

## تحليل تأثير سماكة النواة العمودية على استقرار السدود الترابية (حالة سد الدويسات)

الدكتورة فاطمة فويتي\*

(تاريخ الإيداع 9 / 4 / 2013. قُبل للنشر في 19 / 6 / 2013)

### ▽ ملخص ▽

إن إنشاء السدود الترابية متاح باستخدام الترب المتوفرة في الموقع، ويتدرج مختلف والتي تتوضع في المناطق المناسبة من المقطع العرضي للسد، إن الخواص الجيوتكنيكية والفيزيائية لمواد الإنشاء يجب أن تؤمن التوازن والاستقرار الجيد، وهذا يتطلب تقييم تحليل استقرار مختلف مناطق السد، باعتبار أن الاستقرار يعتمد على الشكل الهندسي للمقطع العرضي للسد والخواص الجيوتكنيكية لمواد إنشائه والقوى المؤثرة عليه. في هذا البحث تم دراسة تقييم استقرار سد الدويسات ذي النواة الشاقولية والارتفاع 33 م، ميل الجانب الخلفي 1V:2.75H وميل الجانب الأمامي 1V:3H ، كما سيتم دراسة تغير سماكة النواة من 1V:0.25H إلى 1V:2.0H وتأثيرها على استقرار جانبي السد الأمامي والخلفي وذلك لثلاث حالات تصميمية هي خلال فترة بناء السد، التسرب المستقر، والتفريغ السريع، وذلك باستخدام طريقة التوازن الحدية العامة وحزمة البرامج GeoStudio. وقد تبين من التحليل أنه بتغير سماكة النواة الشاقولية للسد، فإن النواة ذات السماكة الأقل تعطي استقراراً أكبر وأن الزيادة في سماكة النواة لميول أكبر تسبب انخفاضاً حاداً لعامل أمان الوجهين الأمامي والخلفي للحالات التصميمية الثلاثة الأنفة الذكر.

**الكلمات المفتاحية:** عامل الأمان، نهاية بناء السد، التسرب المستقر، التفريغ السريع، سماكة النواة.

# Analysis the Effect of Variation in Vertical Core Thickness on Stability of Earth Dams (Case Study: Dwesat dam)

Dr. Fatima Fouiti\*

(Received 9 / 4 / 2013. Accepted 19 / 6 / 2013)

## ▽ ABSTRACT ▽

Construction the earth dams allows the use of available soil in situ of different gradations in appropriate zones of dam cross section, the geotechnical and hydraulic properties of the construction materials should provide good stability to the structure. For this reason it requires to evaluate the stability analysis for different zoned dam of the construction. And because the stability of the dams depends on its geometry, materials properties and the forces to which it is subjected.

Therefore in this paper we will present the stability analysis carried out on the Dwesat dam with vertical core, its high is 33m, the downstream slope of 1V:2.75H and the upstream slope of 1V:3.0H. Thickness of the vertical core was varied from 1V:0.25H to 1V:2.0H, and also present the effect of the varied thickness on slope stability for both upstream and downstream under three design conditions i.e. during and end of construction, steady state seepage and rapid draw down by General Limit Equilibrium Method using GeoStudio software.

It was observed from the analysis that by varying the thickness of vertical core of earth dam, thinner core up to 1V:1.30H gives more stability and further increase in thickness of core tends to sharp decline in factor of safety for both upstream and downstream slope under different design conditions.

**Key Words:** Factor of safety, End of Construction, Steady State Seepage, Rapid Draw Down, Core thickness.

مقدمة:

\*Associate Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia , Syria.

تستخدم الردميات الترابية بشكل واسع وكبير في بناء السدود والطرق والسكك الحديدية ومن أهم الأمور في مثل هذه الأعمال هو الاستقرار والأمان، لأن انهيار مثل هذه المنشآت جزئياً أو كلياً يسبب خسائر اقتصادية وبشرية كبيرة. وتعتبر دراسة استقرار جوانب السدود الترابية من المسائل المهمة لتحقيق أمان المنشأة وديمومة عملها. وبما أن مواصفات المواد الجيوتكنيكية والفيزيائية في مختلف مناطق السد الترابي تتغير بشكل كبير حسب توفرها في موقع الإنشاء، وهذه الترب تستخدم بشكل متدرج في مناطق مختلفة من المقطع العرضي للسد، ويجب أن يكون السد الترابي مستقراً في مختلف ظروف العمل. إن استقرار السد يعتمد على شكله الهندسي وعلى خواص المواد المكونة له، والقوى التي يخضع لها، وإن أهم أسباب الانهيار هو الانزلاق الذي يمكن أن يحدث ببطء أو بشكل مفاجئ، مسبباً انزلاق جزء من السد الترابي باتجاه الأسفل ونحو الخارج حيث اجهادات القص الوسطية قد تجاوزت مقاومة القص الوسطية للتربة على طول سطح الانزلاق، وهذا يتطلب دراسات جيوتكنيكية شاملة للأساس ومواد البناء وطرق تحليل الاستقرار، وتعتبر طريقة التوازن الحدي العامة لحساب استقرار المنحدرات وجوانب السدود الترابية على الانزلاق الأكثر تطبيقاً، ومنها طرق التحليل أيضاً طريقتا فيلينبيوس السويدية وبيشوب المبسطة لسطوح الانزلاق الدائرية [1]، [2]، [3]، [4]، وطريقتا نونفيلر و مورغن سترن-بريس لسطوح الانزلاق ذات الشكل الحر [5]، [6]، [7]. وتعتمد هذه الطرق على نظرية تقدير قوى التربة الجانبية المقدمة من قبل [8]، [9]، [10].

### أهمية البحث وأهدافه:

إن هدف البحث هو تحليل استقرار السد الترابي "الدويسات" المؤلف من ردميات مختلطة مع نواة مانعة للرشح شاقولية مركزية، ويقع السد إلى شمال غرب محافظة إدلب، حيث يبلغ ارتفاعه 33 م ميل الجانب الخلفي 1V:2.75H (V عمودي، H أفقي) وميل الجانب الأمامي 1V:3H، وكذلك دراسة تأثير تغيير سماكة النواة الشاقولية من 1V:0.25H إلى 1V:2.0H على استقرار جانبيه الأمامي والخلفي، وفق ثلاث حالات تصميمية: الحالة الأولى أثناء فترة بناء السد، الحالة الثانية حالة التسرب الثابت والمستقر والحالة الثالثة حالة التفريغ السريع، وذلك باستخدام طريقة التوازن الحدي العامة وحزمة البرامج GeoStudio، ويعتبر استقرار السدود الترابية من المواضيع المهمة جداً للحفاظ على أمانه وديمومته والاستفادة من المياه المتجمعة أمامه لأغراض الري والشرب وتوليد الطاقة وغيرها.

