

Slope Stability Studying Using Variable Parameters of Slope by Traditional and Finite Element Method (Comparative Study)

Gosoun Hasan*

(Received 22 / 4 / 2019. Accepted 29 / 8 / 2019)

□ ABSTRACT □

The analysis and design of slopes requires good understanding of the failure mechanism in order to choose the right slope stability analysis method

There are many ways to study the slope stability including the limit equilibrium analysis methods and Finite element method which considered a very powerful computational tool in engineering. It gains its power from the ability to simulate physical behaviors using computational tools without the need to simplify the problem.

In this research we presented five of limit equilibrium analysis methods and We compared them to each other , then we compared this five limit equilibrium analysis methods with Finite element method Under the influence of changing slope parameters.

Keywords: Slope stability – Limit equilibrium analysis methods – Finite element methods.

*Engineer, Faculty of Civil Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

دراسة توازن المنحدرات باستخدام بارامترات متغيرة للمنحدر بالطرائق الحديدية والعناصر المنتهية (دراسة مقارنة)

غصون حسن*

(تاريخ الإيداع 22 / 4 / 2019. قبل للنشر في 29 / 8 / 2019)

□ ملخص □

يعد اختيار طريقة دراسة توازن المنحدرات أمراً هاماً حيث تبذل جهود كبيرة لمعرفة ميكانيكية الانهيار واختيار الطريقة التي سيتم دراسة استقرار المنحدر بها.

هنالك العديد من طرائق دراسة توازن المنحدرات منها الطرائق الحديدية التي تقسم إلى طرائق الشرائح ، الطرائق الدائرية والطرائق الغير دائرية وأيضاً طريقة العناصر المنتهية التي تمكننا من دراسة المنحدر من دون فرضيات لتبسيط المسألة حتى لو كان المنحدر المدروس يتضمن عناصر انشائية داخل الكتلة المنزلة (مثلاً أوتاد).

في هذا البحث درسنا خمسة طرائق حديدية لدراسة توازن المنحدرات حيث تم عرضها و مقارنتها فيما بينها من خلال شروط التوازن ، شكل سطح الانهيار، الافتراضات المعتمدة في كل طريقة، عدد المجاهيل واستخداماتها، وفي مرحلة لاحقة تمت المقارنة ما بين هذه الطرائق الحديدية وطريقة العناصر المنتهية بعد أن تم عرض هذه الطريقة، وهنا نبين أن هذه المقارنات تمت تحت تأثير قيم متغيرة لبارامترات المنحدر وهي قيم زاوية الاحتكاك وتماسك تربة المنحدر وارتفاع المنحدر ومعامل يونغ .

وبعد الدراسة النظرية تم دراسة توازن منحدر في دمر بطريقة سبنسر الحديدية وطريقة العناصر المنتهية وذلك في الوضع الراهن وبمرحلة الحفريات وبعد إنشاء التدعيم للمقارنة بين الطرائق الحديدية وطريقة العناصر المنتهية على أرض الواقع.

الكلمات المفتاحية : توازن المنحدرات - الطرائق الحديدية - طريقة العناصر المنتهية.

* كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق، دمشق، سورية.

مقدمة:

يعد الاختيار المناسب لطريقة دراسة وتحليل استقرار المنحدرات أمراً هاماً حيث تعتمد دقة النتائج على ميكانيكية الانهيار التي تختلف من طريقة لأخرى ومن هذا المبدأ أجرينا في هذه الدراسة مقارنة بين طرائق دراسة توازن المنحدرات الحديدية وطريقة العناصر المنتهية .

يكنم الاختلاف الرئيسي بين الطرائق الحديدية في فرضيات القوى الداخلية ومعادلات التوازن حيث تفترض جميعها بشكل مسبق سطح الانهيار وكذلك تحتاج إلى العديد من الفرضيات لتبسيط المسألة المدروسة .

تعد طريقة العناصر المنتهية أداة قوية وفعالة لدراسة استقرار المنحدرات كونها لا تحتاج إلى أي فرضيات لتبسيط المسألة المدروسة، حيث تمكنا من تحليل استقرار المنحدر بدون أي تبسيط وذلك مهما كانت المسألة المدروسة معقدة.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث لإجراء مقارنة بين طرائق دراسة توازن المنحدرات الحديدية حيث تم دراسة خمسة من هذه الطرائق وهي (طريقة الشرائح - طريقة بيشوب المبسطة - طريقة جانبو المبسطة - طريقة سبنسر - طريقة مورجنستيرن وبراييس) و تمت المقارنة بين هذه الطرائق الحديدية فيما بينها ومن ثم مقارنتها مع طريقة العناصر المنتهية بشكل نظرية ومن ثم من خلال دراسة عددية لمنحدر نظري ومقارنة الطرائق الحديدية فيما بينها وأيضاً مقارنتها بطريقة العناصر المنتهية وذلك تحت تأثير تغير عدد من برامترات المنحدر المدروس وهي زاوية الاحتكاك وتماسك التربة وارتفاع المنحدر ومعامل يونغ .

وفي مرحلة لاحقة أجريت مقارنة بين الطرائق الحديدية وطريقة العناصر المنتهية لدراسة توازن المنحدرات على أرض الواقع من خلال دراسة استقرار منحدر بدمر.

1- الطرائق الحديدية لدراسة توازن المنحدرات:

تناول هذا البحث الطرائق الحديدية لدراسة توازن المنحدرات الخمسة التالية وهي (طريقة الشرائح - طريقة بيشوب المبسطة - طريقة جانبو المبسطة - طريقة سبنسر - طريقة مورجنستيرن وبراييس) وبشكل عام تختلف طرائق دراسة توازن المنحدرات التقليدية عن بعضها بمجالين كالتالي :

- الطرائق المختلفة تستخدم افتراضات مختلفة لتعمل توافق بين عدد من معادلات التوازن وعدد من المجاهيل.

- الطرائق المختلفة تستخدم افتراضات مختلفة تعتبر فيها موقع واتجاه القوى الداخلية بين الشرائح المفروضة.

بعض طرائق التحليل لا تأخذ بالاعتبار كل شروط التوازن أو حتى كل شروط توازن القوى ، ملخص للطرائق المطروحة في البحث مبين بالجدولين (1) و (2) .

