مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٨) العدد(٣) ٢٠٢٤
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (8) No. (3) 2024

تأثير بارامترات الحركة الزلزالية على الانتقال الأفقي للمنحدر

م. ميسم فايز موعي *

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٣/٨/١٦ . قُبِل للنشر في ٢٠٢٤/٣/١١)

□ ملخّص □

يتضمن هذا البحث دراسة عددية بطريقة العناصر المنتهية تهدف إلى فهم سلوك منحدر تحت تأثير هزة أرضية باستخدام طريقة تخفيض مقاومة القص SSR.

من أجل ذلك قمنا بوضع موديل عددي مناسب ثنائي البعد للمسألة المدروسة يعتمد على نمذجة كل من المنحدر و الحمولة الزلزالية المؤثرة و إدخاله في برنامج الحساب العددي PLAXIS وتوصلنا بالنتيجة إلى تحديد الاستجابة الديناميكية للمنحدر تحت تأثير الزلزال المفترض . قمنا بتحقيق الموديل العددي على نتائج قياسات تجريبية حصلنا عليها بنتيجة البحث المرجعي ووجدنا تقاربا جيداً بين القياسات التجريبية و النتائج العددية .

بعد تحقيق الموديل العددي الذي استخدمناه لإجراء الدراسة قمنا بدراسة تأثير بارامترات الحركة الزلزالية (التردد F و مطال التسارع الجزيئي a_{max}) على قيمة الانتقال الأفقي للمنحدر Ux.

الكلمات المفتاحية : توازن المنحدرات الزلزالي، الحركة الزلزالية ، السجلات الزمنية الزلزالية ، اهتزاز توافقي مكافىء ، انتقال المنحدر، طريقة العناصر المنتهية (FEM) ، PLAXIS

١عضو هيئة فنية بصفة قائم بالأعمال – قسم المعدات و الاليات– كلية الهندسة التقنية – جامعة طرطوس–طرطوس– سوريا

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٨) العدد(٣) ٢٠٢٤
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (8) No. (3) 2024

Influence of Seismic Ground Motion Parameters on lateral displacement of slope

E.Mayssam Fayez Mouie *

(Received 16/8/2023 . Accepted 11/3/2024)

□ ABSTRACT □

This research contains a numerical study by finite element method and aims to study slope stability under effect of earthquake by use shear strength reduction technique.

A suitable numerical model have been used for the studied problem depending on 2D representation for slope and seismic force, where finite element program PLAXIS was used to perform the analysis, by that program we reach to determine the dynamic responses for slope under earthquake effect. After validation study, a complete parametric study of the problem was carried out to study effect of seismic parameters (frequency f ,and maximum seismic acceleration a_{max}) on the magnitude of horizontal displacement on top point of slope U_x.

key words slopes, seismic loads, static factor of safety F_S, slope displacement U_X , yield acceleration a_y, finite element method (FEM), timer seismic registry, PLAXIS.

* Educational member in faculty of Technical Engineering.Tartous university,Tartous,Syria

مقدمة:

هناك العديد من المشاكل الهندسية التي يتعرض لها المهندس الدارس أو المنفذ، لذلك فانه من المفروض أن يكون مستعداً لوضع أسس تفيد في التنبؤ بحدوث مثل هذه المشاكل ووضع الحلول الملائمة في حال حدوثها ومن إحدى الحالات الشائعة والمطلوب دراستها توازن واستقرار المنشآت الترابية تحت تأثير الأحمال الزلزالية.

إن مسألة دراسة توازن المنحدرات تحت تأثير الزلزال من المواضيع المهمة جداً في الهندسة الجيوتكنيكية ،حيث أن المنحدر قد يكون مستقراً ستاتيكياً لكن تعرضه لهزة أرضية قد يؤدي إلى فقدان استقراره و انهياره مما قد يتسبب بأضرار كبيرة للسكان و المنشآت المجاورة.

يوجد عدة طرق للتحليل الديناميكي لاستقرار المنحدرات أهمها : الطريقة شبه الستاتيكية ، طريقة الانتقالات (Newmark) و الطرق العددية و أهمها طريقة العناصر المنتهية (FEM).

حالياً تعتبر الطرق العددية أفضل طرق التحليل الديناميكي لاستقرار المنحدرات لأنها تسمح بدراسة حالات متنوعة و التنبؤ بسلوك المنحدر تحت تأثير الزلزال و بالتالي التنبؤ بالمخاطر الزلزالية المحتملة و تلافيها قبل حدوثها.

الطرق العددية الرياضية أكثر صلاحية بكثير من طرق الحل الكلاسيكية التحليلية في حل المسائل المعقدة. إن دراسة وسط معين بطريقة العناصر المنتهية هوعملية تقريبية يقسم بموجبها القطاع المدروس إلى أجزاء تؤلف شبكة من التقسيمات المحدودة المترابطة فيما بينها بعقد، كلما كان عدد العناصر في الشبكة أكبر كلما تطابقت نتائج الحساب بشكل أفضل مع الواقع.

من أهم الطرق العددية هي طريقة تخفيض مقاومة القص والتي تعتمد على تخفيض قيم مقاومة القص من تماسك و احتكاك ليصل المنحدر إلى درجة لا يمكن أن يتم فيها تحليل استقراره باستخدام طريقة العناصر المحدودة عندها ستكون الانتقالات كبيرة في المنحدر و سيحدث انهيار المنحدر و بالتالي سنحصل على قيمة عامل الأمان للمنحدر المدروس دون الحاجة إلى تحديد شكل أو مكان سطح الانزلاق.

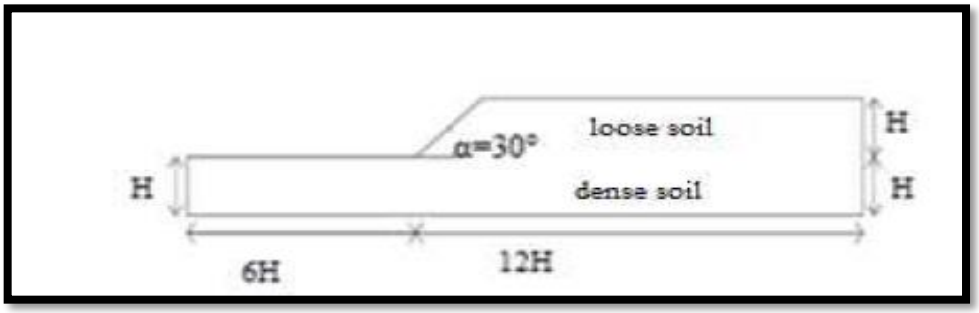
إن طريقة تخفيض مقاومة القص المستخدمة في تحليل استقرار المنحدرات تأتي لتقدم نتائج جيدة لنطاق واسع من مشاكل استقرار المنحدرات وهي طريقة تضاهي طرق التوازن الحدي من حيث قدرتها على نمذجة المسائل غير الخطية كما أنها طريقة تتكيف مع الأنواع المختلفة لمواد المنحدر.

