطرق إلى تأثير تغير الحركات الأرضية في تحليل استجابة الموقع. كما أن الخطأ في اختيار قيم معامل بواسون للحالة الستاتيكية بدلاً من الحالة الديناميكية عند إجراء التحليل الديناميكي للتربة ما يزال موجوداً عند معظم المهندسين السوريين. لذلك كان لابد من دراسة هذه العوامل؛ مع اعتماد النمذجة ثلاثية البعد والشروط الحدية المناسبة ونماذج مواد متطورة من أجل الحصول على نتائج موثوقة وأكثر واقعية لاستجابة الموقع.

### 1- الهدف من البحث:



الشكل (1) تمثيل للشروط الحدية المستعملة في التحليل الزلزالي؛ متضمنة مخدات Lysmer-Kuhlemeyer للقاعدة المتوافقة والحدود الصامتة، وحدود المجال الحر.

## 2-1-2. التحميل الديناميكي والقاعدة المتوافقة:

يستعمل سجل زمني لقوة أفقية متناسبة مع السجل الزمني لسرعة الحركة الأرضية المدروسة من أجل إثارة قاعدة نموذج التربة. يُجرى تحليل استجابة الموقع لرواسب التربة ثلاثية الأبعاد بنصف فراغ مرن في أسفلها. وبإدراج مخدات [16] في قاعدة نموذج التربة ثلاثية الأبعاد من خلال 'DistributedLK3D' لمحاكاة الصلابة المحدودة الكامنة في نصف الفضاء السفلي. قيمة معامل المخمد تساوي إلى ناتج ضرب الكثافة الكتلية بسرعة موجة القص والمساحة "الواحدية" للقاعدة. تعدّ الصلابة المحدودة لطبقة الصخر الأساس السفلية باستعمال هذه التقانة من خلال السماح بإشعاع الطاقة مرة أخرى في مادة الأساس. يمكن مراجعة [19] و [20] من بين آخرين للحصول على مزيد من المعلومات والتفاصيل حول هذا النهج في النمذجة.

## 2-1-3. تخميد ريلي Rayleigh damping:

يجب استعمال التخميد لتبديد نسبة معينة من الطاقة بسبب السلوك المرن للمادة؛ إذ إنه من المهم إعادة تقديم المستوى الصحيح من التخميد المستقل عن التردد للمواد في التحليلات الديناميكية. عادةً ما يقع التخميد للمواد الجيولوجية في حدود من 2 إلى 5% من التخميد الحرج [18]. ومع ذلك فإن تخميد قليل من تخميد ريلي ضروري لتجنب طنين الجملة عند مستويات التشوه المنخفضة؛ إذ يمكن أن يحدث تبديد كبير للطاقة في أثناء تدفق اللدونة عند استعمال أحد النماذج التأسيسية لللدونة المادة

تأثير قدر الحركة الأرضية ومعامل بواسون في تحليل استجابة.....

تُطبّق الحدود الصامتة والمجال الحر عند حدود مجال التربة؛ فضلاً عن الشروط الحدية الستاتيكية الاعتيادية، ويوضّح القسم الآتي هذه الحدود بإيجاز.

### (a) الحدود الصامتة (Quiet Boundaries):

تستعمل هذه الحدود الماصة أو الصامتة في التحليلات الديناميكية للسماح بإشعاع الطاقة الضروري، ومنع موجات الانتشار الخارجية من الانعكاس مرة أخرى في النموذج؛ لأن الاعتماد على استعمال نموذج أكبر للحل سيقلل من مشكلة الانتشار بحيث يمتص التخميد المادي معظم الطاقة في الموجات المنعكسة من الحدود البعيدة إلا أنه سينتج عنه عبء حسابي كبير. طوّرت حدودٌ لرجة تستند إلى استعمال مخدات في كل من الاتجاهات القاصة والمماسية عند حدود النموذج [16].

### (b) حدود المجال الحر (Free-Field Boundaries):

يجب أن تُؤخذ حركة المجال الحر التي يمكن أن تحدث في غياب المنشأ في الحسبان من خلال الشروط الحدية على جوانب النموذج. يجب تعيين هذه الحدود على مسافات مناسبة من أجل تأمين شروط المجال الحر، وتقليل انعكاس الموجات. يمكن تحديد مسافات صغيرة نسبياً لهذه الحالة بالنسبة للتربة التي تحتوي على كمية كبيرة من التخميد المادي [17]. وعلى العكس من ذلك، يمكن أن تكون هذه المسافة كبيرة جداً عندما يكون التخميد صغيراً؛ مما يؤدي إلى نموذج كبير جداً وغير عملي. طُوّر إجراء بديل لشروط المجال الحر من خلال تطبيق حسابات المجال الحر بالتوازي مع تحليل الشبكة الرئيسية، بحيث تحافظ الحدود على خصائصها غير العاكسة [18].

يعرض الشكل (1) الارتباط بين الحدود الجانبية للشبكة الرئيسية للتربة الداخلية وشبكة الحقل الحر؛ باستعمال المخدات للرجة لمحاكاة الحدود الصامتة. تطبّق القوى غير المتوازنة للمجال الحر على حدود الشبكة الرئيسية.

تأثير قدر الحركة الأرضية ومعامل بواسون في تحليل استجابة..... في التحليل. لذلك يُعدّ اختيار التخميد أكثر أهمية في التحليل الخطي منه في التحليل اللاخطي [21].

## 2-1-4. انتشار الموجة الدقيق وهندسية الشبكة:

يُطبّق تحليل تحويل فورييه السريع (FFT) للحصول على محتوى تردد الهزة الأرضية. يؤثر محتوى التردد لحركة الإدخال في اختيار تقسيم الشبكة، وذلك من أجل الانتشار الدقيق للموجة. يمكن أن تتأثر دقة انتقال الموجة بخصائص سرعة الموجة  $V_s$  ومحتوى التردد  $f$  لموجة الإدخال، وذلك في التحليلات الديناميكية. وفقاً لـ [22]، يجب أن يكون حجم العنصر  $\Delta l$  أقل من عُشر إلى ثُمْن الطول الموجي المرتبط بأعلى مكون تردد لموجة الإدخال؛ بمعنى:

$$\Delta l \leq \frac{V_s/f}{(8 \rightarrow 10)} \quad (1)$$

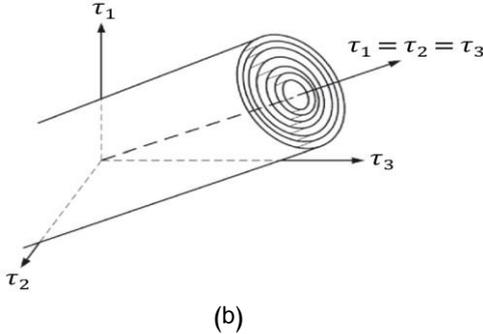
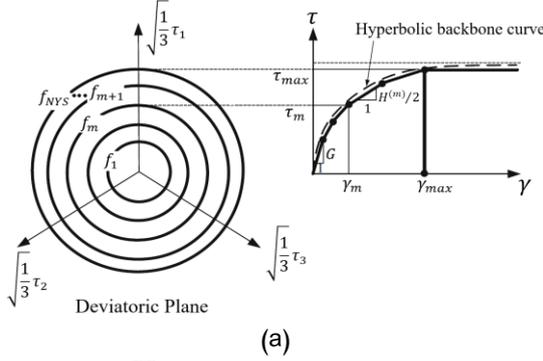
## 2-2- النماذج التأسيسية لمواد التربة، ومرحلة تحديث المواد:

استُعمل عدد من النماذج التأسيسية المتطورة للتربة وهي كالآتي: (1) مادة الخصائص المرنة 'ElasticIsotropic': وهي مادة متعددة الأبعاد [23]؛ تُستعمل من أجل تمثيل السلوك الخطي للتربة في الحالة المرنة.

(2) المادة متعددة الخضوع والمستقلة عن الضغط 'PressureIndependentMultiYield' (PIMY): وهي مرنة لدنة مادة متعددة الأبعاد تُستعمل من أجل تمثيل السلوك اللاخطي ومحاكاة السلوك الدوري وأحادي الشوط للمواد التي لا تكون استجابتها للقص حساسة لتغير الحصر، مثل الغضار والتراب العضوية. تكمن المرونة في الاستجابة الحجمية؛ بينما تظهر اللدونة فقط في الاستجابة الانحرافية. تُصاغ هذه اللدونة من خلال مفهوم الأسطح المتعددة من نوع Von Mises مع قاعدة التدفق الترابطي. تكون استجابة هذه المادة مرنة وخطية عند تطبيق أحمال الجاذبية الستاتيكية. في حين أن استجابة إجهاد-تشوه تكون مرنة لدنة في مرحلة التحميل الديناميكي السريع (غير الجاف أو غير المصزف) [24],[25].

الأحمر، الأحمد الكوسا والحلواني

يوضّح الشكل (2) منحنى القطع الزائد للاستجابة اللاخطية (إجهاد-قص-تشوه) للتربة، وتمثيل متعدد الخطية من أجل اللدونة متعددة السطوح. تحدد سطوح الخضوع ضمن نظام الأسطح المتعددة من اللدونة لمناطق معامل القص الثابت في فضاء الإجهاد وتستعمل لتمثيل منحنى القطع الزائد من خلال تمثيل متعدد الخطية. يُمثل كل جزء خطي مجالاً لسطح تلدن  $f_m$  مع معامل قص  $H_m$  من أجل  $m = 1, 2, \dots, NYS$ ، حيث يشير  $NYS$  إلى العدد الإجمالي لسطوح التلدن [26]. يمثل سطح التلدن الخارجي  $f_{NYS}$  والذي يتوافق مع مقاومة القص العظمى  $\tau_{max}$  لسطح الانهيار، وهو يتوافق مع معامل قص صفري  $H_{NYS}$ .



الشكل (2) منحنى القطع الزائد للاستجابة اللاخطية (قص-تشوه) للتربة وتمثيل متعدد الخطية من أجل اللدونة متعددة السطوح (بعد [26],[27],[28]): (a) إجهاد القص ثنائي السطوح - تشوه؛ (b) الأسطح متعددة الخضوع من نوع Von Mises.

تحدد زاوية الاحتكاك  $\phi$  والتماسك  $c$  لاختلاف مقاومة القص (ثنائي السطوح) العظمى  $\tau_f$ ، وهي تابع للحصر الفعال الحالي  $p'_i$ :

تأثير قدر الحركة الأرضية ومعامل بواسون في تحليل استجابة.....

الأحمر، الأحمد الكوسا والحلواني

يُعدّ استعمال 'InitialStateAnalysisWrapper' في التحليل الديناميكي أمراً صعباً بعض الشيء. حيث يُفسّر في بعض الأحيان ضبط الإزاحة على الصفر على أنها إزاحة أولية في الخطوات اللاحقة؛ مما يؤدي إلى اهتزازات غير مرغوبة [32],[33]. لذلك يجب إجراء تحليل ستاتيكي للأحمال الشاقولية الناجمة عن الوزن الذاتي للتربة في مرحلة الراحة بعد إيقاف تحليل الحالة الأولية؛ لكي يُتخلّص من هذه الاهتزازات غير المرغوبة والناجئة عن تحليل الحالة الأولية.

فضلاً عن استعمال:

$$\tau_f = \frac{2\sqrt{2} \sin \phi}{3 - \sin \phi} p'_i + \frac{2\sqrt{2}}{3} c \quad (2)$$

يُحدّد منحنى القطع الزائد للقص ثنائي السطوح (إجهاد - تشوه) لتوليد أسطح تلقائية عند حصر ثابت  $p'$ ، على النحو الآتي:

$$\tau = \frac{G \gamma}{1 + \frac{\gamma}{\gamma_r} \left( \frac{p'_r}{p'} \right)^d} \quad (3)$$

حيث يعوض  $\gamma_r$  بالمعادلة الآتية عند  $p'_r$ :

$$\tau_f = \frac{2\sqrt{2} \sin \phi}{3 - \sin \phi} p'_r + \frac{2\sqrt{2}}{3} c = \frac{G_r \gamma_{max}}{1 + \gamma_{max}/\gamma_r} \quad (4)$$

يشكل كل من سطح الخضوع وقانون التقسية وقاعدة التدفق المكونات الرئيسية لنموذج اللدونة متعدد السطوح التلدن والمستقل عن الضغط المطبق [24],[28],[29],[30].

