

تحليل تأثير نفاذية التربة المكونة لوجه السد الأمامي على استقراره في ظروف التفريغ السريع لبحيرته (حالة سد برادون)

الدكتورة فاطمة فويتي*

جعفر صقر**

(تاريخ الإيداع 19 / 8 / 2015. قُبِلَ للنشر في 28 / 12 / 2015)

□ ملخص □

يتأثر استقرار الوجه المبلل في السدود بشكل كبير تحت تأثير التفريغ السريع لبحيراتها وذلك بسبب ضغط الماء المسامي الذي يأخذ قيمة تتعلق بنفاذية التربة المكونة للمنحدر، نقدم في هذه الورقة دراسة استقرار الوجه المبلل تحت تأثير التفريغ السريع لسد برادون الواقع في محافظة اللاذقية. تم افتراض أنواع من التربة المكونة للمنحدر الأمامي وتحليل استقرار كل نوع تحت تأثير برنامجي تفريغ، في البرنامج الأول يتم التفريغ بحسب غزارة مأخذ الري البالغة $25\text{m}^3/\text{s}$ وفي البرنامج الثاني يتم التفريغ بحسب غزارة نفق تحويل المجرى النهري البالغة $500\text{m}^3/\text{s}$. أظهرت نتائج تحليل استقرار المنحدر الأمامي في الشروط الطرفية المحددة على عدة أنواع التربة المدروسة وجود بعض التربة التي تؤمن عامل استقرار مقبول وبعض التربة التي تسبب انهياراً للمنحدر الأمامي. بذلك نستطيع أثناء مرحلة الدراسة التحكم بنوع المادة المكونة للمنحدر الأمامي، واختيار التربة التي لا تسبب خطورة على استقراره في ظروف التفريغ السريع، كما تبين أن القيم الكبيرة لعوامل الأمان تعطيتها المنحدرات المكونة من تربة عالية النفاذية ومن التربة قريبة التكوين لتربة النواة نفسها. أما في التربة الواقعة بين الحالتين السابقتين فتظهر انخفاضاً في قيم عامل الاستقرار.

الكلمات المفتاحية: استقرار السدود - التفريغ السريع - تغير خط التسرب - سد برادون.

* أستاذ - قسم الهندسة المائية والري بكلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين، اللاذقية، سورية
** طالب ماجستير - قسم الهندسة المائية والري بكلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين، اللاذقية، سورية

Analysis the Effect of soil permeability on stability of the upstream shell of the dam under rapid drawdown(Braddon dam)

Dr. Fatima Fouiti*
Jaafar Sokr**

(Received 19 / 8 / 2015. Accepted 28 / 12 / 2015)

□ ABSTRACT □

The stability of the upstream shell of the dams is changed under the rapid drawdown condition where the pore water pressure has a different values according to the soil permeability. This paper considers the stability of the upstream shell of the "Braddon" dam with many types of soil and analyses each type under two rapid drawdown programs, the first program is when the discharge happens, according to the irrigation outlet by $25 \text{ m}^3/\text{s}$, and the second program is when the discharge happens according to the tunnel conversion of the river by $500 \text{ m}^3/\text{s}$. The obtained results show, that the stability of the upper slope under considered boundary conditions changed according to the soil type. Some soil have good stability factor while other soil collapsed. Accordingly, we can conclude that the type of soil of the upper dam slope is important and we could chose the appropriate type which does not cause dangerous during the rapid drawdown. Also the study shows that: the highest values of the safety factors result when the slopes are formed of high permeability soils as well as the slopes of homogeneous soil, while the soils formed of materials between them appeared decreasing values of safety factors.

Keywords: The stability of the dams - the rapid drawdown - change seepage line - Braddon Dam.

*professor.; department of irrigation & water Engineering; Faculty of civil Engineer; Tishreen University; Lattakia; Syria

**post-graduate; department of irrigation & water Engineering; Faculty of civil Engineer; Tishreen University; Lattakia; Syria

مقدمة:

خلال استثمار السدود قد نضطر إلى تخفيض منسوب الماء بشكل سريع وذلك عند ظهور خلل يهدد استقرارها أو انهيار سد آخر يقع أعلى مجرى النهر، حيث يتم إفراغ السدود الأدنى لتتمكن من استيعاب الموجة الفيضانية الناتجة عن الانهيار، أو الحاجة لسحب كميات كبيرة من المياه لأغراض الري أو الصناعة، أو إعادة تأهيل السد خلال فترة قصيرة. لذلك فإن تحليل استقرار الوجه الأمامي للسد أثناء التفريغ السريع للبحيرة ضروري لما له من تأثير كبير على استقرار السد، يتأثر الاستقرار خلال التفريغ السريع بانخفاض منسوب الماء عند الوجه الأمامي وهذا الانخفاض قد يكون جزئياً أو كلياً ويعتبر معدل تخفيض 0.1 م / يوم شائع و معدل تخفيض 0.5 م / يوم كبير جداً و تخفيض واحد متر / يوم وما فوق يعد معدلاً استثنائياً [1]، حيث أن ضغط الماء المسامي في تربة المنحدر (upstream shell) يبقى لفترة من الزمن و يقيم مرتفعة [2][3]، وهذا الضغط المسامي يؤثر بدوره على عامل الاستقرار وقد ينخفض بشكل كبير، حيث أن تبدد هذا الضغط المسامي يتعلق بخصائص التربة المشكلة للوجه الأمامي (النفاذية والخواص الميكانيكية والفيزيائية) [4][5][6]، وقد تبين أن الترب ذات النفاذية العالية تتجاوب هيدروليكيًا بسرعة حيث يتم خروج الماء من المسامات وهو ما نسميه بعملية التشديد (consolidation)، بينما المواد ذات النفاذية الضعيفة تحتاج لفترة زمنية طويلة لخروج الماء من مساماتها [7][8][9]. في هذا البحث تم دراسة التفريغ السريع لبحيرة سد برادون آخذين بعين الاعتبار الخواص الهيدروليكية للمواد المكونة للمنحدر و مقدار التخفيض و زمن التفريغ. تمت دراسة أزمدة مختلفة لتفريغ بحيرة السد ولعدة أنواع من الترب باستخدام البرنامج الحاسوبي GEO-STUDIO الذي يعطي نتائج جيدة ولديه إمكانية كبيرة في المحاكاة والتحليل والتنبؤ [10][11]، حيث تمت مقارنة عوامل الأمان المحسوبة مع قيم عوامل الأمان المسموحة المبينة بالجدول (1).