النقاط الأساسية في الدراسة العددية هي تحديد أبعاد الموديل العددي المستخدم، الشروط الطرفية، قانون سلوك المادة، كيفية تمثيل الحركة الزلزالية.

في بحثنا قمنا بدراسة تأثير خواص الحركة الزلزالية على قيمة الانتقال الأفقي للمنحدر Ux .

الدرسات المرجعية:

-في عام 2014 قام كل من Sahar Ismail, Fadi Hage Chehade and Riad Al Wardany بإجراء دراسة لسلوك منحدر تحت تأثير حمولة زلزالية لمنحدر ارتفاعه 20 m ، يبين لنا الشكل (١) مواصفات المنحدر المستخدم ،مواصفات تربة المنحدر موضحة بالجدول (١) مستخدماً السجل الزمني لزلزالي(Ms=7.6) Chi-Chi – (Ms=7.4)Kocaeli اعتمدت طريقة الفروقات المحدودة FDM برنامج FLAC 3D .



الشكل (١) مواصفات المنحدر المستخدم في دراسة Sahar ismail et.all,2014

الجدول (١) مواصفات تربة المنحدر المدروس في دراسة Sahar ismail et.all,2014

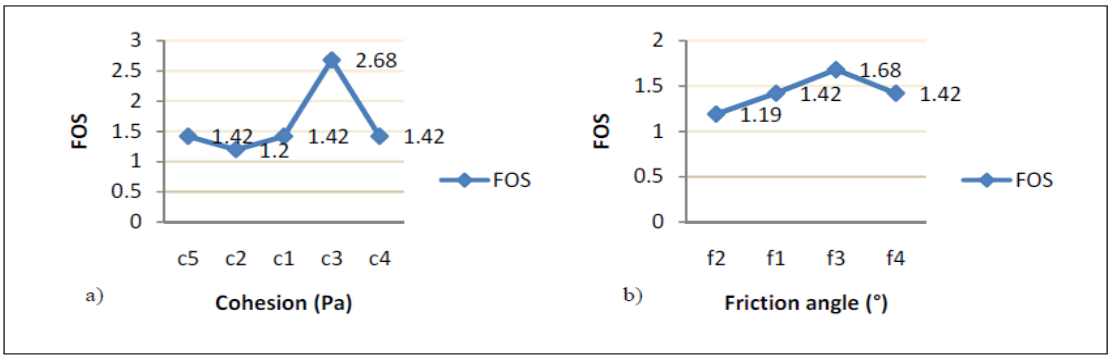
Reference (H=20m)	Dense Soil	Loose Soil
Elastic modulus (Pa)	$900*10^6$	$25*10^6$
Poisson's ratio ϒ	0.25	0.3
Shear modulus (Pa)	$400*10^6$	$9.6*10^6$
Bulk modulus (Pa)	$666.66*10^6$	$20.83*10^6$
Cohesion (Pa)	$2*10^5$	$5*10^3$
Friction angle (°)	35	30
Dilation angle ψ(°)	3	9

في البداية تم إجراء الدراسة الستاتيكية و حساب عامل الأمان وهو Fs=1.42 ،تم إجراء دراسة بارامترية لتأثير كل من تماسك و زاوية الاحتكاك لنوعي التربة الكثيفة و الضعيفة. يوضح لنا كل من الجدول (2)(3) القيم المستخدمة في الدراسة .

تم التوصل إلى النتيجة التالية زيادة زاوية الاحتكاك للتربة الضعيفة تؤدي إلى زيادة عامل الأمان كما هو موضح في الشكل (2) (c2-c3) ،أما تغيير زاوية الاحتكاك للتربة الكثيفة لا يؤثر على قيمة عامل الأمان الشكل (2) (c1-c5-c4).

زيادة تماسك تربة المنحدر الضعيفة تؤدي إلى زيادة قيمة عامل الأمان الشكل (2)(f2-f3)، تغير تماسك تربة المنحدر الكثيفة لا يؤثر على قيمة عامل الأمان الشكل (2)(f1-f4).

الانتقال الأفقي للمنحدر يتناقص مع زيادة كل من التماسك و زاوية الاحتكاك الداخلي للمنحدر.



الشكل (2) العلاقة بين تماسك و زاوية احتكاك تربة المنحدر و عامل الأمان وفق دراسة Sahar ismail et.all,2014

الجدول(2) قيم تماسك التربة المستخدمة في الدراسة Sahar ismail et.all,2014

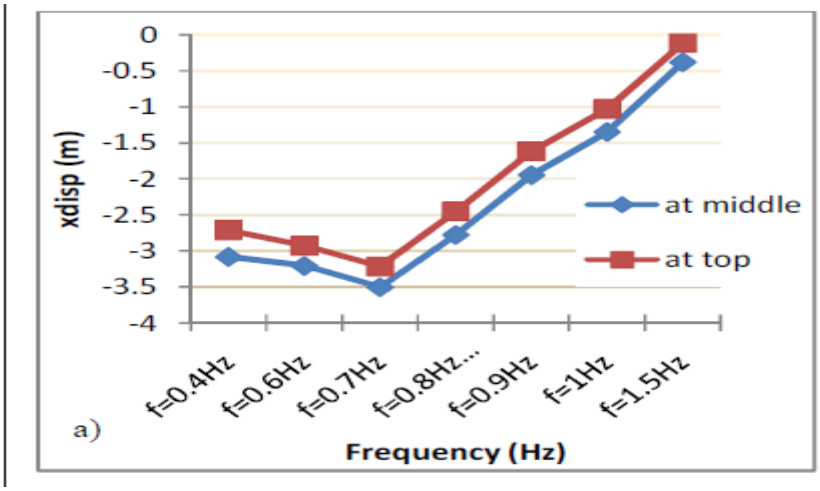
Unit (Pa)	Case 1 (c1)	Case 2 (c2)	Case 3 (c3)	Case 4 (c4)	Case 5 (c5)
Loose soil	$5*10^3$	$0.5*10^3$	$50*10^3$	$5*10^3$	$5*10^3$
Dense soil	$2*10^5$	$2*10^5$	$2*10^5$	$4*10^5$	$1*10^5$

الجدول(3) قيم زاوية احتكاك التربة المستخدمة في الدراسة Sahar ismail et.all,2014

Unit (°)	case 1 (f1)	Case 2 (f2)	Case 3 (f3)	Case 4 (f4)
Loose soil	30	20	35	30
Dense soil	35	35	35	40

و قد تم إجراء تحليل ديناميكي للمنحدر المدروس من خلال دراسة تأثير تردد الحركة الزلزالية على الانتقال الأفقي في نقطتين أعلى و منتصف المنحدر المدروس علماً أن التردد الطبيعي لتربة المنحدر f=0.86 Hz.

