

## دراسة تأثير تفريغ بحيرة سد الدويسات على استقرار الجانب المبلل

د. فاطمة فويتي\*

جعفر صقر\*\*

(تاريخ الإيداع 27 / 6 / 2016. قُبِلَ للنشر في 1 / 2 / 2017)

### □ ملخص □

يتأثر استقرار الجانب المبلل في السدود الترابية بشكل كبير تحت تأثير التفريغ السريع لبحيراتها وبالجابضية الأرضية نتيجة الضغط العكسي للماء المسامي المتبقي بقيم تتعلق بخواص النفاذية للترب المكونة لهذا الجانب. تقدم هذه الورقة دراسة استقرار الجانب المبلل لسد الدويسات بافتراض مجموعة برامج تفريغ مختلفة ( 5-10-15-18-25) يوماً وتحديد زمن التفريغ الأمثل الذي يضمن استقرار المنحدر وذلك عند المقطع العرضي الأعظمي (المقطع A) لجسم السد، حيث أن تحليل استقرار الجانبين الأمامي والخلفي قبل إملاء البحيرة (الحالة الجافة) وبعد إملاء البحيرة ( حالة التسرب المستقر) أظهر استقراراً بعامل أمان جيد كما أظهرت نتائج تحليل استقرار المقطع العرضي الأعظمي (المقطع A) للسد أنه غير مستقر عند برامج التفريغ خلال (5,10,15,18,25) يوماً و مستقر عند برنامج التفريغ 55 يوماً.

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

\* أستاذ - قسم الهندسة المائية والري بكلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.  
\*\* طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم الهندسة المائية والري بكلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

## Study the effect of unloading "Aldoissat Lake Dam" on the stability of the wet side

Dr. Fatima Fouiti\*  
Jaafar Sokr\*\*

(Received 27 / 6 / 2016. Accepted 2 / 1 / 2017)

### □ ABSTRACT □

the stability of the upstream shell of the dams affected significantly under the rapid drawdown condition due to revers water pressure and gravity, its values related to the properties of the soil permeability of the slope. This paper presents a study of the stability of the upstream shell for( Aldoissat dam ) by assuming different programs for rapid drawdown during (5-10-15-18-25-55) day then determine the program, which ensures the stability of the slope for maximum cross sections (A) along the dam .The results of the stability analysis for(section A) before and after fulfill the reservoir show that safety factor for upstream and downstream shell are good. While the safety factor during the rapid drawdown are not stable with drawdown program (5-10-15-18-25) days, but it is stable for (55) day.

**Keywords:** The stability of dams, the rapid drawdown, changes Seepage line, Aldoissat dam.

---

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

\*\*postgraduate Student, department of irrigation & water Engineering, Faculty of civil Engineer, Tishreen University, Lattakia, Syria

**مقدمة :**

تعتبر عملية تفريغ بحيرات السدود من الحالات الحرجة التي تواجه إدارة تشغيل السد التي تضطر لعملية التفريغ لأسباب عدة (استيعاب موجة فيضانيه ، أو عند توقع حدوث هزة أرضية، وأحياناً لإتمام عملية إزالة الرسوبيات من بحيرة السد لإطالة عمره، ظهور خلل مفاجئ يهدد استقرار السد) وهذا التفريغ قد يكون جزئياً أو كلياً و يعتبر 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]، فخلال التفريغ السريع يتأثر استقرار الوجه الأمامي بالماء المؤثر عليه والذي يُفقد تماماً بعد التفريغ بينما ضغط الماء المسامي في تربة الوجه الأمامي (upstream shell) يبقى لفترة من الزمن و يقيم مرتفعة [2][3]، وهذا الضغط المسامي يؤثر بدوره على عامل الاستقرار الذي قد ينخفض بشكل كبير، حيث أن تبدد هذا الضغط المسامي يتعلق بخصائص التربة المشكلة للوجه الأمامي (النفاذية والخواص الميكانيكية والفيزيائية) [4][5][6]، سيتم في هذا البحث دراسة استقرار الوجه المبلل لسد الدويسات الذي يقع في (محافظة إدلب، سوريا) بافتراض مجموعة برامج تفريغ مختلفة ( 5-10-15-18-25-55) يوم وتحديد زمن التفريغ الذي يضمن استقرار المقطع العرضي الأعظمي الذي يعتبر المقطع الأخطر والمعرض لتأثير أكبر القوى وذلك باستخدام البرنامج الحاسوبي (GEO-STUDIO) الذي يعطي نتائج دقيقة ولديه إمكانية كبيرة في المحاكاة والتحليل والتنبؤ [7][8][9]. حيث تمت مقارنة عوامل الأمان المحسوبة مع قيم عوامل الأمان المسموحة المذكورة في الكثير من المراجع العلمية [10] والمبينة بالجدول (1).