**4) مرحلة تحديث المواد 'updateMaterialStage':** يمكن اتباع مرحلتين لإجراء التحليل الزلزالي: أولاً، تُضبط مرحلة المادة على القيمة 0 في أثناء تطبيق حمل الجاذبية (والأحمال الثابتة إن وجدت) ويكون سلوك المواد مرناً خطياً (مع  $B_r$  و  $G_r$  كمعاملات مرنة). ثانياً، تُعدّل مرحلة المادة إلى 1 بعد تطبيق أحمال الجاذبية السابقة. من أجل المرحلة 1: تتحول استجابة (إجهاد-تشوه) الانحرافية في التحليل الديناميكي السريع اللاحق إلى مرنة-لدنة؛ بينما تبقى الاستجابة الحجمية مرنة-خطية [24],[34]. وقد طُبّق في هذا البحث مرحلة تحديث المواد بمرحلتيه 0 و 1 من أجل المادة متعددة الخضوع والمستقلة عن الضغط "PIMY"، بينما طُبِّقت مرحلة واحدة فقط على مادة الخصائص المرنة 'ElasticIsotropic'.

### 2-3- مراحل تحليل استجابة الموقع:

**المرحلة (1):** بناء نموذج التربة، وإجراء التحليلات الستاتيكية: وتتضمن هذه المرحلة إضافة النموذج المكون من التربة، ومن ثم إضافة قيود النموذج التي تعمل على تثبيت التربة وأعمدة الحقل الحرة عن طريق تثبيت  $U_x$  و  $U_y$  و  $U_z$  للأسطح الشاقولية المتعامدة مع المحاور  $X$  و  $Y$  وقاعدة التربة على التوالي، يليها تشغيل تحليل الحالة الأولية، ثم تحديث مادة التربة إلى الحالة المرنة (المرحلة 0 في `updateMaterialStage`) وتطبيق هذه الخطوة فقط عند استعمال مادة لاختية. يُجرى بعدها التحليل الستاتيكي للأحمال الشاقولية أو أحمال الجاذبية من أجل الحالة

سيُستعمل في هذا البحث التوليد التلقائي لسطوح مادة (PIMY)، مع عدد لأسطح الخضوع يساوي  $NYS=20$ ، وذلك وفقاً لتوصيات [31]؛ إذ إن استعمال عدد قليل جداً من هذه السطوح يؤدي إلى حدوث اهتزاز عالي التردد في النموذج، كما أن زيادة عددها يؤدي إلى زيادة الوقت اللازم لإكمال التحليل.

### 3) مادة غلاف تحليل الحالة الأولية

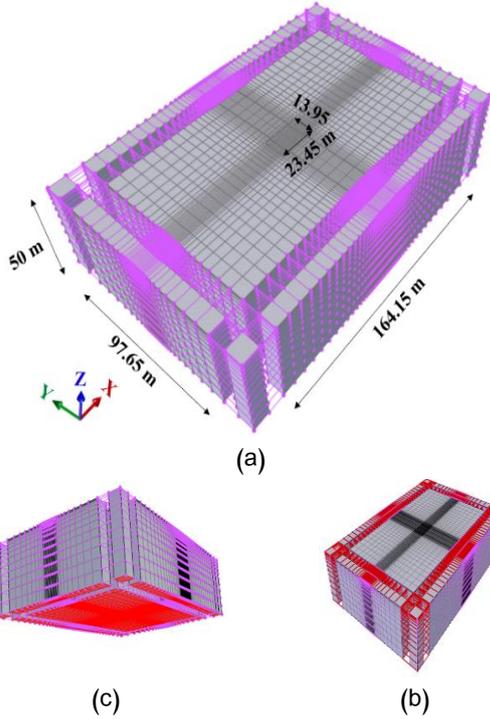
'InitialStateAnalysisWrapper':

وهي مادة متعددة الأبعاد؛ تُستعمل مع المادتين السابقتين لتحديد الشروط الأولية للمسألة والتحليلات [32],[33]؛ إذ يمكن استعمال أمر تحليل الحالة الأولية 'InitialStateAnalysis' لتحديد الشروط الأولية باستعمال هذه المادة. يُطوّر مجال الإجهاد الأولي؛ بينما يُحافظ على هندسية المشكلة الأصلية عند استعمال هذه المادة [32],[33]. يمكن استعمال هذين الأمرين لإنشاء حالة الإجهاد لأحمال الجاذبية في التربة. حيث يجب أن يكون هناك إجهادات غير معدومة مع انتقالات معدومة لنموذج التربة في نهاية التحليل [33]؛ بمعنى آخر: تكون التربة مستقرة تحت تأثير وزنها الذاتي؛ أي إن هبوطها وانتقالاتها الشاقولية معدومة مع وجود إجهادات أولية فيها.

الأحمر، الأحمد الكوسا والحلواني

$$C = \rho \cdot V_{(s \text{ or } p)} \cdot A \quad (5)$$

حيث  $\rho$ : الكثافة الكتلية (التربة أو الصخر)؛  $V_{(s \text{ or } p)}$ : سرعات الأمواج s أو p حسب الاتجاه المطلوب (وذلك للتربة / الصخر)، مما يُنتج ثلاثة مكونات لمعامل التخميد C: واحد في الاتجاه الناظمي  $C_p$  واثنان في الاتجاه المماسي أو القاص  $C_v$  و A هي مساحة (التربة أو الصخر الأساس).



الشكل (3) منظور ثلاثي الأبعاد لنموذج العناصر المحدودة المدروس، يبين: (a) أبعاده، ومخمدات Lysmer-Kuhlemeyer المدمجة في: (b) الحدود الجانبية "LK 1"؛ فضلاً عن تساوي درجات الحرية equalDOF للحقول الحرة؛ (c) قاعدة النموذج "LK 2".

ستؤخذ زاوية قاعدة تجويف الأساس الموجودة عند سطح التربة المدروسة كنقطة علام لتسجيل المخرجات المطلوبة.

## 2-5- اختيار معاملات التربة المدروسة بالاعتماد على عدد من المراجع والكودات:

استعمل عدد من المراجع لاختيار قيم بارامترات التربة التي ستعتمد في باقي مراحل الدراسة وإجراء تقاطعات بين هذه المراجع من أجل الوصول إلى قيم منطقية وواقعية لهذه البارامترات، كما

تأثير قدر الحركة الأرضية ومعامل بواسون في تحليل استجابة.....

المرنة. ثم تحديث مادة التربة إلى الحالة اللدنة (المرحلة 1 في updateMaterialStage) وتُطبق هذه الخطوة فقط عند استعمال مادة لاخطية. ثم يُجرى التحليل الستاتيكي للأحمال الشاقولية من أجل الحالة اللدنة (تُطبق هذه الخطوة فقط عند استعمال مادة لاخطية). بعدها يُوقف تشغيل تحليل الحالة الأولية (TCL script: InitialStateAnalysis off)؛ لإجراء التحليل الستاتيكي للأحمال الشاقولية لمرحلة الراحة، وتسجيل نتائج التربة، مع إضافة تخميد ريلي للتربة. ثم إزالة التثبيتات المعروفة سابقاً باستعمال الأمر 'removeSpConstraints'؛ وإضافة قوى  $F_x$  و  $F_y$  و  $F_z$  من ردود الأفعال بعد إزالة التثبيتات؛ باستعمال سلاسل زمنية ثابتة لتطبيقهم.

**المرحلة (2):** تطبيق الحدود اللزجة LK على جوانب وقاعدة التربة؛ فضلاً عن تساوي درجات الحرية equalDOF لأعمدة الحقل الحر؛ وتتضمن هذه المرحلة إضافة نموذج المرحلة الثانية، والذي يتكون من الحدود اللزجة "LK 1" على جوانب التربة، وتساوي درجات الحرية equalDOF لأعمدة الحقل الحر، ومن ثم إضافة قيود للنموذج، وهي الحدود اللزجة "LK 2" في قاعدة التربة؛ فضلاً عن تساوي درجات الحرية equalDOF لأعمدة الحقل الحر، يليها إضافة الحمل الزلزالي بعد إدخال قوة ديناميكية أسفل التربة في الاتجاه المدروس. ثم إجراء التحليل الديناميكي اللاخطي.

## 2-4- نموذج العناصر المحدودة المُستعمل في الدراسة:

يوضّح الشكل (3) منظور ثلاثي الأبعاد لنموذج العناصر المحدودة المُستعمل للتربة المدروسة؛ مع أبعاد النموذج المدروس وشبكة تقسيمه العامة؛ فضلاً عن مخمدات Lysmer-Kuhlemeyer المدمجة في اتجاه القص والناظمي، في: (b) الحواف الجانبية لمجال التربة الداخلي؛ باستعمال عناصر صفيرية الطول (موزعة) ومواد لزجة أحادية المحور، (c) قاعدة النموذج باستعمال 'DistributedLK3D'. تتطلب المادة اللزجة لهذه المخمدات معامل التخميد C والذي يُعرّف على النحو الآتي [16]:

تأثير قدر الحركة الأرضية ومعامل بواسون في تحليل استجابة.....

الأحمر، الأحمـد الكوسا والحلواني

الانهيار بالنسبة للتحميل غير المصرّف من حيث الضغوط الكلية شبه أفقي ( $\phi = \phi_u = 0$ ). ومن ثم هناك حاجة إلى بارامتر واحد فقط؛ وهو مقاومة القص غير المصرّف ( $C_u$ )، في حين أن الزاوية ( $\phi_u$ ) تساوي الصفر. ومن ثم تُجرى التحليلات الديناميكية للترب الغضارية في الشروط غير الجافة؛ إذ إنها تُمثل الحالة الأكثر تعقيداً لهذه التربة [45].

وإلى الآن، ما يزال الخطأ في اختيار قيم معامل بواسون للحالة الستاتيكية بدلاً من الحالة الديناميكية عند إجراء التحليل الديناميكي للتربة موجوداً عند معظم المهندسين السوريين، لذلك سيُدرس في هذا الفصل تأثير تغيير قيم معامل بواسون  $\nu$  في تحليل استجابة الموقع لتربة من الغضار القاسي، وذلك في الحالتين المرنة واللينة للتربة. اعتمدت ثلاث قيم لمعامل بواسون كالآتي: ( $\nu = 0.31, 0.35, 0.40$ )، حيث تمثل القيمة 0.40 للحالة الديناميكية و0.31 للحالة الستاتيكية وتقع القيمة 0.35 بينهما؛ واعتمدت خصائص التربة نفسها على كامل ارتفاعها (50m فوق الصخر الأساس). استعمل زلزال Tabas لإثارة أسفل التربة. وبين الجدول (2) قيم البارامترات المعتمدة للترب الغضارية المدروسة وخصائصها؛ مع تغيير قيمة معامل بواسون فيها؛ فضلاً عن خصائص الصخر الأساس.

قورنت هذه القيم مع القيم الموجودة في [24],[25] للحصول على مزيد من الموثوقية. وبين الجدول (1) قيم بارامترات التربة التي سنعتمد في دراسة التأثير المتبادل بين المنشأ والتربة؛ فضلاً عن المراجع المعتمدة لتحديد هذه البارامترات.

الجدول (1) بارامترات التربة المدروسة والمراجع المعتمدة لتحديدها:

| البارامتر                            | قيمه                   | المراجع                                 |
|--------------------------------------|------------------------|---|
| صنف التربة ونوعها وارتفاعها          | $S_D$ ، غضار قاسٍ، 50m | [24],[25],[35],[36],[37],[38],[39],[40] |
| معامل المرونة الديناميكي E           | 200000 kPa             | [41],[25],[24]                          |
| الكثافة الكتلية $\rho$               | 1.9 kN/m <sup>3</sup>  | [42],[41],[25],[24]                     |
| عامل بواسون $\nu$ للتحميل الديناميكي | 0.4                    | [43],[25],[24]                          |
| التماسك                              | 90                     | [44],[25],[24]                          |
| PeakShearStra تشوه القص ثماني السطوح | 0.1                    | [25],[24]                               |

حيث يتم الوصول إلى أقصى مقاومة للقص عند تشوه القص ثماني السطوح PeakShearStra، ويُحدد عند ضغط الحصر الفعال الوسطي المرجعي  $p'_r \downarrow \text{refPress}$ .