المجاهيل	الافتراضات	سطح الانهيار	شرط التوازن	الطريقة
----------	------------	--------------	-------------	---------

الجدول (1) : ميزات طرق التوازن الحدي (Modified after Duncan and Wright, 2005)

1 معامل أمان 1 مجهول	تهمل القوى على جوانب الشرائح . القوة الناظمية على قاعدة الشريحة هي $W \cdot \cos \alpha$ وقوة القصر هي $W \cdot \sin \alpha$	دائري	توازن العزوم حول مركز الدائرة	طريقة الشرائح العادية
1 معامل أمان n قوة ناظمية على قاعدة الشريحة المجاهيل الكلية $N=n+1$	القوى الجانبية أفقية (أي كل قوى القصر الداخلية معدومة)	دائري	توازن شاقولي وتوازن عزوم كلي	طريقة بيشوب المبسطة
1معامل أمان n قوة ناظمية على قاعدة الشرائح N (2-1) محصلة القوى الداخلية (Z=2n) المجاهيل الكلية	القوى الجانبية أفقية	أي شكل كان	توازن القوى عمودي وشاقولي	طريقة جانبو
1 معامل أمان 1 ميل القوى الداخلية (θ) n قوة ناظمية على قاعدة الشريحة (N) (n-1) محصلة القوى الداخلية (Z) n3 عدد المجاهيل	القوى الداخلية متوازية أي لها الميل ذاته . القوة الناظمية (N) تؤثر في مركز قاعدة الشريحة .	أي شكل كان	كل شروط التوازن	طريقة سبنسر
1 معامل أمان . 1 ميل القوة الداخلية . scaling factor(λ) n القوة الناظمية على قاعدة الشرائح (N) . (n-1) القوى الأفقية الداخلية (E) N3 المجاهيل الكلية .	قوى القصر الداخلية ترتبط بالقوى الناظمية الداخلية . القوة الناظمية تؤثر في مركز قاعدة الشريحة .	أي شكل كان	كل شروط التوازن	طريقة مورجنستيرن وبرايس

الطريقة	الاستخدام
طريقة الشرائح العادية	تطبق على المنحدرات الغير متجانسة بحيث يكون سطح الانهيار دائري ، تعتبر هذه الطريقة ملائمة جداً للحسابات اليدوية ، غير دقيقة من أجل تحليل الاجهادات الفعالة مع ضغط الماء المسامي العالي.
طريقة بيشوب المبسطة	تطبق على المنحدرات الغير متجانسة بحيث يكون سطح الانهيار دائري ، أكثر دقة من طريق الشرائح العادية وخاصة من أجل ضغط الماء المسامي العالي، مناسبة للحسابات اليدوية .
طريقة جانبو	تطبق من أجل سطوح الانزلاق الغير دائرية وكذلك من أجل سطوح الانزلاق القليلة العمق والمستوية الطويلة الغير موازية لسطح الأرض .
طريقة سبنسر	تعتبر طريقة دقيقة وملائمة للمنحدرات مهما كان شكلها الهندسي وتوضع طبقات التربة ، وتعتبر أبسط طريقة توازن كاملة لحساب معامل الأمان .
طريقة مورجنستيرن و برايس	طريقة مناسبة من أجل المشاكل المعقدة

2- ربة العنا صر المنهية : في هذا البعد ث تم استخ دم

برنامج Plaxis كتطبيق لطريقة العناصر المنتهية يعتمد هذا البرنامج على طريقة العناصر المحدودة (FEM) المطورة بشكل خاص من أجل تحليل ودراسة تشوهات الترب والصخور تحت تأثير مختلف الحمولات وبالإضافة إلى دراسة مختلف المنشآت الترابية أي هو برنامج لدراسة التشوهات والاستقرار فيما يخص مشاريع الهندسة الجيو تكنولوجية .

3- الدراسات العددية

هذا البحث تناول دراسة نظرية لتوازن الردمية المتجانسة المبينة أبعادها بالشكل (1) في البداية بخمسة من الطرائق الحدية لدراسة توازن المنحدرات وهي (طريقة الشرائح - طريقة بيشوب المبسطة - طريقة جانبو المبسطة - طريقة سبنسر - طريقة مورجنستيرن وبرايس) واعتبر نموذج مور-كولومب هو النموذج المعبر عن سلوك التربة ، وتمت الدراسة باستخدام برنامج Geo-slope ولا يوجد مياه جوفية في تربة المنحدر و الدراسة تمت بدون اعتبار لتأثير المياه .

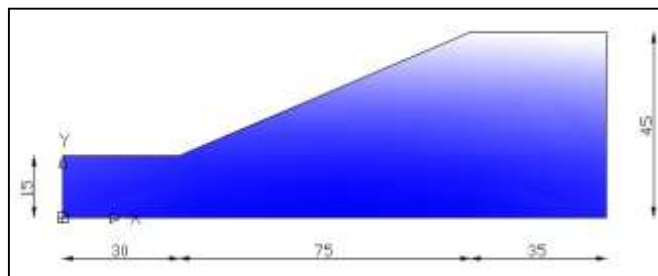
□□□□□□□□□□

m^3

$\alpha = 30^\circ$

$C = 5$

KN/m^2

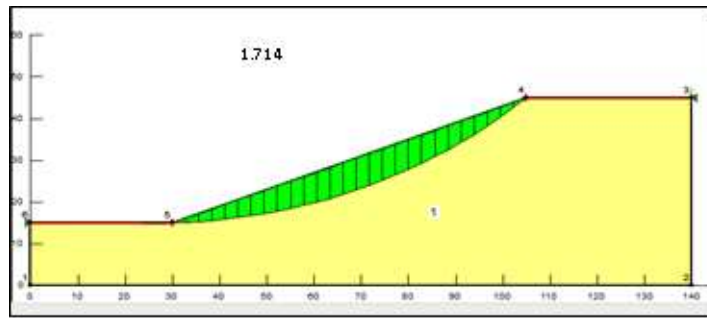


الشكل (1) : الشكل الهندسي للمنحدر المدروس

الجدول (3) يبين قيم معامل الأمان الناتجة باستخدام الطرائق الحدية ونلاحظ أن الفارق بسيط بين هذه القيم و الشكل (2) يبين سطح الانزلاق باستخدام طريقة الشرائح والتي تفترض شكل دائري لسطح الانهيار .

الجدول (3) : قيم معامل الأمان بحسب طرائق التوازن الحديدية

الطريقة	معامل الأمان
الشرائح	1.714
بيشوب المبسطة	1.769
جانبو المبسطة	1.713
سبنسر	1.760
مورجنستيرن وبرائيس	1.759

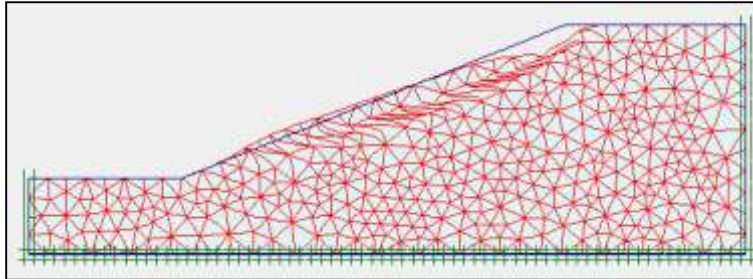


الشكل (2) : سطح الانزلاق بطريقة الشرائح العادية

دراسة تحليل توازن الردمية بنفس الأبعاد السابقة و باستخدام طريقة العناصر المنتهية حيث استخدمنا في دراستنا برنامج Plaxis واعتبر نموذج سلوك التربة هو مور- كولومب (Mohr-Coulomb) وهو ذاته الذي استخدم في دراسة توازن المنحدرات بالطرائق الحديدية، البرامترات المستخدمة مبينة بالجدول (4) وذلك فيما يخص نموذج مور-كولومب وهي قيم نظرية.

باستخدام طريقة تخفيض مقاومة القص حصلنا على قيمة معامل الأمان $F_s=1.637$ وكما نلاحظ هذه القيمة هي أخفض من أي قيمة نتجت باستخدام الطرائق الحديدية لدراسة توازن المنحدرات .

