Numerical Study Of Behavior Raft Based On Sandy Soil Subject To Seismic Loads

Dr. Tawfiq Fayyad*
Salma Fando**

(Received 25 / 8 / 2024. Accepted 16 / 10 / 2024)

□ ABSTRACT □

The issue of analyzing the behavior of foundations subjected to seismic loads has emerged as an important topic of research over the past years, in view of the large damages caused by earthquakes. Under the influence of seismic loads, foundations are exposed to a decrease in the bearing capacity of the foundation soil, increase settlements, rotation and horizontal slides of the foundation and structures. Experimental and theoretical studies and research have proven that the behavior of foundations changes and the bearing capacity of the soil decreases under the influence of seismic loads. By observing the effects of a number of pervious earthquakes, it was found that some cases of collapse of foundations occurred in locations where the soil was not subject to liquefaction, increased pore water pressure, or loss of slope stability. The main cause of these collapses was explained as a direct result of impermissible settlements and a decrease in the bearing capacity of the soil under the influence of seismic loads.

This research deals with a numerical parametric study using the finite element method (FEM), using (Plaxis 3D), the behavior of a raft resting on sandy soil and subject to seismic loads.

The research includes conducting a study of the effect of changing the parameters affecting the behavior of the raft and soil (Raft thickness and foundation depth), In order to evaluate the impact of these variables on (Time record of horizontal acceleration with time and vertical displacement with time down the raft). This is with the aim of understanding the response behavior of the raft under conditions of dynamic loading to achieve a stable, low cost, economical raft foundation under the influence of dynamic loads.

Keywords: Seismic loads – Raft –Earthquake – Sandy soil – Horizontal acceleration – Displacement – Dynamic settlement – Numerical study –Plaxis 3D.

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

*Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. toufikabdoulahfayad.dio.sydr toufik@gmail.com
*** Postgraduate Student (Master), Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University. Latakia, Syria. AliMoenKhddour94@gmail.com

دراسة عددية لسلوك حصيرة مستندة على تربة رملية خاضعة لحمولات سيسمية

د. توفيق فياض *

سلمى فندو **

(تاريخ الإيداع 25 / 8 / 2024. قُبِل للنشر في 16/ 10 / 2024)

□ ملخّص □

برزت مسألة تحليل سلوك الأساسات الخاضعة لحمولات سيسمية كموضوع هام للبحث على مدى السنوات الماضية، نظراً للأضرار الكبيرة والمدمرة التي سببتها الزلازل السابقة. تتعرض الأساسات تحت تأثير الحمولات الزلزالية إلى انخفاض في قدرة تحمل تربة التأسيس، زيادة كبيرة للهبوط، ميلان أو دوران الأساس، انزلاقات أفقية وانقلاب المنشآت. أثبتت الدراسات والأبحاث التجريبية والنظرية أن سلوك الأساسات يتغير وقدرة تحمل التربة تنخفض تحت تأثير الحمولات الزلزالية، فمن خلال ملاحظة آثار عدد من الزلازل السابقة تبين أنه حدثت بعض حالات الانهيار للأساسات في مواقع لم تكن التربة فيها معرضة للتسيل أو لزيادة ضغط الماء المسامي أو إلى فقدان استقرار المنحدرات، تم تفسير السبب الرئيسي لهذه الانهيارات كنتيجة مباشرة لحصول هبوطات غير مسموحة وانخفاض قدرة تحمل التربة تحت تأثير الحمولات الزلزالية.

يتناول هذا البحث دراسة بارامترية عددية بطريقة العناصر المنتهية (FEM)، باستخدام (Plaxis 3D)، لسلوك حصيرة مستندة على تربة رملية وخاضعة لحمولات سيسمية زلزالية.

يتضمن البحث اجراء دراسة تأثير تغيير البارامترات المؤثرة على سلوك الحصيرة والتربة (سماكة الحصيرة وعمق التأسيس)، من أجل تقييم تأثير هذه المتغيرات على (السجل الزمني للتسارع الأفقي مع الزمن والانتقال الشاقولي مع الزمن أسفل الحصيرة)، وذلك بهدف فهم سلوك استجابة الحصيرة تحت ظروف التحميل الديناميكي للوصول لأساس حصيرة مستقر وذو كلفة اقتصادية منخفضة تحت تأثير الحمولات الديناميكية.

الكلمات المفتاحية: حمولات سيسمية – حصيرة– زلزال – تربة رملية– تسارع أفقي – الانتقال – الهبوط الديناميكي– دراسة عددية – Plaxis 3D.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين– سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY–NC–SA 04

* أستاذ – قسم الهندسة الجيوتكنيكية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.toufikabdoulahfayad.dio.sy
drtoufik@gmail.com

**طالبة دراسات عليا (ماجستير) – قسم الهندسة الجيوتكنيكية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
AliMoenKhddour94@gmail.com

مقدمة:

شكلت مسألة تصميم الأساسات السطحية بمختلف أنواعها لتتحمل مختلف أنواع الحمولات الديناميكية أهتماماً كبيراً في السنوات الأخيرة، حيث تنتج الحمولات الديناميكية بسبب: (الزلازل، اهتزاز الآلات، الانفجارات وأمواج المياه..). برزت مسألة تحليل سلوك الأساسات الخاضعة لحمولات سيسمية وتحديد قدرة تحمل التربة السيسمية وخاصةً في المناطق النشطة زلزالياً كموضوع هام للبحث في السنوات الأخيره، نظراً للأضرار الكبيرة والمدمرة التي سببتها الزلازل السابقة. تعتبر ظاهرة الزلازل من أخطر الكوارث الطبيعية التي تحدث دون سابق إنذار وتسبب ضرر المباني والهياكل، كما تتعرض الأساسات تحت تأثير الحمولات الزلزالية إلى انخفاض في قدرة تحمل تربة التأسيس، زيادة كبيرة للهبوط، ميلان أو دوران الأساس، انزلاقات أفقية وانقلاب المنشآت، وقد أثبتت الدراسات والأبحاث التجريبية والنظرية أن سلوك الأساسات يتغير وقدرة تحمل التربة تنخفض تحت تأثير الحمولات الزلزالية.



الشكل [1] – انهيار التربة تحت تأثير الحمولات الزلزالية [Prakash and Puri, 2005].

إن تصميم الأساسات في المناطق الزلزالية يتطلب اعتبارات خاصة، لذلك يجب أن يكون الأساس آمن ومصمم لكل الحمولات الستاتيكية والديناميكية، كما أن تخفيف خطر الزلازل يعتبر من أصعب التحديات في مجال الهندسة المدنية والهندسة الجيوتكنيكية.

أهمية البحث وأهدافه:

- إن دراسة سلوك الحصيرة المستندة على تربة رملية، والخاضعة لحمولات سيسمية، من خلال التحليل العددي يساهم في التوصل إلى فهم سلوك التربة والحصيرة من أجل الحد والتخفيف قدر الإمكان من الأضرار الناتجة عن الزلازل.

- يهدف هذا البحث من خلال النمذجة العددية لأساس حصيرة يستند على تربة رملية، إلى دراسة أهم البارامترات المؤثرة على سلوك الحصيرة تحت تأثير الحمولات الزلزالية وهي: (سماكة الحصيرة وعمق التأسيس).
- مناقشة نتائج التحليل العددي والدراسة البارامترية، بهدف الوصول لتقييم ديناميكي لسلوك الحصيرة (السجل الزمني للتسارع والانتقال مع الزمن)، من أجل تصميم حصيرة مستقرة مقاومة للحمولات الديناميكية وبأقل كلفة اقتصادية.

1. منهجية البحث:

يعتمد البحث على المنهج التحليلي المقارن (الدراسة البارامترية العددية) من خلال مراحل البحث التالية:

1-النمذجة العددية ومعايرة النموذج العددي: تشكيل موديل عددي لأساس حصيرة مطبق عليها حمولة سطحية موزعة بانتظام تمثل حمولة المبنى، حيث تم اخضاع الموديل لحمولة ديناميكية ممثلة بسجل زمني، بحيث تستند الحصيرة على تربة رملية بالاستعانة بأحد الدراسات المرجعية السابقة، ثم معايرة نتائج التحليل العددي مع نتائج دراسات تحليلية سابقة (مخبرية)، باستخدام برنامج (Plaxis 3D, V22)، وبرنامج (Microsoft Excel).

2-الدراسة البارامترية: وتتضمن تشكيل موديل عددي مقترح لأساس حصيرة محملة بحمولة موزعة بانتظام تمثل حمولة المبنى ومستندة على تربة رملية، بحيث يتعرض الموديل لزلزال ممثل بسجل زمني يتم إدخاله في البرنامج العددي، ثم دراسة تأثير تغيير بعض البارامترات المؤثرة على سلوك الحصيرة مثل: (سماكة الحصيرة وعمق التأسيس)، على شكل السجل الزمني لـ (التسارع الأفقي مع الزمن والانتقالات الشاقولية مع الزمن عند أسفل أساس الحصيرة).

3-تحليل النتائج ومناقشتها.

2. الدراسة العددية:

1.2. تحقيق الموديل:

1.1.2. الموديل العددي المستخدم في المعايرة:

- تم نمذجة موديل عددي لحصيرة بيتونية محملة بحمولة موزعة بانتظام ومستندة على تربة رملية خاضعة لحمولات سيسمية. استخدم السلوك (Linear Elastic) في نمذجة الحصيرة البيتونية. استخدم (MC) في نمذجة تربة الموقع الرملية والمستندة عليها الحصيرة.