## 2-6- العوامل المدروسة والمؤثرة في تحليل استجابة

### الموقع لنموذج التربة الغضارية المعتمدة:

سيُدرس تأثير كل من قدر الحركة الأرضية وقيمة معامل بواسون في تحليل استجابة الموقع لنموذج التربة الغضارية المعتمدة في الدراسة، وفق الآتي:

## 2-6-1- تأثير قيمة معامل بواسون في تحليل استجابة

### الموقع للتربة الغضارية المعتمدة:

عند تحميل الغضار المشبع، فإنه لن يسمح بتصريف المياه على الفور، ويبقى غير مصرّف؛ مما يخفّض من مقاومة القص وكذلك معامل الأمان للأساس. لذلك من الضروري تقييم الاستقرار على المدى القصير، من حيث الضغوط الكلية؛ والتي عادة ما تكون حرجة للغاية من الاستقرار على المدى الطويل. يكون مغلف

تأثير قدر الحركة الأرضية ومعامل بواسون في تحليل استجابة.....

الأحمر، الأحمد الكوسا والحلواني

الجدول (2) خصائص الصخر الأساس والترب الغضارية المدروسة عند تغيير قيمة معامل بواسون فيها:

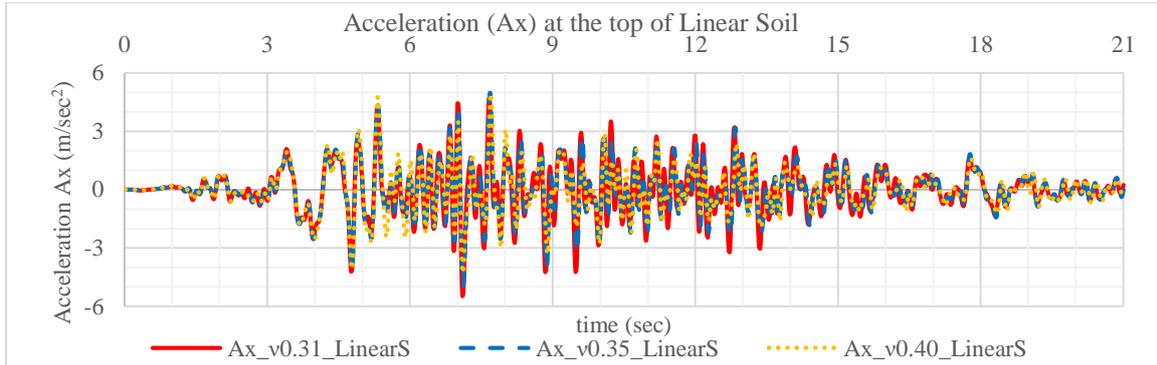
| density<br>(Mg/m <sup>3</sup> ) | weight<br>(kN) | V <sub>p</sub> (m/s) | V <sub>s</sub> (m/s) | G (kPa)  | ν    | E (kPa) | K (kPa)  | C <sub>v</sub> . | C <sub>h</sub> . |
|---------------------------------|----------------|----------------------|----------------------|----------|------|---------|----------|------------------|------------------|
| Stiff Clay / SD / (ν=0.31)      |                |                      |                      |          |      |         |          |                  |                  |
| 1.9                             | 18.639         | 381.98               | 200.44               | 76335.88 | 0.31 | 200000  | 175438.6 | 725.753          | 380.839          |
| Stiff Clay / SD / (ν=0.35)      |                |                      |                      |          |      |         |          |                  |                  |
| 1.9                             | 18.639         | 411.02               | 197.45               | 74074.07 | 0.35 | 200000  | 222222.2 | 780.946          | 375.154          |
| Stiff Clay / SD / (ν=0.40)      |                |                      |                      |          |      |         |          |                  |                  |
| 1.9                             | 18.639         | 474.94               | 193.89               | 71428.57 | 0.40 | 200000  | 333333.3 | 902.378          | 368.394          |
| Bed Rock / SB                   |                |                      |                      |          |      |         |          |                  |                  |
| 2.4                             | 23.544         | 2236.07              | 1290.99              | 4000000  | 0.25 | 1E+07   | 6666667  | 5366.563         | 3098.387         |

### النتائج والمناقشة:

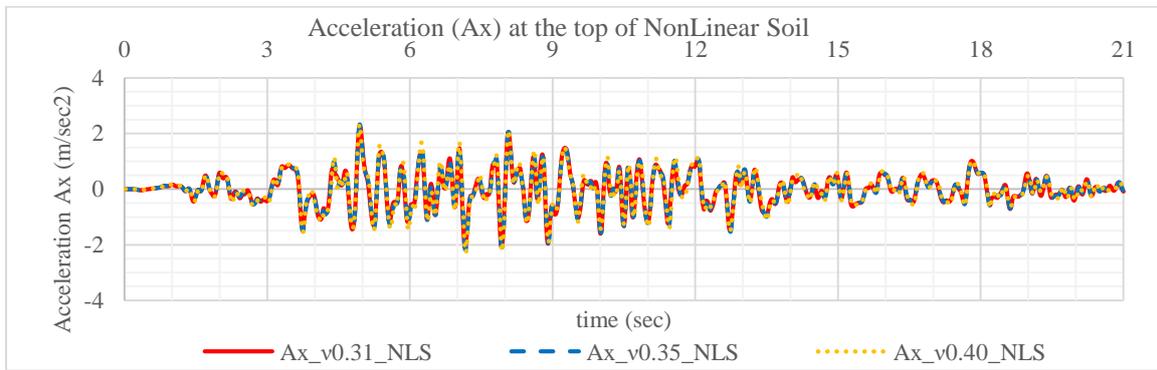
و0.4 على التوالي؛ ومن ثم لم يتجاوز الفرق بينهما وبين قيمتها من أجل معامل بواسون 0.3 النسب 8.45% و9.71% على التوالي. في حين كانت قيم PGA من أجل التربة اللدنة بحدود 0.228، 0.237 و0.236 من أجل معاملات بواسون مساوية إلى 0.31، 0.35 و0.4 على التوالي، وقيم الفرق عن القيمة المقابلة لمعامل بواسون 0.31 كانت بحدود 3.95% و3.51% على التوالي من أجل 0.35 و0.4؛ ومن ثم كان التأثير الأكبر لتغيير قيم معامل بواسون على التسارعات عند سطح التربة من أجل الحالة المرنة للتربة بسلوك خطي.

يعرض الشكل (4) تغير السجلات الزمنية لتسارعات السطح  $A_x$  مع تغير قيمة معامل بواسون للتربة المدروسة بين القيم 0.31، 0.35 و0.40. يمكن ملاحظة تقارب قيم التسارعات من أجل التربة اللدنة بسلوك لاخطي عند تغيير قيم معامل بواسون بين القيم الثلاث. ظهر الفرق في التسارع المسجل على سطح التربة من أجل الحالة المرنة؛ بينما تقاربت القيم من أجل الحالة اللدنة؛ إذ أعطت الحالة المرنة بمعامل بواسون 0.31 أكبر قيمة لـ PGA بحدود 0.556؛ بينما أكبر قيمة لـ PGA كانت بحدود 0.509 و0.502 من أجل قيم معامل بواسون 0.35

تأثير قدر الحركة الأرضية ومعامل بواسون في تحليل استجابة..... الأحمر، الأحمد الكوسا والحلواني



(a)

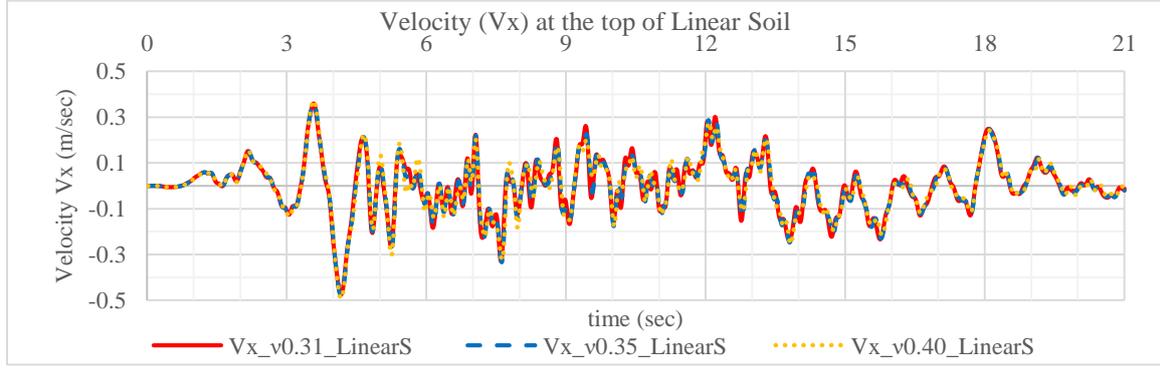


(b)

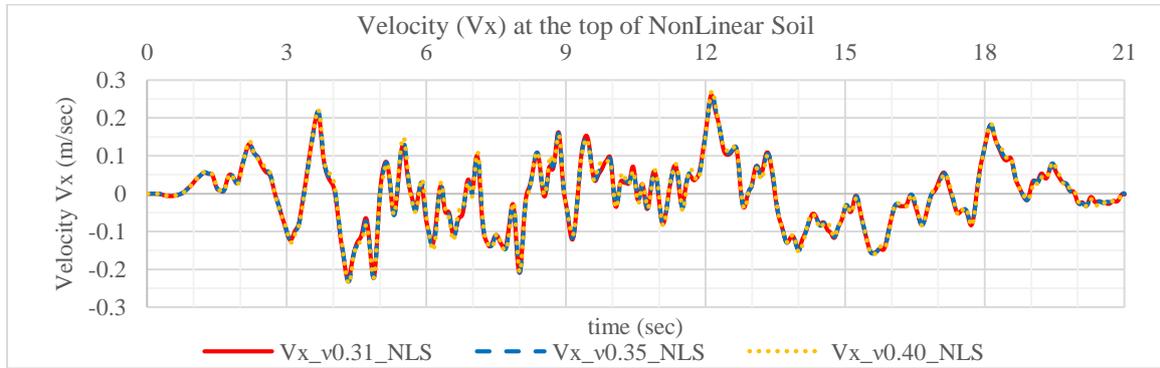
الشكل (4) تغير قيم السجلات الزمنية للتسارعات  $A_x$  عند سطح التربة من أجل: (a) السلوك الخطي للتربة، (b) السلوك اللاخطي للتربة. (مسجلة عند نقطة العلام).

يعرض الشكل (5) تغير السجلات الزمنية للتسارع على سطح التربة  $V_x$  مع تغير قيمة معامل بواسون للتربة المدروسة بين القيم 0.31، 0.35 و0.40. يمكن ملاحظة تقارب قيم التسارع عند تغيير قيم معامل بواسون بين القيم الثلاث من أجل الحالتين المرنة واللينة للتربة؛ إذ كانت قيم PGV من أجل الحالة المرنة للتربة بقيم معامل بواسون 0.31، 0.35 و0.40 بحدود 0.476، 0.482 و0.491 على التوالي؛ مع فرق عن قيمة معامل بواسون 0.31 بحدود 1.26% و3.15% على التوالي.

من أجل معامل بواسون 0.35 و0.4. في حين كانت قيم PGV من أجل التربة اللينة بحدود 0.264، 0.269 و0.276 من أجل معاملات بواسون مساوية إلى 0.31، 0.35 و0.4 على التوالي، وقيم الفرق عن القيمة المقابلة لمعامل بواسون 0.31 كانت بحدود 1.89% و4.55% على التوالي من أجل 0.35 و0.4؛ ومن ثم لم يكن لتغير قيم معامل بواسون تأثير كبير في السرعة عند سطح التربة في الحالتين المرنة واللينة.