الجدول (1): عوامل الأمان الأصغرية المسموحة [12]

1.3-1.5	حالة الامتلاء الأول (الحالة المستقرة) steady state	الوجه الأمامي
1.2-1.3	حالة التفريغ السريع transient	
1.5	حالة الامتلاء الأول (الحالة المستقرة) steady state	الوجه الخلفي
1.2	حالة هزة أرضية والبحيرة ممثلة	

أهمية البحث وأهدافه:

يعتبر التفريغ السريع أحد أخطر الشروط التي يتعرض لها الوجه الأمامي للسد، وتهدف هذه الدراسة إلى تحديد تأثير تفريغ بحيرة سد برادون على استقرار الوجه الأمامي له وذلك لعدة سيناريوهات ولعدة أنواع من الترب و دراسة تأثير نفاذية هذه الترب على الاستقرار أثناء التفريغ السريع.

طرائق البحث ومواده:

أ - الموديل الرياضي لدراسة التسرب:

لدراسة التسرب في الأوساط المشبعة وغير المشبعة يتم الاعتماد على قانون دارسي الذي يعطى وفق المعادلة

التالية:

$$q = k * i \quad (1)$$

حيث: q - التدفق النوعي، k - الناقلية الهيدروليكية، i - الميل الهيدروليكي.

يمكن تطبيق قانون دارسي لدراسة التسرب في التربة المشبعة، كما في التربة غير المشبعة. حيث تأخذ الناقلية الهيدروليكية قيمة غير ثابتة، وتتغير مع تغيرات المحتوى الحجمي المائي وتغير ضغط الماء المسامي [11]، المعادلة العامة التفاضلية التي تعبر عن دراسة التسرب تأخذ الشكل التالي:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (2)$$

حيث: H - الضاغط الكلي.

K_x - الناقلية الهيدروليكية بالاتجاه X ، K_y - الناقلية الهيدروليكية بالاتجاه Y .

Q - التدفق في الشروط الطرفية المطبقة، θ - المحتوى المائي الحجمي، t - الزمن.

أما في حالة التسرب المستقر فتصبح المعادلة كما يلي:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = 0 \quad (3)$$

للماء

إن التغيرات في المحتوى الحجمي

ترتبط بحالة الإجهاد وخصائص التربة. حيث أن قانون الإجهاد لكتلا الحالتين في الترب المشبعة والترب غير المشبعة

يرتبط بضغط الهواء الموجود في المسامات (u_a) وضغط الامتصاص (الصعود الشعري) ($u_a - u_w$). حيث أن u_w

ضغط الماء المسامي. كما أن الإجهاد الكلي (σ) يرتبط بضغط الماء المسامي وضغط الهواء الذي يعتبر ثابتاً

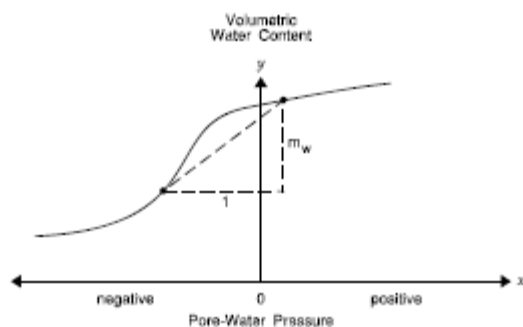
ويساوي الضغط في حالة التسرب غير المستقر. أي أن ($\sigma - u_a$) يبقى ثابتاً وليس له تأثير على التغير في المحتوى

الحجمي للماء. و بالتالي التغيرات في المحتوى الحجمي المائي تتعلق فقط بتغيرات ضغط ماء المسامي حسب

المعادلة التالية:

$$\partial \theta = m_w \partial u_w \quad (4)$$

حيث: m_w - ميل منحنى الإشباع حسب الشكل (1).



الشكل (1): منحني الإشباع

أما الضاغط المائي الكلي H فيحسب من العلاقة:

$$H = \frac{u_w}{\gamma_w} + y \quad (5)$$

حيث: u_w - ضغط الماء المسامي. - الوزن النوعي للماء. γ - منسوب النقطة المدروسة. يمكن كتابة العلاقة السابقة بالشكل التالي:

$$u_w = \gamma_w (H - y) \quad (6)$$

نعوض في المعادلة (4) نحصل على المعادلة التالية:

$$\partial \theta = m_w \gamma_w \partial (H - y) \quad (7)$$

ثم نعوض في المعادلة العامة (2) فنحصل على المعادلة التالية:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = m_w \gamma_w \frac{\partial (H - y)}{\partial t} \quad (8)$$

وباعتبار أن العنصر (y) ثابت مع الزمن تصبح المعادلة (8) بالشكل التالي:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = m_w \gamma_w \frac{\partial H}{\partial t} \quad (9)$$

لحل هذه المعادلة التفاضلية نطبق طريقة العناصر المنتهية التي تأخذ بعين الاعتبار طريقة (Galerkin) المتضمنة الوزن المتبقي لمعادلة التسرب ثنائي البعد [11] يمكن كتابة المعادلة التالية:

$$\tau \int_A ([B]^T [C] [B]) dA \{H\} + \tau \int_A (\lambda \langle N \rangle^T \langle N \rangle) dA \{H\}, t = q \tau \int_L (\langle N \rangle^T) dL \quad (10)$$

حيث: $[B]$ - مصفوفة الميل الهيدروليكي. $[C]$ - عناصر مصفوفة الناقلية الهيدروليكية. $[H]$ - شعاع الضاغط في

العقد.

هذه المعادلة يتم تطبيقها في البرنامج GEO-STUDIO لنتمكن من إيجاد نتائج تحليل التسرب المستقر وغير المستقر .

ب- الموديل الرياضي لدراسة الاستقرار :

تم استخدام نظرية التوازن الحدي في حساب عامل الأمان الأصغري، الذي يُحدد من مبدأ أن قوة القص المتولدة في كتلة التربة يجب أن تكون أقل من مقاومة التربة على القص على كامل طول سطح الانزلاق [10]. من أجل تحليل الإجهاد الفعال نحدد قوة القص من المعادلة التالية:

$$s = c' + (\sigma_n - u) \tan \phi' \quad (11)$$

حيث: S- قوة القص. C'- التماسك الفعال. ϕ' - زاوية الاحتكاك الداخلي الفعالة.

σ_n - مجموع الإجهادات الناظمية. U- ضغط الماء المسامي.