- سيتم تحقيق الموديل العددي على دراسة مخبرية سابقة للباحث **[3] (Banerjee et al, 2019)**، والتي تتضمن دراسة مخبرية وعددية لسلوك حصيرة مستندة على تربة رملية جافة وخاضعة لحمولات سيسمية ممثلة بسجل زمني لاهتزاز طاولة رجاجة، وضع النموذج في صندوق صلب. مقياس التكبير ((λ=20) Scale factor).

أبعاد الحصيرة بعد استخدام مقياس التكبير (6 m* 6 m * 0.3 m) الحصيرة محملة بحمولة سطحية موزعة بانتظام قيمتها بعد التكبير (q=28.9 Kpa). استخدم (Linear elastic) لنمذجة الحصيرة كتربة بمواصفات البيتون، بالنسبة لتخامد ريليه يتم إدخاله وفق (**Manual Plaxis 3D, Chapter 9, 2016**) مباشرة عبر خاصية (input method: direct). بالنسبة لتخامد ريليه يتم إدخاله وفق (Manual Plaxis 3D, Chapter 9, 2016) عبر خاصية (input method: SDOF equivalent). تظهر مواصفات تربة الموقع في الجدول (1) ومواصفات الحصيرة في الجدول (2) كما يلي:

الجدول (1) – مواصفات تربة الموقع الرملية المستخدمة في المعايرة [3].

الرمز	القيمة	الواحدة
Gs	**2.72**	**-**
C_u	**2.84**	**-**
C_z	**0.87**	**-**
C	**0**	**Kpa**
Φ	**32**	**O**
υ	**0.32**	**-**
D_r	**48**	**%**
γ_{unsat}	**16.92**	**KN/m^3**
γ_{sat}	**19.768**	**KN/m^3**
E^{ref}	**28800**	**Kpa**
Ψ	**2**	**-**
$\xi_1 = \xi_2 = \xi$	**4.47**	**%**
$f_n = f_1 = f_2$	**10.67**	**Hz**

الجدول (2) – مواصفات الحصيرة البيتونية في الموديل العددي المستخدم للمعايرة [3].

الرمز	القيمة	الواحدة
معامل مرونة الحصيرة البيتونية (E_{rc})	**$30*10^6$**	**Kpa**
معامل بواسون الحصيرة البيتونية (v_{nu})	**0.15**	**-**
الوزن الحجمي للبيتون المسلح (γ_b)	**24**	**KN/m^3**
Rayleigh α	**0.232**	**-**
Rayleigh β	**0.008**	**-**

2.2.2. خصائص التحميل الديناميكي لموديل المعايرة:

تم اختيار زلزال (18 October, 1989, Loma Prieta) ذو الشده (M_w = 7·1) لهذه الدراسة حيث أدخلت القوة الزلزالية كتحريض هارموني موافق للزلزال السابق بواسطة سجل زمني .

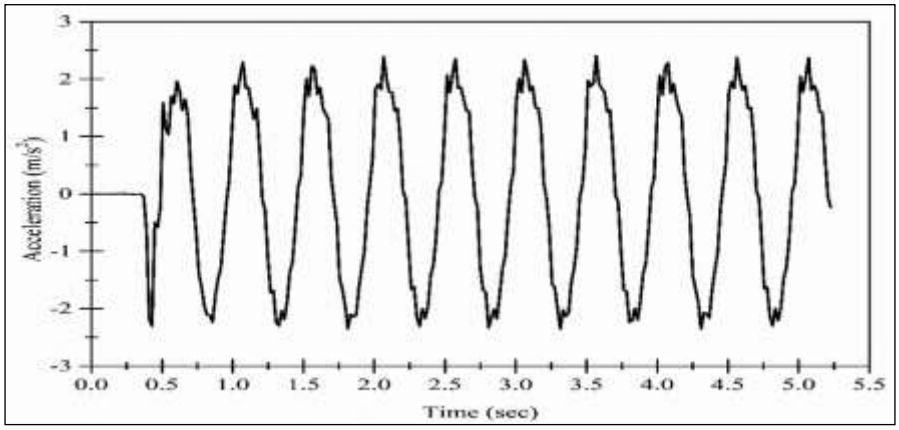
تم استبدال الحركة الأفقية الزلزالية بمعادلة حركة توافقية متكاملة (10) دورات وفق **[8] (Seed et al, 1975)**، عبر ادخال سجل زمني مطبق باستخدام طاولة رجاجة حيث: (time interval= 0.01953 sec)، (a_{avg}=2/3PGA=0.24 g)، تردد (2 Hz)، وفق الشكل [2] التالي:

*من أجل نمذجة الزلزال في البرنامج تم استخدام خاصية (Surface prescribed displacement) في البرنامج أسفل حدود الموديل العددي مع تثبيت الانتقالات للموديل باتجاه (Y and Z) والسماح بالحركة باتجاه (X) كما يلي: (displacement x = prescribed)، (displacement y = Fixed)، (displacement z = Fixed)،

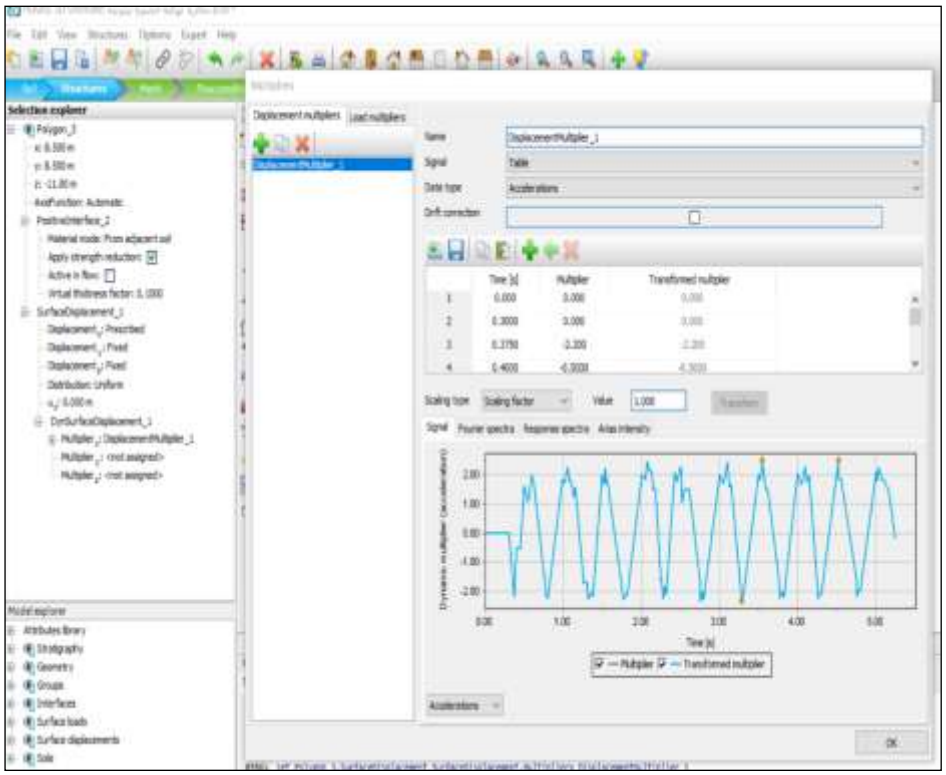
كما تم ادخال السجل الزمني للتسارع مع الزمن في البرنامج عبر خاصية (dynSurfacDisplacement1 (Multipier $_x$)) حيث:(Single: table, Data type: Accelerations) وفق الشكل [3].

*استخدم (Positive interface) يفصل بين أسفل الحصيرة والتربة الرملية المحيطة، بالإضافة لسطوح بينية موجبة تفصل بين الحدود الطرفية الجانبية للموديل باتجاه الزلزال المطبق (X) على الموديل وجوانب تربة الموديل.

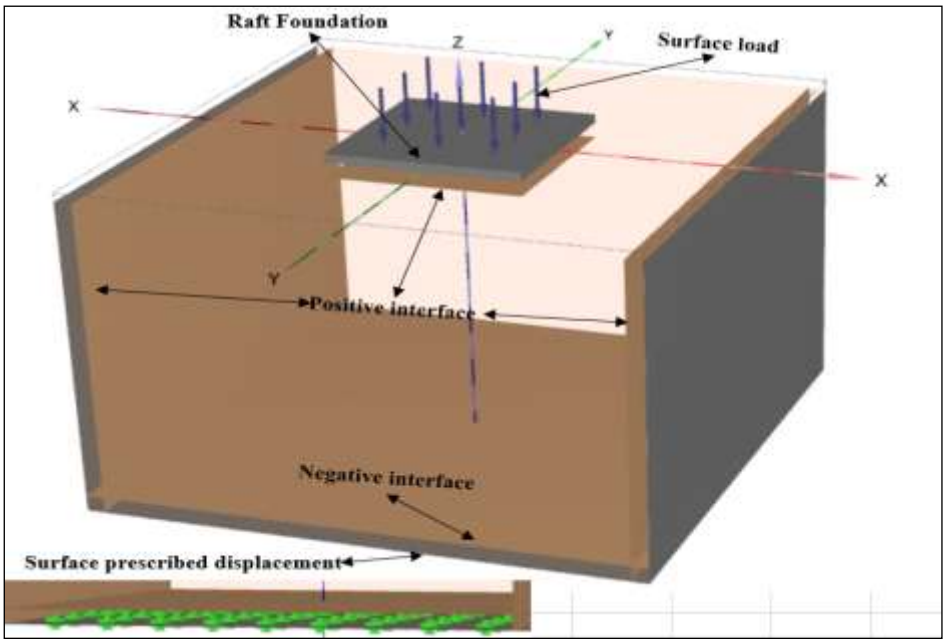
*استخدم سطح بيني سالب (Negative interface) فاصل بين أسفل الموديل ونهاية طبقة التربة الرملية وفق **[7]**. يظهر سطح الانتقال المسبق أسفل الموديل والسطوح البينية أسفل الحصيرة وأسفل الموديل وعلى جانبي الموديل باتجاه (X) في الشكل [4] التالي:



الشكل [2] – السجل الزمني للتسارع مع الزمن المطبق على صندوق الاختبار [8].