(a)

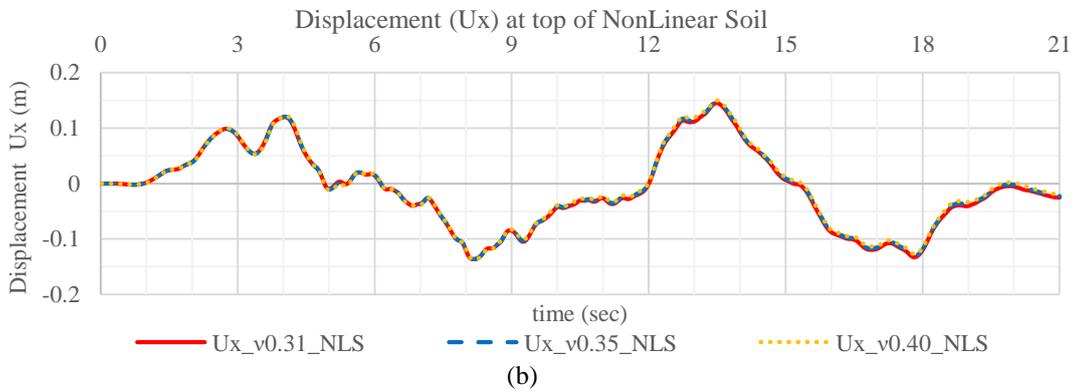
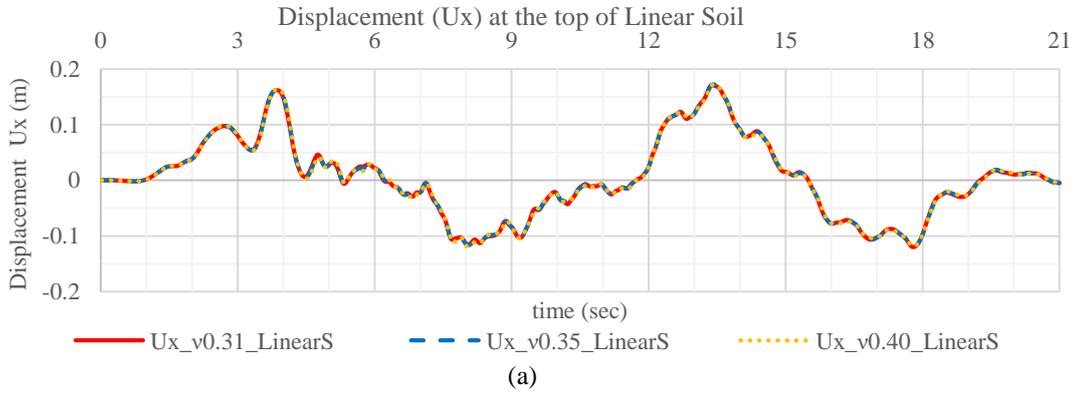


(b)

الشكل (5) تغير قيم السجلات الزمنية للسرعة  $V_x$  عند سطح التربة من أجل: (a) السلوك الخطي للتربة، (b) السلوك اللاخطي للتربة. (مسجلة عند نقطة العلام).

يعرض الشكل (6) تغير السجلات الزمنية للانتقالات الأفقية التي تحدث عند سطح التربة  $U_x$ ؛ مع تغير قيمة معامل بواسون للتربة المدروسة بين القيم 0.31، 0.35 و 0.40. يمكن ملاحظة تقارب قيم هذه الانتقالات الأفقية بصورة كبيرة عند تغير قيم معامل بواسون بين القيم الثلاث من أجل كل من الحالة المرنة واللينة للتربة؛ إذ كانت قيم PGD من أجل الحالة المرنة للتربة بقيمة 0.171، 0.172 و 0.173 على التوالي؛ مع فرق عن قيمة معامل بواسون 0.31 بحدود 0.58% و 1.17% على التوالي من أجل

0.35 و 0.4. في حين كانت قيم PGD من أجل التربة اللينة بحدود 0.145، 0.148 و 0.15 من أجل معاملات بواسون مساوية إلى 0.31، 0.35 و 0.4 على التوالي، وقيم الفرق عن القيمة المقابلة لمعامل بواسون 0.31 كانت بحدود 2.07% و 3.45% على التوالي من أجل معامل بواسون 0.35 و 0.4. ومن ثم لم يكن لتغير قيم معامل بواسون تأثير مهم في الانتقال الأفقي عند سطح التربة في كل من الحالتين المرنة واللينة للتربة.

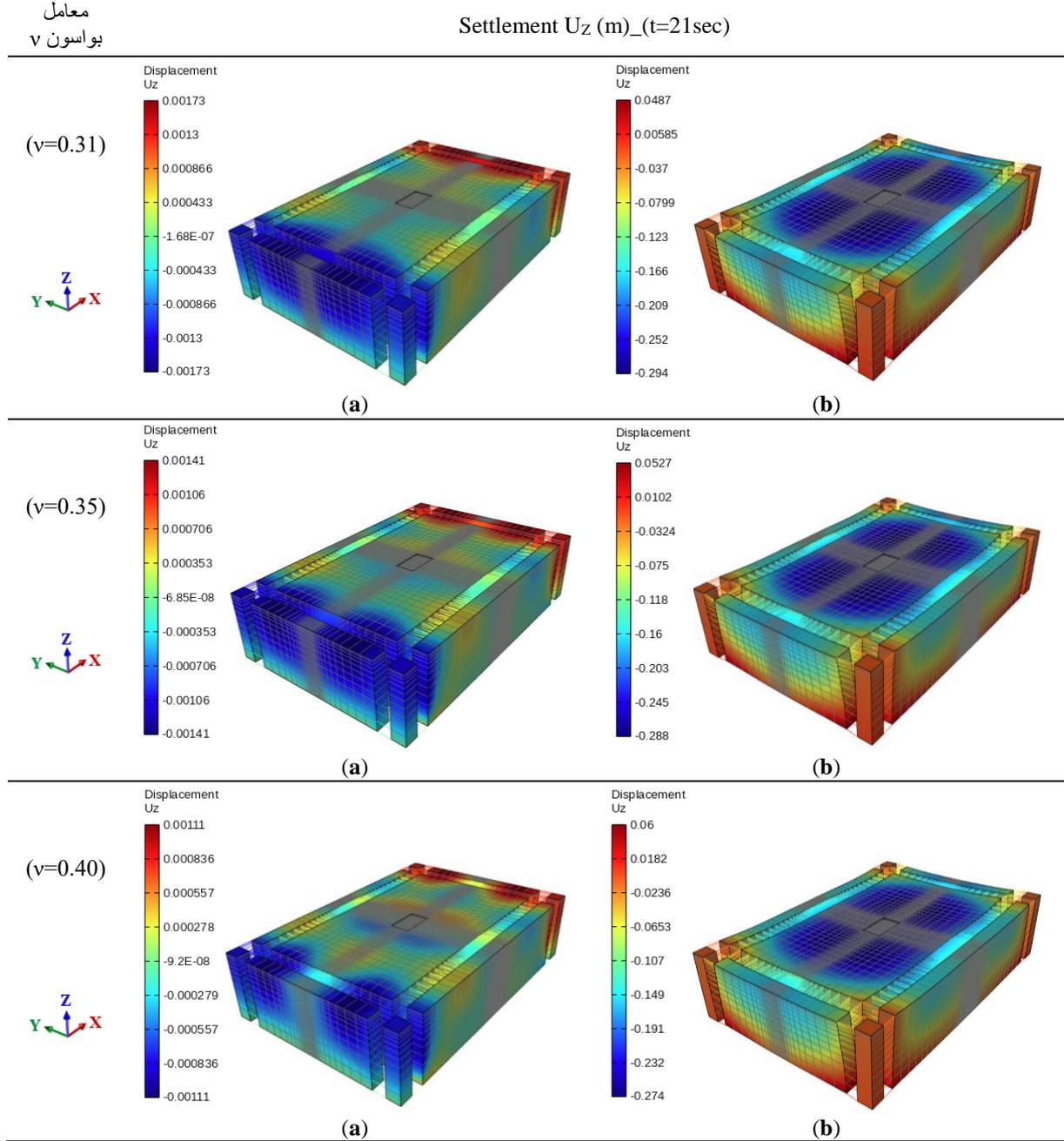


الشكل (6) تغير قيم السجلات الزمنية للانتقالات الأفقية  $U_x$  عند سطح التربة من أجل: (a) السلوك الخطي للتربة، (b) السلوك اللاخطي للتربة. (مسجلة عند نقطة العلام).

بينما كان الهبوط من أجل معامل بواسون 0.35 بحدود 28.8cm و الفرق عن قيمته من أجل معامل بواسون 0.31 بحدود 2.04%. أما بالنسبة للحالة المرنة بسلوك خطي للتربة فقد بلغت قيم الهبوطات 0.173cm، 0.141cm و 0.111cm من أجل قيم معامل بواسون 0.31، 0.35 و 0.4 على التوالي، وقيم الفرق عن القيمة المقابلة لمعامل بواسون 0.31 كانت بحدود 18.50% و 35.84% على التوالي من أجل معامل بواسون 0.35 و 0.4؛ مع ملاحظة أن قيم الهبوطات من أجل الحالة المرنة للتربة كادت تكون مهملة ولم تصل إلى 2 سم.

يظهر الجدول (3) تغير قيم الهبوطات الشاقولية  $U_z$  للنموذج التربة المدروسة؛ مع تغير قيم معامل بواسون من أجل حالتي التربة المرنة بسلوك خطي واللدنة بسلوك لاخطي، وذلك في نهاية زلزال TABAS المطبق ( $t=21\text{sec}$ ). يُلاحظ أن قيم الهبوطات الأكبر كانت من أجل معامل بواسون الأصغر، وذلك لكل من الحالتين المرنة واللدنة للتربة. فقد كانت القيمة الأكبر للهبوطات من أجل الحالة اللدنة بسلوك لاخطي للتربة بمعامل بواسون 0.31 بحدود 29.4cm ولم يزد الفرق عنها من أجل معامل بواسون 0.40 عن النسبة 6.80%، إذ بلغ الهبوط 27.4cm؛

الجدول (3) تغيّر قيم الهبوطات الشاقولية  $U_z$  لنموذج التربة المدروسة؛ مع تغير قيم معامل بواسون من أجل: مادة التربة المرنة بسلك خطي، (b) مادة التربة اللدنة (PIMY) بسلك لاخطي، في نهاية زلزال TABAS ( $t=21\text{sec}$ ) مقياس التشوه=15:



وبوضّح الجدول (4) تغيّر تشوهات القص ثماني السطوح لنموذج التربة المدروسة؛ مع تغير قيم معامل بواسون من أجل حالتي التربة المرنة بسلك خطي واللدنة بسلك لاخطي، وذلك في نهاية زلزال TABAS المطبق ( $t=21\text{sec}$ ). يُلاحظ أن قيم هذه التشوهات كانت أكبر من أجل معامل بواسون الأصغر، وذلك لكل من الحالتين المرنة واللدنة للتربة. فقد بلغت قيم تشوهات

وتوضّح الجدول (4) تغيّر تشوهات القص ثماني السطوح لنموذج التربة المدروسة؛ مع تغير قيم معامل بواسون من أجل حالتي التربة المرنة بسلك خطي واللدنة بسلك لاخطي، وذلك في نهاية زلزال TABAS المطبق ( $t=21\text{sec}$ ). يُلاحظ أن قيم هذه التشوهات كانت أكبر من أجل معامل بواسون الأصغر، وذلك لكل من الحالتين المرنة واللدنة للتربة. فقد بلغت قيم تشوهات