منطقة الدراسة :

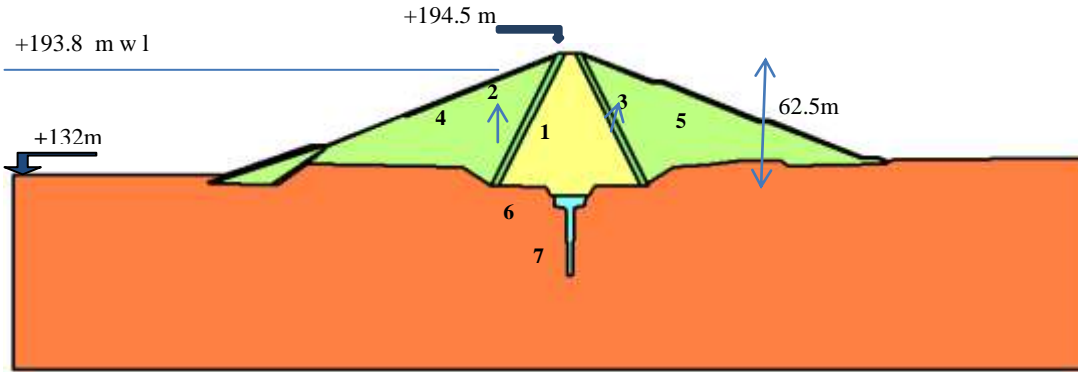
يقع سد برادون في الجزء الشمالي الغربي من الجمهورية العربية السورية، في أعلى مجرى نهر الكبير الشمالي على بعد 64 km من مصبه في البحر، و يبعد مسافة 26 km عن بحيرة سد / 16 تشرين/. سد برادون هو سد ترابي ركامي بنواة غضارية مركزية، منسوب قمته +194.5m عن سطح البحر وارتفاعه 62.5m وطوله 806m ومساحة سطح البحيرة 5.3 km² ومنسوب التخزين الأعظمي +193.8m ومنسوب التخزين الميت +167m وحجم التخزين الأعظمي 164.5 mm³، ويبين الشكل(2) المقطع العرضي عند الارتفاع الأعظمي.

النتائج والمناقشة:

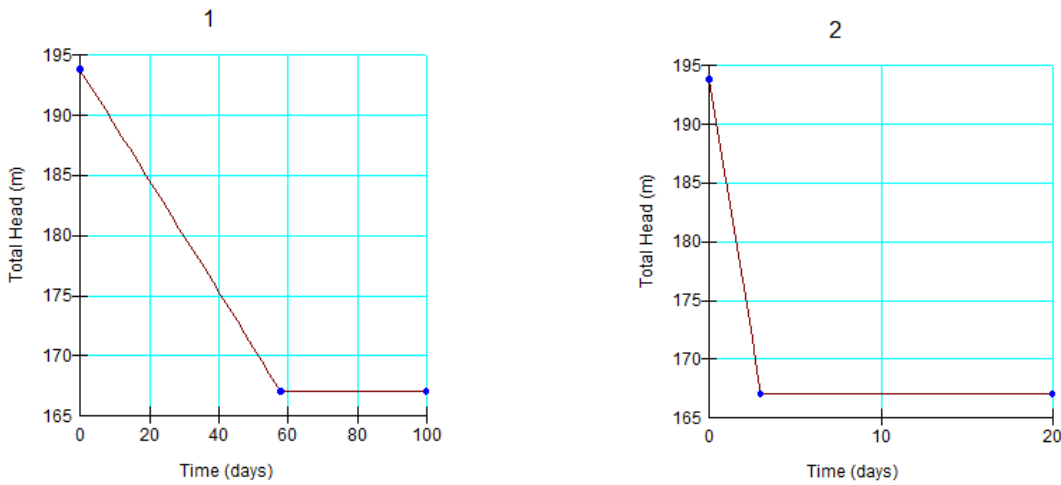
أ - تحليل التسرب:

تم استخدام برنامج (seep/w) من حزمة البرامج GEO-STUDIO لتحليل التسرب في النماذج المعقدة والبسيطة حسب نظرية العناصر المنتهية في الجريان ثنائي البعد، باستخدام قانون دارسي في الترب المشبعة وغير المشبعة لدراسة التسرب غير المستقر. كان لا بد أولاً من دراسة التسرب المستقر ضمن جسم السد حيث يعد خط التسرب ضمن جسم السد الناتج عن حالة التسرب المستقر كشرط طرفي لمسألة التفريغ السريع لذلك تمت دراسة التسرب المستقر في حالة التخزين الأعظمي لكل نموذج من نماذج الترب المدروسة المبينة بالجدول (2) حيث منسوب الماء أمام جسم السد 193.8m ومنسوب قاع البحيرة +132m أي يخضع وجهه الأمامي لضغط مائي ارتفاعه 61.8m و لا يوجد ماء في الجهة الخلفية للسد، تمت دراسة سيناريوهات متعددة لحالات التفريغ السريع لمعرفة تأثير انخفاض الماء من المنسوب 193.8m إلى المنسوب 167m بشكل خطي كما في الشكل (3) أي أن تخفيض منسوب الماء يساوي 26.8m وذلك لبرنامجي التفريغ إما من خلال مأخذ الري بغزارة تصريف 25m³/s أو من خلال نفق تحويل المجرى النهري بغزارة تصريف 500m³/s وبما أن حجم الماء الذي يتم تفريغه هو 124,5mm³ فهذا يعني أن تفريغ هذا الحجم من مأخذ الري سيستغرق 58 يوماً و من خلال نفق تحويل المجرى النهري سيستغرق 3 أيام. تمت نمذجة السد برسم مقطعه العرضي الأعظمي و تقسيمه إلى شبكة من العناصر المنتهية المثلثية الشكل كما يبين الشكل(4)، ثم تمت دراسة السيناريوهات لعدة أنواع من الترب التي يمكن أن تشكل المنحدر الأمامي بحسب الجدول(2) وهي ترب ذات نفاذية ضعيفة (ترب كتيمة) وترب ذات نفاذية عالية (ترب مفككة) وترب متدرجة بينها

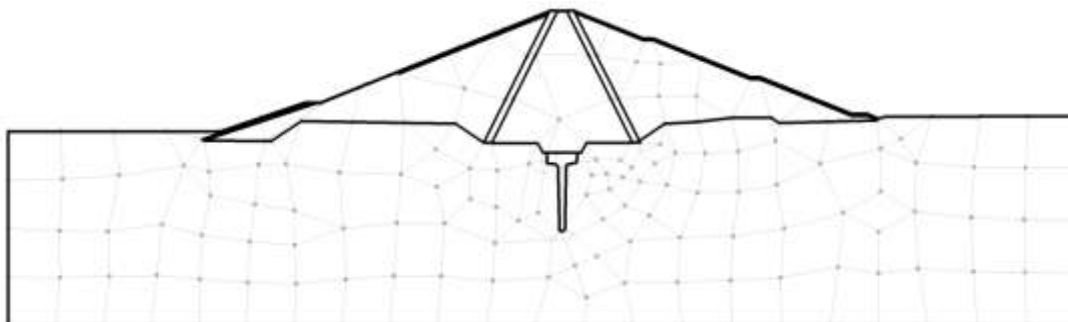
تحقق المتراجحة التالية ($100 > K_s / K_c > 1$) حيث: K_s - عامل الناقلية الهيدروليكية للتربة المكونة للمنحدر الأمامي.
 K_c - عامل الناقلية الهيدروليكية للتربة المكونة للنواة.
 تمت دراسة تغير خط التسرب وتحديد تأثيره على الاستقرار واختيار التربة الأفضل لإنشاء ردمية المنحدر الأمامي.
 المواصفات الميكانيكية وعوامل الناقلية الهيدروليكية للترب المكونة لجسم السد مبينة بالجدول (3).