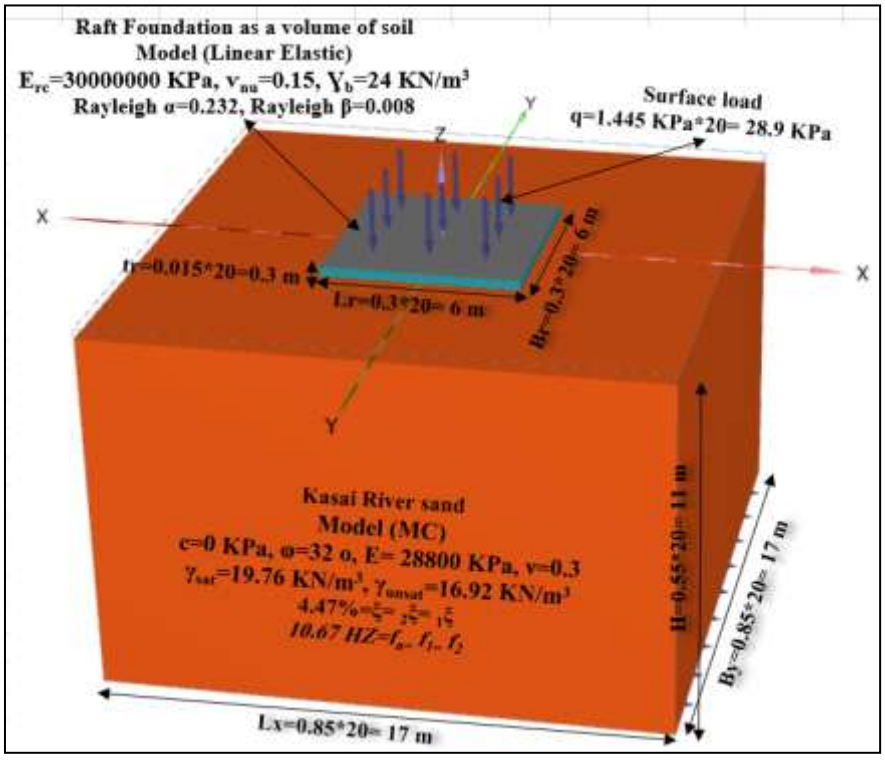
الشكل [3] – طريقة إدخال السجل الزمني للتسارع مع الزمن للحركة الأفقية الديناميكية المطبقة على الموديل المخبري والمماثلة لحدوث زلزال ([8]).



الشكل [4] – سطح الانتقال المسبق أسفل موديل المعايرة والسطوح البينية أسفل الحصيرة وأسفل الموديل وعلى جانبي الموديل باتجاه (X).

3.2.2. معايرة الموديل :

أجريت مقارنة بين نتائج النمذجة العددية والنتائج المخبرية لنمذجة حصيرة مستندة على تربة رملية خاضعة لحمولة ديناميكية جانبية. توضح الأبعاد والشروط الطرفية وخواص التربة والحصيرة وقيمة الحمولات في الشكل [5] التالي:
تظهر خطوات الحفر ومراحل الحساب المستخدمة في النمذجة العددية لموديل المعايرة في الجدول (3) التالي:

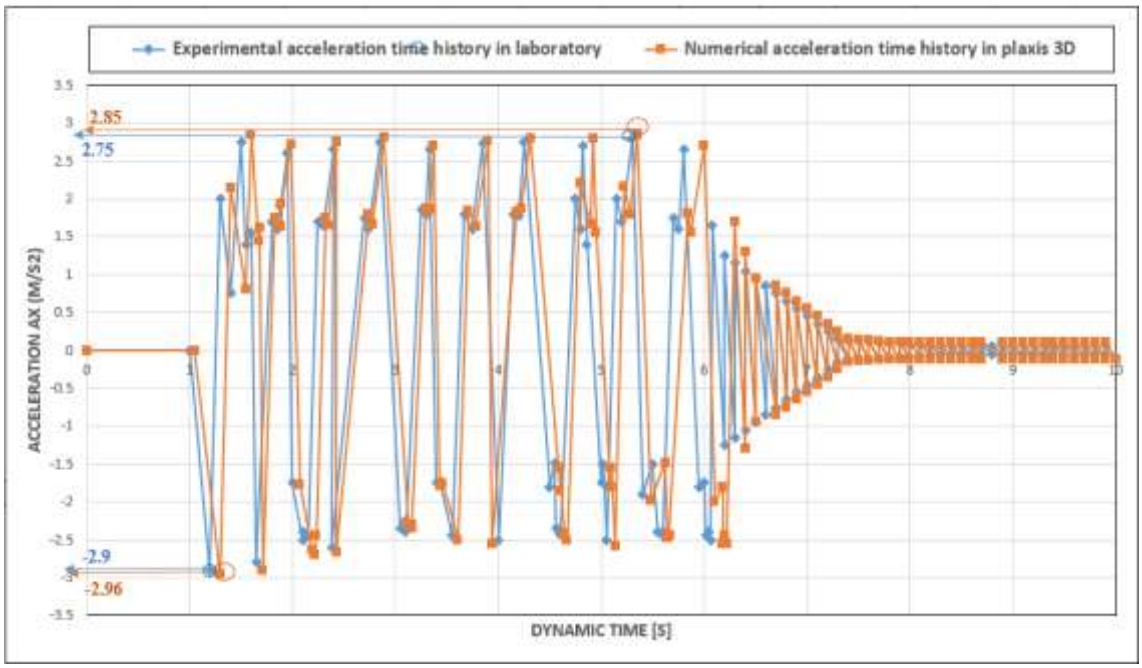


الشكل [5] – حدود وأبعاد النموذج العددي المستخدم للمعايرة [3].

الجدول (3) – مراحل الحساب العددي لموديل المعايرة.

رقم المرحلة	مراحل الحساب
0	تفعيل كامل طبقات التربة والإجهادات الفعالة والشروط الطرفية بدون تفعيل الحصيرة والحمولة السطحية الموزعة بانتظام.
1 (a)	تفعيل الحصيرة والحمولة السطحية الموزعة بانتظام، مع تفعيل السطوح البينية.
1(b)	مرحلة إبقاء الانتقالات تبدأ من الصفر.
2	تحليل الاهتزاز الحر جعل نوع الحساب ديناميكي مع إدخال خواصه والشروط الطرفية من خلال منع الحركة باتجاه (Y) والسماح بحركة لزجة باتجاه (Z) [(Boundary Y (Min and Max): None) بينما (Boundary Z Min: Viscous)].
3	تحليل الزلزال تفعيل الانتقالات السطحية أسفل الموديل وجعل نوع الحساب ديناميكي بدءاً من أول مرحلة مع إدخال خواصه وإبقاء الانتقالات تبدأ من الصفر، مع تحديد يدوي لخطوات الحساب وإدخال الشروط الطرفية بجعل المستوي (YX) حقل حر والمستوي (YZ) قاعدة متوافقة [(Boundary YZ Min: Compliant), (Boundary YX (Min and Max): Free Field) (base].

*أجريت مقارنة بين منحني القيم المخبرية للسجل الزمني للتسارع الأفقي (acceleration) مع الزمن الديناميكي (dynamic time) (T_d-a_x) للباحث **[3]** مع منحني القيم المحسوبة عددياً بـ (Plaxis, 3D) للسجل الزمني للتسارع الأفقي مع الزمن الديناميكي بدءاً من أسفل الحصيرة حتى نهاية الموديل ويظهر ذلك في الشكل [6] التالي:



الشكل [6] – المقارنة بين منحنيي التسارع الأفقي مع الزمن مخبرياً وعددياً (منحني المعايرة).

مما سبق نلاحظ أن:

–منحني القيم المحسوبة عددياً للسجل الزمني للتسارع الأفقي مع الزمن (T_d - a_x)، يتقارب مع منحني القيم المقاسة مخبرياً في الشكل والقيم.