الجدول(1): عوامل الأمان الأصغرية المسموحة لاستقرار المنحدرات

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

**أهمية البحث و أهدافه:**

تكمُن أهمية البحث في تحديد برنامج التفريغ الأمثل الذي يؤمن عامل أمان مقبول للوجه الأمامي المبلل لسد الدويسات خلال التفريغ السريع للبحيرة ومنع انهياره الجزئي أو الكلي باستخدام البرنامج geo-slope ومقارنة عوامل الامان في حالتها التخزين الطبيعي و التفريغ السريع لخمس برامج تفريغ مختلفة عند المقطع العرضي الأعظمي للسد.

**طرائق البحث ومواده:**

أ - تحديد الموديل الرياضي لدراسة التسرب:

لدراسة التسرب في الأوساط المشبعة والغير مشبعة 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.

خلال التفريغ السريع تأخذ الناقلية الهيدروليكية قيمة غير ثابتة، وتتغير مع تغيرات المحتوى الحجمي المائي وتغير ضغط الماء المسامي، المعادلة التفاضلية العامة التي تعبر عن التسرب تأخذ الشكل التالي [8][9]:

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

حيث:  $H$  - الضاغط الكلي.

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

$Q$  - التدفق في الشروط الطرفية المطبقة.  $\theta$  - المحتوى المائي الحجمي.  $t$  - الزمن.

و في حالة التسرب المستقر فتصبح المعادلة السابقة كما يلي:

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

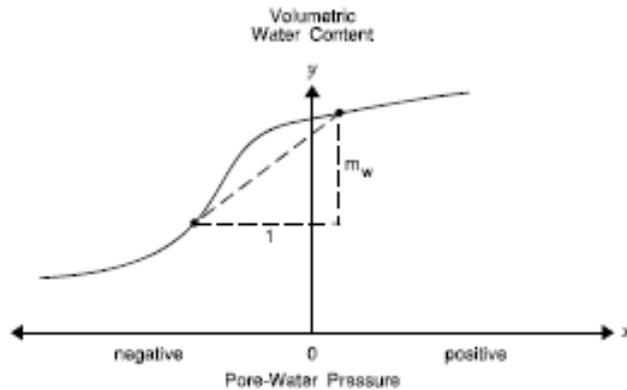
من جهة ثانية إن التغيرات في المحتوى

الحجمي للماء ترتبط بحالة الإجهاد وخصائص التربة. حيث أن الإجهاد لحالي التربة المشبعة والتراب غير المشبعة يرتبط بضغط الهواء الموجود في المسامات ( $u_a$ ) و ضغط الامتصاص (الصعود الشعري) ( $u_a - u_w$ ) ،  $u_w$  تعبر عن ضغط الماء المسامي. و الإجهاد الكلي ( $\sigma$ ) يرتبط بضغط الماء المسامي و ضغط الهواء الذي يعتبر ثابتاً أي أن ( $\sigma - u_a$ ) يبقى ثابتاً وليس له تأثير على التغير في المحتوى الحجمي للماء. و بالتالي التغيرات في المحتوى الحجمي المائي يتعلق 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).

$u_w$  - ضغط الماء المسامي.



الشكل (1): منحنى الإشباع

أما الضاغط المائي الكلي  $H$  فيحسب من العلاقة:

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

حيث :  $\gamma_w$  الوزن النوعي للماء.  $\gamma$  - 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 :

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

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 [8] حيث يمكن كتابة المعادلة التالية:

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

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

العقد.

هذه المعادلة تم تطبيقها في البرنامج GEO-STUDIO من أجل إيجاد نتائج تحليل حالة التسرب المستقر

وحالة التسرب غير المستقر (التفريغ السريع).