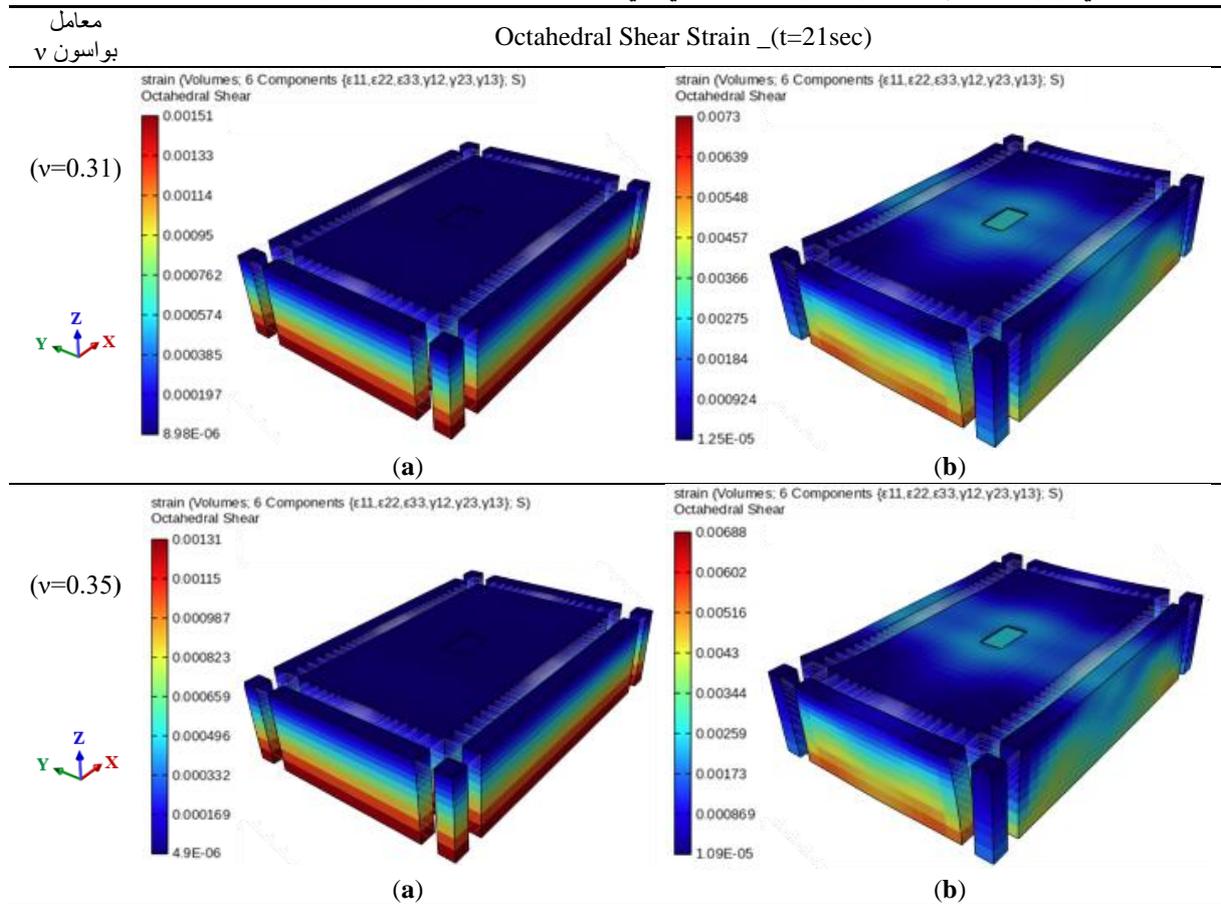
الأحمر، الأحمد الكوسا والحلواني

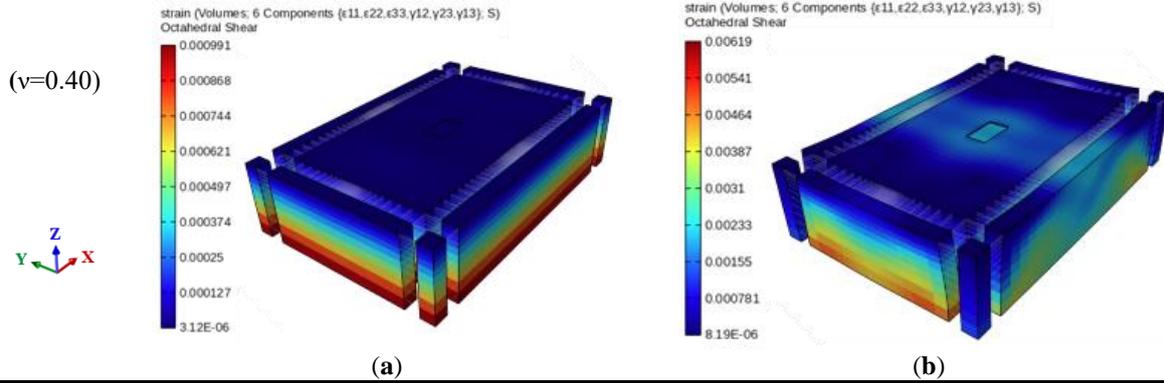
تأثير قدر الحركة الأرضية ومعامل بواسون في تحليل استجابة.....

الحالة اللدنة بسلوك لاخطي للتربة والتي وصلت إلى القيم  
0.0073، 0.00688 و 0.00619 من أجل قيم معامل  
بواسون 0.31، 0.35 و 0.4 على التوالي، وقيم الفرق عن  
القيمة المقابلة لمعامل بواسون 0.31 كانت بحدود 5.75%  
و 15.21% على التوالي من أجل معامل بواسون 0.35 و 0.4.

القص ثماني السطوح لحالة التربة مرنة بسلوك خطي حوالي  
0.00151، 0.00131 و 0.000991 من أجل قيم معامل  
بواسون 0.31، 0.35 و 0.4 على التوالي، وقيم الفرق عن  
القيمة المقابلة لمعامل بواسون 0.31 كانت بحدود 13.25%  
و 34.37% على التوالي من أجل معامل بواسون 0.35 و 0.4؛  
مع ملاحظة أن قيم هذه التشوهات كانت صغيرة؛ مقارنة مع

الجدول (4) تغير تشوهات القص ثماني السطوح لنموذج التربة المدروسة؛ مع تغير قيم معامل بواسون من أجل: (a) مادة التربة المرنة بسلوك خطي، (b) مادة التربة اللدنة (PIMY) بسلوك لاخطي، في نهاية زلزال TABAS (t=21sec) \_ مقياس التشوه=15:





## 2-6-2- تأثير قدر الحركة الأرضية في تحليل استجابة الموقع:

والزلازل القوي Dinar، والزلازل المتوسط DursunBey، على التوالي. ويبين الشكل (8) تغيير قيم التسارعات الأرضية الذروة (PGA) في الاتجاه المدروس X (مسجلة عند نقطة العلام) مع تغير تصنيف الزلازل المطبق لكل من السلوك الخطي واللاخطي، كما يعرض الجدول (6) فروق التسارعات الأرضية الذروة عند نقطة العلام عن قيمة PGA للزلازل الأصلي المطبق، والفروق بين حالتي السلوك اللاخطي والخطي للزلازل نفسه، والفروق عن القيم الخاصة بالزلازل الكبير. يُلاحظ من الجدول والأشكال السابقة أن سلوك التربة الخطي أدى إلى تضخيم في السجل الزمني لتسارع كل الزلازل المطبقة عند قاعدة التربة المدروسة، وذلك عند وصولها إلى سطح الأرض، وكذلك تضخيم (PGA)، ولكن بنسب مختلفة حسب تصنيف الزلازل المطبق وبصورة لا تتناسب طردياً مع شدة الزلازل المطبق؛ إذ كانت أكبر نسبة للتضخيم 168.95% لزلزال Dinar القوي، وأقل نسبة 22.18% لزلزال DursunBey المتوسط وكانت نسبة تضخيم الزلازل الكبير Tabas 55.61%. وعلى العكس من ذلك، تسبب السلوك اللاخطي في تخفيض استجابة التربة بسبب خضوع التربة الغضارية، ولكن بنسب مختلفة لكل زلازل (بدون تناسب طردي مع شدة الزلازل المطبق) وقيم أقل من تضخيم السلوك الخطي؛ إذ كانت أكبر نسبة للتخفيض 27.22% لزلزال Tabas الكبير، وأقل نسبة 7.26% لزلزال Dinar القوي؛ بينما كانت نسبة تضخيم الزلازل المتوسط DursunBey 16.01%. ومن ثم فإن استعمال الحالة المرنة الخطية لمواد التربة الغضارية كان محافظاً جداً وغير واقعي وغير اقتصادي لتحليل المباني وتصميمها. كما

اعتمدت قيمة معامل بواسون مساوية إلى 0.4، واستعملت حركات زلزالية واقعية بمقادير مختلفة مؤلفة من ثلاثة زلازل، وهي: Tabas، Dinar و Dursunbey، مصنفة على أنها زلازل كبير وقوي ومتوسط على التوالي؛ وذلك حسب قيمة القدر أو المطال الخاص بكل منها. ويبين الجدول (5) البيانات الوصفية للزلازل الثلاثة المستعملة من حيث القدر، وتوصيف الزلازل، وآلية التصدع. تُعرض خصائص السجلات الزمنية ومكوناتها لتسارعات وسرعة أمواج الإدخال الثلاث المطبقة ضمن الأشكال الواردة في فقرة النتائج والمناقشة الخاصة بها. وقد اعتمدت تقسيمات مناسبة لنموذج التربة حسب ترددات الزلازل المدروسة.

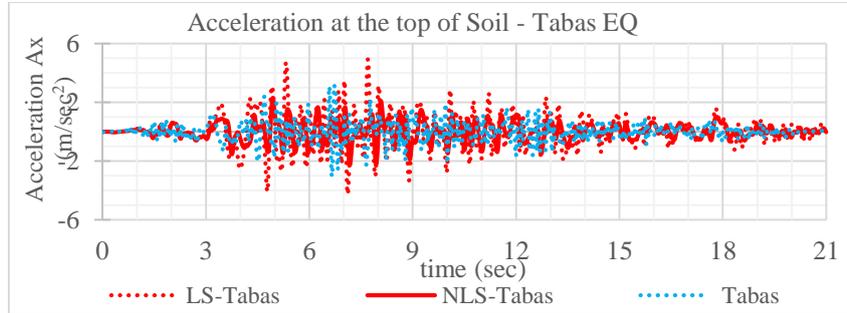
الجدول (5) البيانات الوصفية للزلازل الثلاثة المستعملة:

| اسم الزلازل        | عام الحدوث | القدر أو المطال | توصيف الزلازل  | نوع التصدع   |
|--------------------|------------|-----------------|----------------|--------------|
| "Tabas_Iran"       | 1978       | 7.35            | كبير major     | عكسي Reverse |
| "Dinar_Turkey"     | 1995       | 6.4             | قوي strong     | طبيعي Normal |
| "Dursunbey_Turkey" | 1979       | 5.34            | متوسط moderate | طبيعي Normal |

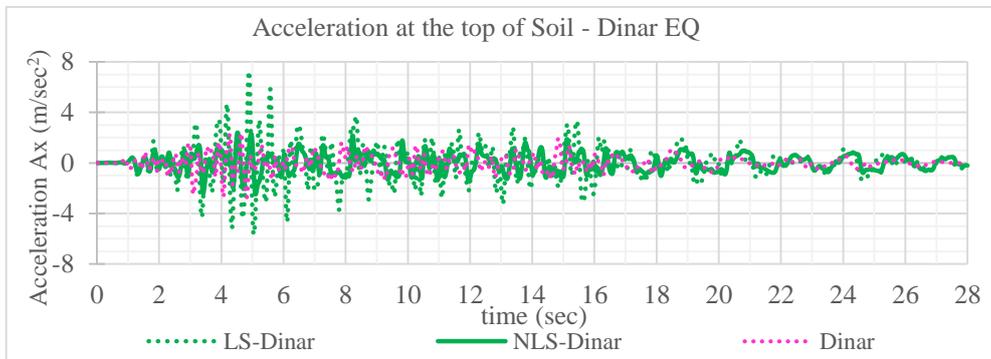
## النتائج والمناقشة:

تبيين الأشكال (a7)، (b7) و (c7) تغيير قيم السجلات الزمنية (مسجلة عند نقطة العلام) للتسارعات  $A_x$  عند سطح التربة مع تغير سلوك التربة، وذلك من أجل كلٍ من الزلازل الكبير Tabas،

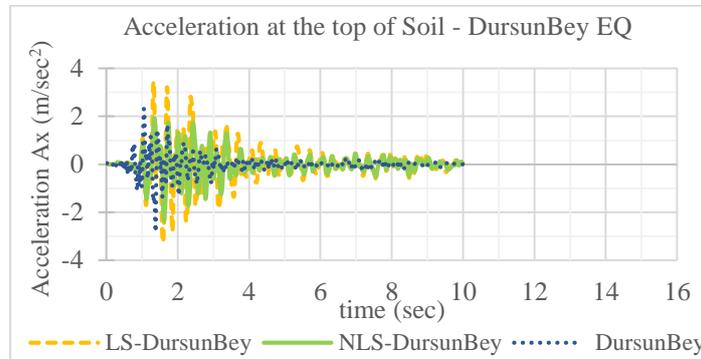
تأثير قدر الحركة الأرضية ومعامل بواسون في تحليل استجابة..... الأحمر، الأحمد الكوسا والحلواني  
 أن إدخال تأثير التربة يغير من قيم تسارعات والمحتوى الترددي الأرضية والسلوك اللاخطي للتربة في تحليل استجابة تربة  
 حسب الزلزال المطبق. وهذا يؤكد التأثير المهم لشدة الحركة الموقع، كما وجد في [2],[3],[11],[12].



(a)



(b)



(c)

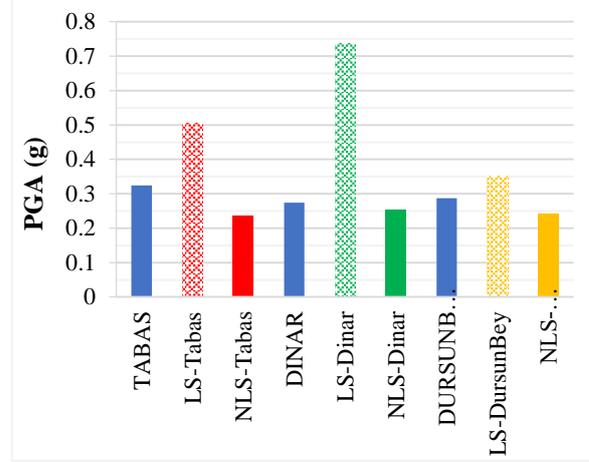
الشكل (7) تغير قيم السجلات الزمنية للتسارعات  $A_x$  عند سطح التربة من أجل: (a) الزلزال الكبير Tabas، (b) الزلزال القوي Dinar، و (c) الزلزال المتوسط DursunBey. (مسجلة عند نقطة العلام).