–أكبر نسبة مئوية للفرق بين التسارع الأفقي المقاس مخبرياً (a_{xl}) والتسارع الأفقي المقاس عددياً (a_{xn})

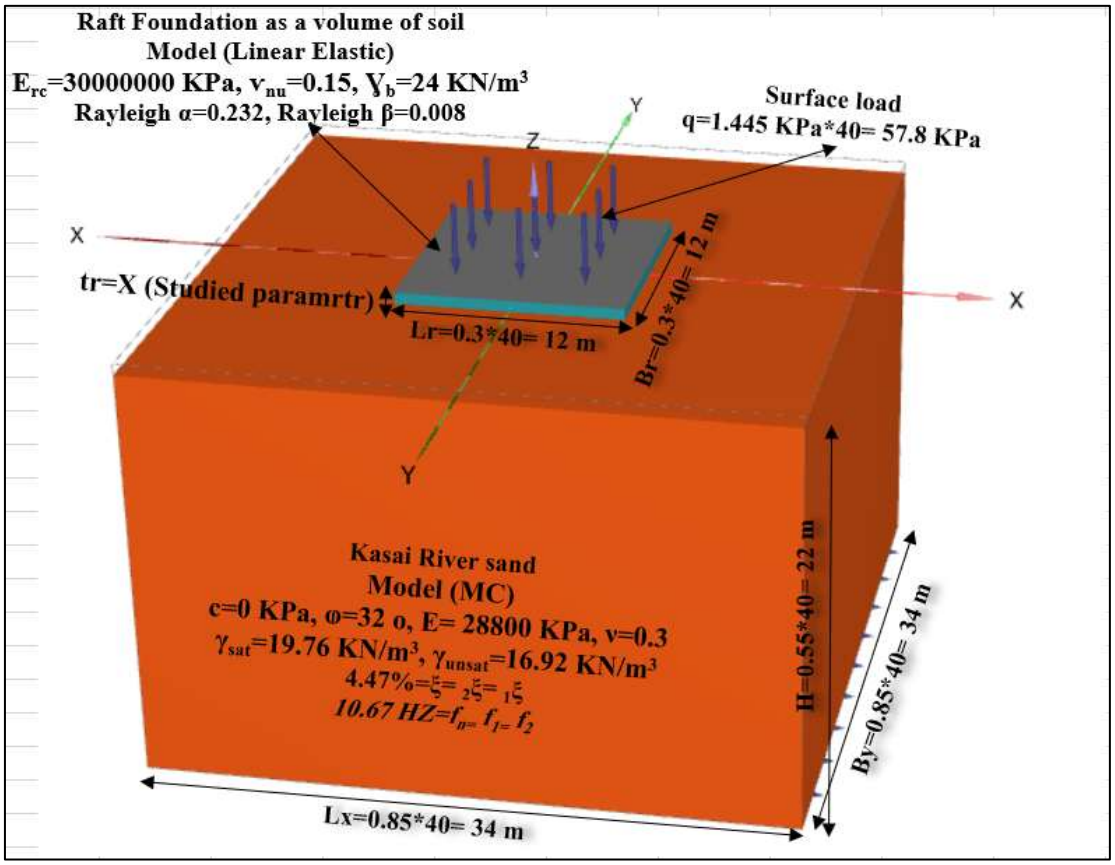
(Δa_{x+} = %3.5, Δa_{x-} =%2.01) وهي نسبة مقبولة في الدراسات العددية ومنه يمكن القول أن الموديل العددي المقترح محقق ويمكن استخدامه لإجراء الدراسة البارامترية العددية.

2.2. الدراسة البارامترية:

1.2.2. المثال النموذجي المقترح:

من أجل إجراء الدراسة العددية قمنا بوضع مثال نموذجي يتألف من حصيرة بيتونية مستندة على تربة رملية ومحملة بحمولة موزعة بانتظام بنفس خواص التربة والحصيرة وقوانين سلوك المادة لموديل المعايرة.

استخدمت الأبعاد والحدود الطرفية لموديل الباحثين **[3]**. تم استخدام مقياس تكبير مضاعف ((λ=40) (Scale factor عن المقياس المخبري لموديل المعايرة لتصبح الحصيرة ذات أبعاد أكبر وأكثر واقعية. استخدمت التربة الرملية المأخوذة من الدراسة المرجعية للباحث **[3]** وهي نفس تربة المعايرة. توضح الأبعاد والشروط الطرفية وخواص التربة والحصيرة وقيمة الحمولات في الشكل [7] التالي:



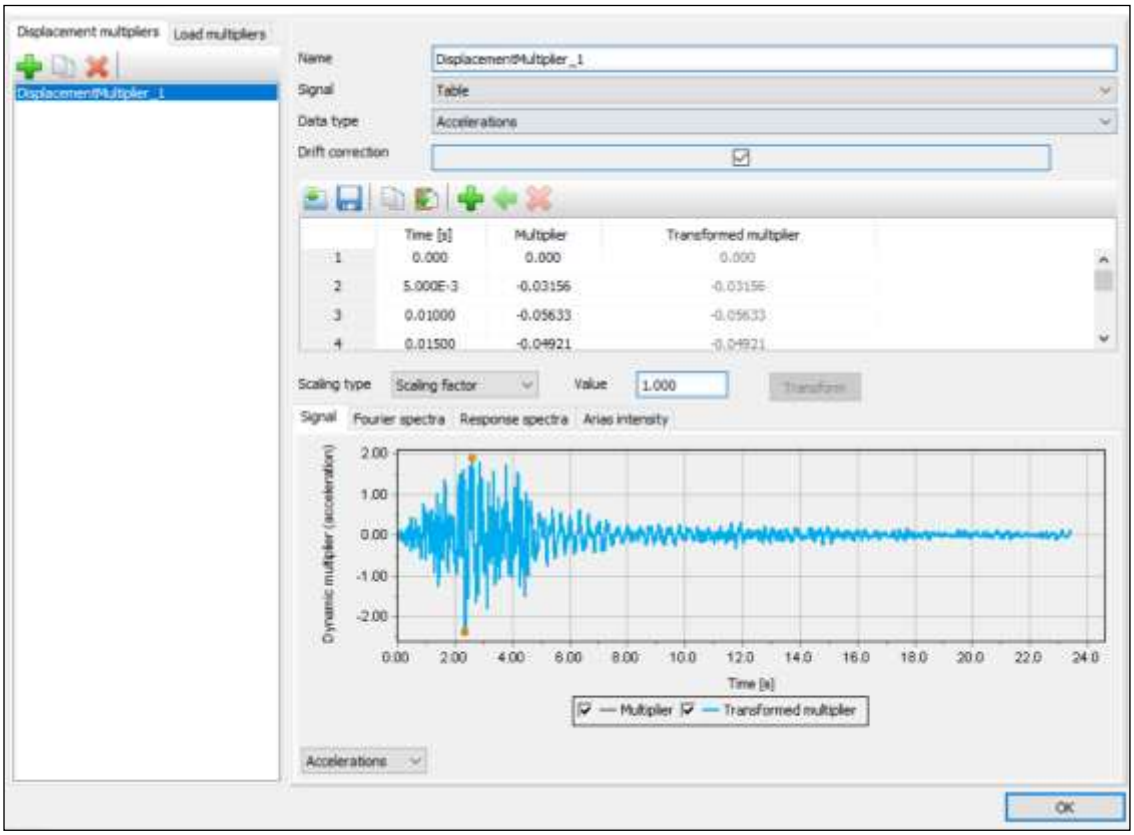
الشكل [7] – حدود وأبعاد النموذج العددي المقترح والمستخدم من أجل الدراسة البارامترية.

2.2.2. خصائص التحميل الديناميكي للموديل النموذجي المقترح:

تم اختيار زلزال (18 October, 1989, Loma Prieta) ذو الشده (M_w = 7·1) لهذه الدراسة، تم ادخال السجل الزمني للزلزال المذكور وفق **[7 and 6]**.

تم ادخال السجل الزمني للتسارع مع الزمن في البرنامج عبر خاصية (dynSurfacDisplacement1 (Multipier حيث:(Single: table, Data type: Accelerations) وفق الشكل [8].

* تم اتباع نفس مراحل الحساب العددي لموديل المعايرة عند دراسة الموديل النموذجي المقترح.



الشكل [8] – طريقة إدخال السجل الزمني للتسارع الأفقي مع الزمن لزلزال (Loma prieta, 1989) في الموديل العددي المقترح ([7] and [6]).

3.2.2. تأثير تغيير سماكة الحصيرة البيتونية (t_r):

سيتم دراسة تأثير تغيير سماكة الحصيرة على سلوكها الديناميكي [(مخطط التسارع الأفقي مع الزمن (a_x-T_d)، الانتقال الشاقولي مع الزمن (U_z- T_d)]، أسفل الحصيرة.