الشكل (3) يبين شكل شبكة العناصر المنتهية بعد التشوه كنتيجة عن الحسابات التي أجريت باستخدام برنامج Plaxis .



الشكل (3) : شبكة العناصر المنتهية بعد التشوه نتيجة الحساب بطريقة العناصر المنتهية

الجدول (4) : البرامترات المستخدمة لدراسة توازن المنحدر ببرنامج بلاكسيز Plaxis

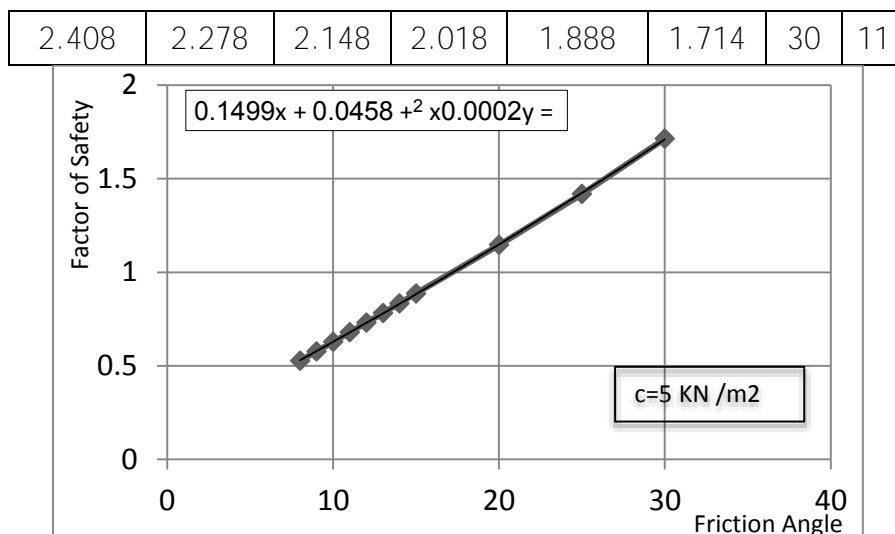
البرامترات	القيمة	الوحدة
γ_{unsat}	16	KN/m ³
γ_{sat}	20	KN/m ³
K_x	1	m/day
K_y	1	m/day
E_{ref}	8000	KN/m ²
ν	0.3	-
c	5	KN/m ²
ϕ	30	°
ψ	0	°

5-1- علاقة معامل الأمان بزوايا احتكاك المنحدر باستخدام الطرائق الحديدية وطريقة العناصر المنتهية

لدراسة علاقة معامل الأمان بزوايا احتكاك تربة المنحدر تمت دراسة استقرار المنحدر السابق بكل من الطرائق الحديدية وطريقة العناصر المنتهية من خلال تغيير قيمة زوايا الاحتكاك وتثبيت باقي البرامترات المتعلقة بحساب معامل الأمان ، الجدول (5) يبين قيم معامل الأمان بحسب زاوية الاحتكاك الموافقة بطريقة بيشوب و الشكل (4) يبين الخط البياني الذي يمثل علاقة معامل الأمان بزوايا الاحتكاك باستخدام طريقة بيشوب حيث نلاحظ أن العلاقة بين زاوية الاحتكاك ومعامل الأمان هي تقريباً علاقة من الدرجة الثانية وتميل إلى أن تكون خطية عند القيم الكبيرة لزوايا الاحتكاك.

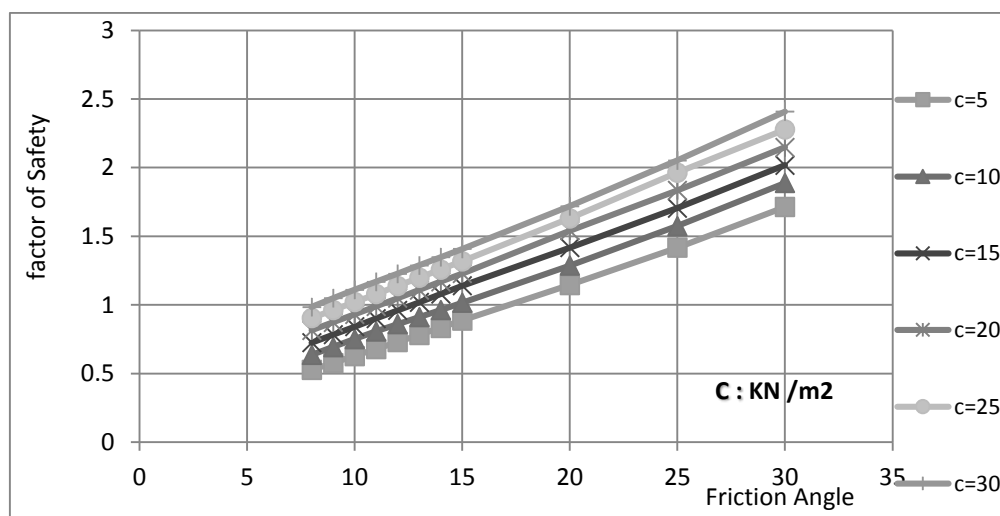
الجدول(5) : قيم معامل الأمان بحسب زاوية الاحتكاك الموافقة بطريقة بيشوب

قيم معامل الأمان باستخدام طريقة بيشوب المبسطة (Simplified Bishop) (Method)							
C=30	C=25	C=20	C=15	C=10	C=5	phy	
0.985	0.904	0.815	0.725	0.636	0.527	8	1
1.049	0.963	0.873	0.783	0.694	0.577	9	2
1.111	1.021	0.931	0.842	0.752	0.628	10	3
1.169	1.08	0.99	0.901	0.808	0.679	11	4
1.228	1.139	1.049	0.96	0.86	0.73	12	5
1.288	1.198	1.109	1.019	0.911	0.782	13	6
1.348	1.258	1.169	1.079	0.963	0.834	14	7
1.408	1.319	1.229	1.14	1.016	0.887	15	8
1.72	1.631	1.541	1.417	1.287	1.146	20	9
2.053	1.964	1.835	1.705	1.575	1.418	25	10



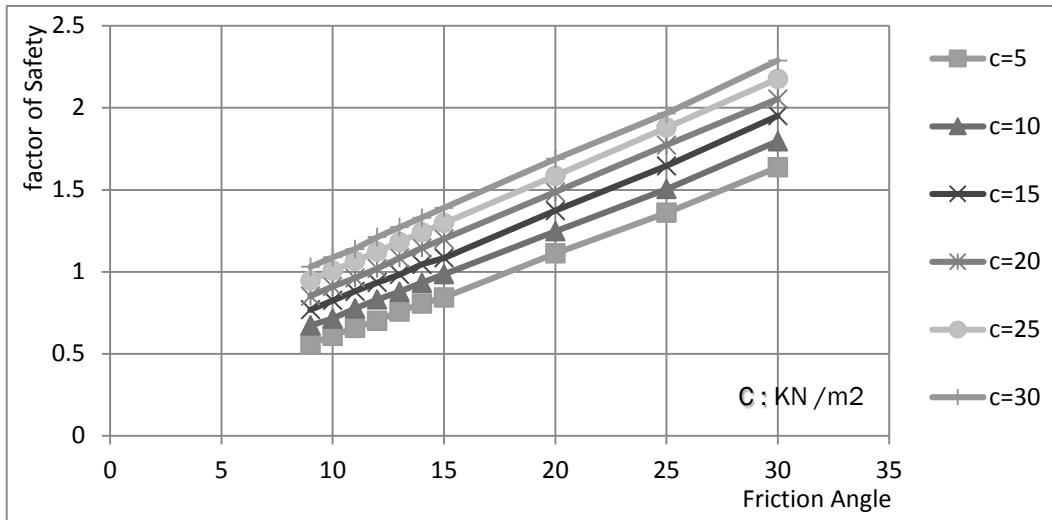
الشكل (4) : علاقة معامل الأمان بزوايا الاحتكاك باستخدام طريقة بيشوب