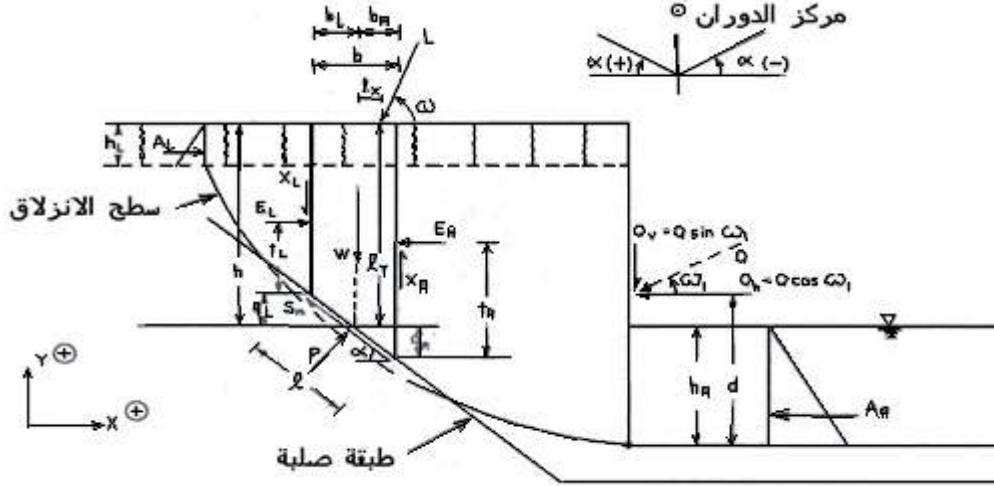
### طرائق البحث ومواده:

تقدم طريقة التوازن الحدي General Limit Equilibrium Method النظرية العامة لاستقرار المنحدرات، والمعادلات المستخدمة في هذه الطريقة اللازمة لاستنتاج عامل الأمان هي مجموع القوى في الاتجاهين الأفقي والشاقولي، ومجموع العزوم حول نقطة محددة للقوى المؤثرة، هذه المعادلات مع معيار الانهيار كولومب - مور غير كافية لجعل مشكلة استقرار المنحدر مفررة. ولإعادة تعيين المسألة فإن الأمر يتطلب افتراضات تتعلق باتجاه بعض القوى الداخلية بين الشرائح المشكلة للكتلة المنزلقة الواقعة بين سطح المنحدر وسطح الانزلاق وقد قدمت من قبل Janbu 1973، Morgenstren-Eisetien 1970، و Fredlund et al 1981، [11]، [12]، [13]، تم تبني هذه المقاربة بشكل واسع في طريقة التوازن الحدي، وتعتبر الأكثر شهرة وتطبيقاً في تحليل استقرار المنحدرات لبساطتها نسبياً وقدرتها على تقييم حساسية الاستقرار لجميع العوامل المدخلة، يتم فرض سطح انزلاق كفي وتقسيم كتلة التربة فوق هذا السطح لشرائح عمودية كما في الشكل (1)، ويدرس عدد من سطوح الانزلاق للحالتين الفعالة وغير الفعالة،

والسطح الذي يعطي أكبر قوة فعالة أو أصغر مقاومة غير فعالة يكون سطح الانزلاق الحدي [10]. قيمة قوة القص المحركة المؤثرة على قاعدة الشريحة  $S_m$  تحسب من معيار انهيار كولومب - مور بالشكل التالي:

$$S_m = \left(\frac{\ell}{F}\right)\{C' + (\sigma_n - u) \operatorname{tg}\phi'\} \quad (1)$$

حيث:  $C'$  - التماسك الفعال.  $\phi'$  - زاوية الاحتكاك الداخلي الفعالة.  $\sigma_n$  - الإجهاد العادي الكلي.  $u$  - ضغط الماء المسامي.  $F$  - عامل الأمان.  $\ell$  - طول سطح الانزلاق عند قاعدة كل شريحة.



الشكل (1) القوى المؤثرة على إحدى شرائح سطح انزلاق، الرموز موضحة لاحقاً في المعادلات.

عندما تتخفف مقاومة التربة على القص تصبح كتلة التربة في وضع التوازن الحدي على طول سطح الانزلاق المفترض، كما تصبح قوة التربة الجانبية ونقطة تأثيرها غير معروفة، لذلك يتم استخدام المعادلات الستاتيكية مع معادلة معيار الانهيار كولومب - مور، وتحسب هذه القوة باعتبارها قوة خارجية تؤثر على آخر شريحة من الجهة اليمينية الشكل (1)، يبدأ التحليل بفرض أن القوى الشاقولية المؤثرة على كل شريحة تحسب كقوة عادية على قاعدة الشريحة  $P$ :

$$P = \left\{ W + (X_L - X_R) - \frac{c'\ell}{F} \sin\alpha + \frac{u\ell}{F} \cdot \operatorname{tg}\phi' \sin\alpha + [L \cdot \sin\omega] + [Q \sin\omega_1] \right\} / m_a \quad (2)$$

$$m_a = \cos\alpha + \frac{1}{F} \cdot \sin\alpha \cdot \operatorname{tg}\phi' \quad \text{حيث:}$$

$W$  - الوزن الكلي للشريحة بعرض  $b$  وارتفاع  $h$ .

$Q$  - قوة التربة الجانبية الموجبة أو السالبة (الفعالة وغير الفعالة).

$X_L - X_R$  - قوة القص العمودية المتبادلة بين الشرائح اليمينية واليسارية بالترتيب.

$\alpha$  - الزاوية بين المماس لقاعدة الشريحة عند محورها مع الأفق.

$L$  - حمولة خارجية.

$\omega$  - زاوية خط الحمولة  $L$  المطبقة خارجياً مع الأفق.

$\omega_1$  - اتجاه قوة التربة الجانبية  $Q$  وتعتبر موجبة مقاسة بعكس اتجاه عقارب الساعة بدءاً من المحور  $X$

الموجب.