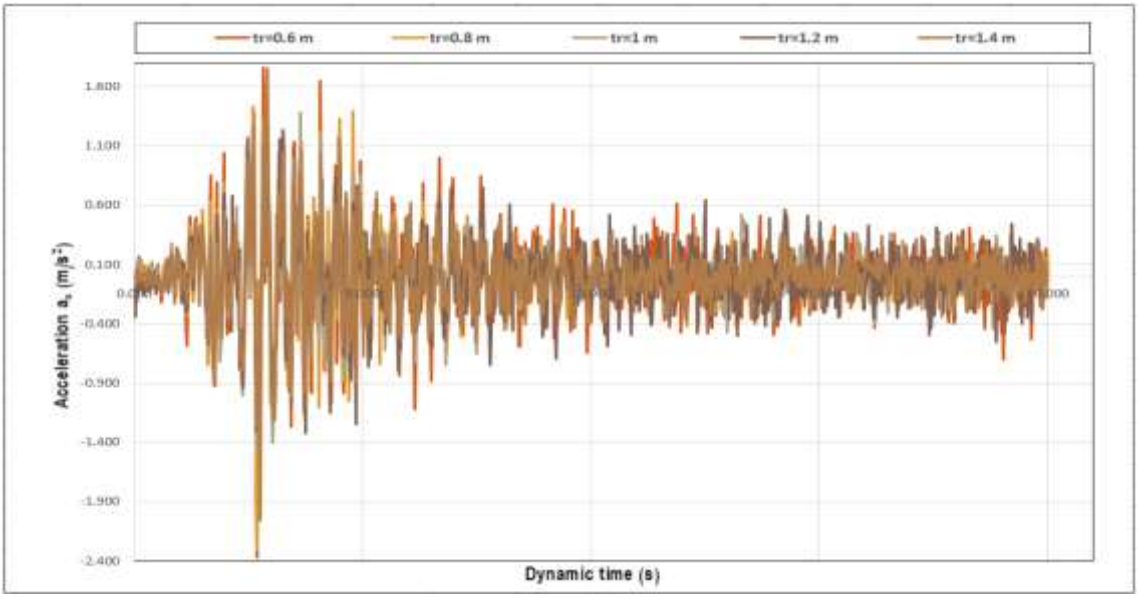
نبقي خواص التربة والحصيرة كما هي في الجدولين (1) و (2) السابقين، مع اعتماد نفس الأبعاد والشروط الطرفية في الشكل [3–5] السابق، وتثبيت معامل مرونة التربة الرملية (E_s=28800 Kpa)، وعمق التأسيس (Df=0 m).

*تم حساب المخططات السابقة عند تغيير قيمة سماكة الحصيرة كما يلي:

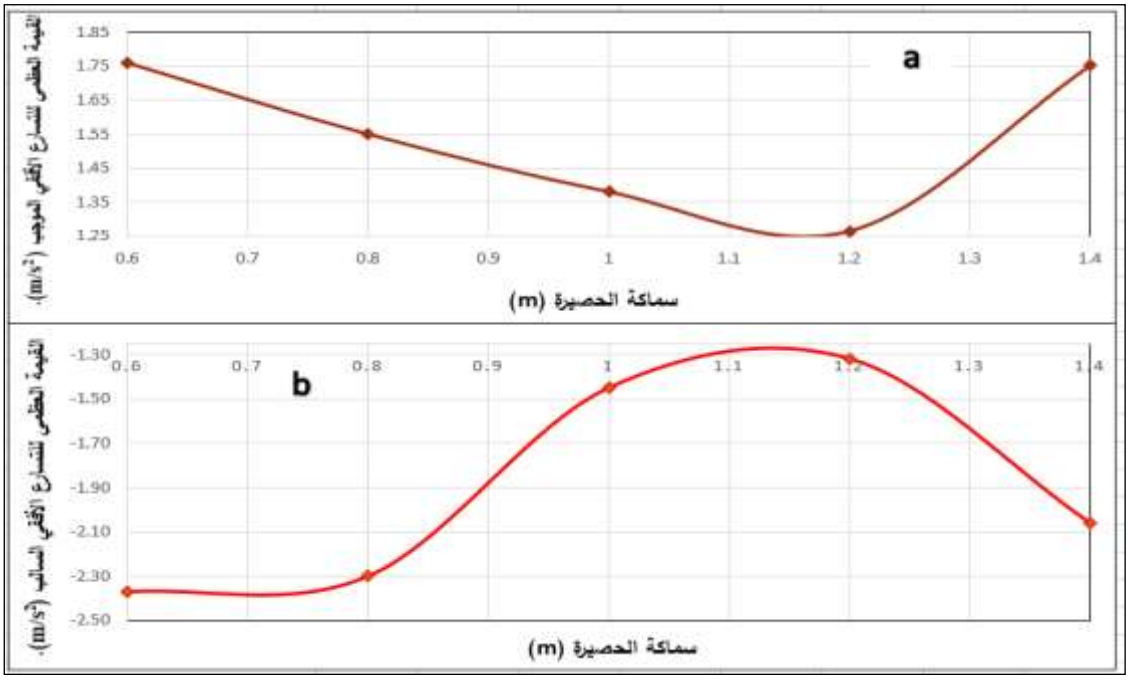
(t_r= 0.6m, 0.8m, 1m, 1.2m, 1.4m)، تظهر النتائج وفق التالي:

1.3.2.2. تأثير تغيير سماكة الحصيرة على التسارع الأفقي مع الزمن:

بعد إجراء التحليل العددي تم رسم مخطط التسارع الأفقي مع الزمن أسفل الحصيرة ورسم القيم العظمى للتسارع الأفقي لكل سماكة حصيرة مدروسة وفق الشكل [9] والشكل [10] التاليين:



الشكل [9] – السجل الزمني للتسارع الأفقي مع الزمن أسفل الحصيرة عند تغيير سماكة الحصيرة.



الشكل (a,b) [10] – منحني القيم العظمى للتسارع الأفقي الموجب والسالب عند كل سماكة حصيرة مدروسة.

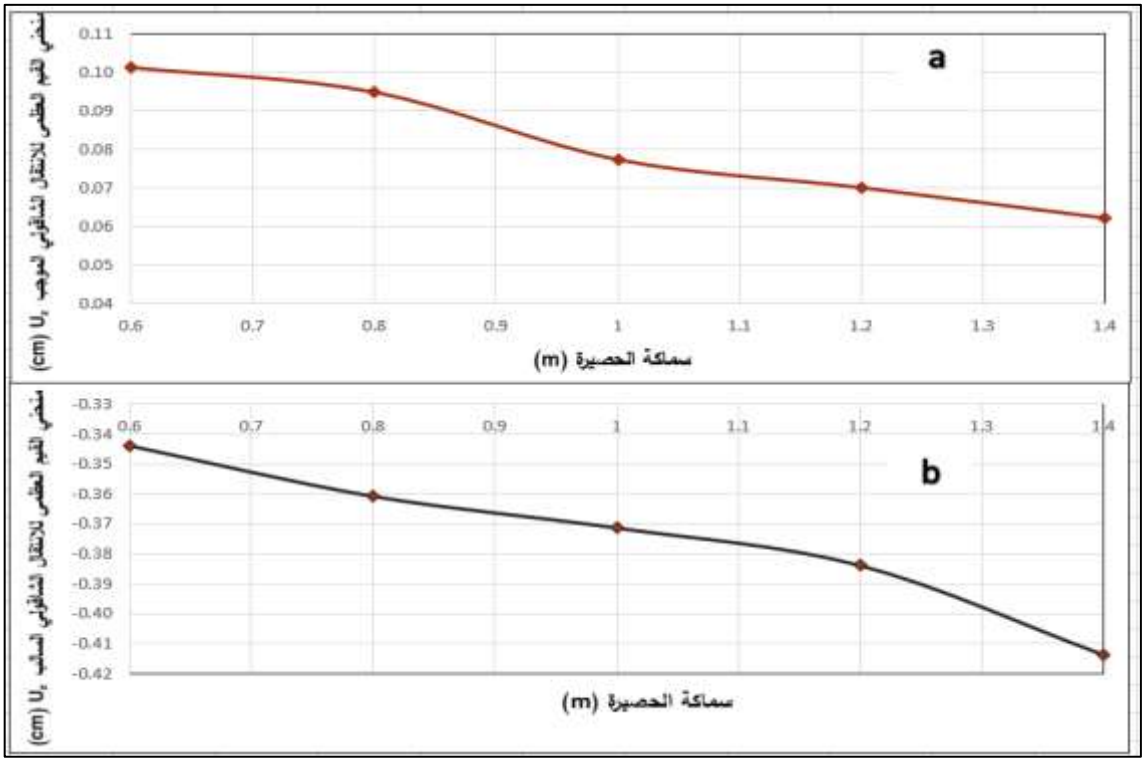
–يبين الشكل [9] انخفاض التسارع الأفقي مع زيادة سماكة الحصيرة عند عمق تأسيس ثابت، يتم الحصول على أقل قيمة تسارع أفقي أعظمي موجب عند سماكة الحصيرة (tr=1m and 1.2m)، يعود التسارع الأفقي للزيادة عند السماكة (tr=1.4 m). من الشكل [10] تكون قيمة التسارع الأفقي الأعظمي أسفل الحصيرة عند السماكة (tr=1m) (a_x+=1.38 m/s^2)، وقيمة التسارع الأفقي الأعظمي السالب عند (tr=1 m) (a_x-=1.45 m/s^2). إن أقل قيمة

تسارع أفقي أعظمي موجب أسفل الحصيرة عند السماكة (tr=1.2m) حيث (a_x^+=1.26 m/s^2)، وأقل قيمة تسارع أفقي أعظمي سالب عند السماكة (tr=1.2 m) حيث (a_x^-=1.32 m/s^2).

إن الفرق بين قيم التسارع في الحالتين (Δa_x^-=9%, Δa_x^+=8.7%) (tr=1 m and tr=1.2 m) وهو فرق ضئيل. مما يدل على أن سماكة الحصيرة (tr=1 m) كافية لإعطاء سلوك ديناميكي آمن للحصيرة في موديلنا المدروس، ولذلك من أجل الناحية الاقتصادية ولتوفير كمية البيتون المستخدم، مع تحقيق أمان للحصيرة عند تعرضها للزلزال تم اعتماد قيمة سماكة الحصيرة (tr=1m).

