

**University of Mosul
College of Engineering**



**EXPERIMENTAL AND NUMERICAL
ANALYSIS of SLOPE STABILITY FOR
PARTIALLY SATURATED SOILS**

RABI' AYAD MOHAMMED

**Doctor of Philosophy Thesis in
Civil Engineering - Geotechnique**

**Supervised by
Prof. Suhail Idrees Khattab, PhD
Prof. Bayer Jaffar Al-Sulyfani, PhD**

2018 A.D.

1439 A.H.

ABSTRACT

Civil engineers, especially geotechnical engineers have devoted a lot of effort and study to understand the mechanisms that lead to the failure of the slope. Studying the safety factor is very important for the prevention of economic loss of property and lives, and for this reason, a model has been made with the dimensions of (2000×1400×1580) mm to analysis the effect of external loads as well as the duration and intensity of the rain on the stability of slope.

The model has been made of steel and its sidewalls are made of thick glass or acrylic sheets. The glass or acrylic side allowed the soil slope model to be seen during the compaction process also, the slope failure can be observed during the test. Two types of unsaturated soil were considered for the current study, the first type was the sandy fat clay designated as soil (A); the second type was sandy silt designated as soil (B); the two types were chosen from **Mosul Governorate** (Al Arabi quarter and Al Ghabat quarter respectively). The main variables which have been studied include the magnitude of the external pressure, suction along the depth of the slope, type of soil, the rainfall intensity and duration.

The most obvious outcome of this research is that soils are negatively affected as a result of rain and loads imposed on a slope. Heavy rainfall with the intensity of approximately (10 and 5) mm /hr with duration (16 and 8) hours for soil (A and B) respectively have been imposed. In fact, soil (B) is very sensitive to the changes in the total suction as comparing with soil (A). The suction suddenly decreased from (10, 9 and 8) kPa to zero kPa in the (top, middle, and bottom) layers respectively after (3) hours of rain. On the other hand, at the end of the four stages of rainfall (i.e. 4 hours rainfall and 72 hours equilibrium time for each stage) the suction of the soil (A)

decreased from (65, 50 and 40) kPa to (10, 12 and 14) kPa for the (top, middle and bottom) layers respectively. The effect of rainfall reduces the load capacity from (510 and 359.8) kPa to (183 and 11) kPa of soil slopes (A and B) respectively. Therefore, a reduction in load capacity of (64 and 97%) is obtained.

The comparisons are made between the predicted **results** through the numerical analysis by GEOSLOPE 2D and **the** measures stress-settlement characteristics. There is an outstanding agreement, the range of variance between computed and measured load capacity before it is subjected to rainfall is almost (8 and 13) % for soil (A and B) respectively whereas the variance in load capacity becomes (19 and 4.4) % for soil (A and B) respectively after subjected to rainfall.

A parametric study points out the effect of various influential parameters on the stability of the unsaturated clay and alluvial soil slopes. Four parameters have been studied in this work namely: the rainfall intensity and duration, footing width, phreatic line level and angle of slope. For soil (A and B) with suction (50 and 10) kPa respectively; The results indicate that when the slope angle decreases from (45° to 31°) the load capacity increases for soil (A) by 37 % and that for soil (B) by 46 % for deep phreatic line level and footing width (1) m. The load capacity decreases (58) % when the slope angle increases from (45° to 81°) for soil slope (A). On the other hand, design charts illustrating the load capacity for the soil slope have been made.

Finally, the applications (case study) of a numerical solution for saturated/unsaturated coupled analysis and stability of two regions of slopes situated in northern Iraq have been made. The first case study takes place in

Zozon, a quarter of Duhok Governorate. The geological and geotechnical studies which are carried out have been an attempt to understand the flow mechanism that triggered the landslide. The failure caused serious structural and material damages; where almost five lives have been lost. The second case study is in Zawita which is again another quarter of Duhok Governorate. The main results indicate that the factor of safety decreases from (2.76) to (2.5) after (10) days of rainfall with intensity of approximately (24) mm /day, and the factor of safety reach to value (1) after (60) days of rainfall. This gives a reduction in the factor of safety of (9.4 and 64) % for rain period (10 and 60) days respectively.

المستخلص

بذل المهندسون المدنيون، وخصوصاً مهندساو الجيوتكنك الكثير من الجهد لدراسة وفهم الآليات التي تؤدي إلى فشل المنحدر. إذ تعدّ دراسة عامل الأمان مهة جدا للحيلولة دون وقوع الخسائر الاقتصادية في الممتلكات والأرواح، ولهذا السبب وامتدادا للدراسات السابقة تم تصنيع موديل هندسي بأبعاد (1580×1400×2000) ملم لتحليل تأثير الأحمال الخارجية وكذلك دراسة تأثير مدة المطر وشدتها على استقرار المنحدر.

تمت صناعة جوانب الموديل من هيكل حديدي مغلف بصفائح بليت عدا الجانب الأيمن حيث غلف بمادة الفاير كلاس والذي يلاحظ من خلالها عملية الرص وكذلك شكل الفشل. تمت دراسة نوعين من التربة الغير مشبعة الأولى تربة طينية (A) والثانية تربة غرينية (B), مختارة من مدينة الموصل (حي العربي و الغابات على التوالي). وتتمثل اهم المتغيرات التي اخذت في هذه الدراسة كمية الحمل الخارجي المسلط، وكمية وشدة المطر، ونوع التربة وتغير مقدار المص مع عمق موديل الاختبار.