بالشكل (5) تظهر حزمة الخطوط الممثلة لعلاقة معامل الأمان بزوايا الاحتكاك ، وبشكل مشابه للنتيجة في المرحلة الأولى نلاحظ أن العلاقة بين زاوية الاحتكاك ومعامل الأمان هي تقريباً علاقة خطية من الدرجة الثانية وتميل إلى أن تكون خطية عند القيم الكبيرة لزوايا الاحتكاك.



الشكل (5) : حزمة الخطوط التي تمثل العلاقة بين زاوية الاحتكاك ومعامل الأمان باستخدام طريقة بيشوب

بشكل مشابه لطريقة الحساب التي تمت باستخدام الطرائق الحديدية تم في هذه الدراسة حساب علاقة معامل الأمان بزوايا الاحتكاك باستخدام طريقة العناصر المنتهية حيث تم تغيير قيمة زاوية الاحتكاك وتثبيت باقي البرامترات وتحليل استقرار المنحدر في كل مرة وحساب قيمة معامل الأمان بطريقة تخفيض القوة وذلك باستخدام برنامج Plaxis الشكل (6) يبين شكل حزمة الخطوط الممثلة لهذه النتائج ونلاحظ أن العلاقة أيضاً من الدرجة الثانية تكاد تكون خطية وهذه النتيجة متوافقة مع النتائج التي ظهرت باستخدام الطرائق الحديدية.

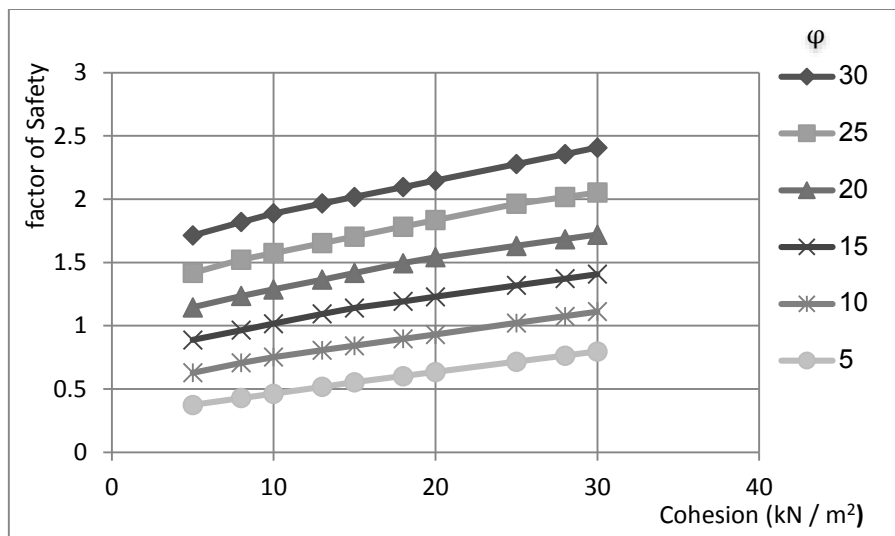


الشكل (6) : الحزمة التي تبين العلاقة بين زاوية الاحتكاك ومعامل الأمان بطريقة العناصر المنتهية

5-2- علاقة معامل الأمان بتماسك التربة باستخدام الطرائق الحدية وطريقة العناصر المنتهية

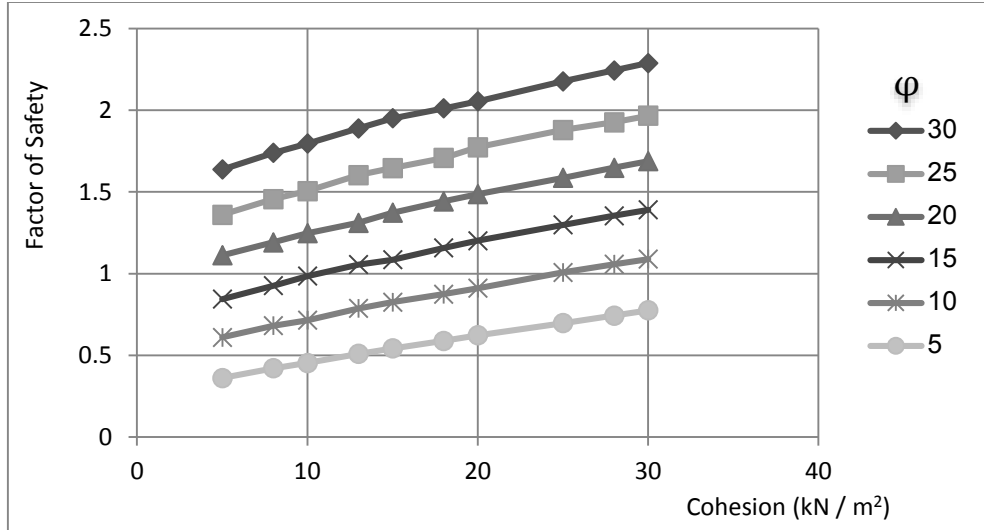
تمت دراسة استقرار المنحدر السابق بتغيير قيمة التماسك و تثبيت باقي البرامترات المتعلقة بحساب معامل الأمان وذلك لمعرفة تأثير تغيير التماسك على معامل الأمان ونوع العلاقة بينهما وذلك باستخدام الطرائق الحدية لتوازن المنحدرات وطريقة العناصر المنتهية .

باستخدام برنامج Geo-slope تم حساب قيمة معامل الأمان الموافق لقيم التماسك المتغيرة الشكل (7) يظهر حزمة الخطوط الممثلة لهذه العلاقة باستخدام طريقة بيشوب الحدية .