الشكل (2): المقطع العرضي للسد-1- تربة النواة الغضارية، 2-3 الفلاتر، 4- ردمية المنحدر الأمامي، 5- ردمية المنحدر الخلفي، 6- السن البيتوني، 7- تربة الأساس



الشكل (3): البرامج الزمنية المدروسة للتفريغ السريع



الشكل (4): شبكة العناصر المنتهية المشكلة للمقطع العرضي

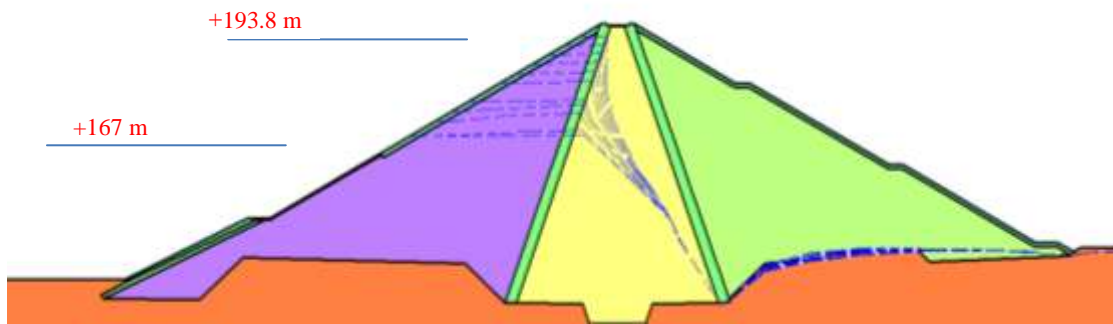
الجدول (2): نماذج الترب المدروسة

Ks(m/d)	نوع التربة
10	gravel-pebble
8.64	gravel
4.66	Sand
1.8576	Uniform Fine Sand #1
0.1	Embankment (siltyclay)
0.0976	Uniform Fine Sand #2
0.0864	Silt #2
0.0605	Silt Loam
0.0506	Sandy Loam
0.0432	siltysand
0.0121	Sandy Silty Clay
0.0026	Silty Clay
0.0017	Very Fine Sand
0.00059	غضار(تربة النواة)

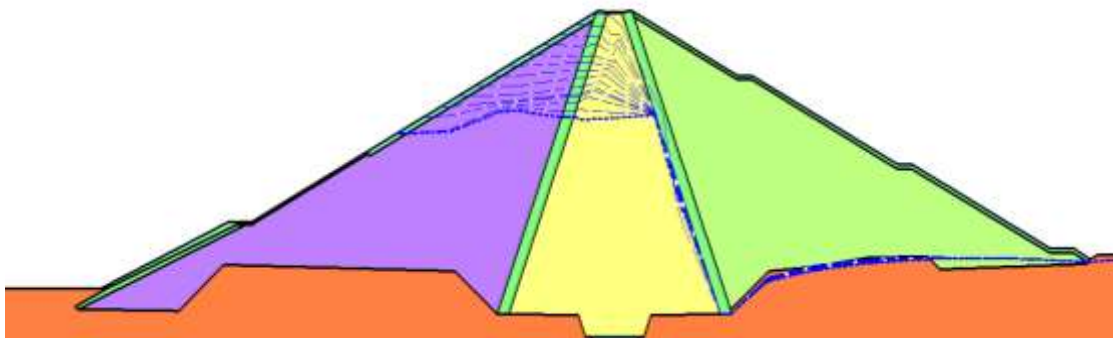
الجدول (3):خواص مواد جوانب السد والنواة والأساس

رقم التربة	موقع التربة ونوعها	γ_d (t/m ³)	المسامية n	معامل التماسك C (kpa)	زاوية الاحتكاك ϕ^0	معامل النفاذية (m/day)
1	النواة (غضار)	1.76	0.562	64	30	0.00059
4-5	رديميات المنحدرات	2.1	0.33	30	38.5	10
7	الأساس	2.68	-	120	31	0.3
2-3	الفلتر	1.8	0.38	0	25	-
6	السن البيتوني					

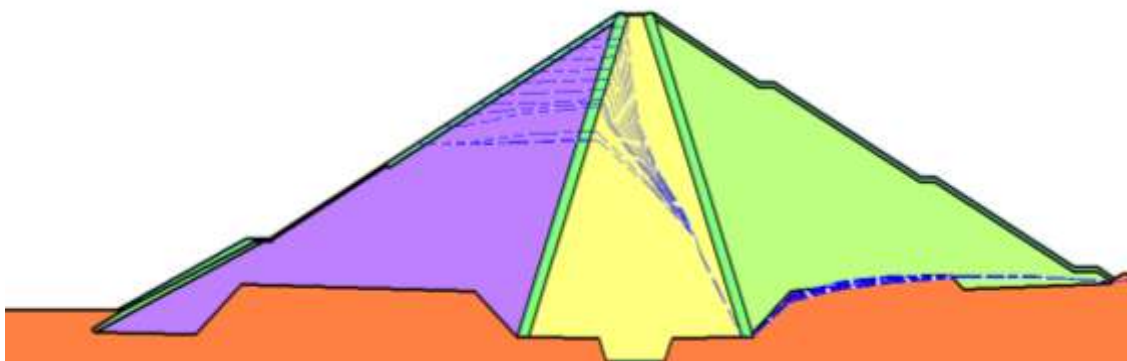
أثناء تفريغ الماء من المنسوب 193.8m إلى المنسوب 167 m باستخدام البرنامج SEEP/W نجد أن منحنيات التسرب تتغير مع انخفاض منسوب الماء وتبين الأشكال (5÷8) هذه المنحنيات حسب نوع التربة في حالة التفريغ من خلال مأخذ الري وتبين الأشكال (9÷12) هذه المنحنيات لبعض الترب في حالة التفريغ من خلال نفق تحويل المجرى النهري.