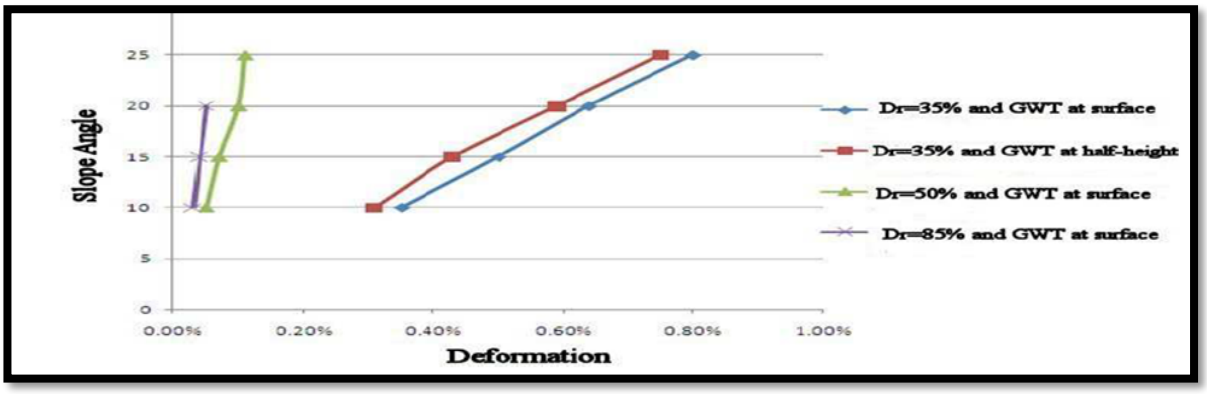
و تم دراسة قيم ترددات مختلفة للحركة الزلزالية تتراوح بين 0.4 Hz إلى 1.5 Hz والتوصل إلى أن الانتقال الأفقي يزداد حين يقترب أو يزيد التردد الزلزالي عن التردد الطبيعي لتربة المنحدر كما هو موضح بالشكل (3).



الشكل (3) العلاقة بين الانتقال الأفقي للمنحدر و تردد الزلزال Sahar ismail et.all,2014

-قام كل من B. Teymur & O.T. Yakar عام 2012 بإجراء دراسة لسلوك منحدر رملي تحت تأثير الزلزال، المنحدر المدروس مكون من تربة رملية ارتفاعه H= 8m ، استخدم السجل الزمني لزلزال(Kocaeli Ms=7.4)، اعتمد على طريقة الانتقالات Newmark (برنامجي Quake/W + Slope/W).

تم دراسة تأثيرعدة عوامل على قيمة الانتقال الأفقي، تم أخذ عدة قيم لزاوية ميل المنحدر °(10-15-20-25) و ثلاثة قيم للكثافة النسبية %(35-50-85) و منسوبين للمياه الجوفية في منتصف المنحدر و على سطح المنحدر الشكل (4).



الشكل(4) مقارنة قيم التشوه من أجل بارامترات مختلفة Teymur,B.2012

ومن هذه الدراسة تم استنتاج.

١- زيادة زاوية ميل المنحدرو ارتفاع منسوب المياه تؤدي إلى زيادة التشوه .

٢-زيادة الكثافة النسبية تؤدي إلى نقصان التشوه.

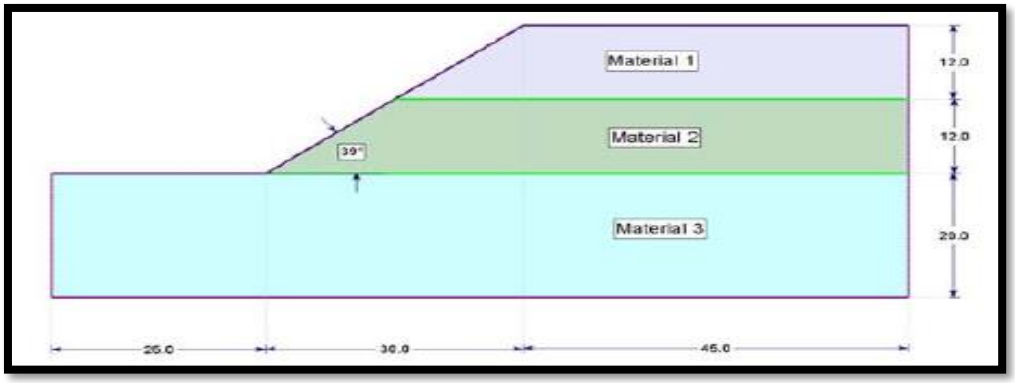
- قام كل من M. Miraboutalebi, F. Askari, O. Farzaneh عام 2010 بإجراء دراسة اعتمد فيها طريقة العناصر المنتهية FEM و موديل Mohr coulomb لتربة المنحدر مستخدماً برنامج PLAXIS لدراسة تأثير ميل السرير الصخري على قيمة الانتقال الأفقي للمنحدر .

-قام Reginald Hammah, Brent Corkum عام 2005 بإجراء مقارنة بين طريقة العناصر المنتهية و طرق حدود التوازن.وتم حساب عامل الأمان بطريقة حدود التوازن و مقارنتها مع قيمة عامل الأمان بطريقة shear strength reduction (SSR) في حالتين:

١- منحدر متجانس.

٢- منحدر غير متجانس مكون من ثلاث مواد مختلفة الشكل(5).

واعتمد موديل Mohr coulomb لتربة المنحدر.