الجدول (6) فروق التسارعات الأرضية الذروة عند نقطة العلام لكل من السلوك الخطي واللاخطي للتربة من أجل كل الزلازل المدروسة:

| Soil Behavior/<br>Earthquake | PGA (g) | Diff. (%) from<br>studied EQ | Diff. (%) of NLS<br>from LS | Diff. (%) from<br>Tabas |
|------------------------------|---------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| TABAS                        | 0.324   | -                            | -                           | -                       |
| LS-Tabas                     | 0.504   | 55.61                        | -                           | -                       |
| NLS-Tabas                    | 0.236   | -27.22                       | -53.23                      | -                       |
| DINAR                        | 0.275   | -                            | -                           | -15.22                  |
| LS-Dinar                     | 0.739   | 168.95                       | -                           | 46.54                   |
| NLS-Dinar                    | 0.255   | -7.26                        | -65.52                      | 8.04                    |
| DURSUNBEY                    | 0.287   | -                            | -                           | -11.29                  |

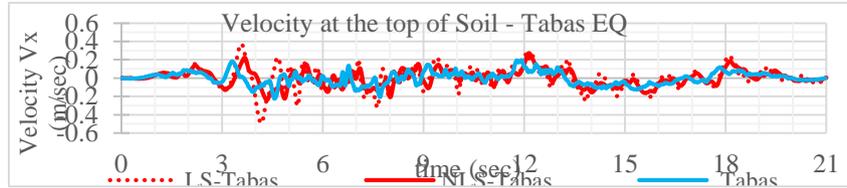
|               |       |        |        |        |
|---------------|-------|--------|--------|--------|
| LS-DursunBey  | 0.351 | 22.18  | -      | -30.35 |
| NLS-DursunBey | 0.241 | -16.01 | -31.25 | 2.38   |

(PGV) في الاتجاه المدروس X (مسجلة عند نقطة العلام) مع تغير تصنيف الزلزال المطبق لكل من السلوك الخطي واللاخطي، كما يعرض الجدول (7) فروق السرعة الأرضية الذروة عند نقطة العلام عن قيمة PGA للزلزال الأصلي المطبق، والفروق بين حالتي السلوك الخطي واللاخطي للزلزال نفسه، والفروق عن القيم الخاصة بالزلزال الكبير. يُلاحظ من الجدول والأشكال السابقة أن سلوك التربة بالحالتين الخطية واللاخطية أدى إلى اختلاف السجل الزمني للسرعة وتضخيمه و (PGV) لكل من الزلازل المطبقة عند قاعدة التربة المدروسة، وذلك عند وصولها إلى سطح الأرض، ولكن بنسب مختلفة حسب تصنيف الزلزال المطبق، وتصنيف سلوك التربة؛ إذ كانت نسب التضخيم لحالة السلوك الخطي واللاخطي على التوالي: 120.04% و 17.17% و 22.11% للزلزال الكبير Tabas، و 90.05% و 46.43% للزلزال المتوسط Dinar، و 76.50% و 46.43% للزلزال المتوسط Dursunbey.

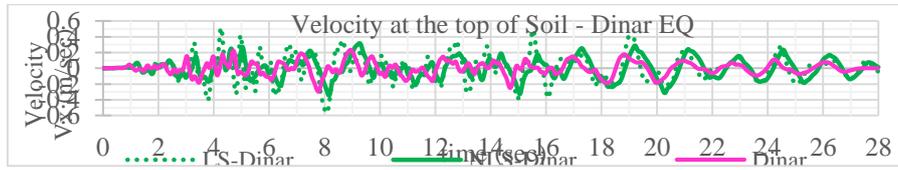


الشكل (8) تغير قيم التسارعات الأرضية الذروة (PGA) في الاتجاه المدروس X مع تغير تصنيف الزلزال المطبق لكل من السلوك الخطي واللاخطي (مسجلة عند نقطة العلام).

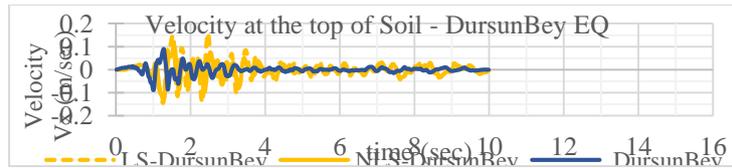
تبيين الأشكال (a9)، (b9) و (c9) تغير قيم السجلات الزمنية (مسجلة عند نقطة العلام) للسرعة  $V_x$  عند سطح التربة مع تغير سلوك التربة، وذلك من أجل كلٍ من الزلزال الكبير Tabas، والزلزال القوي Dinar، والزلزال المتوسط DursunBey، على التوالي. ويبين الشكل (10) تغير قيم السرعة الأرضية الذروة



(a)



(b)



(c)

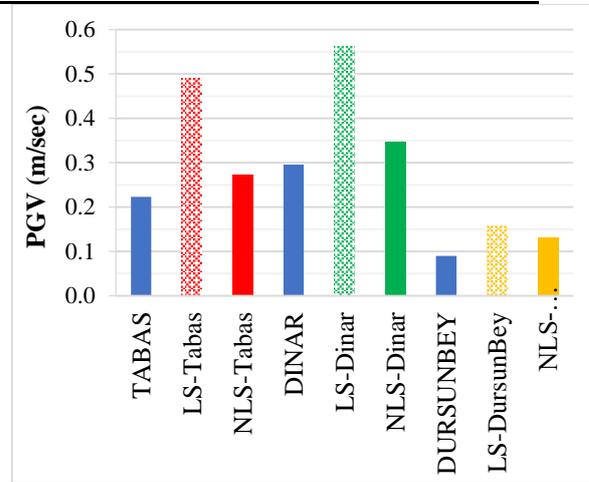
تأثير قدر الحركة الأرضية ومعامل بواسون في تحليل استجابة.....

الشكل (9) تغير قيم السجلات الزمنية للسرعة  $V_x$  عند سطح التربة من أجل: (a) الزلزال الكبير Tabas، (b) الزلزال القوي Dinar، و (c) الزلزال المتوسط DursunBey. (مسجلة عند نقطة العلام).

الجدول (7) فروق السرعة الأرضية الذروة عند نقطة العلام لكل من السلوك الخطي واللاخطي للتربة من أجل كل الزلازل المدروسة:

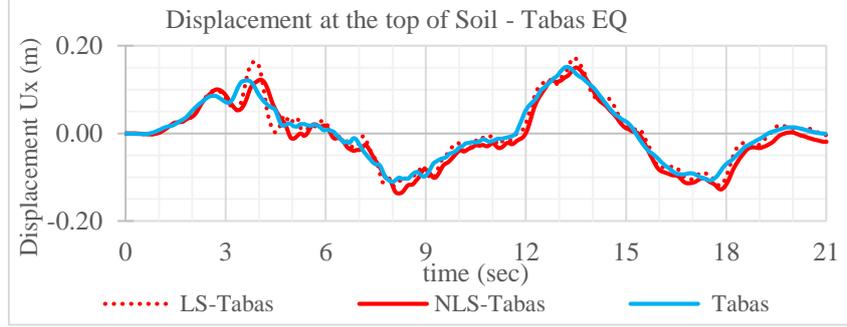
| Soil Behavior/<br>Earthquake | PGV (m/sec) | Diff. (%) from studied<br>EQ | Diff. (%) of NLS<br>from LS | Diff. (%) from<br>Tabas |
|------------------------------|-------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| TABAS                        | 0.223       | -                            | -                           | -                       |
| LS-Tabas                     | 0.490       | 120.04                       | -                           | -                       |
| NLS-Tabas                    | 0.272       | 22.11                        | -44.51                      | -                       |
| DINAR                        | 0.296       | -                            | -                           | 32.85                   |
| LS-Dinar                     | 0.563       | 90.05                        | -                           | 14.75                   |
| NLS-Dinar                    | 0.347       | 17.17                        | -38.35                      | 27.48                   |
| DURSUNBEY                    | 0.090       | -                            | -                           | -59.77                  |
| LS-DursunBey                 | 0.158       | 76.50                        | -                           | -67.73                  |
| NLS-DursunBey                | 0.131       | 46.43                        | -17.04                      | -51.76                  |

من السلوك الخطي واللاخطي، كما يعرض الجدول (8) فروق السرعة الأرضية الذروة عند نقطة العلام عن قيمة PGA للزلزال الأصلي المطبق، والفروق بين حالتي السلوك الخطي واللاخطي للزلزال نفسه، والفروق عن القيم الخاصة بالزلزال الكبير. يمكن ملاحظة أن حالتي الزلزال القوي والمتوسط أعطتا اختلافاً أكبر من قيم انتقالات الزلزال الأصلي المطبق في قاعدة التربة؛ بينما كان الاختلاف أقل من أجل حالة الزلزال الكبير؛ إذ أعطت التربة المدروسة تضخيماً عن الزلزال القوي الأصلي Dinar بمقدار 96.55% و 108.67% لكل من السلوك الخطي واللاخطي للتربة على التوالي، ووصل التضخيم إلى 106.11% و 112.68% من أجل الزلزال المتوسط الأصلي Dursunbey لكل من السلوك الخطي واللاخطي للتربة على التوالي. بينما كان التضخيم من أجل الزلزال الكبير Tabas بحدود 13.89% لحالة السلوك الخطي، أما حالة السلوك اللاخطي فكان تخفيضاً بمقدار 1.19%. كما يُلاحظ من السجلات الزمنية للانتقالات الأفقية في حالة السلوك اللاخطي أن قيم  $U_x$  غير معدومة في نهاية السجل، والذي يمكن أن يُعزى إلى التشوه اللدن المتوقع حدوثه في أثناء الحركة الأرضية.

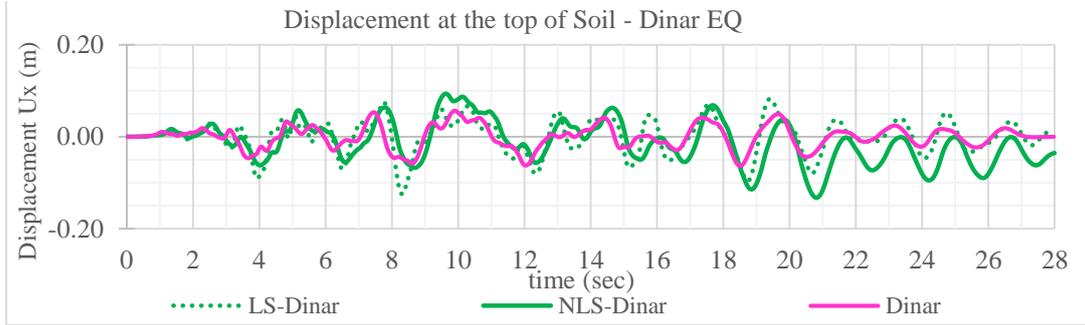


الشكل (10) تغير قيم السرعة الأرضية الذروة (PGV) في الاتجاه المدروس X مع تغير تصنيف الزلزال المطبق لكل من السلوك الخطي واللاخطي (مسجلة عند نقطة العلام).