2.3.2.2. تأثير تغيير سماكة الحصيرة على الانتقال الشاقولي مع الزمن:

بعد إجراء التحليل العددي تم رسم القيم العظمى للانتقال الشاقولي عند كل سماكة حصيرة مدروسة وفق الشكل [11] التالي:



الشكل [11] – منحني القيم العظمى للانتقال الشاقولي عند كل سماكة حصيرة مدروسة.

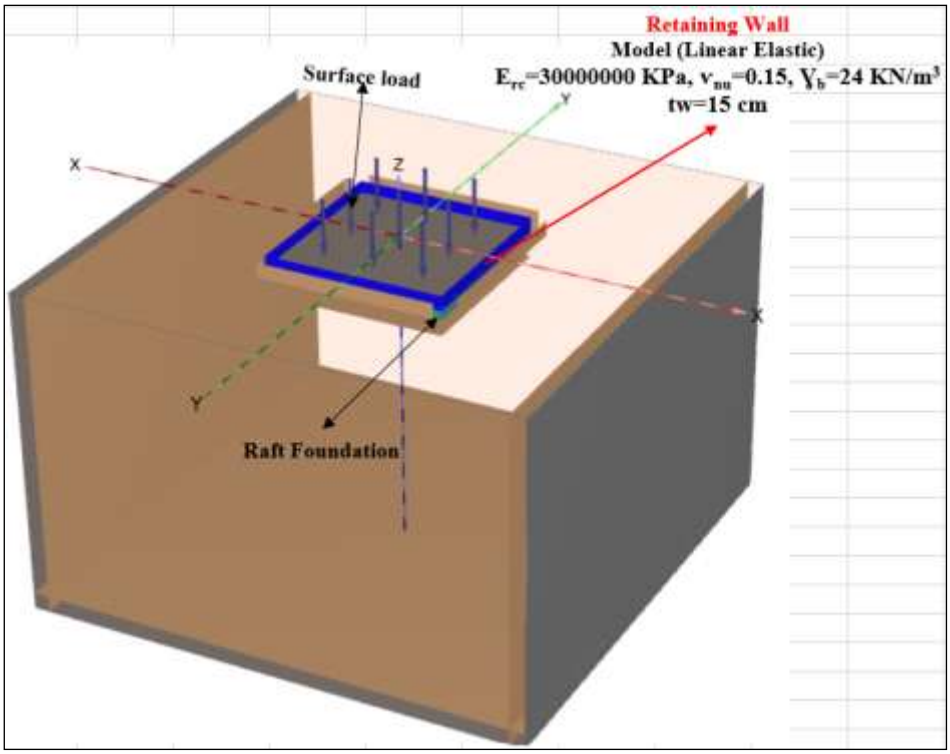
–يبين الشكل السابق انخفاض قيم الانتقال الشاقولي مع زيادة سماكة الحصيرة، إن أقل قيمة هبوط شاقولي عند السماكة (tr=0.6 m) هو (U_z^-=0.34 cm). إن قيمة الانتقال الشاقولي الأعظمي عند السماكة (tr=1 m) هي (U_z^+= 0.08 cm, U_z^-=0.37 cm) وهي قيم هبوطات ضئيلة وضمن الحدود المسموحة، إن الفرق بين قيم الانتقال الشاقولي الأعظمي للحالتين (tr=0.6 m and tr=1 m) هو (ΔU_z^+=8.1%) وهو فرق ضئيل، مما يدل على أن سماكة الحصيرة (tr=1m) كافية لإعطاء سلوك ديناميكي آمن للحصيرة في موديلنا المدروس، ولذلك من أجل الناحية الاقتصادية ولتوفير كمية البيتون المستخدم، مع تحقيق أمان للحصيرة على الانتقال الشاقولي عند تعرضها للزلزال تم اعتماد قيمة سماكة الحصيرة (tr=1m). في حين وجد **(Shafiquand and Abdulrasool, 2018)** أن قيمة الانتقال الشاقولي الأعظمي يعتمد على سعة الموجة السيسمية وذروة التسارع الأرضي للزلزال. بينما وجد (**Ali et al,**

2022) أنه يقل الانتقال الشاقولي أسفل الحصيرة مع زيادة سماكة الحصيرة مع بداية الزلزال ويزداد مع الزمن، ويفسر ذلك باختلاف نوع التربة المدروسة. لاحظ **(Alameri et al, 2020)** أنه مع زيادة سماكة الحصيرة عدم وجود تأثير ملحوظ على الانتقال الشاقولي.

4.2.2. تأثير تغيير عمق تأسيس الحصيرة البيتونية (Df):

سيتم دراسة تأثير تغيير عمق تأثير الحصيرة البيتونية على سلوكها الديناميكي كما يلي:

[(مخطط التسارع الأفقي مع الزمن (a_x-T_d)، الانتقال الشاقولي مع الزمن (U_z- T_d)]، بدءاً من أسفل الحصيرة حتى نهاية الموديل العددي. لوحظ عند النمذجة حصول انهيار لجوانب حفرة التأسيس أثناء الحفر لعمق التأسيس في جميع الحالات، لذلك تم وضع جدار استنادي بسماكة (t_w=15 cm)، يحيط بجميع جوانب حفرة التأسيس من أجل تأمين استقرار التربة للتمكن من دراسة تأثير عمق التأسيس، تظهر خصائص الجدار الاستنادي في الشكل [12] التالي:



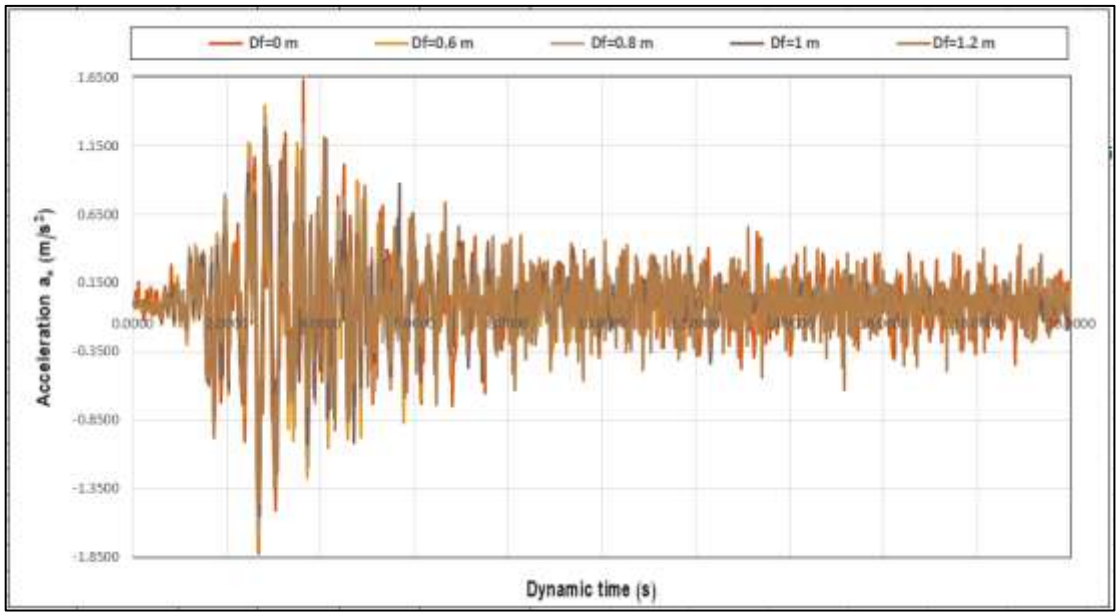
الشكل [12] – شكل الموديل المستخدم لدراسة تأثير عمق تأسيس الحصيرة مع خصائص الجدار الاستنادي.

*تم حساب المخططات السابقة عند تغيير قيمة عمق تأسيس الحصيرة كما يلي:

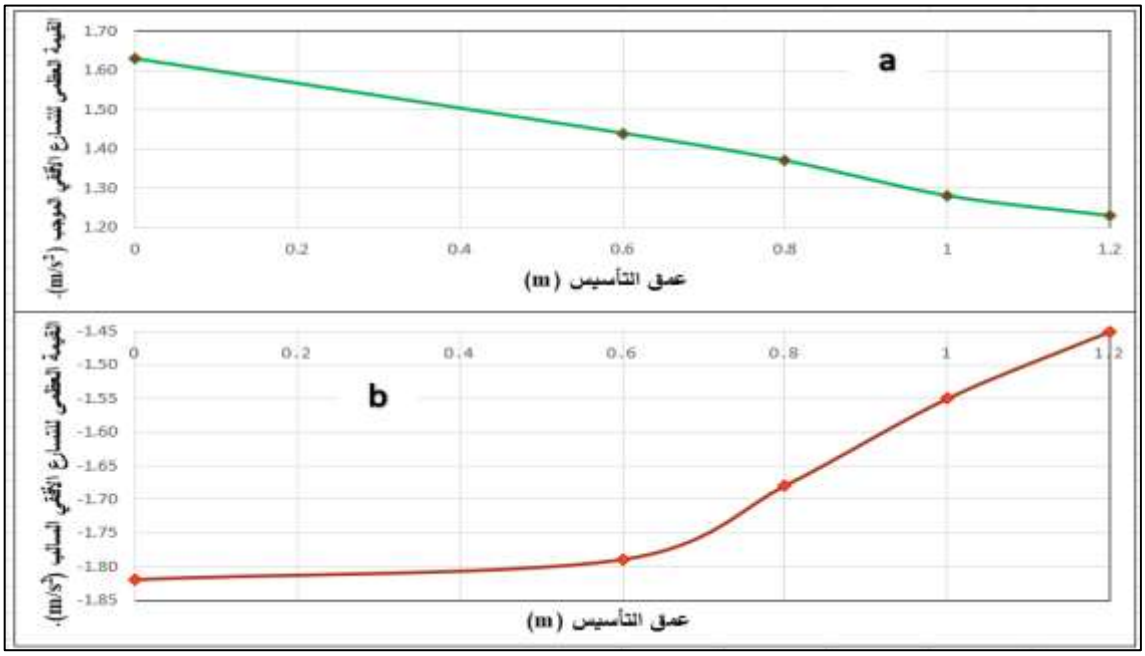
(Df=0 , 0.6m, 0.8m, 1m, 1.2m)، تظهر النتائج وفق التالي:

1.4.2.2. تأثير تغيير عمق تأسيس الحصيرة على التسارع الأفقي مع الزمن:

بعد إجراء التحليل العددي تم رسم مخطط التسارع الأفقي مع الزمن أسفل الحصيرة ورسم القيم العظمى للتسارع الأفقي عند كل عمق تأسيس مدروس وفق الشكل [13] والشكل [14] التاليين:



الشكل [13] – السجل الزمني للتسارع الأفقي مع الزمن أسفل الحصيرة عند تغيير عمق تأسيس الحصيرة.



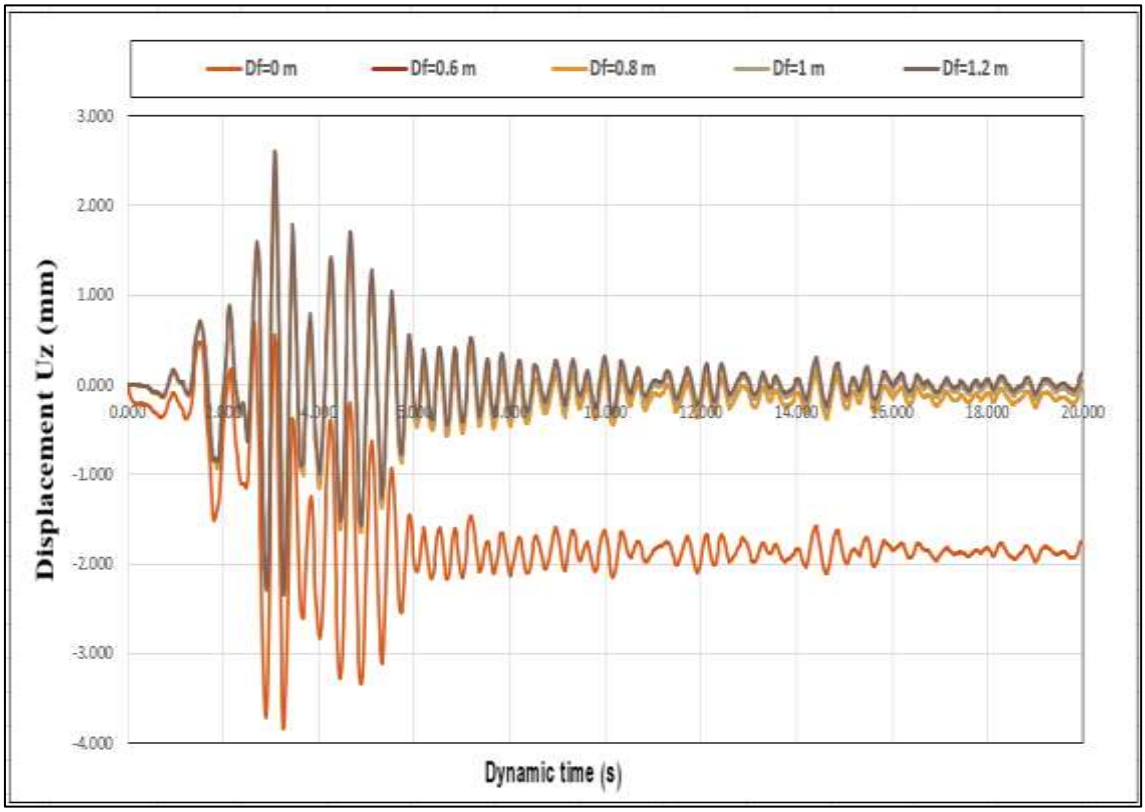
الشكل (a, b) [14] – منحني القيم العظمى للتسارع الأفقي الموجب والسالب عند كل عمق تأسيس حصيرة مدروس.

–يبين الشكل [13] انخفاض قيم التسارع الأفقي مع زيادة عمق تأسيس الحصيرة عند سماكة ثابتة للحصيرة. يبين الشكل [14] انخفاض قيمة التسارع الأفقي الأعظمي مقدار
(Δa_x^+=21.5%, Δa_x^-=14.84%) عند عمق تأسيس (1 m) مقارنة مع حالة عدم وجود عمق تأسيس، كذلك تنخفض قيمة التسارع الأفقي الأعظمي (Δa_x^+=24.54%, Δa_x^-=20.33%) عند عمق تأسيس (1.2 m).

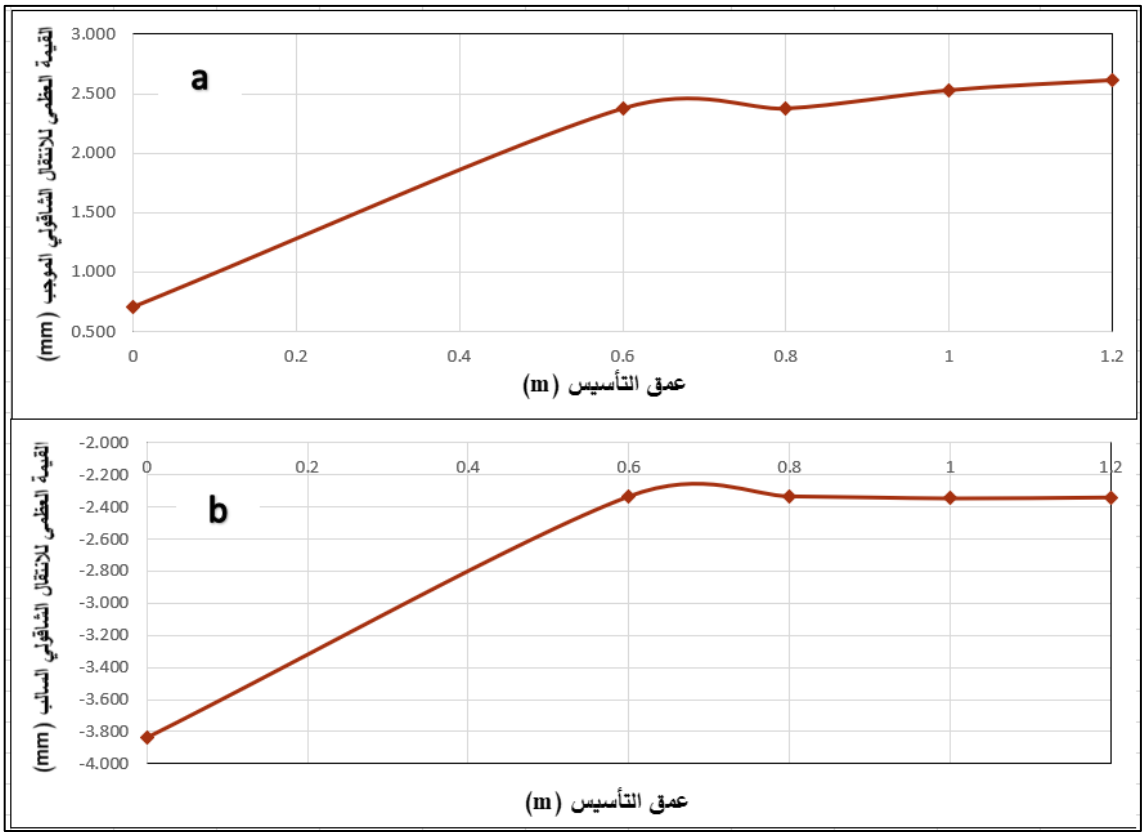
إن قيمة النسبة المئوية للفرق بين قيم التسارع الأعظمي لحالة (Df=1 m and Df=1.2 m) كنسبة مئوية حوالي (Δa_x^+=3.91%, Δa_x^-=6.45%) ويعد فرق ضئيل، لذلك من أجل الناحية الاقتصادية ولتوفير كمية الحفر لذلك تم اعتماد عمق التأسيس (Df=1 m)، حيث حقق انخفاض كبير في قيم التسارع الأفقي أيضاً. إن مقدار الانخفاض لقيمة التسارع تكون أكبر كلما زاد عمق تأسيس الحصيرة، بسبب زيادة توثيق الأساس مع الأرض وبالتالي يقل تأثير الموجة الزلزالية مع زيادة عمق التأسيس.