الشكل (5)المنحدر المكون من تربة غير متجانسة.Reginald,H

عند استخدام طريقة SSR:

F=1.21 نحصل على قيمة عامل الأمان Ø=35° C=10.5Kpa

F=0.67 نحصل على قيمة عامل الأمان Ø=17.5° C=5.25Kpa

ومن أجل المقارنة مع طريقة حدود التوازن تم دراسة تأثير معامل المرونةE ، معامل بواسون v ، زاوية التوسع الحجمي ψ على قيمة عامل الأمان للمنحدر في حالتي المنحدر المتجانس و الغير متجانس من خلال أخذ قيم مختلفة لكل عامل من العوامل السابقة و حساب عامل الأمان.

و يبين الجدولين (4) (5) قيم عامل الأمان في حالة استخدام طريقة حدود التوازن لحالتي المنحدر المتجانس و الغير متجانس على التتالي.

الجدول(4) قيم عامل الأمان لحالة المنحدر المتجانس .Reginald,H

No.	Homogeneoeus Slope Example			
	E (kPa)	μ	ψ (degrees)	Factor of Safety
1	2,000	0.2	0	1.21
2	2,000	0.48	0	1.18
3	20,000	0.2	0	1.21
4	20,000	0.48	0	1.18
5	200,000	0.2	0	1.21
6	200,000	0.48	0	1.18
7	20,000	0.2	17.5	1.26
8	20,000	0.2	35	1.25
9	20,000	0.48	17.5	1.22
10	20,000	0.48	35	1.27

الجدول(5) قيم عامل الأمان لحالة المنحدر غير المتجانس Reginald,H .

No.	Three-Material Slope Example						
	Material 1		Material 2		Material 3		Factor of Safety
	E (kPa)	μ	E (kPa)	μ	E (kPa)	μ	
1	20,000	0.2	20,000	0.2	20,000	0.2	1.19*
2	2,000	0.2	20,000	0.2	200,000	0.2	1.15
3	200,000	0.2	20,000	0.2	2,000	0.2	1.34
4	20,000	0.2	2,000	0.2	200,000	0.2	1.16
5	200,000	0.2	2,000	0.2	20,000	0.2	1.23
6	200,000	0.2	2,000	0.2	2,000,000	0.2	1.23
7	2,000,000	0.2	2,000	0.2	200,000	0.2	1.29
8	20,000	0.48	20,000	0.3	20,000	0.2	1.19
9	20,000	0.2	20,000	0.48	20,000	0.3	1.16
10	20,000	0.2	2,000	0.3	200,000	0.48	1.17

وكانت قيمة عامل الأمان للمنحدر المتجانس تتراوح بين F=1.18−1.21 أي تختلف بمقدار 5% عن طريقة حدود التوازن.

أما قيمة عامل الأمان للمنحدر الغير المتجانس تتراوح بين1.34−1.15=F أي تختلف بمقدار (5−%11)عن طريقة حدود التوازن.

أهمية البحث وأهدافه

إن دراسة سلوك المنحدرات المعرضة لهزة أرضية يعتبر من أكثر المواضيع إثارة في مجال الهندسة الجيوتكنيكية الزلزالية نظراً لتواجد المنحدرات بكثرة في الواقع من جهة، و للأضرار الجسيمة التي قد يتعرض لها البشر و المنشآت المجاورة في حال فقدان المنحدرات لتوازنها و انهيارها نتيجة تأثير الهزة الأرضية من جهة أخرى. لذلك كان من الضروري القيام بدراسات لتطوير وانشاء نموذج افتراضي يسمح بفهم سلوك المنحدرات عند تعرضها لهزة أرضية والتحقق منه بالنتائج ، لكي يتم التوصل بالنتيجة إلى التنبؤ المسبق باحتمال فقدان استقرار المنحدرات الموجودة تحت تأثير هزة أرضية محتملة الحدوث وبالتالي التنبؤ بالمخاطر الزلزالية المحتملة وتلافيها قبل حدوثها.

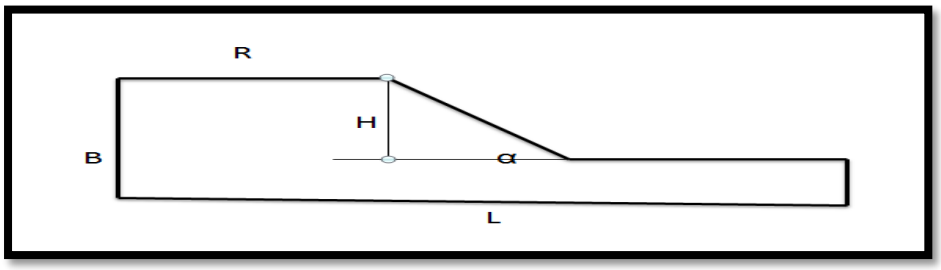
يتضمن هذا البحث دراسة عددية بطريقة العناصر المنتهية (FEM) تهدف إلى تقييم سلوك منحدر ترابي تحت تأثير هزة أرضية معينة متوقعة من خلال تحديد الانتقالات الأفقية التي يخضع لها المنحدر، مما يسمح بالنتيجة بالتنبؤ المسبق بالأضرار المحتملة واتخاذ تدابير الأمان المناسبة لتلافيها.

طرائق البحث ومواده

اعتمد في دراستنا على المنهج التحليلي المقارن حيث استخدمت طريقة العناصر المنتهية لنمذجة مسألة التحليل الديناميكي لاستقرار المنحدرات، في البداية تم وضع موديل عددي مناسب للمسألة يعتمد على نمذجة كل من الهزة الأرضية والمنحدر الترابي و إدخاله في برنامج الحساب العددي بطريقة العناصر المنتهية (PLAXIS v 8.6) ثم تحقيق الموديل على نتائج قياسات تجريبية لتجربة الطاولة الرجاجة تم الحصول عليها بنتيجة البحث المرجعي و تم الحصول على تقارب جيد بين النتائج العددية و التجريبية . بعد تحقيق الموديل العددي تم استخدامه لإجراء دراسة بارامترية لتأثير خواص الحركة الزلزالية على قيمة الانتقال الأفقي لنموذج منحدر افتراضي.