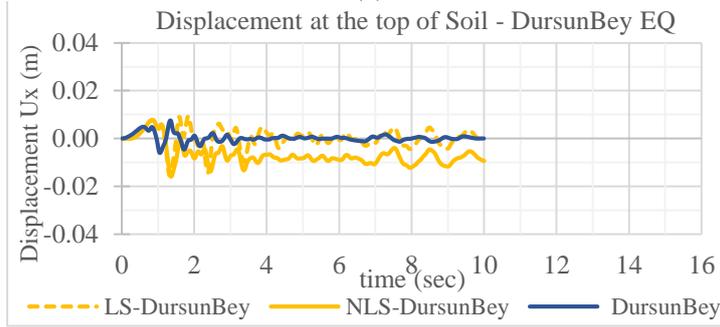
تبيين الأشكال (a11)، (b11) و (c11) تغير قيم السجلات الزمنية (مسجلة عند نقطة العلام) للانتقالات الأفقية  $U_x$  عند سطح التربة مع تغير سلوك التربة، وذلك من أجل كل من الزلزال الكبير Tabas، والزلزال القوي Dinar، والزلزال المتوسط DursunBey، على التوالي. ويبين الشكل (12) تغير قيم الانتقالات الأرضية الذروة (PGD) في الاتجاه المدروس X (مسجلة عند نقطة العلام) مع تغير تصنيف الزلزال المطبق لكل



(a)



(b)



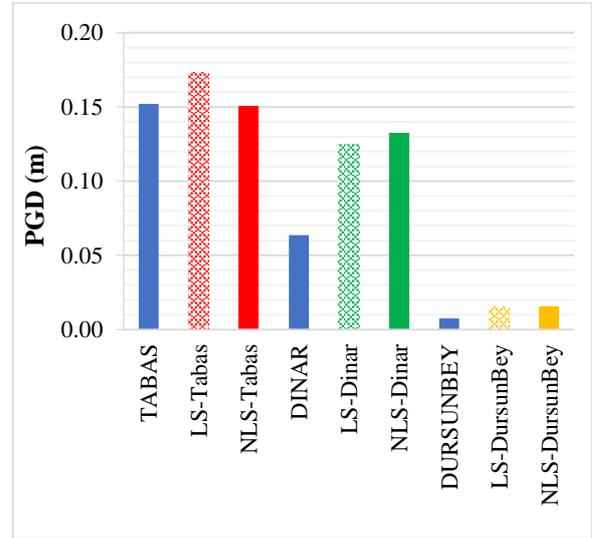
(c)

الشكل (11) تغير قيم السجلات الزمنية للانتقالات الأفقية  $U_x$  عند سطح التربة من أجل: (a) الزلزال الكبير Tabas، (b) الزلزال القوي Dinar، و (c) الزلزال المتوسط DursunBey. (مسجلة عند نقطة العلام).

الجدول (8) فروق الانتقالات الأرضية الذروة عند نقطة العلام لكل من السلوك الخطي واللاخطي للتربة من أجل كل الزلازل المدروسة:

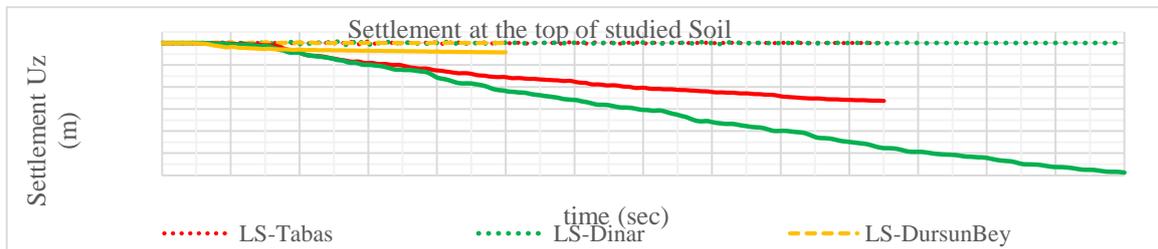
| Soil Behavior/<br>Earthquake | PGD (m) | Diff.(%) from studied<br>EQ | Diff.(%) of NLS<br>from LS | Diff.(%) from<br>Tabas |
|------------------------------|---------|-----------------------------|----------------------------|------------------------|
| TABAS                        | 0.152   | -                           | -                          | -                      |
| LS-Tabas                     | 0.173   | 13.89                       | -                          | -                      |
| NLS-Tabas                    | 0.150   | -1.19                       | -13.24                     | -                      |
| DINAR                        | 0.064   | -                           | -                          | -58.17                 |
| LS-Dinar                     | 0.125   | 96.55                       | -                          | -27.81                 |
| NLS-Dinar                    | 0.133   | 108.67                      | 6.17                       | -11.65                 |
| DURSUNBEY                    | 0.007   | -                           | -                          | -95.07                 |
| LS-DursunBey                 | 0.015   | 106.11                      | -                          | -91.07                 |
| NLS-DursunBey                | 0.016   | 112.68                      | 3.19                       | -89.38                 |

المطبق في قاعدة التربة المدروسة. يمكن ملاحظة أن التربة الغضارية بسلوك لاخطي كان لها القيم الأعلى للهبوط، وأعطى الزلازل القوي هبوطات أعلى من الزلزال الكبير ذي القدر الأكبر؛ إذ كانت قيم الهبوط صغيرة نسبياً في الثواني الثلاث الأولى من الزلازل القوي والكبير، وفي الثانية الأولى من الزلازل المتوسط، ثم بدأت بالزيادة مع الزمن وبصورة كبيرة للزلازل القوي والكبير، حتى وصلت إلى أعلى قيمة لها في نهاية الزلزال؛ بينما كانت قيم الهبوطات أقل من أجل الزلازل المتوسط؛ إذ بلغت القيم الأعظمية لهبوط التربة المدروسة عند نقطة العلام حوالي (0.0064، 0.010 و 0.0032 م) للزلازل الكبير والقوي والمتوسط على التوالي من أجل الحالة الخطية للتربة؛ بينما بلغت حوالي (0.2633، 0.5874 و 0.0429 م) للزلازل الكبير والقوي والمتوسط على التوالي من أجل الحالة اللاخطية للتربة.

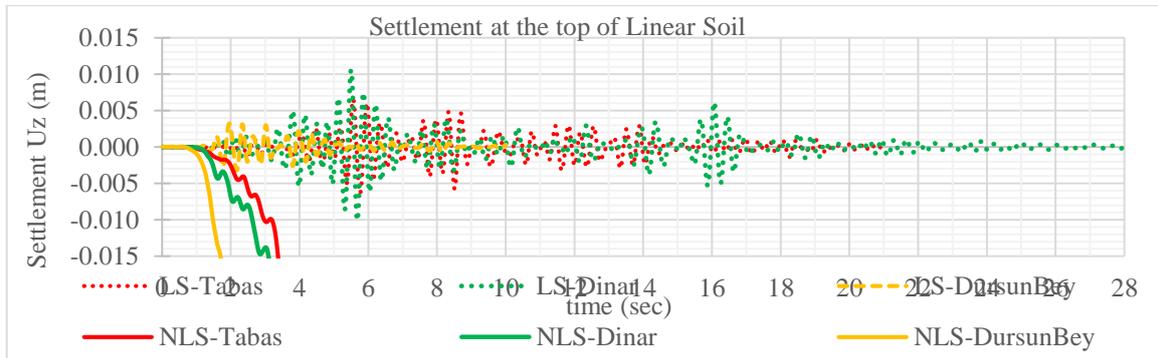


الشكل (12) تغير قيم الانتقالات الأرضية الذروة (PGD) في الاتجاه المدروس X مع تغير تصنيف الزلازل المطبق لكل من السلوك الخطي واللاخطي (مسجلة عند نقطة العلام).

يعرض الشكل (13) تغير السجلات الزمنية للهبوط عند سطح التربة  $U_z$  (عند زاوية قاعدة تجويف الأساس) مع تغير الزلزال



(a)



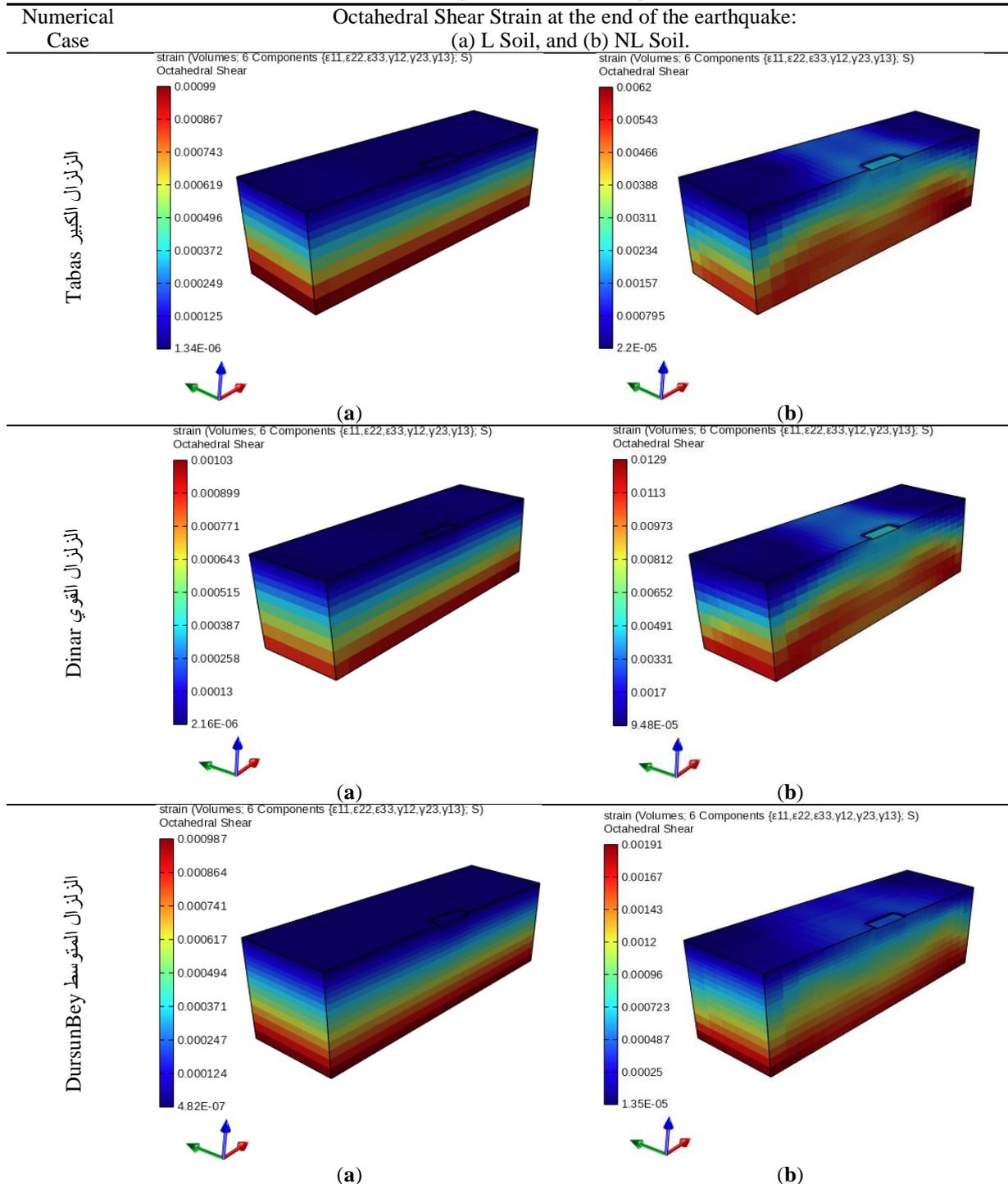
(b)

الشكل (13) تغير قيم الهبوط  $U_z$  مع الزمن عند سطح التربة من أجل: (a) السلوك الخطي واللاخطي للتربة، (b) السلوك الخطي للتربة الغضارية المدروسة عند تطبيق كل من الزلازل الثلاثة المدروسة. (مسجلة عند نقطة العلام).

حدوث الزلزال؛ مقارنة بالزلزال المتوسط، وحتى الكبير؛ وذلك في الحالتين المرنة واللينة للتربة؛ مع تقارب قيم التشوهات في الحالة المرنة للتربة؛ إذ كان الانخفاض بين التشوه من أجل الزلزال المتوسط والكبير على التوالي بحدود 4.17% و 3.88% عن التشوه من أجل الزلزال القوي؛ بينما زادت الفروق بصورة واضحة بين التشوهات من أجل الحالة اللينة للتربة، ووصل الفرق إلى 85.19% و 51.94% عن قيمة التشوه تحت تأثير الزلزال القوي، وذلك من أجل الزلزال المتوسط والكبير على التوالي. ويمكن ملاحظة ازدياد تشوهات القص ثنائي السطوح مع عمق التربة، ويكون توزيع هذه التشوهات أكثر انتظاماً في الترب الخطية منه في التربة اللاخطية عند زمن نهاية حدوث الزلزال المطبق. ومع ذلك، تكاد تكون هذه التشوهات معدومة على كامل سطح التربة المرنة بسلوك خطي، وعند الحواف الجانبية لسطح الأرض فقط من أجل الترب اللينة بسلوك لاخطي.