إن الحدود داخل القوس الكبير تتعلق فقط بالشريحة حيث تؤثر الحمولة  $L$  أو قوة التربة الجانبية  $Q$ . ومن أجل أول تكرار لإيجاد قوة التربة الجانبية نحسب القوة العادية  $P$  باعتبار قوى القص بين الشرائح تساوي الصفر، ونفرض

القيمة الأولية لقوة التربة الجانبية  $Q$ ، وفي خطوات التكرار المتتالية نحسب القوى المتبادلة بين الشرائح لكل خطوة تكرار، وتوازن القوى في الاتجاه الأفقي لكل شريحة تستخدم لحساب القوة المتبادلة بين الشرائح وهي:

$$E_R = E_L + P \sin \alpha - S_m \cos \alpha + Kw - [L \cos \omega] - [Q \cos \omega_1] + [A_L] - [A_R] \quad (3)$$

$-E_L - E_R$  القوة الكلية الأفقية المتبادلة بين الشرائح اليمينية واليسارية على الترتيب.

$K$  - عامل اجهادات التربة الجانبية وهو النسبة بين الاجهادات الأفقية والعمودية.

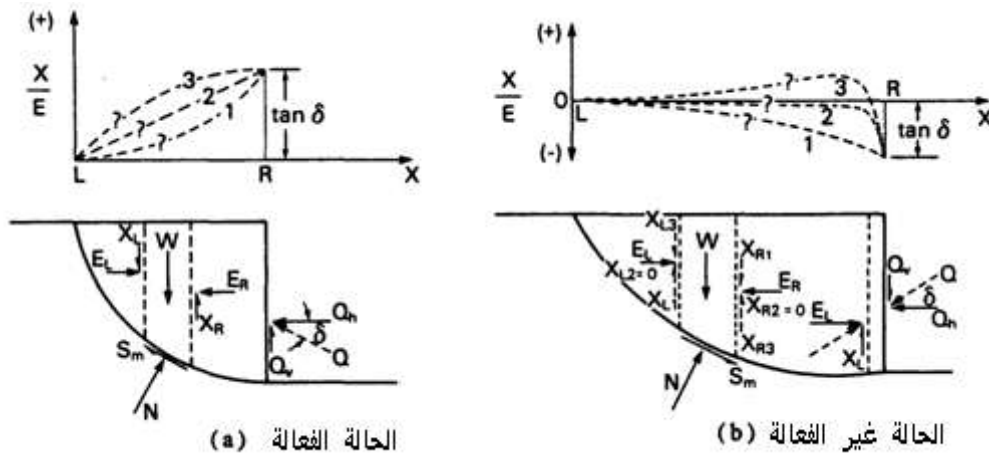
$-A_L - A_R$  محصلة القوى الخارجية للماء اليمينية واليسارية على الترتيب.

الحدود  $A_L - A_R$  تطبق فقط عند أطراف الانزلاق عند وجود قوة الماء، ويتم الحصول على قوى القص بين الشرائح بفرض اتجاه هذه القوى الذي يحدد كتابع عشوائي  $f(x)$ ، الشكل (2) يبين تواجد القوى المتبادلة بين الشرائح حسب (Fan 1983) [16]:

$$\frac{X}{E} = \lambda \cdot f(x) \quad (4)$$

$f(x)$  - تابع رياضي يوصف العلاقة بين قوة القص العمودية المتبادلة بين الشرائح  $X$  و القوة الكلية الأفقية المتبادلة بين الشرائح  $E$  خلال المنحدر.

$\lambda$  - ثابت يمثل نسبة التابع المستخدم في حسابات قوة التربة الجانبية.



الشكل (2) التوابع المحتملة بين الشرائح من أجل المنحدر في الحالتين الفعالة وغير الفعالة.

من الشكل (2) نجد أنه في الحالة الفعالة تكون قوة القص متجهة نحو الأعلى وتتحرك على طول سطح الانزلاق بسبب الحركة الهابطة لكتلة التربة نحو الأسفل، وفي الحالة غير الفعالة قوة القص تؤثر نحو الأسفل بسبب أن كتلة التربة تتحرك نحو الأعلى. الحسابات تبدأ عند طرف الشريحة اليسارية حيث سطح الانزلاق يتقاطع مع سطح الأرض ويستمر بشكل تجميعي على كل الشرائح في الكتلة المنزلقة. وقيمة قوة التربة الجانبية  $Q$  تحسب من توازن القوى بالاتجاه الأفقي بالشكل التالي:

$$Q = \{\sum P \sin \alpha - \sum S_m \cos \alpha + \sum kW + A_L - A_R - \sum L \cos \omega\} / \cos \omega_1 \quad (5)$$

$$Q_h = Q \cos \omega_1 \quad (6) \quad \text{المركبة الأفقية لقوة التربة الجانبية :}$$

$$Q_v = Q \sin \omega_1 \quad (7) \quad \text{والمركبة الشاقولية لقوة التربة الجانبية:}$$

زاوية ميل المنحدر  $\omega_1$  تتعلق بزاوية جدار الاحتكاك  $\delta$  وزاوية ميل الجدار، وعندما يكون الجدار شاقولياً تصبح  $\omega_1 = \delta$ . نقطة تأثير القوة الجانبية على المحور الأفقي X تفرض لتؤثر على الطرف اليميني لآخر شريحة، أما الموقع على المحور الشاقولي Y فيحسب من مجموع العزوم حول مركز قاعدة كل شريحة بالشكل التالي:

$$t_R = \left\{ E_L(t_L + q_L) - X_L b_L + \frac{kWh}{2} + E_R q_R - X_R b_R + [A_L h_L / 3] - [L \cos \omega l_Y] + [L \sin \omega l_X] \right\} / E_R \quad (8)$$

$t_L - t_R$  - المسافة العمودية بين طرف قاعدة الشريحة ونقطة تطبيق قوة التربة الجانبية على يمين ويسار الشريحة على الترتيب.

$-b_L - b_R$  - المسافة الأفقية بين محور قاعدة الشريحة وطرفها اليميني واليساري.  
 $q_L - q_R$  - المسافة العمودية بين محور قاعدة الشريحة الأفقي وطرف الشريحة السفلي اليميني واليساري على الترتيب.