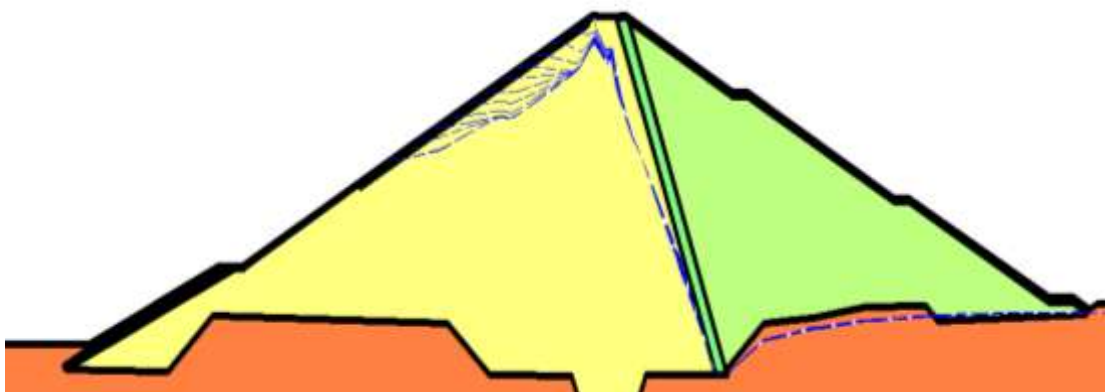
الشكل(5): منحنيات التسرب لتربة من النوع (gravel-pebble)



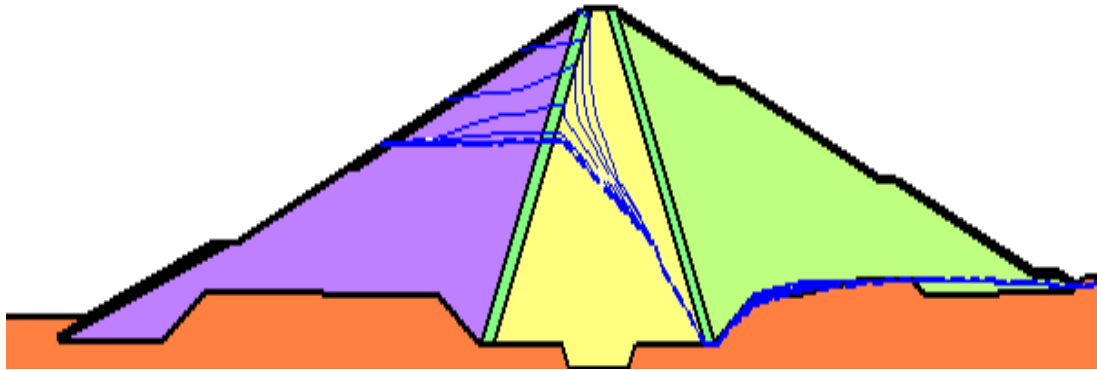
الشكل(6): منحنيات التسرب لتربة من النوع (Silt Loam)



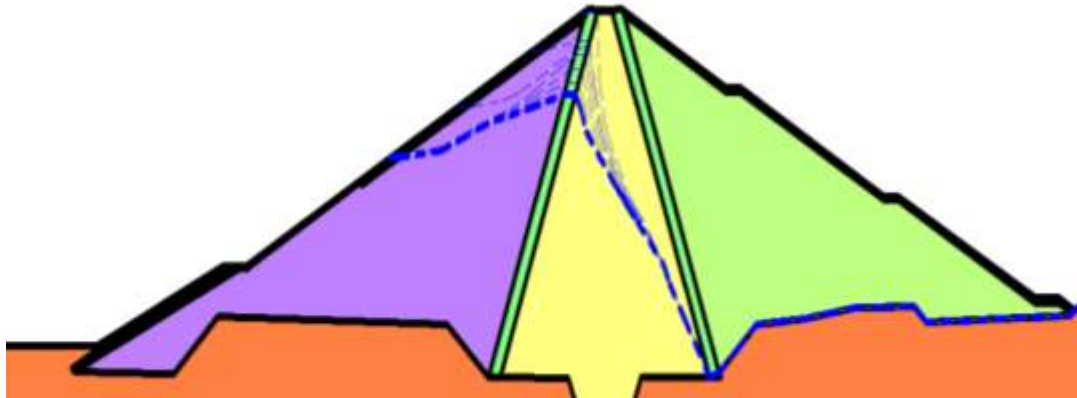
الشكل(7): منحنيات التسرب لتربة من النوع (Uniform Fine Sand #1)



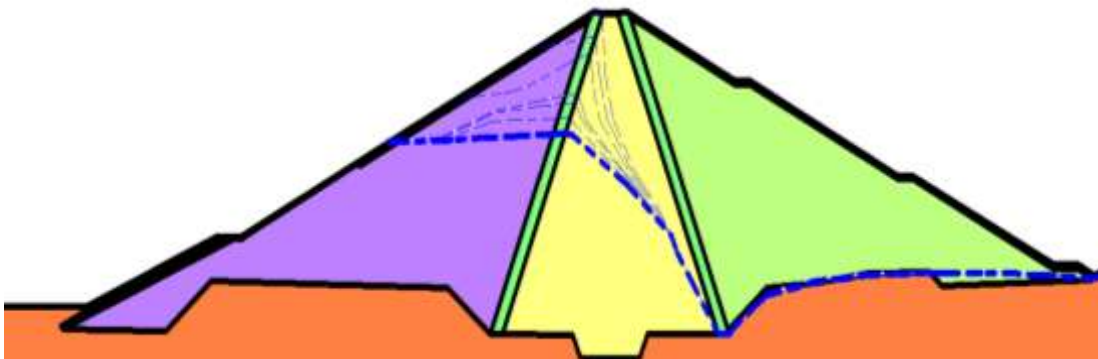
الشكل(8): منحنيات التسرب لتربة من النوع (غضار)تربة النواة)



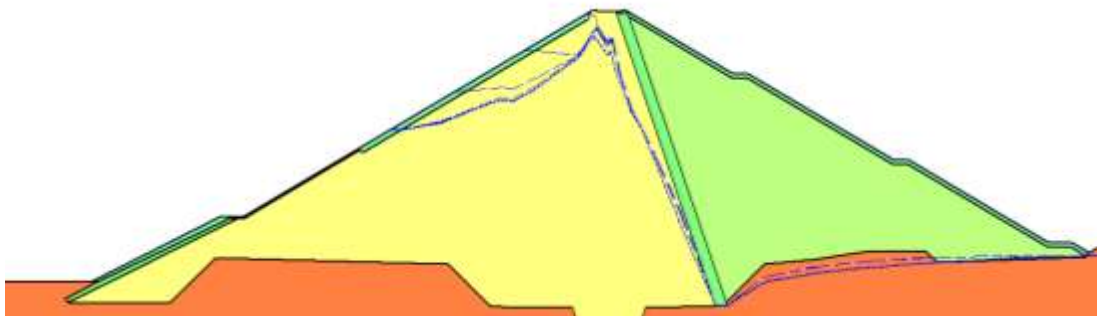
الشكل(9): منحنيات التسرب لتربة من النوع (gravel-pebble)