يوضح الجدول (9) تشوهات القص ثنائي السطوح للتربة الغضارية المدروسة عند تطبيق زلزال كبير وقوي ومتوسط على التوالي، وذلك في الحالتين المرنة واللينة للتربة. تُعرض النتائج في نصف المقطع للتربة الداخلية، وعند الزمن الموافق لأكبر تسارع للزلزال المطبق، وفي نهاية هذا الزلزال. يُلاحظ من أجل تحليل استجابة الموقع أن قيم تشوهات القص ثنائي السطوح للتربة اللينة بسلوك لاخطي أعلى من تلك الخاصة بالتربة المرنة بسلوك خطي؛ إذ بلغت قيمها في نهاية حدوث الزلازل حوالي 0.00099، 0.00103 و 0.000987 للزلزال الكبير والقوي والمتوسط على التوالي من أجل الحالة المرنة للتربة، وحوالي 0.0062، 0.0129 و 0.00191 للزلزال الكبير والقوي والمتوسط على التوالي من أجل الحالة اللينة للتربة؛ أي كان مقدار انخفاض التشوه في الحالة المرنة عنه في الحالة اللينة للتربة بحدود 84.03%، 92.02% و 48.33% للزلزال الكبير والقوي والمتوسط على التوالي. ويُلاحظ أن الزلزال القوي Dinar أعطى أكبر قيمة لتشوه القص ثنائي السطوح عند زمن نهاية

الجدول (9) تغيّر تشوهات القص ثماني السطوح لنصف مقطع التربة الداخلية في التربة الغضارية المدروسة عند زمن نهاية الزلزال المطبق لحالة تربة: (a) بسلوك خطي LS، (b) بسلوك لاخطي NLS\_مقياس التشوه=1:



### 3- النتائج والتوصيات المستخلصة من البحث

#### الحالي:

- ضرورة اعتماد الحالة اللاخطية لسلوك التربة من أجل تقييم التربة وتصميم الأساس؛ لكونها هي الحالة الحرجة والفعلية؛ إذ إن تشوهات القص ثماني السطوح وقيم الهبوطات أعلى من تلك الخاصة بالترب الخطية.

- ضرورة اختيار الحركات الأرضية الملائمة للموقع المدروس بصورة منهجية ودقيقة تعتمد على جيولوجية المنطقة، وآلية الصدوع المتشكلة، وغير ذلك من الشروط حسب ما تنص عليه الكودات والأبحاث؛ لأن سلوك التربة ومن ثم أداء المنشأ يتأثر بها. وعدم الاعتماد على قدر الزلزال وشدته فقط؛ وإنما على محتواه الترددي وسعته وزمنه، وغير ذلك من المواصفات المعروفة له. حيث اختلفت نسبة تضخيم PGA باختلاف الهزة الزلزالية المطبقة؛ إذ وصلت لحوالي % (22.18, 55.61, 168.95) عند تطبيق الزلزال القوي، والكبير، والمتوسط على التوالي، لحالة السلوك الخطي للتربة الغضارية المدروسة.

- تبتعد مسألة تحليل استجابة الموقع (تحليل ديناميكي للتربة) عن الواقعية عند اعتماد قيم أقل لمعامل بواسون (أي قيم الشروط الستاتيكية)؛ ومن ثمَّ يجب التأكيد على ضرورة اعتماد بارامترات ديناميك التربة والفصل بين مفهومه وبين ما كان متعارفاً عليه في مقررات ميكانيك التربة.

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

## References:

- [1] C. Bolisetti, *Site response, soil-structure interaction and structure-soil-structure interaction for performance assessment of buildings and nuclear structures*. State University of New York at Buffalo, 2015.
- [2] T. K. Garala and G. S. P. Madabhushi, "Seismic behaviour of soft clay and its influence on the response of friction pile foundations," *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 17, no. 4, pp. 1919–1939, 2019.
- [3] V.-Q. Nguyen, M. Aaqib, D.-D. Nguyen, N.-V. Luat, and D. Park, "A site-specific response analysis: A case study in Hanoi, Vietnam," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 11, p. 3972, 2020.
- [4] B. S. Bakır, M. Y. Özkan, and S. Cılız, "Effects of basin edge on the distribution of damage in 1995 Dinar, Turkey earthquake," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 22, no. 4, pp. 335–345, 2002.
- [5] R. Iyisan and M. E. Hasal, "The effect of ground motion characteristics to the dynamic response of alluvial valley models," in *13th Asian regional conference of soil & geotechnical engineering, Theme-7 Dam Engineering, Paper Code*, 2007, pp. 1–7.
- [6] M. E. Hasal and R. Iyisan, "Effect of edge slope on soil amplification at a two dimensional basin model," *15th WCEE, Lisbona, Paper*, no. 4455, 2012.
- [7] E. Heymsfield, "Two-dimensional scattering of SH waves in a soil layer underlain with a sloping bedrock," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 19, no. 7, pp. 489–500, 2000.
- [8] M. Kamiyama and T. Satoh, "Seismic response analysis of laterally inhomogeneous ground with emphasis on strains," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 22, no. 9–12, pp. 877–884, 2002.
- [9] W. D. L. Finn, E. Zhai, T. Thavaraj, X.-S. Hao, and C. E. Ventura, "1-D and 2-D analyses of weak motion data in Fraser Delta from 1966 Duvall earthquake," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 23, no. 4, pp. 323–329, 2003.
- [10] H. Khanbabazadeh, R. İyisan, A. Ansal, and M. E. Hasal, "2D non-linear seismic response of the Dinar basin, TURKEY," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 89, pp. 5–11, 2016.
- [11] H. Khanbabazadeh and R. Iyisan, "A numerical study on the 2D behavior of clayey basins," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 66, pp. 31–41, 2014, doi: 10.1016/j.soildyn.2014.06.029.
- [12] D. Chandran and P. Anbazhagan, "2D nonlinear site response analysis of typical stiff and soft soil sites at shallow bedrock region with low to medium seismicity," *J Appl Geophy*, vol. 179, p. 104087, 2020.
- [13] R. Al-Ahmar, M.A. Al Kousa, A. Al-Helwani, and G. Wardeh, "Influence of Clay Soil Type on Site Response Analysis," accepted in *Materials* 2022.
- [14] S. Mazzoni, F. McKenna, M. H. Scott, and G. L. Fenves, "The open system for earthquake engineering simulation (OpenSEES) user command-language manual," 2006.
- [15] M. Petracca, F. Candeloro, and G. Camata, "STKO user manual," *ASDEA Software Technology, Pescara Italy*. 2017.
- [16] J. Lysmer and R. L. Kuhlemeyer, "Finite dynamic model for infinite media," *Journal of the engineering mechanics division*, vol. 95, no. 4, pp. 859–877, 1969.
- [17] H. B. Seed, P. P. Martin, and J. Lysmer, *The generation and dissipation of pore water pressures during soil liquefaction*. College of Engineering, University of California, 1975.
- [18] "Dynamic Modeling Considerations — FLAC3D 7.0 documentation." <http://docs.itascacg.com/Flac3d700/Flac3d/docproject/source/options/dynamic/considerations/considerations.html?node=3302>
- [19] W. B. Joyner and A. T. F. Chen, "Calculation of nonlinear ground response in earthquakes," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 65, no. 5, pp. 1315–1336, 1975.
- [20] J. Lysmer, "Analytical procedures in soil dynamics," *NASA STI/Recon Technical Report N*, vol. 80, p. 12243, 1978.
- [21] H. Alsaleh, "Modélisation non-linéaire en trois dimensions de l'interaction Sol-Micropieux-Pont sous chargements sismiques," 2007.
- [22] R. L. Kuhlemeyer and J. Lysmer, "Finite element method accuracy for wave propagation problems," *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, vol. 99, no. 5, pp. 421–427, 1973.

تأثير قدر الحركة الأرضية ومعامل بواسون في تحليل استجابة..... الأحمر، الأحمد الكوسا والحلواني

- [23] .3.4.2.1“Elastic Isotropic Material — OpenSees Documentation documentation.”  
<https://opensees.github.io/OpenSeesDocumentation/user/manual/material/ndMaterials/ElasticIsotropic.html>
- [24] Z. Yang, J. Lu, and A. Elgamal, “OpenSees soil models and solid-fluid fully coupled elements,” User’s Manual. Ver, vol. 1, p. 27, 2008.
- [25] “PressureIndependentMultiYield Material.” <https://opensees.berkeley.edu/OpenSees/manuals/usermanual/1558.htm>
- [26] J. P. Stewart *et al.*, “Benchmarking of Nonlinear Geotechnical Ground Response Analysis Procedures,” 2008.
- [27] J. H. Prevost, “A simple plasticity theory for frictional cohesionless soils,” *International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 9–17, 1985.
- [28] E. J. Parra-Colmenares, *Numerical modeling of liquefaction and lateral ground deformation including cyclic mobility and dilation response in soil systems*. Rensselaer Polytechnic Institute, 1996.
- [29] S. L. Kramer and A. W. Elgamal, “Modeling Soil Liquefaction Hazards for Performance Based Earthquake Engineering,” *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*, no. September 2001, p. 186, 2001, [Online]. Available:  
[https://scholar.google.it/scholar?q=Modeling+Soil+Liquefaction+Hazards+for+Performance+Based+Earthquake+Engineering&btnG=&hl=en&as\\_sdt=0.5#1](https://scholar.google.it/scholar?q=Modeling+Soil+Liquefaction+Hazards+for+Performance+Based+Earthquake+Engineering&btnG=&hl=en&as_sdt=0.5#1)
- [30] Z. Yang, *Numerical modeling of earthquake site response including dilation and liquefaction*. Columbia University, 2000.
- [31] “Site Response Analysis of a Layered Soil Column (Total Stress Analysis) - OpenSeesWiki.”  
[https://opensees.berkeley.edu/wiki/index.php/Site\\_Response\\_Analysis\\_of\\_a\\_Layered\\_Soil\\_Column\\_\(Total\\_Stress\\_Analysis\)](https://opensees.berkeley.edu/wiki/index.php/Site_Response_Analysis_of_a_Layered_Soil_Column_(Total_Stress_Analysis))
- [32] .4.15.5.1“InitialStateAnalysisWrapper — OpenSeesPy 3.4.0.1 documentation.”  
<https://openseespydoc.readthedocs.io/en/latest/src/InitialStateAnalysisWrapper.html>
- [33] C. McGann, P. Arduino, and P. Mackenzie-Helnwein, “InitialStateAnalysisWrapper - OpenSeesWiki,” 2011.  
<https://opensees.berkeley.edu/wiki/index.php/InitialStateAnalysisWrapper>
- [34] “updateMaterialStage.” <https://opensees.berkeley.edu/OpenSees/manuals/usermanual/1559.htm>
- [35] J. D. Bray and A. Rodríguez-Marek, “Geotechnical site categories in Proceedings of the First PEER-PG&E Workshop on Seismic Reliability of Utility Lifelines,” *San Francisco, CA*, 1997.
- [36] ASCE/SEI 7-10, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2010.
- [37] *Uniform Building Code (UBC 97)*. 1997.
- [38] الملحق رقم (2) للكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة - تصميم وتحقق المباني والمنشآت المقاومة للزلازل، الطبعة الثانية، دمشق، 2013.
- [39] Eurocode-8, *British Standard, B S- EN 1998-1: 2004, Eurocode 8: design of structures for earthquake resistance - Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings*. 2004.
- [40] G. Gazetas, I. Anastopoulos, O. Adamidis, and T. Kontoroupi, “Nonlinear rocking stiffness of foundations,” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 47, pp. 83–91, 2013.
- [41] “Some-Useful-Numbers - Some Useful Numbers on the Engineering Properties of Materials (Geologic and - StuDocu.”  
<https://www.studocu.com/en-au/document/university-of-technology-sydney/soil-behaviour/some-useful-numbers/9611436>
- [42] “APPC-Soil Properties - APPENDIX C Properties of Soils This appendix presents some information and tables containing properties of soils which will be of | Course Hero.”  
<https://www.coursehero.com/file/17837187/APPC-Soil-Properties/>
- [43] K. Yokota and M. Konno, “Dynamic Poisson’s ratio of soil,” in *Proc. 7th World Conf. Earthquake Eng., Istanbul*, 1980, vol. 3, pp. 475–478.
- [44] “Cohesion.” <http://www.geotechdata.info/parameter/cohesion>
- [45] M. V. Requena García de la Cruz, R. Bento, P. Durand Neyra, and A. Morales Esteban, “Analysis of the soil structure-interaction effects on the seismic vulnerability of mid-rise RC buildings in Lisbon,” *Structures*, 38, 599-617., 2022.