الشروط المستخدمة:

يجب اختيار أبعاد الموديل كبيرة بشكل كاف لتغطية منطقة توزع الاجهادات في التربة. تبين لنا من البحث المرجعي أن الأبعاد المناسبة للمنحدر النموذجي المستخدم في الدراسة و المبين في الشكل (6) هي , L=8H, (R=4H B=4H). وقد تحققنا من كفايتها باجراء حسابات مع أبعاد أكبر للتأكد أن الأبعاد المستخدمة كافية و أن زيادتها لا تؤثر بشكل ملموس على النتائج الحسابية، قمنا بإجراء حساب من أجل قيم B=8H , L=16H, R=8H.



الشكل (6) أبعاد المنحدر المدروس

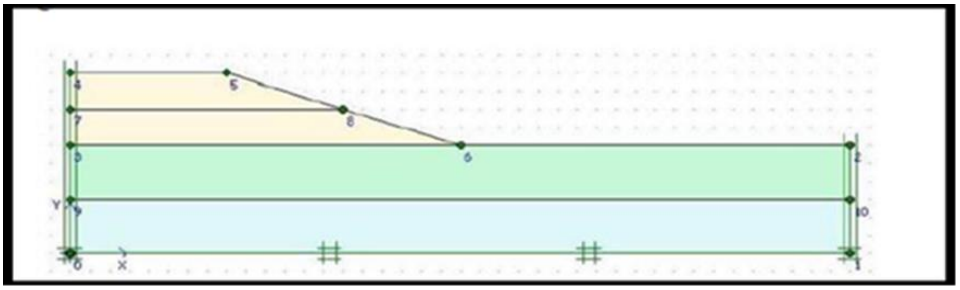
يعد ادخال النموذج في برنامج الحساب plaxis تم حساب قيمة الانتقال الأفقي و مقارنة النتيجة مع قيمة الانتقال الأفقي لحالة المثال النموذجي المدروس الموضحة لاحقاً كما هو مبين في الجدول (6).

الجدول (6) المقارنة بين قيم الانتقال الأفقي للتأكد من كفاية الأبعاد

الأبعاد	Ux
B=R=4H,L=8H	0.583
B=R=8H,L=16H	0.593

نلاحظ أن الأبعاد المستخدمة في دراستنا(التي ستوضح بشكل مفصل لاحقاً) كافية بسبب الفارق البسيط بين القيم و منه فإن زيادة الأبعاد لن تعطي اختلافاً كبيراً في النتائج.أما الشروط الطرفية مبينة في الشكل (7) هي افتراض مساند متحركة شاقولياً (السماح بالانتقال الشاقولي و منع الانتقال الأفقي) على جوانب الحدود الشاقولية الخارجية لشبكة العناصر المحدودة (Ux=0 , Uy=free).

مع افتراض وجود وثاقات أي الانتقال معدوم بالاتجاهين الأفقي و الشاقولي عند الحد السفلي لشبكة العناصر المحدودة ووضع حدود ماصة على جوانب الحدود الشاقولية الخارجية لشبكة العناصر المحدودة.



الشكل (7) الشروط الطرفية للمنحدر المدروس

نمذجة القوة الزلزالية :

إن الدراسة العددية لتأثير الزلازل على المنحدر تتطلب أولا" نمذجة القوة الزلزالية المؤثرة على المنحدر. تبين من خلال الدراسات السابقة أنه يمكن تمثيل تأثير الزلزال على المنحدر بتطبيق تسارع جزيئي a(t) على طبقة السرير الصخري أسفل المنحدر (عملياً على الحد السفلي للموديل). يمكن تطبيق هذا التسارع الزلزالي بإحدى الطريقتين:

١- سجل زمني: يمثل السجل الحقيقي لتغير التسارع الجزيئي للحركة الزلزالية مع الزمن.

٢- اهتزاز توافقي مكافىء: من خلال قيمة التردد الأعظمي المسيطر المسجل للزلزال ومطال تسارع جزيئي مساوٍ بدوره لتسارع الحركة الزلزالية الأعظمي .

البارامترات المطلوبة للنمذجة:

مما سبق ذكره نخلص إلى أنه من أجل الحساب العددي يلزم تحديد البارامترات التالية و إدخالها في برنامج الحساب العددي PLAXIS.

خواص التربة:

عملياً، يوجد عدة قوانين سلوك للمادة تم استخدامها للتربة في حالة دراسة توازن المنحدرات الزلزالي أكثرها شيوعاً واستخداماً هو قانون (مور كولومب) .

يعتمد قانون سلوك مور- كولومب على خمسة بارامترات وهي معامل المرونة للتربةE ، معامل بواسون v، التماسك C، زاوية الاحتكاك الداخلي φ و زاوية التوسع الحجمي ψ.

خواص الحركة الزلزالية :

السجل الزمني للحركة الزلزالية أو مطال التسارع الجزيئي و التردد المسيطر في السجل الزمني للحركة الزلزالية في حال نمذجة القوة الزلزالية باهتزاز توافقي مكافىء.

الخواص الهندسية للمنحدر :

ارتفاع المنحدر H ، زاوية ميله α

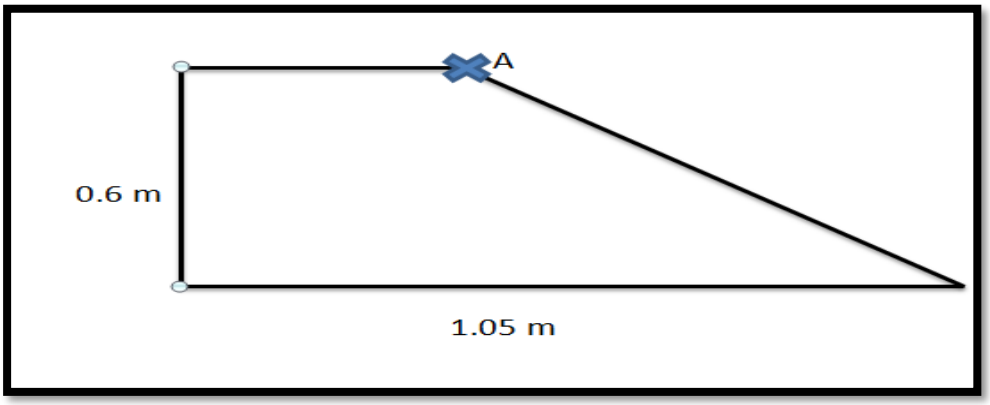
تحقيق الموديل العددي

نظراً لعدم إمكانية إجراء دراسة تجريبية حقلية أو مخبرية في نطاق بحثنا هذا نحصل بنتيجتها على قياسات حقلية لتشوهات منحدر معرض لحمولة زلزالية فقد لجأنا إلى تحقيق الموديل العددي المقترح على قياسات تجريبية مخبرية حصلنا عليها من البحث المرجعي M.Vyas,el alll(2014) .