$b_L - b_R$  - المسافة الأفقية بين محور قاعدة الشريحة وطرفها اليميني واليساري.

$-l_x - l_y$  - المسافة الشاقولية والأفقية من محور قاعدة الشريحة إلى نقطة تطبيق الحمل الخارجي على الترتيب.

$h_L - h_R$  ارتفاع الماء المؤثر كقوة خارجية على يمين ويسار المنحدر على الترتيب.

عند آخر شريحة يمكن حساب نقطة تأثير محصلة قوى التربة الجانبية d المبينة على الشكل (1) كما يلي:

$$d = \left\{ E_L(t_L + q_L) - X_L b_L + \frac{kWh}{2} - [A_R h_R / 3] - [L \cos \omega l_Y] + [L \sin \omega l_X] + Q \sin \omega l_x \right\} / Q \cos \omega_1 \quad (9)$$

#### تحليل الحالات التصميمية:

تم تحليل استقرار جوانب سد الدويسات الخلفية والأمامية، للحالات التصميمية الثلاث: مرحلة بناء السد، حالة التسرب المستقر وحالة التفريغ السريع [19]، [22]، [23] بالشكل التالي:

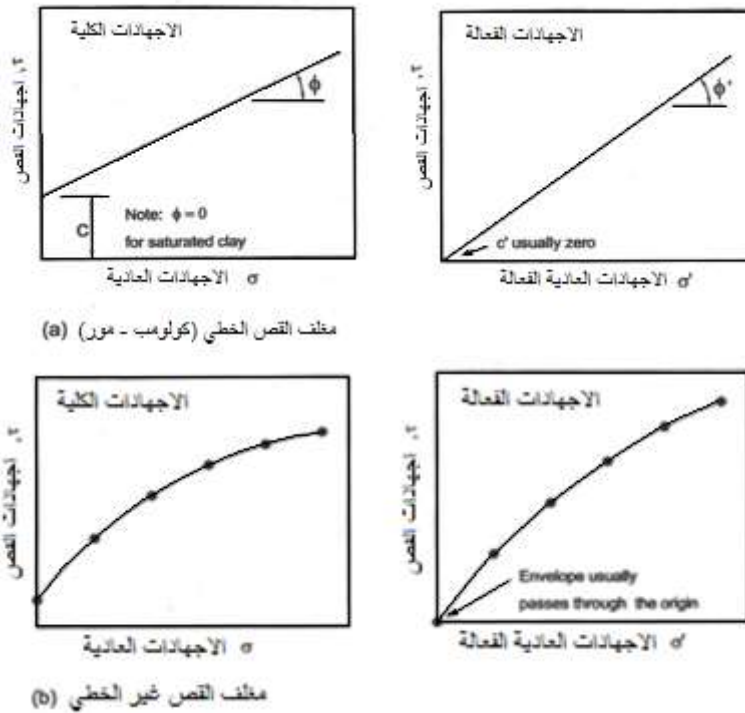
#### تقييم استقرار جوانب السدود الترابية خلال فترة الإنشاء:

من المهم عند تحليل استقرار جوانب السدود الترابية خلال فترة الإنشاء، التقدير الصحيح لقوى القص في الحالتين المصرفة وغير المصرفة، وتحديد ضغط الماء المسامي، فمن أجل شروط الحالة المصرفة يتم إنجاز الحسابات باستخدام قوى التصريف المرتبطة بالإجهادات الفعالة (الترب ذات التصريف الحر) [14] وعندها يجب إدخال قيم ضغوط الماء المسامي من المعادلة:

$$\sigma' = \sigma_n - u \quad (10)$$

حيث:  $\sigma'$  - هي الاجهادات الفعالة.  $u$  - ضغط الماء المسامي.

ويمكن تحديد ضغط الماء المسامي بمعرفة منسوب الماء من خلال حساب الضغط الهيدروستاتيكي لحالة عدم وجود جريان أو من خلال شبكة جريان التسرب المستقر، ومن أجل شروط الحالة غير المصرفة (الترب التي تصرف ببطء)، يتم إنجاز الحسابات باستخدام قوى التصريف المرتبطة بالاجهادات الكلية حسب مغلفات القص الخطية أو غير الخطية لكولومب- مور، [14] الشكل (3) وتفرض الضغوط المسامية معادلة للصفر وتصبح الاجهادات الكلية تساوي الإجهاد الناظمي المؤثر على التربة  $\sigma_n$ ، ويستخدم التشديد لتحديد درجة التصريف الممكن حدوثه خلال فترة الإنشاء، في الحالات التي يكون فيها التصريف غير تام خلال الإنشاء يتم تحليل الاستقرار بافتراض شروط التصريف التام ثم شروط عدم التصريف التام أيضاً، والتحليل الذي يعطي الحالة الأقل يعتمد كأساس للتصميم [14]، [20]، [21].



الشكل (3) مغلفات القص الخطية وغير الخطية كولومب- مور.

### تقييم استقرار جوانب السدود الترابية خلال التسرب المستقر:

تنجز حسابات الاستقرار بعد إملاء بحيرة السد حيث يرتفع منسوب الماء من الصفر إلى المنسوب الأعظمي للبحيرة، وحدث التسرب خلال جسم السد يستغرق وقتاً طويلاً بعد انتهاء الإنشاء لتشكيل خط الرش النهائي، وخروجه عند نقطة التقاء منسوب الماء السفلي مع الجانب الجاف، وتستخدم قوى القص المرتبطة بالاجهادات الفعالة، وضغوط الماء المسامي المتناسبة مع زمن التصريف، التي تحدد من القياسات الحقلية أو من حسابات الضغط الهيدروستاتيكي حالة عدم وجود جريان، أو باستخدام إحدى طرق تقنيات شبكة الجريان كطريقة العناصر المنتهية [14]، [15].