ب- تحديد 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 [7]. من أجل تحليل

الإجهاد الفعال نحدد قوة القص من المعادلة التالية:

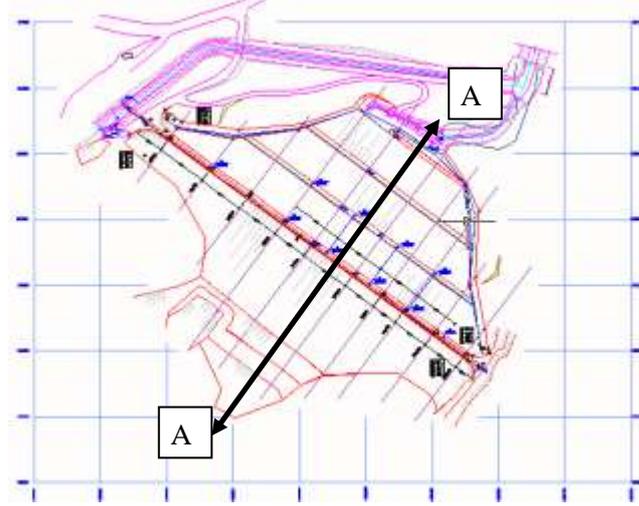
$$s = c' + (\sigma_n - u) \tan \phi' \quad (11)$$

حيث: S- قوة القص. C'- التماسك الفعال.  $\phi'$  - زاوية الاحتكاك الداخلي الفعالة.

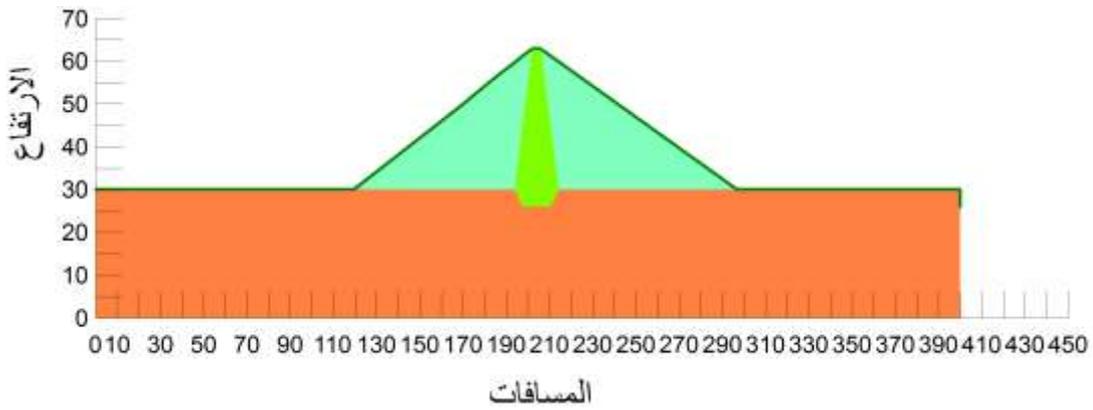
$\sigma_n$  - الإجهادات الناظمية.  $u_w$  - ضغط الماء المسامي.

**منطقة الدراسة :**

يقع سد الدويسات على أحد روافد نهر العاصي في محافظة إدلب وهو سد ركامي ترابي بنواة غضارية وجوانب غضارية سيلتية وأساس صخري، ارتفاع جسم السد ( 33 م) وعرض قاعدته السفلية ( 177 م) وعرض قمته ( 4 م) بميل (1/2.5) للوجه الأمامي ، و(1/2.75) للوجه الخلفي ، وارتفاع الماء أمام جسم السد ( 31 م)، يبين الشكل(2) المسقط الأفقي للسد ويبين الشكل (3) المقطع العرضي عند الارتفاع الأعظمي [12].