الشكل (7) : حزمة الخطوط التي تمثل العلاقة بين التماسك ومعامل الأمان باستخدام طريقة بيشوب

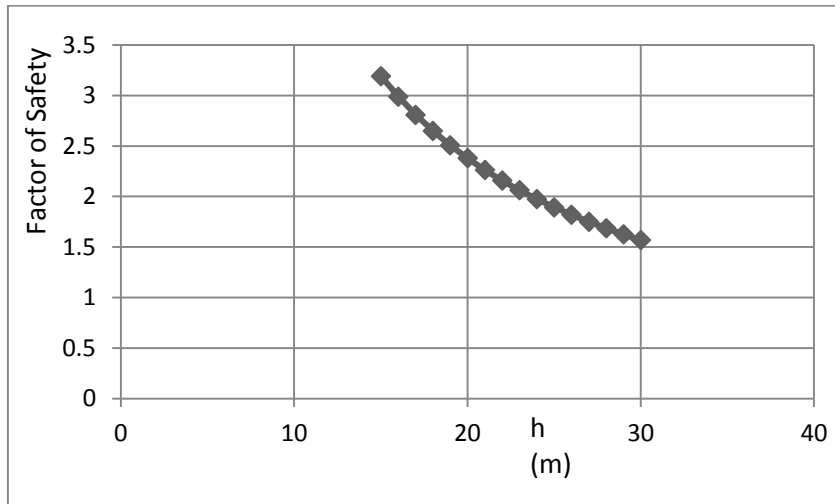
بشكل مشابه تمت دراسة علاقة معامل الأمان بالتماسك باستخدام طريقة العناصر المنتهية بطريقة تخفيض مقاومة القص وذلك باستخدام برنامج Plaxis و الشكل (8) يبين حزمة الخطوط البيانية الممثلة للعلاقة بين معامل الأمان و التماسك مع تثبيت باقي البرامترات .



الشكل (8) : الحزمة التي تبين العلاقة بين معامل الأمان و التماسك بطريقة العناصر المنتهية

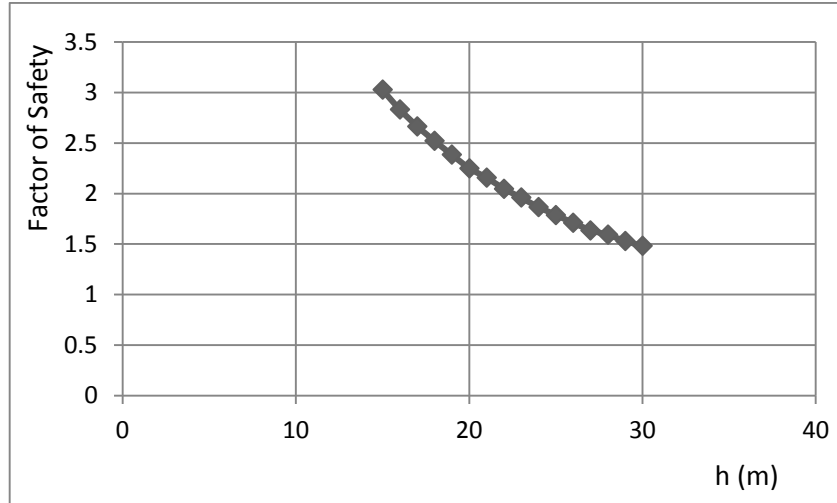
5-3- علاقة معامل الأمان بارتفاع المنحدر باستخدام الطرائق الحديدية والعناصر المنتهية

لحساب علاقة معامل الأمان بارتفاع المنحدر تم تغيير ارتفاع المنحدر المبين بالشكل (1) من القيمة 5 متر إلى 30 متر بداية بطريقة بيشوب والشكل (9) يبين علاقة معامل الأمان بارتفاع المنحدر .



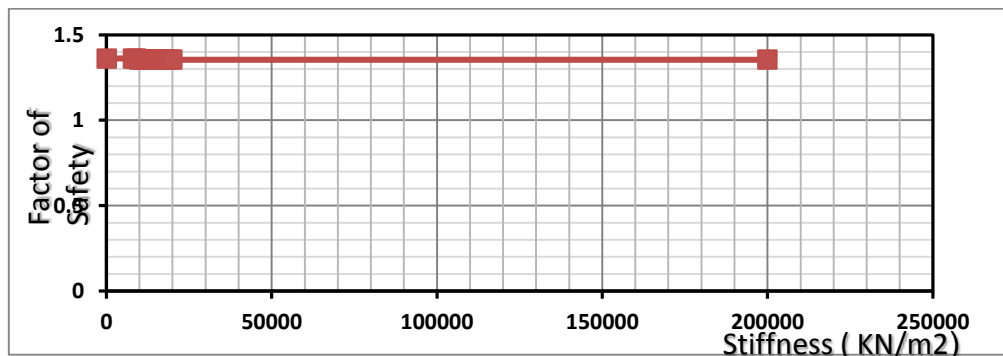
الشكل (9) علاقة معامل الأمان بارتفاع المنحدر باستخدام طريقة بيشوب

وباستخدام طريقة العناصر المنتهية باستخدام برنامج بلاكسيز الشكل (10) يظهر العلاقة بين معامل الأمان وارتفاع المنحدر .



الشكل (10) علاقة معامل الأمان بارتفاع المنحدر باستخدام طريقة العناصر المنتهية

4-5- علاقة معامل الأمان بمعامل المرونة باستخدام الطرائق الحديدية والعناصر المنتهية



الشكل (10) العلاقة بين معامل الأمان ومعامل المرونة بطريقة العناصر المنتهية

4- الدراسة العملية

بعد أن تمت المقارنة بين طرائق دراسة توازن المنحدرات الحديدية وطريقة العناصر المنتهية بشكل نظري ننتقل للمرحلة العملية ونورد دراسة توازن ردمية في دمر حيث تمت دراسة استقرار ثلاثة مقاطع للمنحدر بالوضع الراهن وحدد المقطع الأخطر واقترح تدعيم معين ودرس استقرار المنحدر أثناء تنفيذ الحفرية وبعد إنشاء التدعيم ، وتم اعتبار نموذج مور-كولومب هو النموذج المعبر عن سلوك التربة .

نظراً لأهمية المنحدر الكبيرة من حيث وجود بناء على قمته ، وأن انهيار المنحدر سيؤدي إلى انهيار البناء وبالتالي إلى خسائر بشرية ومادية كبيرة فإن معامل الأمان المطلوب لاستقرار المنحدر يجب أن لا يقل عن (FS=1.5) .

6-1- توصيف المشروع:

بعد الكشف على موقع المنحدر واجراء السبور في الموقع واختبار العينات المأخوذة لتحديد طبقات التربة المكونة للمنحدر ومواصفات التربة لكل طبقة تم اعداد تقرير ميكانيك التربة لموقع المنحدر من أجل دراسة الاستقرار في الوضع الراهن لبيان وضعه واستقراره تحت تأثير الحمولات الدائمة وحمولات الاستثمار حيث على السفح العلوي

للردمية يتوضع برج سكني يتألف من احدى عشر طابقاً، أبعاده في المسقط بحدود 14م×50م ويبلغ ارتفاعه حوالي 35 م، ويقع على قمة منحدر عرضه 42 – 46.5 م وارتفاعه 33.5 – 36.1 م. تم تنفيذ ثلاثة مقاطع طولية عمودية على المنحدر المذكور وتم من اطراف البرج السكني ومن وسطه.