### تقييم استقرار جوانب السدود الترابية خلال التفريغ السريع:

تحليل الاستقرار خلال التفريغ السريع يعتبر مسألة هامة عند تصميم السدود الترابية، حيث ينخفض عامل الأمان للجانب الأمامي وتبقى قيمة ضغط الماء المسامي مرتفعة، وترتبط بشكل كبير مع نفاذية التربة وقدرتها على الاحتفاظ بالماء وإمكانية حدوث تصريف، ففي التربة ذات النفاذية الكبيرة تستطيع التربة أن تصرف المياه خلال التفريغ وتستخدم قوى التصريف المرتبطة بالاجهادات الفعالة، أما في التربة ذات النفاذية الضعيفة فلا يحدث تصريف، من أجل الحل قدم (Wright and Duncan 1987) إجراءً تم تعديله عام 1990 مع (Wong) [17]، [18]، كما قدم المعهد الأمريكي USACE عام 1970 [14] طريقة لحساب الاستقرار تتضمن ثلاث مراحل، المرحلة الأولى يتم فيها حساب الاجهادات الفعالة التي خضعت لها التربة على طول سطح القص أثناء عملية التشديد وقبل التفريغ، وتحسب عناصر الإجهاد الفعال من تجارب التشديد غير المصروف، وضغط الماء المسامي يحسب من الشروط الهيدروستاتيكية أو من تحليل التسرب المستقر، ضغط ماء البحيرة يطبق كحمولة خارجية على وجه الجانب المبلل. الهدف من هذه المرحلة هو إيجاد الاجهادات الفعالة المؤثرة على قاعدة كل شريحة وهي اجهادات التشديد على طول سطح الانزلاق قبل التفريغ  $\sigma'$  المعادلة (10). المرحلة الثانية: تستخدم اجهادات التشديد لحساب قوى القص غير

المصرفة من المرحلة الأولى مع اعتبار المنسوب المنخفض للماء في البحيرة. المرحلة الثالثة: نحسب الاستقرار بعد التفريغ باستخدام القيمة الأقل لقوى التصريف أو عدم التصريف لضمان قيمة عامل الأمان.

### النتائج والمناقشة:

تم دراسة وتحليل استقرار سد الدويسات، ومدى تأثير تغيير سماكات مختلفة للنواة الشاقولية بميول من 1V:0.25H إلى 1V:2H على استقرار جانبيه الأمامي والخلفي للحالات التصميمية: خلال مرحلة بناء السد، التسرب المستقر والتفريغ السريع، مواصفات الترب المشكلة للمقطع العرضي مبينة بالجدول (1) [24]، [25]، توابع الناقلية الهيدروليكية لهذه الترب المستخدمة في البرنامج مبينة على الشكل (4). نتائج حساب عوامل الأمان باستخدام البرنامجين  $seep/w$  و  $slope/w$  من حزمة البرامج Geo-Slope مبينة في الجدول (2).

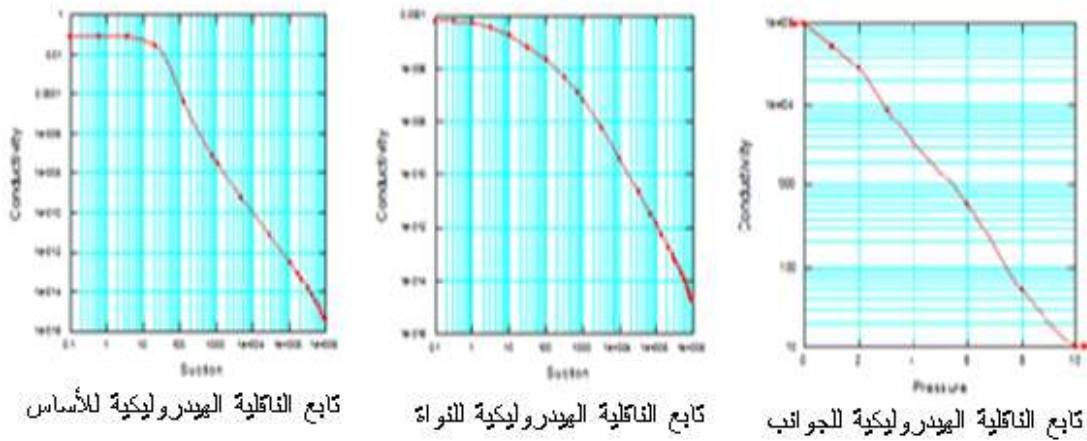
الجدول (1) مواصفات المواد المشكلة لجسم سد الدويسات

اسم المادة	الوزن الحجمي $KN/m^3$	زاوية الاحتكاك الداخلي بالدرجة	التماسك $KN/m^2$	عامل النفاذية $m/day$	موديل التربة
جسم السد	17.5	38	0.5	$8.74 \cdot 10^{-3}$	كولومب-مور
النواة الكتيمية	20	12	5	$6.04 \cdot 10^{-5}$	كولومب-مور
الأساس	12.6	20	73	$8.74 \cdot 10^{-2}$	كولومب-مور

الجدول (2) عوامل الأمان لسماكات مختلفة للنواة المحسوبة للجانبين الخلفي والأمامي

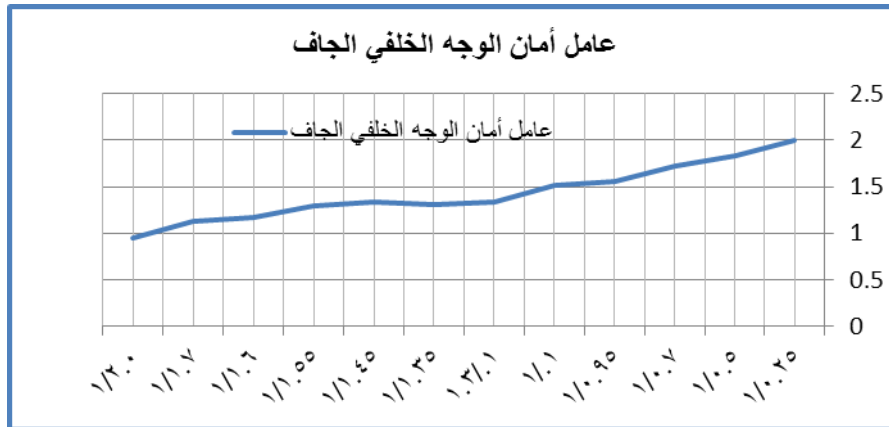
ميل النواة	عامل أمان الوجه الخلفي الجاف حالة الإنشاء	عامل أمان الوجه الأمامي الجاف حالة الإنشاء	عامل أمان الوجه الخلفي في الجريان المستقر	عامل أمان الوجه الأمامي في الجريان المستقر	عامل أمان الوجه الأمامي في التفريغ السريع
1/0.25	2	1.897	1.497	1.859	1.339
1/0.5	1.826	1.707	1.42	1.805	1.275
1/0.7	1.717	1.61	1.383	1.704	<b>1.242</b>
1/0.95	1.557	1.401	1.355	1.66	1.185
1/1	1.52	<b>1.369</b>	1.35	1.59	1.147
1/1.3	1.334	1.189	1.303	1.388	0.997
1/1.35	1.308	1.159	<b>1.222</b>	1.369	0.955
1/1.45	1.333	1.159	1.171	1.312	0.879
1/1.55	<b>1.295</b>	1.129	1.147	1.297	0.878
1/1.6	1.172	1.025	1.147	<b>1.227</b>	0.798
1/1.7	1.126	0.986	1.076	1.179	0.698
1/2.0	0.952	0.803	0.999	1.117	0.485