الشكل (2): المسقط الأفقي للسد موضحا عليه موقع المقطع العرضي الأعظمي (A)



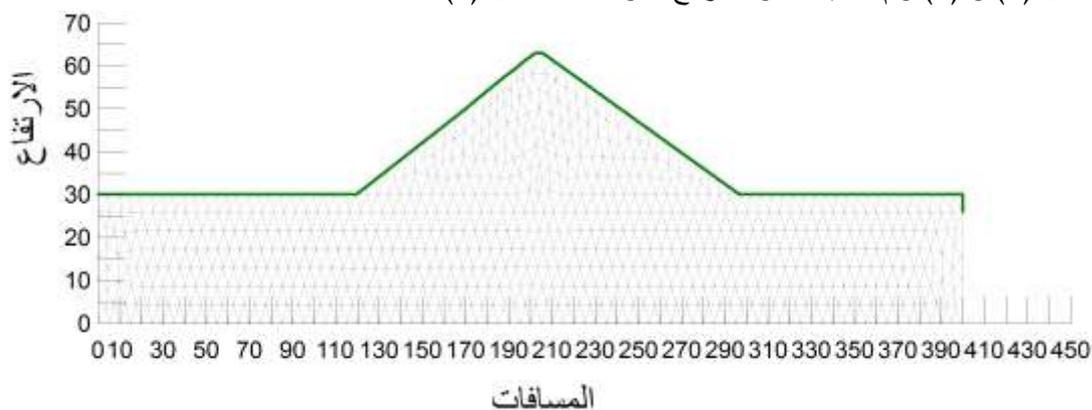
الشكل (3): المقطع العرضي عند الارتفاع الأعظمي (A)

**النتائج والمناقشة:**

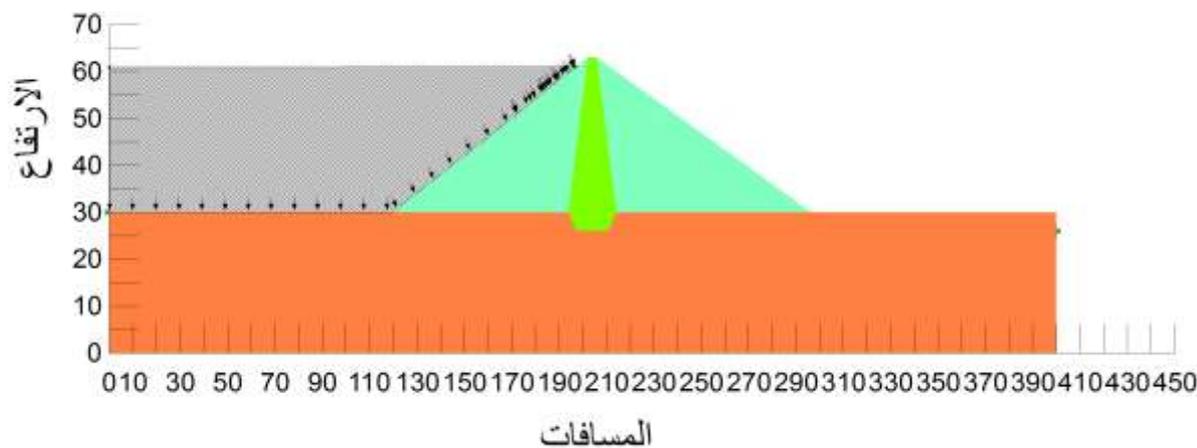
تم استخدام حزمة البرامج الحاسوبية (GEO-STUDIO) لدراسة التسرب من السد وتحديد خط الرشح في حالة التسرب المستقر ثم دراسة استقرار الوجه المبلل عند التفريغ السريع لبحيرته (حالة التسرب غير المستقر) لأزمنة تفريغ هي (5,10,15,18,25,55) يوماً من أجل تحديد برنامج التفريغ الأمثل الذي يضمن استقرار السد وعند حساب كل حالة من الحالات تم تمثيل المسألة: تحديد شبكة العناصر المنتهية، تحديد خواص المواد، تحديد الشروط الطرفية، تحليل النموذج والتأكد من المدخلات، ثم الحصول على النتائج كما يلي:

## أ. تحليل التسرب المستقر:

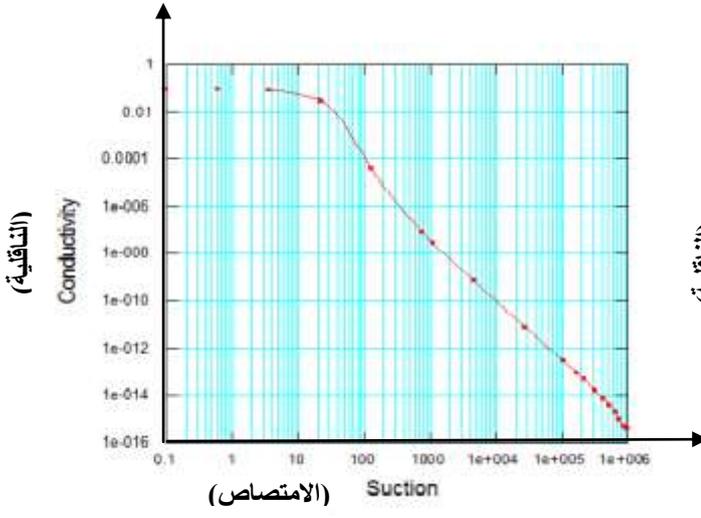
تم استخدام البرنامج (seep/w) لتحليل التسرب حيث تم تمثيل المسألة من خلال رسم نموذج حاسوبي وتحديد شبكة العناصر المنتهية كما في الشكل (4) والشروط الطرفية المتمثلة بالضاغط المائي الكلي المقابل لمنسوب التخزين الأعظمي (61م) المؤثر على الوجه الأمامي وعدم السماح لخروج الماء من الوجه الخلفي للسد كما في الشكل (5) أما خواص التربة الممثلة للمقطع العرضي للسد فقد حددت حسب الناقلية الهيدروليكية والمحتوى الحجمي للماء كما تبينه الأشكال (6) و (7) وتم تحديد خطوط الرشح الموضحة بالشكل (8).



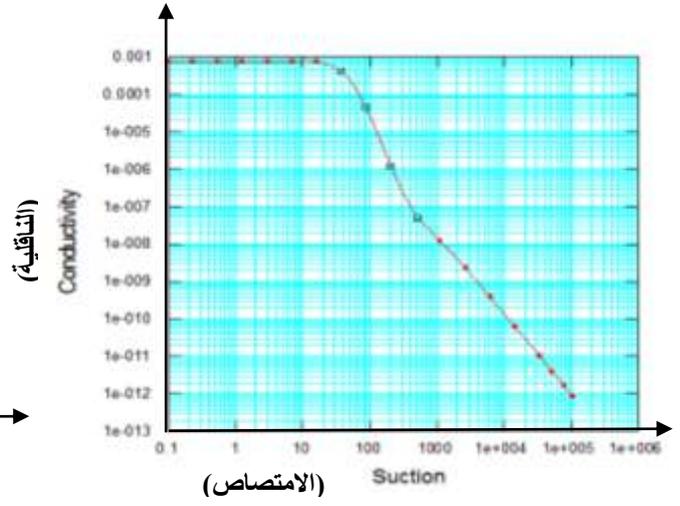
الشكل (4) شبكة العناصر المنتهية



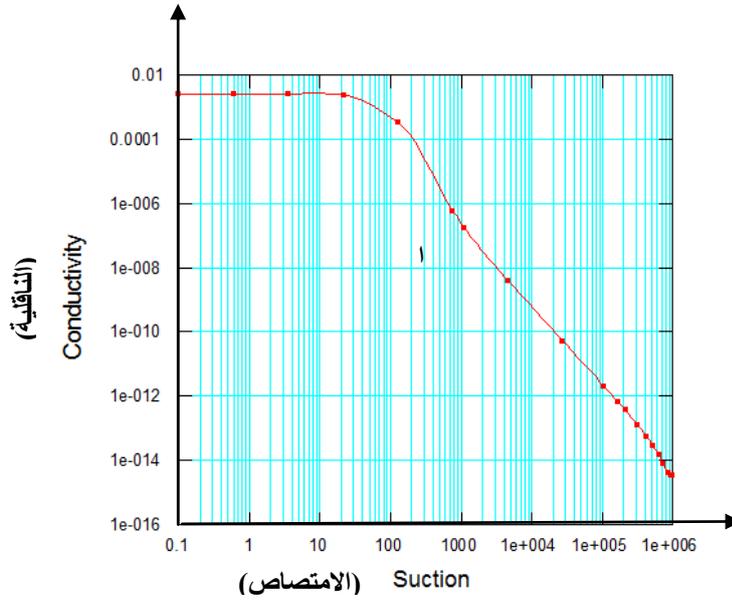
الشكل (5) الشروط الطرفية لحالة التسرب المستقر