6-2- تربة الموقع:

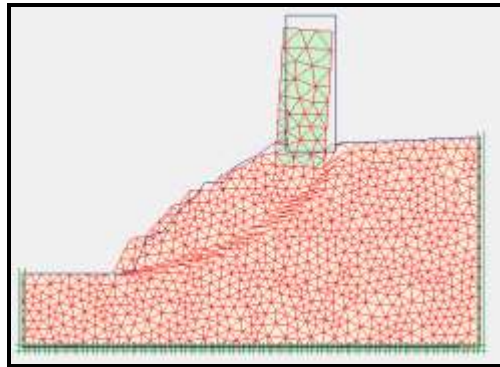
مع الاشارة إلى أنه لا يوجد مياه جوفية في تربة المنحدر و الدراسة تمت بدون اعتبار لتأثير المياه واستناداً إلى نتائج التحريات الجيوتكنيكية والتجارب المخبرية التي تم تنفيذها من قبلنا في موقع المنحدر تبين أن التربة المكونة للمنحدر عبارة عن صخر حواري مواصفاته موضحة بالجدول (6) حيث هو عبارة عن كتل صخرية كلسية وكلسية مارلية مع عروق غضارية بينها :

الجدول (6) : برامترات التربة المكونة لمنحدر دمر

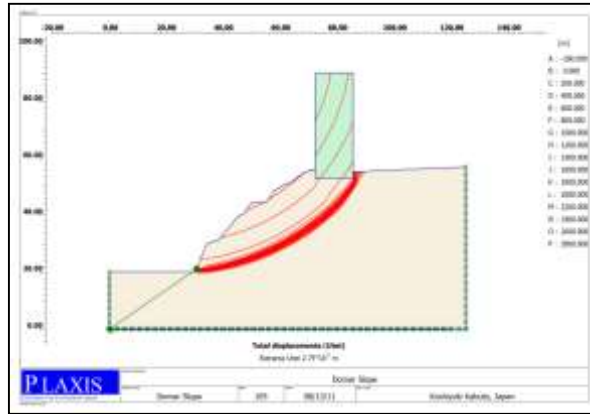
مواصفات الطبقة الصخرية الكلسية		
22.4 – 20.9	KN/m ³	الوزن الحجمي
34700 – 19200	KN/m ²	المقاومة على الضغط البسيط
25-50	(%)	نوعية الطبقة الصخرية - ROD
15-25	°	زاوية الاحتكاك
100-200	KN/m ²	التماسك
100000-200000	KN/m ²	عامل المرونة
0.15-0.25	-	معامل بواسون

6-3- دراسة استقرار المنحدر بطريقة العناصر المنتهية :

تمت دراسة استقرار المنحدر بطريقة العناصر المنتهية باستخدام برنامج Plaxis حيث تمت الدراسة من خلال ثلاثة مراحل حيث المرحلة الأولى تمثلت بالوضع الراهن والشكل (11) يبين ميكانيكية الانهيار للمقطع الأخطر من المقاطع الثلاثة المدروسة .



شبكة العناصر المحدودة بعد التشوه



الانزياحات الكلية

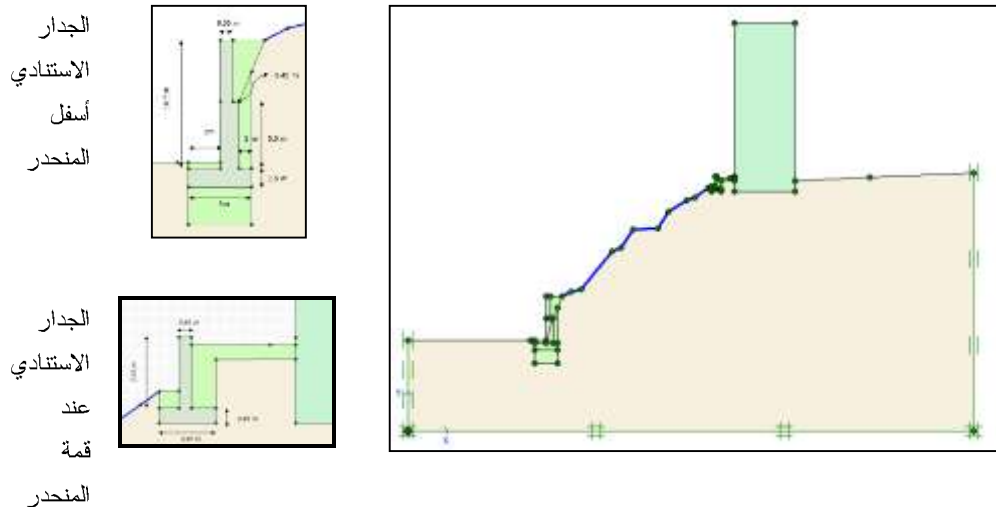
الشكل (11) : ميكانيكية الانهيار باستخدام طريقة العناصر المنتهية وقيمة معامل الأمان $F_s=1.3$

نتج من خلال دراستنا أن المقاطع الثلاثة المدروسة غير محققة وأن المقطع الأخطر هو المقطع والذي يساوي عامل أمان استقرار المنحدر عنده ($F_s=1.3$) وهي قيمة غير مقبولة.

وبذلك فإن المنحدر بالوضع الراهن لا يحقق عوامل الأمان المقبولة، وبالتالي لا بد من تدعيم المنحدر لرفع قيم عوامل الأمان الى القيم الدنيا المقبولة وتحقيق استقراره، وباعتبار المقطع الأخطر درس التدعيم على النحو التالي:

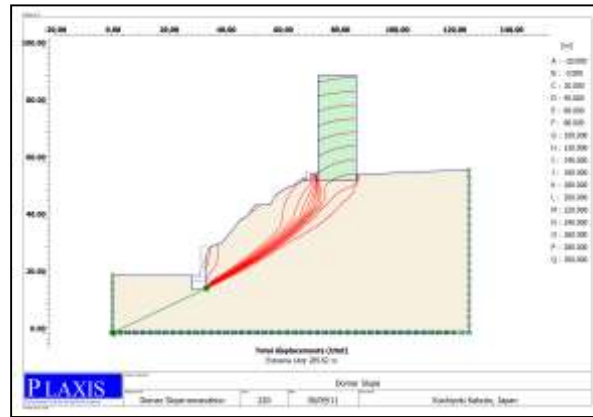
- ينفذ جدار استنادي كبير نسبياً عند أسفل المنحدر، يستند على ركيزة من البيتون الردمي ويربط بها باستخدام تشاريك فولاذية، تبلغ أبعاد الركيزة في المقطع 5 م \times 3 م وتستند على طبقة التأسيس الصخرية الكلسية عند العمق 5 م من منسوب سطح الأرض الطبيعية عند أسفل المنحدر.
- ينفذ جدار استنادي صغير في قمة المنحدر وبالقرب من البرج السكني (عند حدود التصوينة)، يستند على ركيزة من البيتون الردمي ويربط بها باستخدام تشاريك فولاذية،
- تعالج بقية سطوح المنحدر باستخدام البيتون المقذوف، حيث تزرع تشاريك فولاذية بقطر 16 مم وطول يتراوح بين (1 - 2.5 م) باستخدام الحقن بمحلول اسمنتي ضمن ثقوب بقطر 8 سم تنفذ على مسافات تتراوح بين 2 - 3 م، ثم يثبت شبك معدني بقطر 4 مم وفتحة 5 - 7 سم على التشاريك الفولاذية السابقة وتنفذ طبقة بيتون مقذوف بسماكة سطوية تساوي 12 سم.