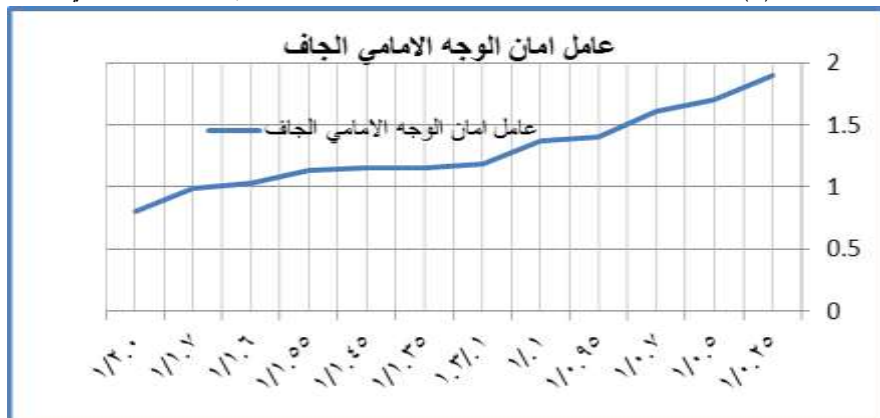


الشكل (4) توابع الناقلية الهيدروليكية لمواد السد

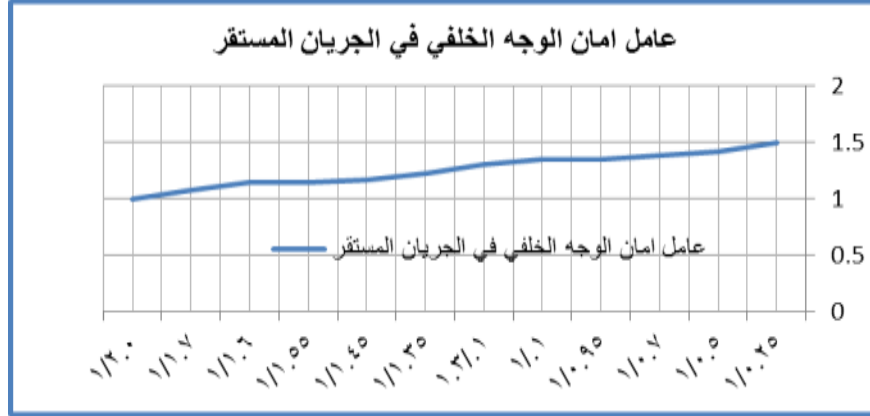
تم رسم نتائج الجدول (2) على الأشكال 5 ÷ 9 ، ومن خلال تحليل هذه الأشكال تبين أنه بتغير سماكة النواة الشاقولية للسد فإن النواة ذات السماكة الأقل تعطي استقراراً أكبر والزيادة في السماكة تسبب انخفاض عامل أمان الوجهين الأمامي والخلفي للحالات التصميمية الثلاث.



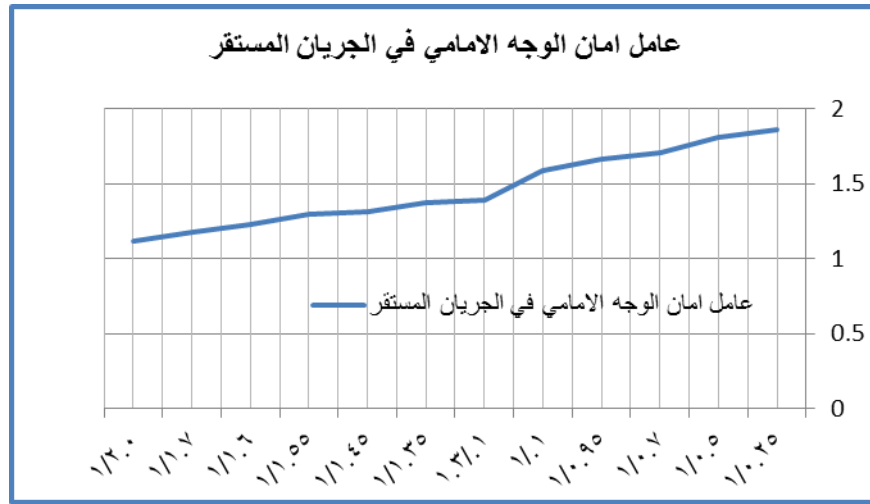
الشكل (5) تغير عامل الأمان بالنسبة لتغير سماكة النواة عند نهاية الإنشاء للوجه الخلفي



الشكل (6) تغير عامل الأمان بالنسبة لتغير سماكة النواة عند نهاية الإنشاء للوجه الأمامي



الشكل (7) تغير عامل الأمان بالنسبة لتغير سماكة النواة لحالة التسرب المستقر للوجه الخلفي



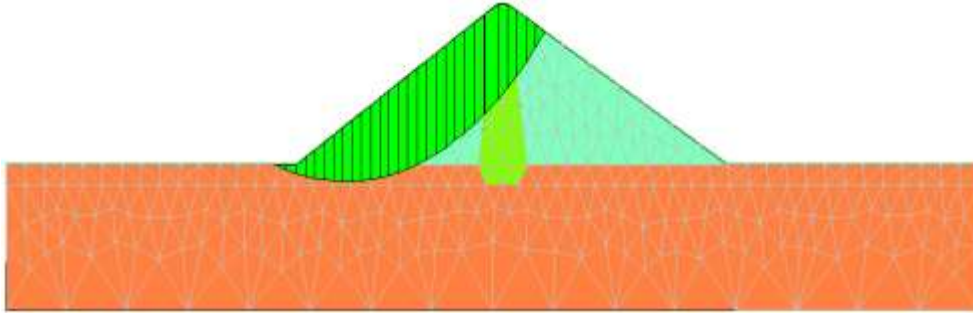
الشكل (8) تغير عامل الأمان بالنسبة لتغير سماكة النواة لحالة التسرب المستقر للوجه الأمامي