النفاذية الهيدروليكية لتربة الأساس بدلالة الامتصاص

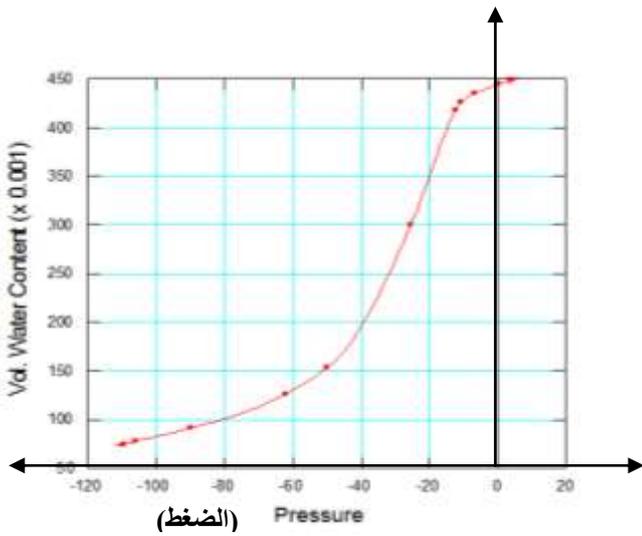


النفاذية الهيدروليكية لتربة النواة بدلالة الامتصاص

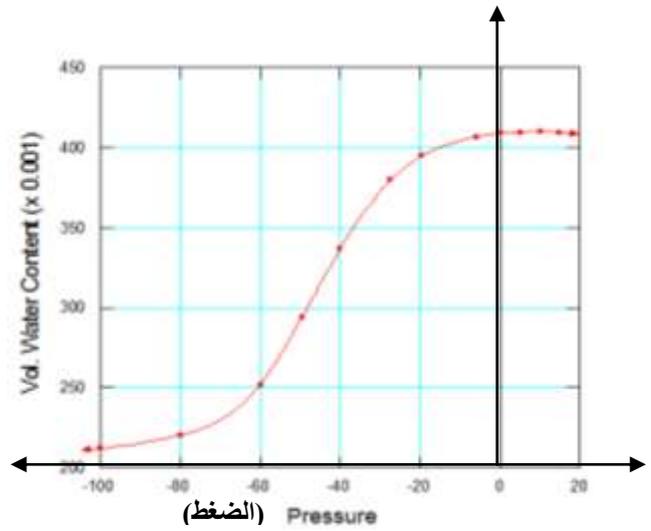


النفاذية الهيدروليكية لرميات جوانب السد بدلالة الامتصاص

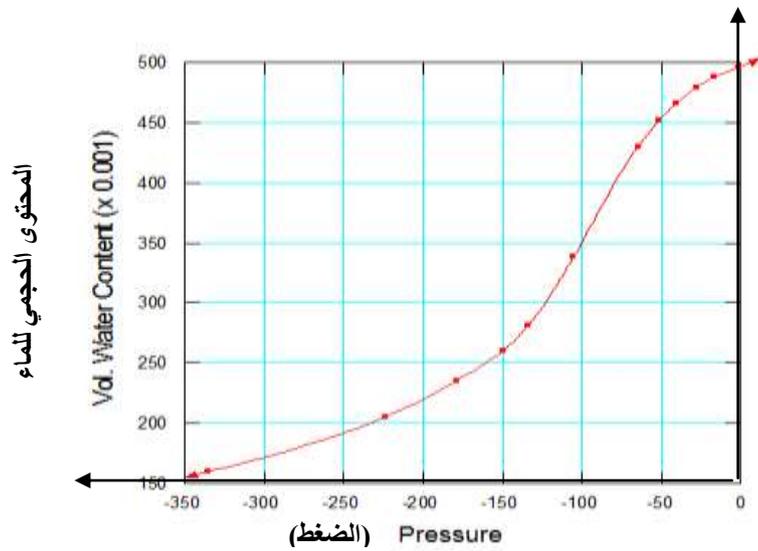
الشكل (6): توابع النفاذية الهيدروليكية للتربة المكونة للسد بدلالة الامتصاص (Suction)