اشارت النتائج أن التربة تتأثر سلبا نتيجة لتسليط المطر والحمل الخارجي على المنحدر. وتم تسليط أمطار غزيرة بشدة حوالي (10 و 5) ملم / ساعة ولفترة (16 و 8) ساعة للتربتين (A و B) على التوالي. في الواقع، ان حساسية التربة (B) للتغير في اجهاد المص كانت كبيرة جدا مقارنة مع التربة (A). حيث انخفضت اجهادات المص من (10، 9 و 8) كيلو باسكال إلى صفر في الطبقات (العليا، الوسطى والسفلى) على التوالي، بعد (3) ساعات من تسليط المطر. من ناحية أخرى، وبعد اربعة مراحل من تسليط المطر (المقصود 4 ساعة مطر و 72 ساعة فترة توازن بدون مطر لكل مرحلة) انخفض اجهاد المص للتربة (A) من (65، 50 و 40) كيلو باسكال إلى (10، 12 و 14) كيلو باسكال للطبقات (العليا، الوسطى والسفلية) على التوالي. وادى تأثير هطول الأمطار الى تقليل إجهاد الفشل من (510 و 359.8) كيلو باسكال إلى (183 و 11) كيلو باسكال لمنحدر الترتبتين (A و B). لذلك، فأن النسبة في انخفاض سعة التحمل كانت (64 و 97) % لمنحدر للتربتين (A و B) على التوالي.

استخدم البرنامج النظري جيو سلوب ذي البعدين لتمثيل العلاقة بين الإجهاد والهبوط وإيجاد حمل الفشل للمنحدر ومقارنتها بالنتائج المختبرية. تم التوصل الى تقارب بين النتائج العملية والنظرية. تراوحت نسبة الخطأ (8-13) % بالنسبة لمقدار إجهاد الفشل لمنحدر للترتب (A و B)

على التوالي وفقا لمعامل ثبوتية المنحدر قبل تسليط المطر، بينما اصبحت نسبة الخطأ (4.4-19) % منحدر للترب (A و B) على التوالي بعد تسليط المطر.

اجريت دراسة حدودية تناولت تأثير عدة عوامل على استقرار منحدر التريبتين (الطينية والغرينية) المشبعة وغير المشبعة باستخدام البرنامج اعلاه. وتم اختيار اربعة عوامل بضمنها شدة هطول الأمطار ومدتها، عرض الاساس، مستوى المياه الجوفية عن سطح المنحدر بالإضافة إلى زاوية ميل المنحدر عن الافق. اما فيما يتعلق بعرض اساس (1) م و مستوى عميق للمياه الجوفية عند اجهاد مص (50 و 10) كيلو باسكل للتريبتين (A و B) على التوالي اظهرت النتائج بأن إجهاد الفشل ازداد بمقدار (37-46) % لمنحدر التريبتين (A و B) عند نقصان زاوية ميل المنحدر من (45 الى 31) درجة. بينما انخفض إجهاد الفشل (58) % عند زيادة زاوية ميل المنحدر من (45 الى 81) درجة لمنحدر التربة (A). بالإضافة الى ذلك، تم ايجاد علاقات تصميمية بين المتغيرات اعلاه لإيجاد اجهاد الفشل لمنحدر التريبتين (الطينية والغرينية).

وأخيرا تم القيام بدراسة تطبيقية لتحليل واستقرار منحدر الترب المشبعة وغير المشبعة لمنطقتين تقع في شمال العراق. الاولى كانت في سوزان كلي الواقع في محافظة دهوك. واجريت الدراسات الجيولوجية والحيوتكنية لفهم آلية التدفق التي أدت إلى انهيار المنحدر والذي أدى الفشل إلى أضرار هيكلية ومادية خطيرة، حيث فقد ما يقرب من خمسة أرواح. أما دراسة الحالة الثانية فكانت في منطقة زاويتا، التي تقع في محافظة دهوك ايضا. حيث تم تحليل استقرار المنحدر من ناحية الحمل الخارجي وتأثير هطول الامطار. وأظهرت أهم النتائج إن معامل ثبوتية المنحدر انخفض من (2.76) الى (2.5) خلال (10) أيام من تسليط المطر بشدة (24) ملم/ يوم واستمر بالنقصان حتى الوصول الى الحالة الحرجة (1) خلال (60) يوما من تسليط المطر، حيث كانت نسب الانخفاض في معامل ثبوتية المنحدر (9.4 و 64)% خلال (10 و 60) يوما من هطول المطر على التوالي.



جامعة الموصل
كلية الهندسة

التحليل التجريبي والعددي لاستقرار المنحدرات للترب المشبعة جزئياً

ربيع اياد محمد

اطروحة دكتوراه فلسفة في
الهندسة المدنية-الجيوتكنيك

باشراف

أ.د. سهيل ادريس عبدالقادر خطاب
أ.د. بيار جعفر السليفاني

2018 م

1439هـ