المعطيات التجريبية

من أجل دراسة منحدر معرض لحمولة زلزالية قام M. Vyas, el alll(2014) باجراء دراسة مخبرية تجريبية باستخدام تجربة الطاولة الرجاجة على نموذج مخبري لمنحدر عرضه 1050 mm وارتفاعه 600 mm كما هو مبين في الشكلين (8) ،(9).

الشكل (8) المنحدر المخبري المدروس في تجربة الطاولة الرجاجة .Vyas,M



الشكل (9) أبعاد المنحدر المدروس والنقطة التي تم فيها الحساب.Vyas,M

الجدول(7) خواص التربة المستخدمة في الدراسة التجريبية المخبرية Vyas,M.2014

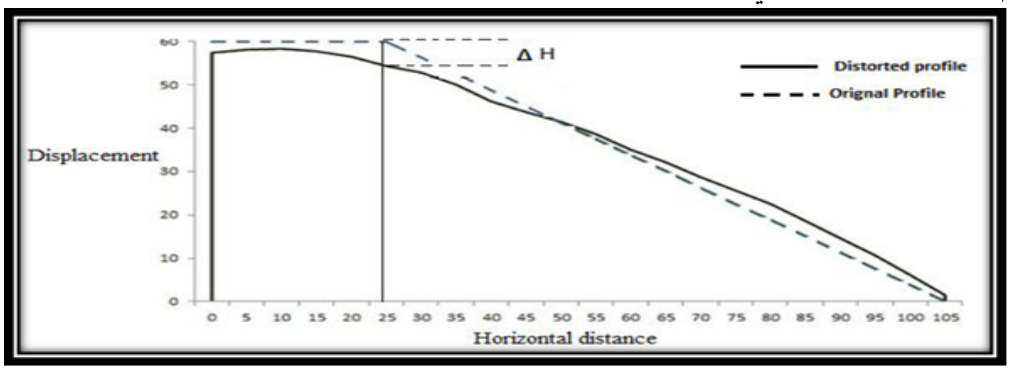
Property	Value
ϕ	36.5°
G	2.43
emax	0.86
emin	0.48
C	0
v	0.3
ϒ	14.28 Kn\m3
E	10000Kn\m2

يبين لنا الشكل (٩) أبعاد المنحدر المدروس و النقطة التي أجريت فيها الحسابات (حافة المنحدر العلوية) النقطةA

وقد تم استخدام تربة رملية من قاع نهر Solani خواصها موضحة في الجدول (7).

تم تمثيل الحركة الزلزالية بتطبيق اهتزاز توافقي جيبي بتردد يساوي 4Hz و ثلاثة قيم لتسارع الزلزال كما هو موضح في الجدول (8)

تم حساب الانتقال الشاقولي و استخدامه لحساب عامل التشوه



الشكل (10) طريقة حساب عامل التشوه Df

يوضح لنا الشكل (10) طريقة حساب عامل التشوه.

بعد حساب قيمة الانتقال الشاقولي ΔH نقوم بحساب معامل التشوه DF(Distortion Factor)

وفق العلاقة التالية:

$$DF=\frac{\Delta H}{H}$$

حيث:

H:ارتفاع المنحدر.

ΔH:الانتقال الشاقولي.

الجدول (8) قيم عامل التشوه نتيجة الدراسة المخبرية .Vyas,M

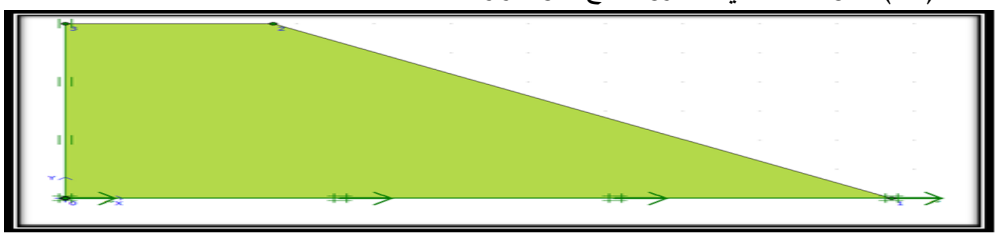
Dynamic Loading Duration		Acceleration of Dynamic force								
		0.1g			0.2g			0.3g		
CYCLE	SEC	ΔH (cm)	ΔH_{avg} (cm)	DF	ΔH (cm)	ΔH_{avg} (cm)	DF	ΔH (cm)	ΔH_{avg} (cm)	DF
10	2.5	6.47	6.54	0.109	8.26	8.34	0.139	12.56	12.24	0.204
		6.34			8.38			11.25		
		6.81			8.40			12.93		
20	5	7.66	8.04	0.134	9.54	9.67	0.161	13.60	13.85	0.231
		8.67			9.75			14.18		
		7.79			9.71			13.77		
40	10	9.66	9.68	0.161	12.58	12.12	0.202	18.12	17.26	0.288
		9.26			12.77			17.19		
		10.12			12.92			16.48		

يبين لنا الجدول (8) قيم عامل التشوه Df التي تم الحصول عليها نتيجة الدراسة المخبرية من أجل ثلاثة قيم للتسارع g(0.3−0.2−0.1) عند زمن s(10−5−2.5)=t.

التحقيق العددي:

من أجل تحقيق الموديل العددي على نتائج الدراسة التجريبية (الطاولة الرجاجة) المذكورة أعلاه تم إدخال المعطيات السابقة (الأبعاد الهندسية للمنحدر – خواص تربة المنحدر – خواص الحركة الزلزالية)كما هي ضمن برنامج PLAXIS.

يبين لنا الشكل (11) الموديل العددي المدروس مع القوة الزلزالية المطبقة.



الشكل (11) موديل المنحدر المدروس مع القوة الزلزالية المطبقة

تم إجراء هذه الدراسة من أجل زمن t=10 s عندما a=(0.1−0.2−0.3)g كما هو موضح في الجدول (9).

الجدول (9)مقارنة بين قيم عامل التشوه نتيجة الدراستين العدديةو التجريبية.