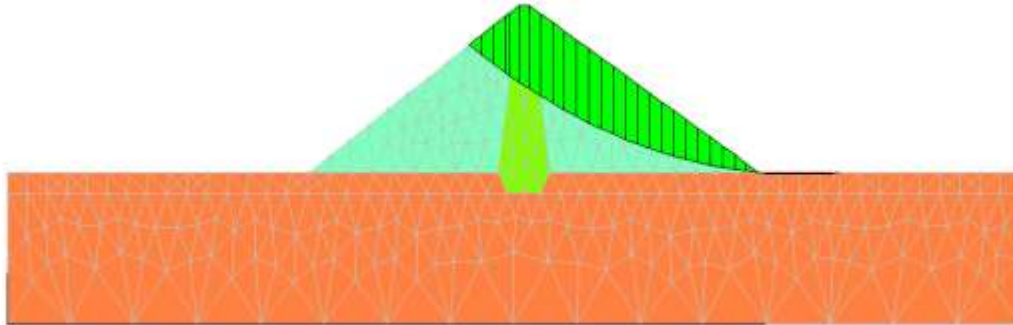
الشكل (9) تغير عامل الأمان بالنسبة لتغير سماكة النواة عند التفريغ السريع للوجه الأمامي

أ-حالة خلال فترة إنشاء السد: الوجه الخلفي يعطي استقراراً جيداً حتى ميل النواة 1V:1.55H ثم يبدأ بالانخفاض مع ازدياد السماكة حتى الوصول لحالة عدم الاستقرار. أما الوجه الأمامي فيعطي استقراراً جيداً حتى ميل النواة 1V:1.00H ثم يبدأ بالانخفاض حتى الوصول لحالة عدم الاستقرار.

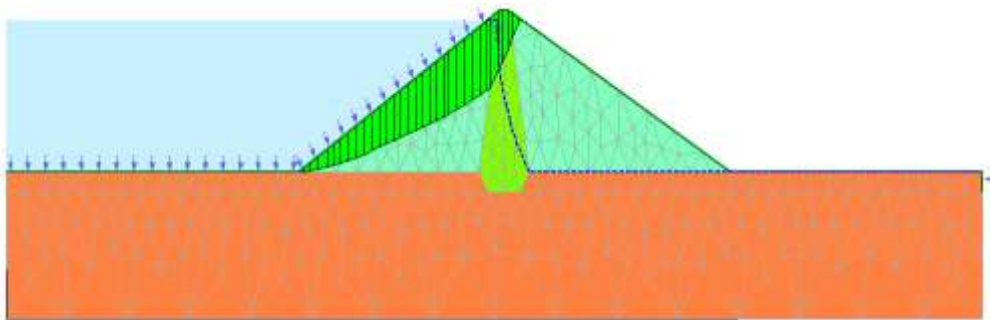
- ب- حالة الجريان المستقر: الوجه الخلفي يعطي استقراراً جيداً حتى ميل النواة  $1V:1.35H$  ثم يبدأ بالانخفاض مع ازدياد السماكة حتى الوصول لحالة عدم الاستقرار. أما الوجه الأمامي فيعطي استقراراً جيداً حتى ميل النواة  $1V:1.60H$  ثم يبدأ بالانخفاض حتى الوصول لحالة عدم الاستقرار.
- ج- وحالة التفريغ السريع: الوجه الأمامي فيعطي استقراراً جيداً حتى ميل النواة  $1V:0.70H$  ثم يبدأ بالانخفاض مع ازدياد السماكة حتى الوصول لحالة عدم الاستقرار.
- المقاطع الحرجة لبعض سطوح الانهيار التي حصلنا عليها للجانب الخلفي والأمامي في حالة الإنشاء وحالة الجريان المستقر وحالة التفريغ السريع مبينة على الأشكال  $10 \div 14$ .



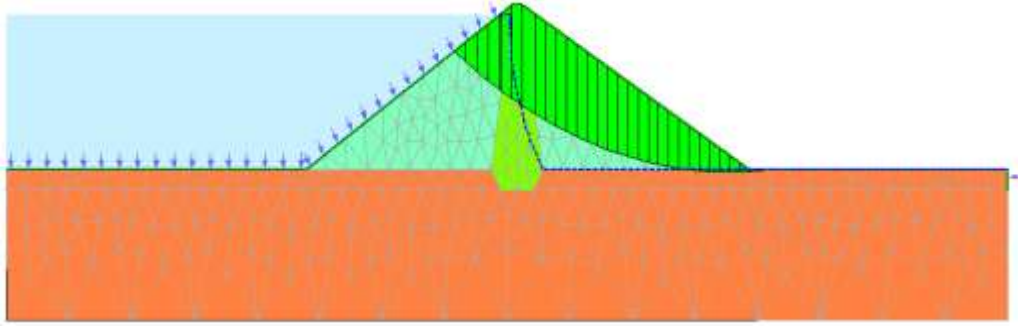
الشكل (10) سطوح الانهيار عند نهاية الإنشاء للوجه الأمامي



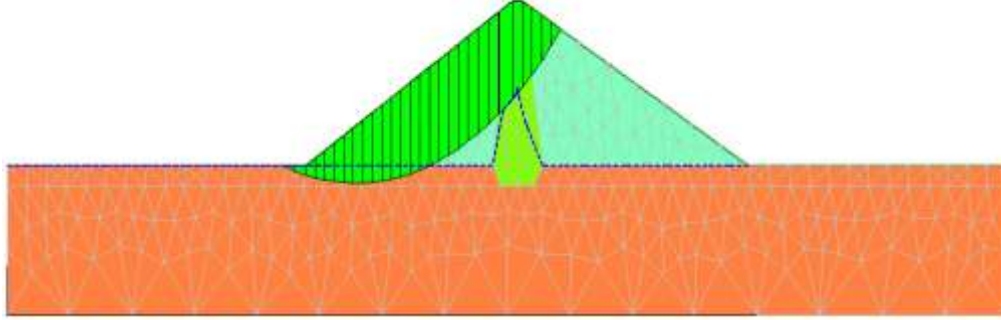
الشكل (11) سطوح الانهيار عند نهاية الإنشاء للوجه الخلفي