المحتوى المائي لتربة الأساس بدلالة الضغط

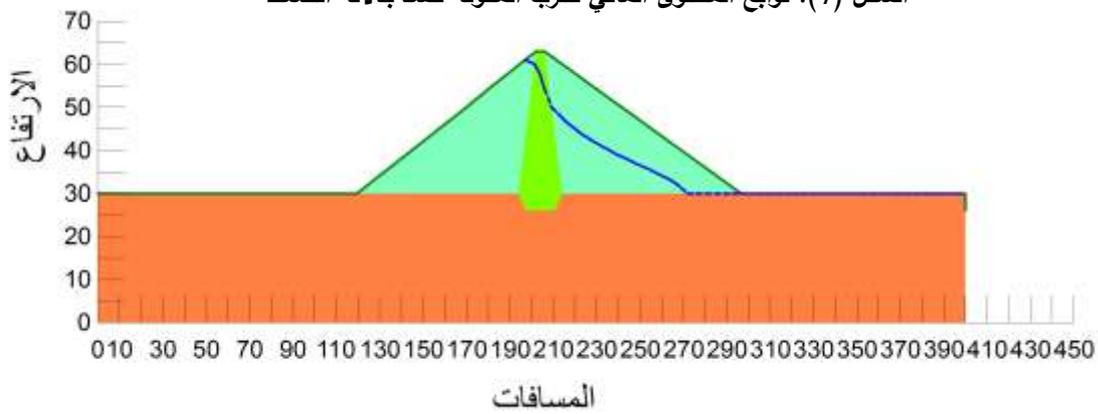


المحتوى المائي لتربة النواة بدلالة الضغط



المحتوى المائي لردميات جوانب السد بدلالة الضغط

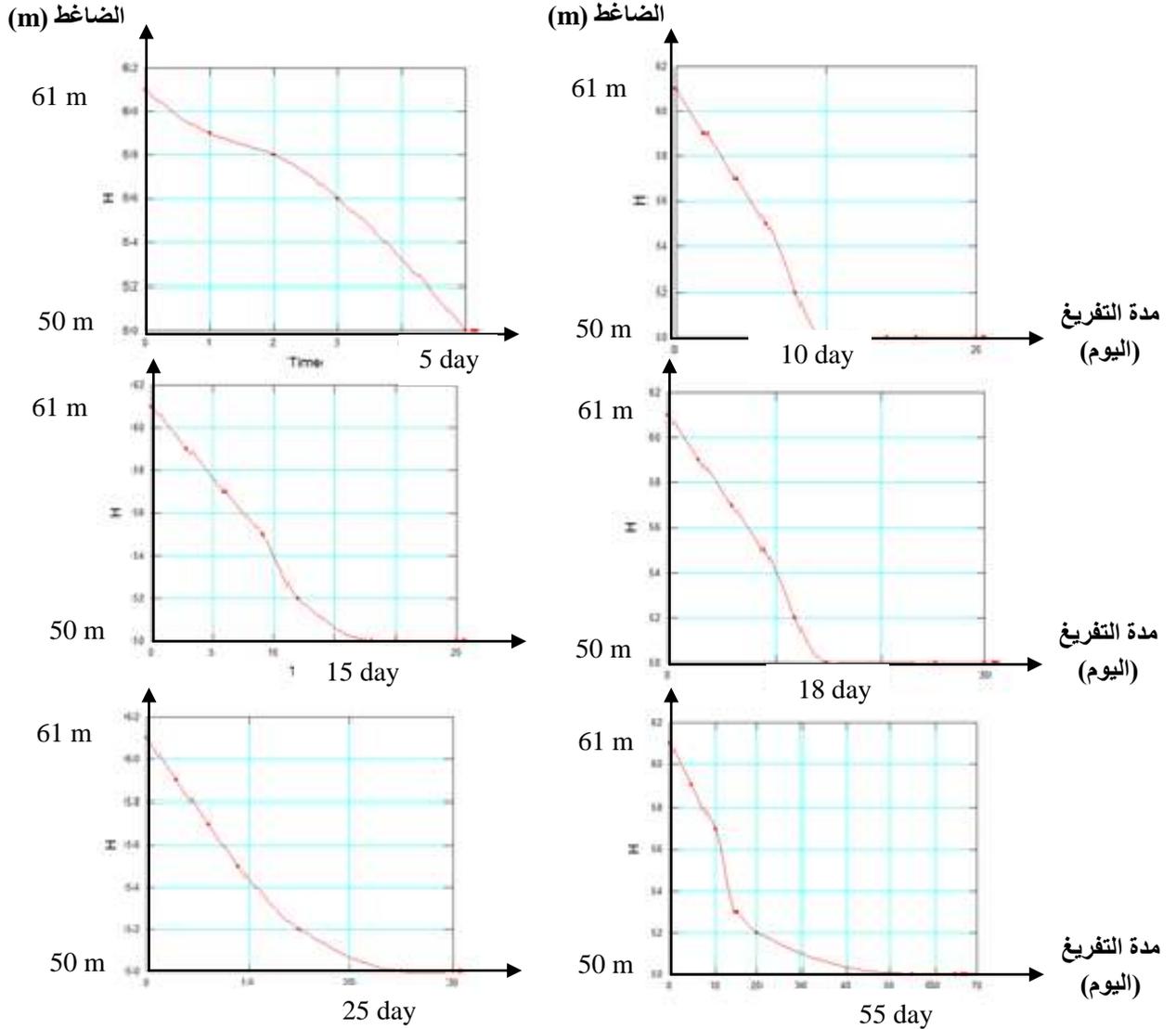
الشكل (7): توابع المحتوى المائي للتربة المكونة للسد بدلالة الضغط