الشكل(10): منحنيات التسرب لتربة من النوع (Silt Loam)



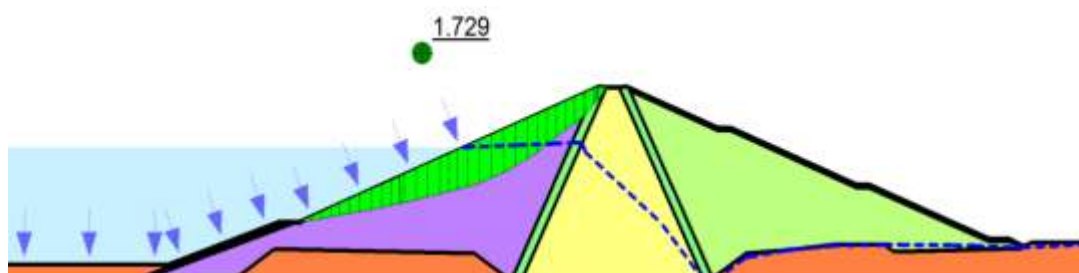
الشكل(11): منحنيات التسرب لتربة من النوع (Uniform Fine Sand #1)



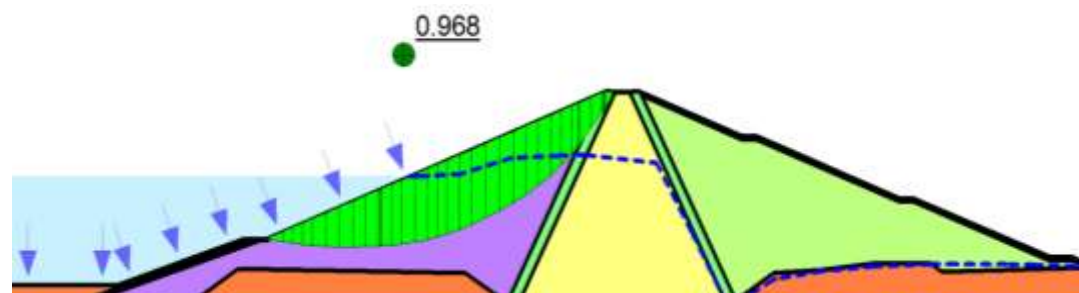
الشكل(12): منحنيات التسرب لتربة من النوع (غضار) (تربة النواة)

ب - تحليل الاستقرار :

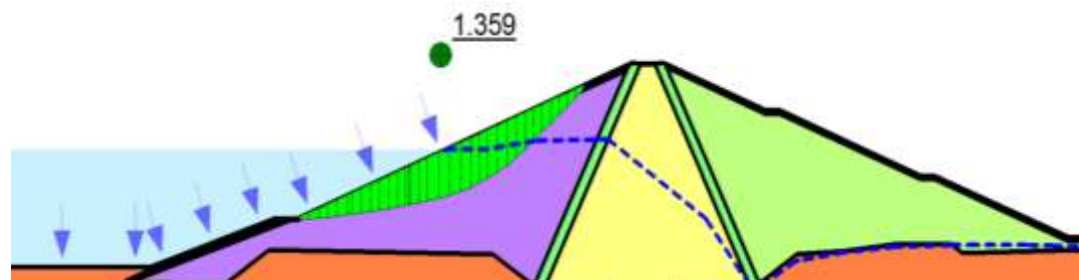
تمت دراسة توازن الوجه المبلل الذي يعتبر الأكثر تأثراً أثناء التفريغ السريع [13]، باستخدام البرنامج (SLOPE/W) والذي يأخذ عدة طرق من أجل تحليل وحساب عامل الأمان من بينها طريقة بيشوب و فيلينوس و جانبو و غيرها، بعد الحصول على نتائج منحنيات التسرب من البرنامج SEEP/W في حالتي التسرب المستقر والتفريغ السريع وإدخالها كمعطيات للبرنامج SLOPE/W لإدخال تأثير المياه الراشحة على استقرار المنحدر. يعطينا البرنامج (SLOPE/W) عوامل الأمان بحسب طريقة الحساب مثل (Ordinary-Janbu-Bishop) (Morgenstern-Price) وتم اعتماد نتائج نظرية (Morgenstern-Price) في حساب عامل الأمان والتي تراعي توازن القوى و العزوم [14][15]. تم حساب عامل الأمان للمنحدر الأمامي وتحديد سطح الانزلاق الحرج وفقاً لسيناريوهات التفريغ المدروسة لكل أنواع الترب تحت تأثير الشروط الطرفية المطبقة حيث تبين الأشكال (16÷13) سطوح الانزلاق لبعض الترب كما يبين الجدول (4) قيم عوامل الأمان الأصغرية لسطوح الانهيار المتشكلة في حالة التفريغ من مأخذ الري. وتبين الأشكال (20÷17) سطوح الانزلاق لبعض الترب، و يبين الجدول (5) قيم عوامل الأمان الأصغرية لسطوح الانهيار المتشكلة في حالة التفريغ من نفق تحويل المجرى النهري.



الشكل (13): عامل استقرار المنحدر الأمامي في حالة التفريغ من خلال مأخذ الري لتربة (gravel)

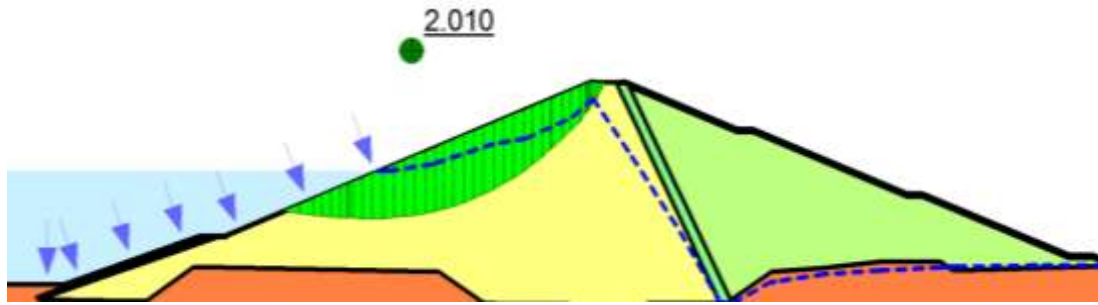


الشكل (14): عامل استقرار المنحدر الأمامي في حالة التفريغ من خلال مأخذ الري لتربة (Silt Loam)