وبين الشكل (12) النموذج العددي لحل التدعيم المقترح :



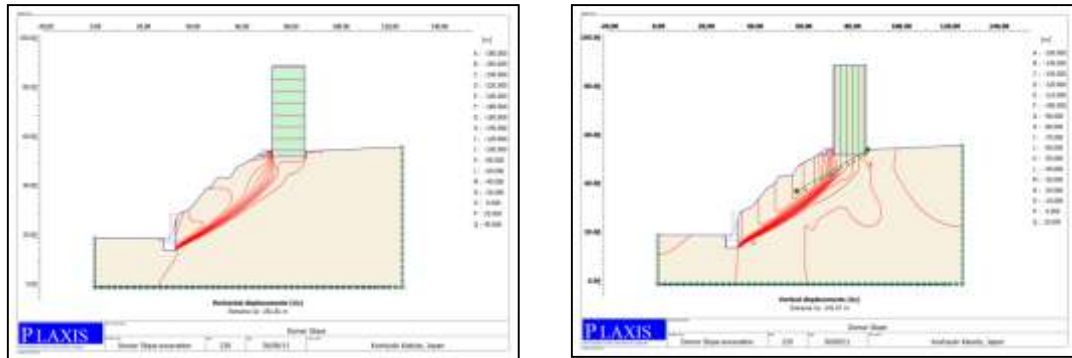
الشكل (12) النموذج العددي لحل التدعيم المقترح

تمت دراسة المنحدر أثناء تنفيذ الحفرية للجدار الاستنادي أسفل المنحدر وهي تعد أخطر مرحلة من مراحل التنفيذ حيث يتم تنفيذ حفریات داخل جسم المنحدر الشكل (13) يبين الانتقالات الكلية الناجمة عن تنفيذ الحفریات .



الشكل (13) : الانتقالات الكلية الناجمة عن تنفيذ الحفریات

والشكل (14) يبين كل من الانتقالات الشاقولية والأفقية الناتجة عن تنفيذ الحفرية وبالنتيجة قيمة معامل الأمان ($F_s=1.22$) خلال تنفيذ الحفریات .



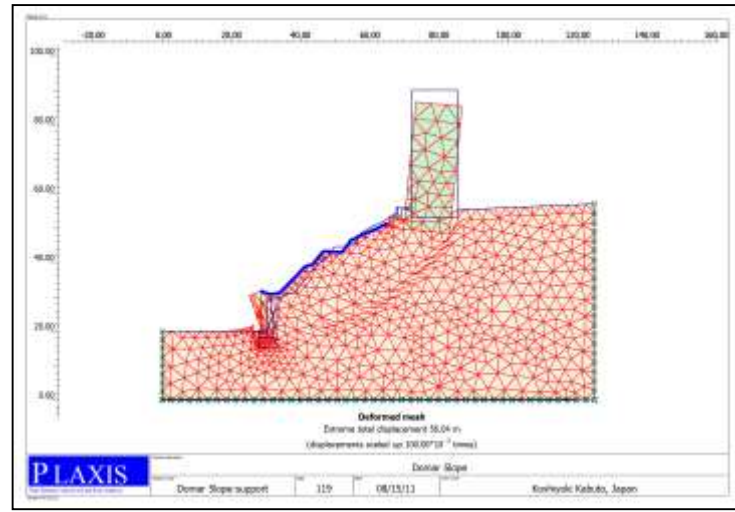
الأفقية

الشاقولية

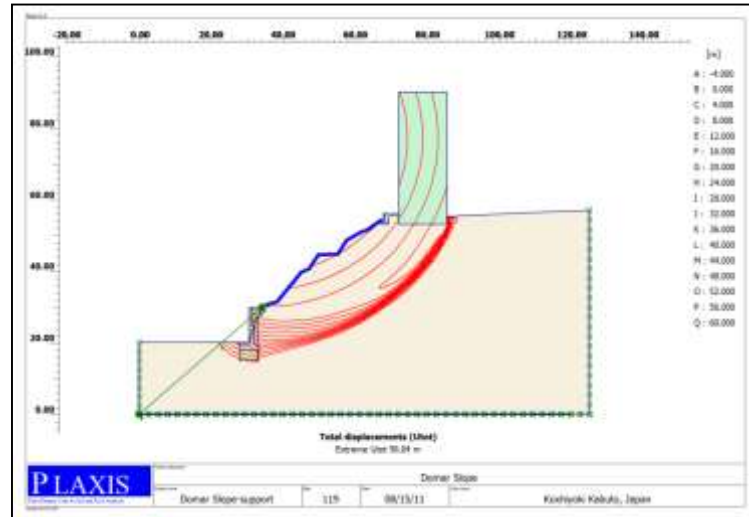
الشكل (14) الانتقالات الشاقولية والأفقية الناتجة عن تنفيذ الحفرية

في المرحلة الأخيرة تم دراسة استقرار المنحدر بعد انشاء التدعيم الشكل (15) نتائج الحسابات على الحمولات الاستثمارية للمقطع المدروس وبالنتيجة قيمة معامل الأمان ($F_s=1.51$) يتضح أن عامل أمان استقرار المنحدر تحت تأثير الحمولات الاستثمارية قد ارتفع ب عد التدعيم وهي قيمة مقبولة.