الشكل (12) سطوح الانهيار لحالة التسرب المستقر للوجه الأمامي



الشكل (13) سطوح الانهيار لحالة التسرب المستقر للوجه الخلفي



الشكل (14) سطوح الانهيار عند التفريغ السريع للوجه الأمامي

### الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- إن عوامل الأمان لكلا الجانبين الخلفي والأمامي للسد ولمختلف السماكات للنواة تظهر تغير عامل الأمان مع تغير السماكة للنواة الشاقولية عند حالات التصميم المختلفة المدروسة.
- 2- يتضح من التحليل أنه باختلاف سماكة النواة الشاقولية للسد الترابي فإن النواة الأقل سماكة حتى الميل 1:0.7 تعطي استقراراً أكبر وهي القيمة العظمى للسماكة التي تحقق حالات التصميم الثلاثة المدروسة، وزيادة السماكة تؤدي إلى انخفاض في عامل الأمان لكلا الجانبين الخلفي والأمامي للحالات المختلفة المدروسة.
- 3- تعتبر السدود ذات النواة الأقل سماكة أفضل الحلول التصميمية اقتصادياً خصوصاً في المواقع التي تتوفر فيها كميات كبيرة من مواد البناء النفوذة وكميات ضئيلة من التربة الكتيمة، باعتبار أن كلفة تنفيذ المتر المكعب الواحد من الردميات النفوذة أقل من كلفة تنفيذ نظيره من التربة الكتيمة.

المراجع :

- [1]- BISHOP A.W., BLIGHT G.E., -*Some aspects of effective Stress in Saturated and unsaturated soils*, Geotechnique, VOL. 13 , No 3, 1963.
- [2]- BISHOP A.W., MORGENSTREN N.R., - *Stability coefficients for earth slopes*, Geotechnique , VOL. 10 , No. 4. 1960
- [3] - FREDLUND D. G., RAHARDJO H., - *Soil Mechanics for un saturated soils*, John wiley & sons , Newyork. 1993.
- [4]- TADEPELLI R., FREDLUND H.D.G., Rahardjo H., - *soil collapse and Matric suction change* ,proc. of the 7th int. conf. on expansive soils , Dallas,1992.
- [5]-ROSSINSKIB., - *Foundamentowanie*, Arkady Warszawa,1987.
- [6]- WOLSKI w. FURSTENBERGürstA., - ***Improvment of soft soils at Basrah Barrage site***, Irag . Geotechnical Report from Terrafigo,1983.
- [7]- MORGENSTREN R. PRICE V.E., - *A Numerical Method for Solving the equation of General slip surfaces*, British computer J., VOL. 9 ,1967.
- [8]- TERZAGHI K., - *Large retaining wall tests. Pressure of dry sand*. Engineering News Record, 112, 1934, 136- 140.
- [9]-TSCHEBOTARIOFF G.P., - *Soil Mechanics Foundation and Earth Structures*, McGraw Hill, New York 1979.
- [10] - RAHARDJO G., FREDLUND H.D.G., - *General limit equilibrium method for lateral earth force*, Department of Civil Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon, Sask., Canada . 1983.
- [11] -JANBU, N. - *Slope Stability Computations*, Embankment Dam Engineering - Casagrande Volume, R.C. Hirschfeld and S.J. Poulos, eds., John Wiley and Sons, New York, 1973, 47-86.
- [12] - MORGENSTENR.N R, ., and EISENSTEIN.H., - *Methods of estimating lateral loads and deformations*. 1970 Specialty Conference on Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth Retaining Structure, A.S.C.E., New York, 1970, 51-102
- [13] - FREDLUND, D. G., KRAHN, J., and PUF AHL, D. E., - *The relationship between limit equilibrium slope stability methods*. Proceedings of the Tenth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm. 1981.
- [14]- GILBERT GEDEON, P.E., - *Slope Stability, Engineering and Design*, US Army Corps of Engineers, EM1110-2-1902, 2003.
- [15]- GILBERT GEDEON, P.E., - *General Design and Construction Considerations for Earth and Rock-Fill Dams*, US Army Corps of Engineers, ENGINEERING AND DESIGN EM 1110-2-2300, 2004.
- [16] – FAN, K., - *Evaluation of interslice forces for lateral earth force and slope stability problems*. M.Sc. thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, 1983.
- [17] – WRIGHT, S. G., and DUNCAN, J. M. - *An Examination of Slope Stability Computation Procedures for Sudden Drawdown*, Miscella- neous Paper, U. S. Army Engineer Water Experiment Station, Vicksburg, MS, 1987.
- [18] – DUNCAN, J. M., WRIGHT, S. G., and WONG, K. S. - *Slope Stability During Rapid Drawdown*, H. Bolton Seed Symposium, Vol. 2, University of California at Berkeley, 1990, 253-272.
- [19] - LANE, P. A and GRIFFTHS, D. V., - *Drawdown Conditions*. Journal of Geotechnical Assessment of Stability of Slopes under Geoenviron- mental Engineering, V 126, No. 5, 2000, 443-450

- [20] - KIM, J. and RODRIGO, SALGADO., - Stability Analysis of Complex Soil Slope using Limit Analysis. Journal of Geotechnical and Geo -environmental Engineering, V 128, I7, 2002, 546-557
- [21] - YUZHEN, Yu. and ZHANG, B., - Stability of earth–rockfill dams: Influence of geometry on the three dimensional effect. Computers and Geotechniques, V 32, I 5, 2005, 326-339.
- [22] - KHANNA Rajesh, DATTA MANOJ RAMANA, G.V. - Effect of Vertical Core on Stability Analysis International Journal of Earth Sciences and Engineering ISSN 0974-5904, Volume 04, 2011, 125-127.
- [23]- MURTHY N.S., - Geotechnical Engineering, Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering, New York. 2006
- [24] - فويتي، فاطمة، حديد، شعبان، - تقرير فني عن الوضع الراهن لسد الدويسات، وزارة الري، مديرية الري العامة لحوض العاصي، 2003.
- [25] - وثائق دراسة سد الدويسات، وزارة الري، مديرية الري العامة لحوض العاصي.