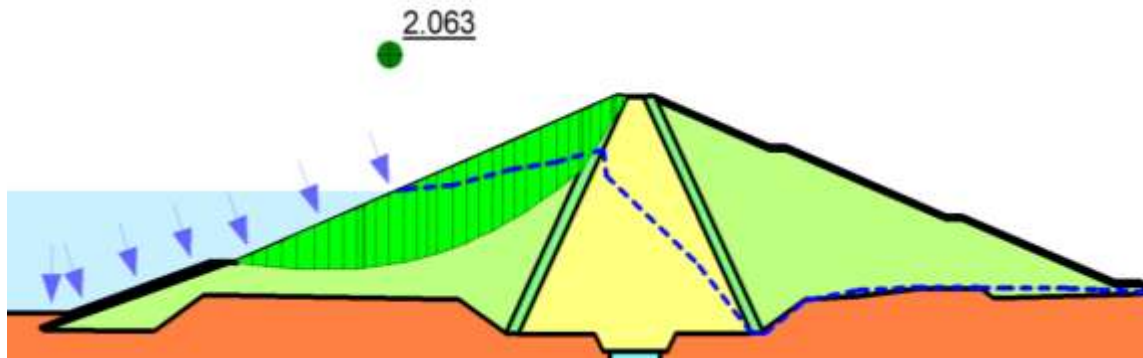


الشكل (15): عامل استقرار المنحدر الأمامي في حالة التفريغ من خلال مأخذ الري لتربة

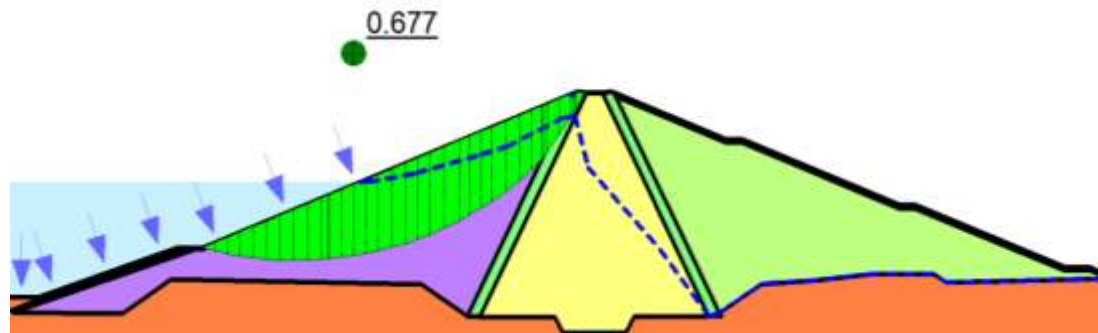
(Uniform Fine Sand #1)



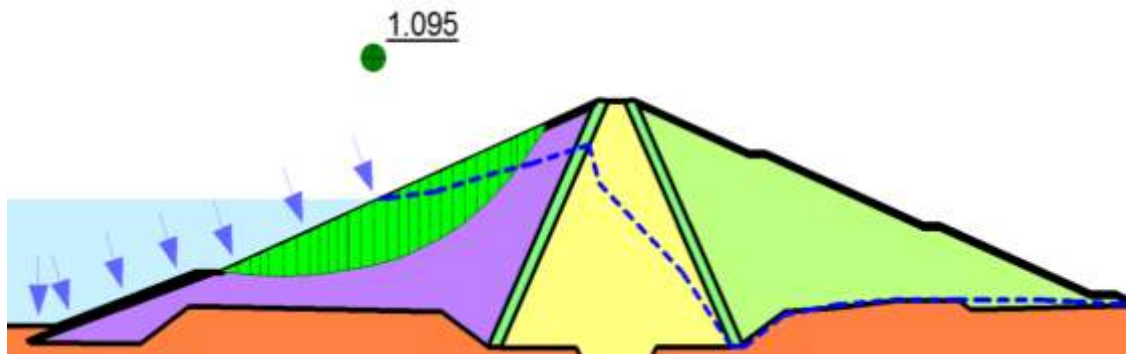
الشكل (16): عامل استقرار المنحدر الأمامي في حالة التفريغ من خلال مأخذ الري لتربة (غضار) تربة النواة



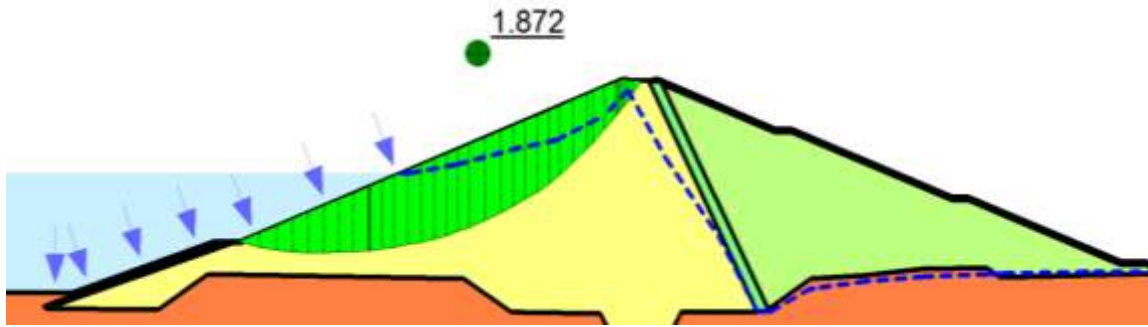
الشكل (17): عامل استقرار المنحدر الأمامي في حالة التفريغ من خلال نفق تحويل مجرى النهر (gravel-pebble)



الشكل (18): عامل استقرار المنحدر الأمامي في حالة التفريغ من خلال نفق تحويل مجرى النهر (Silt Loam)



الشكل (19): عامل استقرار المنحدر الأمامي في حالة التفريغ من خلال نفق تحويل مجرى النهر (Uniform Fine Sand #1)



الشكل (20): عامل استقرار المنحدر الأمامي في حالة التفريغ من خلال نفق تحويل مجرى النهر (غضار(تربة النواة)

الجدول (4): عامل الأمان الأصغري في حالة برنامج التفريغ الأول من خلال مأخذ الري

دليل التربة	نوع التربة	عامل الامان الاصغري
1	(حالة سد برادون) gravel-pebble	2.250
2	gravel	1.729
3	Sand	1.595
4	Uniform Fine Sand #1	1.359
5	Embankment (siltyclay)	1.279
6	Uniform Fine Sand #2	1.198
7	Silt #2	0.981
8	Silt Loam	0.968
9	Sandy Loam	1.169
10	siltysand	0.984
11	Sandy Silty Clay	1.166
12	Silty Clay	0.936
13	Very Fine Sand	1.046
14	غضار(تربة النواة)	2.010

يتبين من الجدول(4) أن عامل الأمان يتغير مع تغير نفاذية الترب ويصل الى قيمة أقل من القيمة المسموحة ابتداءً من التربة السيلتية رقم (7) و اللوم السيلتي والرمل السيلتي والغضار السيلتي الرملي والغضار السيلتي والرمل الناعم .