شبكة العناصر المنتهية للتشوهات



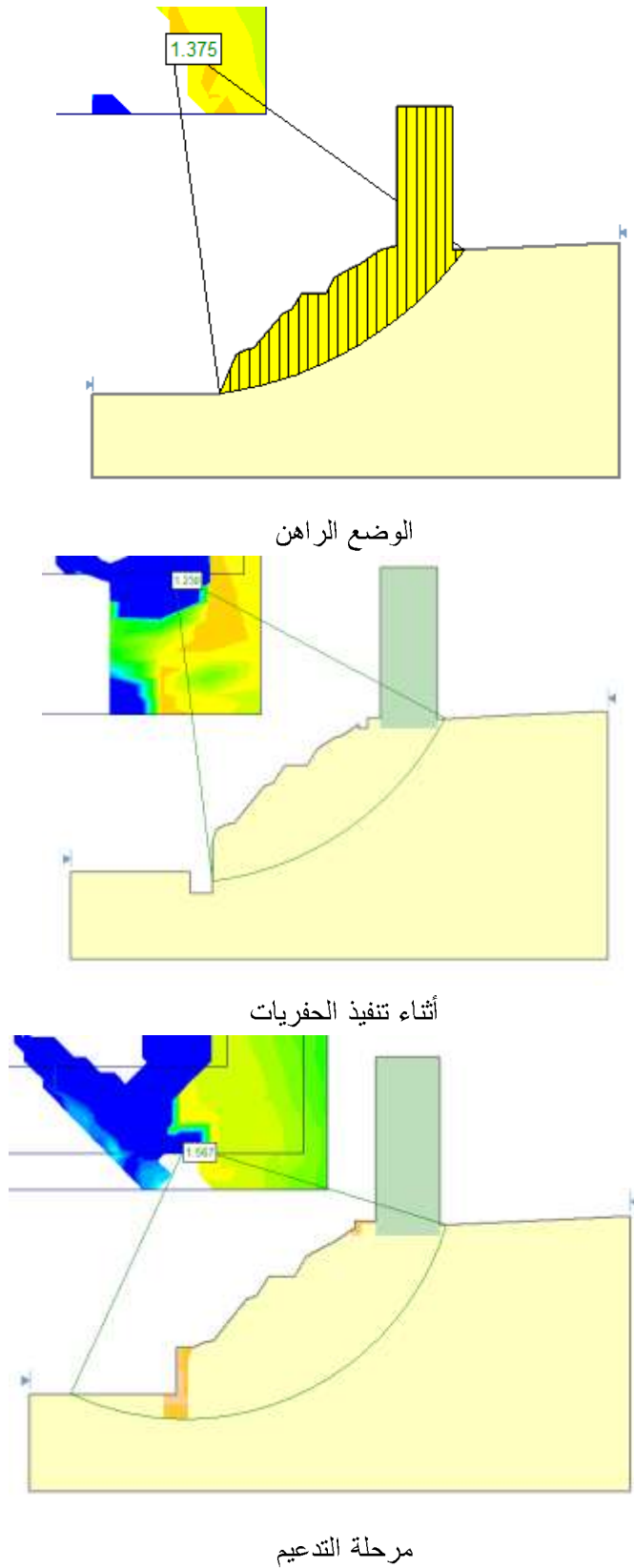
الانزياحات الكلية



الشكل (15) التشوهات والانزياحات الكلية لمرحلة ما بعد تنفيذ التدعيم باستخدام طريقة العناصر المنتهية

4-6- دراسة استقرار المنحدر بالطرائق الحديثة:

تم دراسة ثلاثة مقاطع بإحدى الطرائق الحديثة وهي طريقة سبنسر وذلك باستخدام برنامج slide والشكل (16) يبين نتيجة الدراسة للمنحدر بالوضع الراهن وأثناء تنفيذ الحفرية للمقطع الأخطر .



الشكل (16) : نتائج دراسة المقطع بطريقة سبنسر

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

من خلال البحث تم التوصل للنتائج التالية :

- 1- العلاقة بين زاوية الاحتكاك ومعامل الأمان هي علاقة من الدرجة الثانية وتميل لأن تصبح خطية عند القيم العليا لزاوية الاحتكاك ، ولا تتغير هذه العلاقة بتغير قيم التماسك.
- 2- العلاقة بين التماسك ومعامل الأمان هي علاقة من الدرجة الثالثة ، ولا تتغير العلاقة بتغير قيم زاوية الاحتكاك مما يدل أن تأثير التماسك على معامل الأمان أكبر من تأثير زاوية الاحتكاك.
- 3- العلاقة عكسية بين ارتفاع المنحدر (ميل المنحدر) ومعامل الأمان أي كلما زاد ميل المنحدر كلما قل معامل الأمان.
- 4- قيمة معامل يونغ غير مهمة حسابياً في دراسة توازن المنحدرات .
- 5- طرائق التوازن الحدية تحدد مسبقاً سطح الانزلاق ومن ثم يحدد معامل الأمان الذي تختلف قيمته باختلاف الطريقة الحدية المستخدمة وتعطي طريقة جانبو أخفض القيم بينما تعطي طريقة بيشوب أعلاها .
- 6- تعتبر طريقة العناصر المنتهية أكثر فاعلية من الطرائق الحدية عند دراسة المنحدرات الغير بسيطة وخاصة عند وجود مراحل متعددة للتنفيذ حيث يمكننا باستخدام طريقة العناصر المنتهية الحصول على نتائج أكثر منطقية .
- 7- طرائق التوازن الحدي تعطي قيم أعلى لمعامل الأمان أكثر من طريقة العناصر المنتهية وبذلك فهي تظهر استقرار وهمي للمنحدرات .
- 8- طرائق التوازن الحدي تأخذ في معادلات التوازن لها كامل الكتلة المنهارة ، وبذلك لا يؤخذ بعين الاعتبار التوازن الداخلي للكتلة المنزقة . لذلك تكون هذه الطرائق غير ملائمة إذا كان المنحدر المدروس يتضمن عناصر انشائية داخل الكتلة المنزقة (مثلاً أوتاد) ، وهي أيضاً لا تعطي فكرة عن التشوهات والإجهادات وطريقة تغيرها خلال مرحلة الانهيار بينما طريقة العناصر المنتهية تمكننا من حساب الإجهادات والتشوهات ورسم مخططات للزوم وخاصةً في حال وجود عناصر انشائية داخل جسم المنحدر .

التوصيات:

- نوصي بأن يتم ادراج تعلم البرامج الهندسية مثل Plaxis ضمن المناهج الجامعية لمهندسي الجيوتكنيك أو غيرها من البرامج التي تعتمد على طريقة العناصر المنتهية في دراسة استقرار المنحدرات لما لها من فعالية.

المراجع:

المراجع العربية:

- 1- ميكانيك التربة . دم حنا يني .
- 2- التحليل الانشائي بطرائق المصفوفات وبمعمونة الحاسوب . دم محمد نزيه أيلوش ؛ دم أحمد الحسن .
- 3- طريقة العناصر المحدودة لتحليل المنشآت المختلفة . م. عماد درويش ؛ م. مصباح عز .
- 4- الدليل المرجعي لبرنامج بلاكسيز لتحليل التربة والمنشآت الجيوتكنيكية . دم رندا شبيب .

References:

- [1] Bishop, A.W., "The use of the slip circle in the stability analysis of earth slopes." Geotechnique, 5 (1), 7 – 17, 1955.
- [2] Duncan, J. M. (1992): "State of the art: Static stability and deformation analysis in stability and performance of slopes and embankments-II," Geotechnical Special publication No. 31, ASCE, Vol. 1, pp. 222-226.
- [3] Duncan, J., M. (1996). "State of the Art: Limit Equilibrium and Finite Element Analysis of Slopes." Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 122, No. 7, pp.577-596.
- [4] Duncan, J. M., and Wright, S. G., (1980). "The Accuracy of Equilibrium Methods of Slope Stability Analysis." Engineering Geology, Amsterdam, The Netherlands, Vol.16, No. 1/2, pp. 5-17.
- [5] Duncan J.M. and S.G. Wright, (2005) "Soil Strength and Slope Stability." John Wiley and Sons. NY.
- [6] Fellenius, W., "Calculation of the Stability of Earth Dams." Trans. 2nd Int. Cong. Large Dams, Washington, 445-459, 1936.
- [7] Fredlund, D.G., and Morgenstern, N.R., *Stress State Variables for Unsaturated Soils*, Journal of Geotechnical Engineering (GTS), 103: 447-466, 1977.
- [8] Fredlund, D.G. and Rahardjo, H., "Soil Mechanics of Unsaturated Soils." John Wiley & Sons: New York, 1993.
- [9] Safwan AlAssaf, A Conceptual Model for housing Planning Information System, Arab Cities Organization (G.C.A.C.O) 10th, Dubai 3, 1994, 2475-2524.
- [10] Slope stability—*geotechnical engineering and geomorphology*, M. G. Anderson and K. S. Richards (Eds), Wiley, Chichester, 1987. No. of pages: 648.