التسارع	الدراسة المخبرية	الدراسة العددية	نسبة التقارب
0.1g	0.161	0.1775	9.4%
0.2g	0.202	0.233	13.4%
0.3g	0.288	0.3168	9%

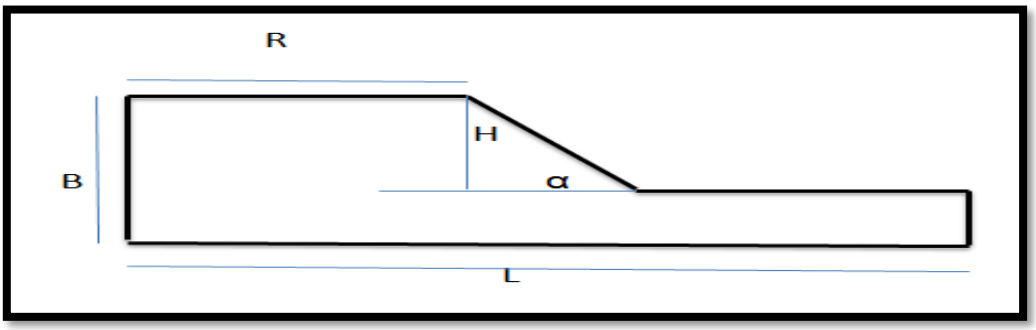
بمقارنة قيم Df بين الدراستين العددية و التجريبية نلاحظ أن قيم عامل التشوه متقاربة، ومنه يمكن أن نستنتج أن الموديل العددي المقترح قادر على نمذجة مسألة منحدر معرض لهزة أرضية بشكل واقعي كيفاً وكماً مما يبرر استخدامنا له في دراستنا العددية التالية.

الدراسة البارامترية:

بعد تحقيق الموديل العددي تم استخدامه في دراستنا البارامترية لتأثير خواص الحركة الزلزالية (مطال التسارع الجزيئي a_{max}، تردد الزلزال F) على الانتقال الأفقي للمنحدر.

المثال النموذجي المدروس

يبين الشكل (12) المثال النموذجي المدروس حيث تم دراسة منحد رمن تربة متجانسة ارتفاعه H=10 m و زاوية ميله α=35° و أبعاده : B=4*H L=8*H R=4*H



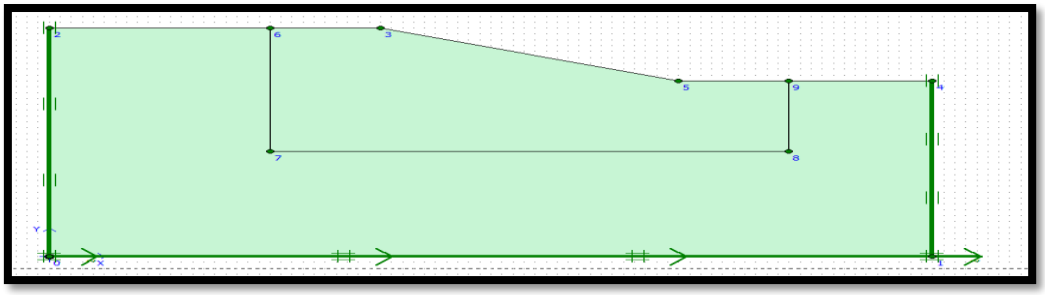
الشكل (12)المثال النموذجي المدروس.

يبين الجدول (١٠) خواص كل من تربة المنحدر و الحركة الزلزالية الداخلة.

الجدول(10) خواص تربة المنحدر و الحركة الزلزالية الداخلة.

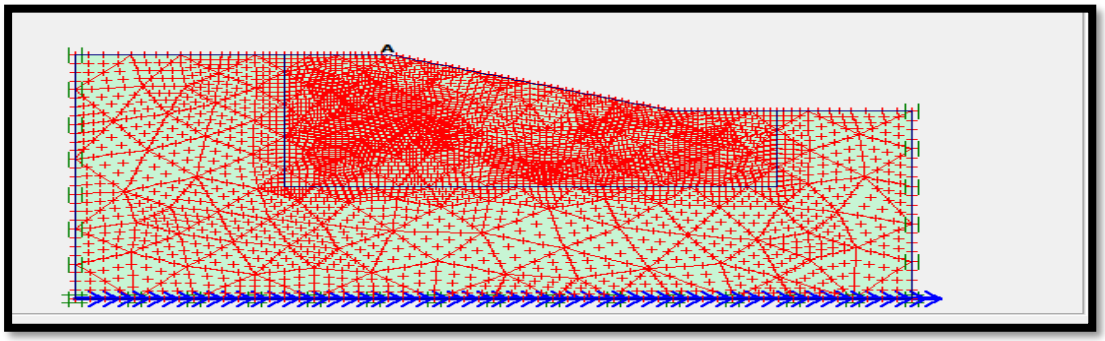
البارامتر	الرمز	القيمة	الواحدة
معامل يونغ	E	1	Mpa
معامل بواسون	V	0.28	–
الوزن الحجمي للتربة	Γ	19	Kn/m^3
زاوية الاحتكاك الداخلي	Φ	35	°
زاوية التوسع الحجمي	Ψ	5	°
التماسك	C	0.1	Kn/m^2
نسبة التخامد	ξ	5%	–
تسارع الحركة الزلزالية	a_{max}	0.5	g
التردد الزلزالي	F	4	HZ

تم إدخال المعطيات السابقة ضمن برنامج الحساب PLAXIS مع اعتماد خيار تمثيل الزلزال باهتزاز توافقي مكافيء مطبق عند الحد السفلي للموديل كما ذكرنا سابقاً و يبين الشكل (13) الموديل العددي للمثال النموذجي المدروس ضمن برنامج PLAXIS.



الشكل (13) الموديل العددي للمثال النموذجي المدروس ضمن برنامج PLAXIS.

بعد ادخال المعطيات السابقة قمنا بتقسيم الموديل بشبكة mesh من العناصر المثلثية على كامل المنحدر المدروس مع تحديد المنطقة المحيطة بالنقطة المدروسة A التي سنستخرج منها قيمة الانتقال و هي النقطة الموجودة على الحافة العلوية للمنحدر الشكل (14)،حيث أنه في برنامج Plaxis يمكننا اختيار حجم التقسيمات و تنعيم منطقة العمل.