الجدول (5): عامل الامان الأصغري في حالة برنامج التفريغ الثاني من خلال نفق تحويل المجرى النهري

دليل التربة	نوع التربة	عامل الامان الاصغري
1	gravel-pebble (حالة سد برادون)	2.063
2	gravel	1.576
3	Sand	1.429
4	Uniform Fine Sand #1	1.095
5	Embankment (siltyclay)	0.598
6	Uniform Fine Sand #2	0.359
7	Silt #2	0.44
8	Silt Loam	0.677
9	Sandy Loam	0.947
10	siltysand	0.668
11	Sandy Silty Clay	0.821
12	Silty Clay	0.679
13	Very Fine Sand	0.235
14	غضار (تربة النواة)	1.782

يتبين من الجدول (5) أن عامل الأمان يتغير مع تغير نفاذية التربة المشكلة للجانب المبلل ويصل لقيمة أقل من القيم المسموحة ابتداءً من الرمل الناعم المتجانس رقم (4) و الغضار السيلتي و التربة السيلتية و اللوم السيلتي واللوم الرملي و الرمل السيلتي والغضار السيلتي الرملي.

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1) من خلال تحليل قيم عوامل استقرار المنحدر الأمامي لسد برادون لبرنامج التفريغ الأول تبين أن التربة الستة الأولى والغضار (تربة النواة) من الجدول رقم (4) تؤمن عامل استقرار جيد.
- 2) من خلال تحليل قيم عوامل استقرار المنحدر الأمامي لسد برادون لبرنامج التفريغ الثاني تبين أن التربة الثلاثة الأولى و الغضار (تربة النواة) من الجدول رقم (5) تؤمن عامل استقرار جيد.
- 3) استخدام بعض التربة مثل (الرمل الناعم المتجانس و الغضار السيلتي و التربة السيلتية و اللوم السيلتي واللوم الرملي و الرمل السيلتي والغضار السيلتي الرملي) تسبب انهياراً للمنحدر الأمامي وفقاً لأبعاد وميول المقطع العرضي لسد برادون.
- 4) نستطيع من خلال ما تقدم من مرحلة الدراسة اختيار نوع التربة المناسبة المكونة للمنحدر الأمامي التي لا تسبب خطورة على استقراره في ظروف التفريغ السريع.
- 5) يتبين من قيم عوامل استقرار المنحدر الأمامي أن القيم الكبيرة تعطى المنحدرات المكونة من تربة عالية النفاذية و كذلك من المنحدرات المكونة من تربة متجانسة مع تربة النواة الغضارية أما في التربة الواقعة بين الحالتين السابقتين فيظهر انخفاضاً ملحوظاً في قيم عامل الاستقرار.

6) تقل قيم عوامل الأمان في برنامج التفريغ الثاني بشكل أكبر من انخفاض عوامل الأمان في برنامج التفريغ الأول.

7) نوصي القيام بدراسة تأثير التفريغ السريع و تقييم سلوك منحدرات السدود الترابية تحت تأثير عوامل أخرى مثل معدلات تفريغ متغيرة مع الزمن و تباين خواص نفاذية التربة المكونة للمنحدر الأمامي و مقدار التخفيض المطلوب.

المراجع:

1. ALONSO, E; PINYOL, N, *Slope stability under rapid drawdown conditions*, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Canada 2003, 367.
2. FREDLUND, M. *Combined Seepage and Slope Stability Analysis of Rapid Drawdown Scenarios for Levee Design*. Geo-Frontiers 2011 © ASCE, 2011, 1595-1604.
3. TRAN, T. *stability problems of an earthfill dam in rapid drawdown condition*. Slovak Republic Grant Project No. 1/9066/02, 2004,
4. NIAN, T; JIANG, J; WAN, S; LUNA, M. *Strength Reduction FE Analysis of the Stability of Bank Slopes Subjected to Transient Unsaturated Seepage*. China. EJGE Vol. 16 Bund A, 2011, 165-177.
5. KUNITOMO, N, *Design and Construction of Embankment Dams*, Dept. Aichi Institute of Technology, 2000.
6. فويتي، فاطمة، دراسة تأثير تبديد ضغط الماء المسامي على استقرار السدود الترابية (حالة سد الحويز)، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة العلوم الهندسية. 2013.
7. فويتي، فاطمة، تقييم استقرار السدود الترابية تحت تأثير الحمولات الستاتيكية و الديناميكية (حالة سد الدويسات)، مجلة بحوث جامعة حلب، سلسلة العلوم الهندسية. 2013.
8. XINTING, L; ZEHNHUA, Z, *Stability of Bank Slope Under Reservoir Water Drawdown*, China Three Gorges University under grant No. 2008KDZ07, 2008, 533-537.
9. US Army Corps of Engineers, *ENGINEERING AND DESIGN SLOPE STABILITY*. EM 1110-2-1902, 2003.
10. *Stability Modeling with SLOPE/W 2007 Version*, Engineering Methodology Third Edition, March 2008, GEO-SLOPE International Ltd.
11. *Seepage Modeling with SEEP/W 2007 Version*, Engineering Methodology, Third Edition, Universitat Politècnica de Catalunya, March 2008, 317.
12. STATE OF COLORADO DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES, *RULES AND REGULATIONS FOR DAM SAFETY AND DAM CONSTRUCTION*. COLORADO, 2007, 76.
13. JALIL, A, *The Analysis Slope Stability Reservoir Keuliling with Finite Element Methods*, Civil Department Engineering Faculty of Malikussaleh University, 2009 .
14. الموقع الإلكتروني لمندى الهندسة المائية / قسم السدود / استقرار المنحدرات / طريقة مورجين سترين برايس www.water-eng.com date: 17/9/2009
15. فويتي، فاطمة، تحليل تأثير سماكة النواة العمودية على استقرار السدود الترابية (حالة سد الدويسات)، مجلة بحوث جامعة تشرين، سلسلة العلوم الهندسية. 2013.