2.4.2.2. تأثير تغيير عمق تأسيس الحصيرة على الانتقال الشاقولي مع الزمن:

بعد إجراء التحليل العددي تم رسم مخطط الانتقال الشاقولي مع الزمن أسفل الحصيرة ورسم القيم العظمى للانتقال الشاقولي عند كل عمق تأسيس مدروس وفق الشكل [15] والشكل [16] التاليين:



الشكل [15] – السجل الزمني للانتقال الشاقولي مع الزمن أسفل الحصيرة عند تغيير عمق تأسيس الحصيرة.



الشكل (a, b) [16] – منحني القيم العظمى للانتقال الشاقولي عند كل عمق تأسيس حصيرة مدروسة.

-يبين الشكل [3-15] ازدياد قيم الانتقال الشاقولي الموجب مع وجود عمق تأسيس الحصيرة، بالإضافة لحصول انخفاض في قيم الانتقال الشاقولي السالب مع زيادة عمق تأسيس الحصيرة، بسبب ازدياد توثيق أساس المبنى مع الأرض.

يبين الشكل [3-16] ازدياد قيم الانتقال الشاقولي الأعظمي الموجب (ΔU_z^+=72.23%) في حالة (Df=1 m) عن حالة عدم وجود عمق تأسيس، بينما ينخفض الانتقال الشاقولي الأعظمي السالب (ΔU_z^-=38.9%) في حالة (Df=1 m).

تزداد قيمة (ΔU_z^+=73.1%) في حالة (Df=1.2 m)، كما ينخفض (ΔU_z^-=39.1%) عند (Df=1.2 m)، إن النسبة المئوية للفرق بين قيم الانتقال الشاقولي الأعظمي للحالتين:

(Df=1 m and Df=1.2 m) حوالي (ΔU_z^-=0.3% and ΔU_z^+=3.25%) ويعد فرق ضئيل، بالتالي تتقارب قيم الانخفاض والزيادة للانتقال الشاقولي مع الزمن في حالتي (Df=1 m and Df=1.2 m).

لذلك من أجل الناحية الاقتصادية ولتوفير كمية الحفر لذلك تم اعتماد عمق التأسيس (Df=1 m)، حيث حقق انخفاض كبير في قيم الانتقال الشاقولي أيضاً.

الاستنتاجات والتوصيات:

نتائج البحث (Research Results):

1-تنخفض قيم التسارع الأفقي الديناميكي مع زيادة سماكة الحصيرة عند عمق تأسيس ثابت للحصيرة حتى السماكة (tr=1.2 m) يعود التسارع الأفقي للزيادة عند السماكة (tr=1.4 m).

2- تنخفض قيمة التسارع الأفقي الأعظمي مقدار (Δa_x^+=21.6%, Δa_x^-=38.8%) عند سماكة الحصيرة البيتونية (tr=1 m) عن حالة أول سماكة (tr=0.6 m).

3- تنخفض قيمة الانتقال الشاقولي الديناميكي مع زيادة سماكة الحصيرة، تتولد هذه الاستجابة بسبب زيادة مدة الزلزال المطبق على الموديل المدروس وزيادة انتقال أساس الحصيرة وانخفاض خصائص المقاومة مع تطبيق الحمولة الزلزالية في الترب الرملية.

4-إن قيمة الانتقال الشاقولي الأعظمي عند السماكة (tr=1 m) هي (U_z^+= 0.08 cm, U_z^-=0.37 cm) وهي قيم هبوطات ضئيلة وضمن الحدود المسموحة، إن الفرق بين قيم الانتقال الشاقولي الأعظمي للحالتين (tr=0.6 m and tr=1 m) هو (ΔU_z^+=8.1%) وهو فرق ضئيل.

5- إن سماكة الحصيرة (tr=1 m) كافية لإعطاء سلوك ديناميكي آمن للحصيرة، ولذلك تم اعتماد هذه السماكة من أجل الناحية الاقتصادية ولتوفير كمية البيتون المستخدم، مع تحقيق سلوك ديناميكي عالي للحصيرة عند تعرضها للزلزال (تسارع أفقي منخفض وانتقال شاقولي منخفض وهبوط ديناميكي منخفض ومسموح وآمن).

6- تنخفض قيم التسارع الأفقي مع زيادة عمق تأسيس الحصيرة عند سماكة ثابتة للحصيرة، بسبب زيادة توثيق الأساس مع الأرض وبالتالي يقل تأثير الموجة الزلزالية مع زيادة عمق التأسيس.

7- تنخفض قيمة التسارع الأفقي الأعظمي مقدار (Δa_x^+=21.5%, Δa_x^-=14.84%) عند عمق تأسيس (1 m) مقارنة مع حالة عدم وجود عمق تأسيس.

8- تزداد قيم الانتقال الشاقولي الموجب مع وجود عمق تأسيس الحصيرة، بالإضافة لحصول انخفاض في قيم الانتقال الشاقولي السالب مع زيادة عمق تأسيس الحصيرة، بسبب ازدياد توثيق أساس المبنى مع الأرض.

9- تزداد قيم الانتقال الشاقولي الأعظمي الموجب (ΔU_z^+=72.23%) في حالة (Df=1 m) عن حالة عدم وجود عمق تأسيس، بينما ينخفض الانتقال الشاقولي الأعظمي السالب (ΔU_z^-=38.9%) في حالة (Df=1 m).

10- إن عمق تأسيس الحصيرة (Df=1m) كافي لإعطاء سلوك ديناميكي آمن للحصيرة، ولذلك تم اعتماد هذا العمق من أجل الناحية الاقتصادية ولتوفير كمية الحفر المستخدم، مع تحقيق سلوك ديناميكي عالي للحصيرة عند تعرضها للزلزال (تسارع أفقي منخفض وانتقال شاقولي منخفض وأقل قيم هبوط ديناميكي ومسموح وآمن).

التوصيات والأبحاث المستقبلية (Recommendation):

1- يوصى بإجراء دراسة بارامترية للمزيد من البارامترات الداخلة في تصميم الحصيرة البيتونية المستندة على تربة رملية خاضعة لحمولات سيسمية مثل: (تغيير شدة الزلزال المطبق من خلال استخدام عدة سجلات زمنية لعدة زلازل مختلفة الشدة، سماكة طبقة التربة الرملية أسفل الحصيرة، نوع التربة الرملية...) والتوسع في البارامترات المدروسة بسبب قلة الدراسات المرجعية المتضمنة هذه البارامترات.

2- يوصى بدراسة تأثير البارامترات المتعلقة بالمسألة المدروسة على سلوك الحصيرة الديناميكي مع استخدام قانون مادة أكثر دقة مثل قانون الـ (Hardening soil).

3- يوصى بإجراء الدراسة العددية السابقة على أنواع أخرى مختلفة من الترب الرملية: (سيئة وجيدة التدرج الحبي، ناعمة متوسطة النعومة وخشنة) بالإضافة لأنواع الترب الغضارية، من أجل التوسع في البحث ومقارنة النتائج التي تم الحصول عليها مع نتائج هذا البحث.

4- يوصى بدراسة تأثير تغيير مزيد من بارامترات مواصفات التربة الرملية أسفل الحصيرة على السلوك الديناميكي للحصيرة مثل: (التماسك، زاوية الاحتكاك، الوزن الحجمي ومعاملات مرونة التربة المتعددة عند استخدام قانون مادة مختلف).

5- يوصى بدراسة تأثير البارامترات السابقة على قدرة تحمل التربة الديناميكية والتردد.

References:

1. Al-Ameri, A., Jawad, F. and Fattah, M, (2020). "*Vertical and lateral displacement response of foundation to earthquake loading*", International Journal of Engineering, Transactions A: Basics, Vol. 33, No. 10, 1864-1871. doi: 10.5829/IJE.2020.33.10A.05.

2. Ali, H. A., Abbas, O.H and *, S. H. Abed-Awn, (August 2022). "*Behavior of Raft Foundation Built on Layered Soil under Different Earthquake Excitation*", International Journal of Engineering. Department of Civil Engineering, University of Diyala, Diyala, Iraq, IJE TRANSACTIONS B: Applications Vol. 35, No. 08, 1509-1515.

3. Banerjee, R., Aniruddha, S and Reddy, R. G, (December 2019). "*Study of a surface raft foundation in dry cohesionless soil subjected to dynamic loading*". Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Kharagpur, Kharagpur 721 302, India.

4. Manual, T, (2016). "Plaxis 3D", Delt University of Technology &PLAXIS, Netherland.

5. Plaxis 2D," *Tutorial Manual*", (2016) pp (47-59).

6. PLAXIS 3D Foundation. (2008). "*PLAXIS 3D foundation user manual*", version 2.0. Brinkgreve, R.B., Swolfs, W.M., PLAXIS Inc.

7. Qassun. S., Shafiqu. M., Abdulrasool, A. M. (2018). "*Finite Element Analysis of Raft Foundation on Various Soil Types under Earthquake Loading*". International Scholarly and Scientific Research & Innovation 12(9), World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Architectural and Environmental Engineering Vol:12, No:9.

8. Seed, H. B., Idriss, I. M., Makdisi, F. and Banerjee, N. (1975). "*Representation of irregular stress time histories by equivalent uniform*". stress series in liquefaction analysis. EERC-75-29, University of California, Berkeley, USA.

9. Shafiqu, Q.S.M. and Abdulrasool, M.A, (2018), "*Finite element analysis of raft foundation on various soil types under earthquake loading*", International Journal of Architectural and Environmental Engineering, Vol. 12, No. 9, 799-809. https://doi.org/10.5281/zenodo.1474315.