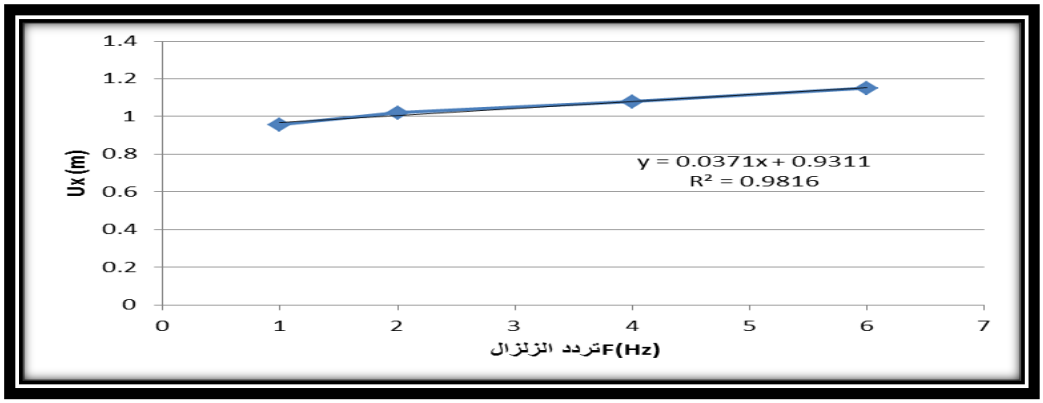
الشكل (14) النقطة التي أجرينا فيها الدراسة وتم تسميتها A

بعد إجراء التحليل الديناميكي حصلنا على قيمة الانتقال الأفقي Ux=1.08 m

تأثير تردد الزلزال F:

من أجل دراسة تأثير تردد الزلزال على الاستجابة الديناميكية تحت تأثير هزة أرضية قمنا بأخذ المنحدر و الحركة الزلزالية حسب المثال النموذجي و أعدنا الحساب من أجل ثلاثة قيم لتردد الزلزال F= (1-2-6)Hz مع تثبيت قيم البارامترات الأخرى .

يبين الشكل (15) العلاقة بين الانتقال الأفقي الأعظمي للمنحدر و بين تردد الزلزال.



الشكل(15) العلاقة بين تردد الزلزال و الانتقال الأفقي للمنحدر.

نلاحظ من **الشكل (15)** أن :

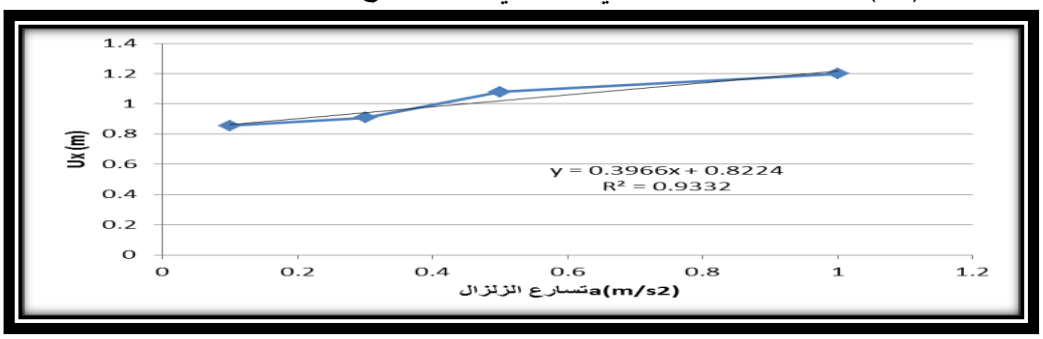
-زيادة قيمة تردد الزلزال تؤدي إلى زيادة قيمة الانتقال الأفقي.

العلاقة بين الانتقال الأفقي للمنحدر و بين تردد الزلزال علاقة خطية.

تأثير تسارع الزلزال a :

من أجل دراسة تأثير تسارع الزلزال على الاستجابة الديناميكية تحت تأثير هزة أرضية قمنا بأخذ المنحدر و الحركة الزلزالية حسب المثال النموذجي و أعدنا الحساب من أجل ثلاثة قيم لتسارع الزلزال(a=0.1-0.3)g مع تثبيت قيم البارامترات الأخرى.

يبين **الشكل (16)** العلاقة بين الانتقال الأفقي الأعظمي و بين تسارع الزلزال.



الشكل (16) العلاقة بين تسارع الزلزال و الانتقال الأفقي .

نلاحظ من الشكل (16) أن :

-قيمة تسارع الزلزال تؤثر تأثيراً واضحاً على قيمة الانتقال الأفقي للمنحدر .

- زيادة قيمة تسارع الزلزال تؤدي إلى زيادة قيمة الانتقال الأفقي .

العلاقة بين تسارع الزلزال و الانتقال الأفقي هي علاقة خطية

النتائج:

يتضمن هذا البحث دراسة عددية بطريقة العناصر المنتهية لتقييم سلوك منحدر ما تحت تأثير هزة أرضية بطريقة تخفيض مقاومة القص SSR باستخدام برنامج الحساب العددي PLAXIS . من أجل إجراء الدراسة تم وضع موديل عددي أظهر تحقيقه على قياسات حقلية تقارباً كبيراً بين النتائج العددية والحقلية، بعد تحقيق الموديل قمنا باستخدامه لدراسة تأثير خواص الحركة الزلزالية على قيمة الانتقال الأفقي الأعظمي Ux. وقد توصلنا إلى النتيجة:

-قيمة الانتقال الأفقي تتزايد بشكل خطي بزيادة تردد الحركة الزلزالية و تسارع الحركة الزلزالية.

المراجع:

(1) Sahar Ismail, Fadi Hage Chehade2 and Riad Al Wardany2014-SLOPE STABILITY ANALYSIS UNDER SEISMIC LOADING- Second European conference on earthquake engineering and seismology Istanbul

(2)B. Teymur & O.T. Yakar (2012) . Behaviour of Sandy Slopes under Earthquake Loadings.15 WCEE

(3)M. Miraboutalebi, F. Askari , O. Farzaneh 2011 - Effect of bedrock inclination on seismic slope stability according to Iran seismically data - International Journal of Civil Engineering, Vol. 9, No. 4

(4)Reginald Hammah, Brent Corkum(2005).A COMPARISON OF FINITE ELEMENT SLOPE STABILITY ANALYSIS WITH CONVENTIONAL LIMIT-EQUILIBRIUM INVESTIGATION

(5)M. Vyas, S. Rukhaiyar and S. Mittal(2014)-Behavior of Slope under Dynamic Condition – An Experimental Study- International Journal of Civil Engineering Research. ISSN 2278-3652 Volume 5, Number 2, pp. 121-128