الشكل (8): خط الرشح في حالة التسرب المستقر.

## ب- تحليل التسرب غير المستقر:

بعد تحليل التسرب المستقر للمقطع (A) و التي تمثل شرطا ابتدائيا لحالة التسرب غير المستقر تم تطبيق برامج تفريغ من المنسوب 61 م (منسوب التخزين الأعظمي) حتى المنسوب 50 م خلال أزمنة التفريغ التالية (10,5 ، 15 ، 18 ، 25,55) يوم، ويقسمة مقدار التخفيض على مدة التخفيض نحصل على معدلات التفريغ لكل برنامج تفريغ وهي على التوالي (2.2,1.1,0.73,0.61,0.44,0.2) متر/يوم ويبين الشكل (9) تابع التفريغ (  $H=f(T)$  ) لكل برنامج.



الشكل (9): توابع (H,T) لكل برنامج تفريغ  
H: الضاغط المائي بالمترا، T: الزمن باليوم.

## ت. تحليل الاستقرار :

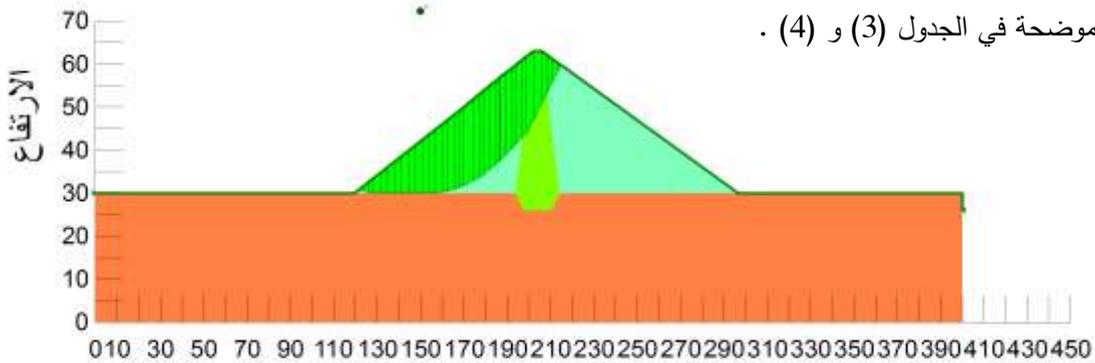
تم تحليل استقرار جوانب السد المكون من التربة الموضحة خواصها بحسب الجدول (2)، باستخدام برنامج (SLOPE/W) والذي يعتمد عدة طرق في تحليل وحساب عامل أمان استقرار المنحدرات منها (Janbu-Bishop-Morgenstern-Price-Ordinary)، تم اعتماد نتائج نظرية (Morgenstern-Price) في حساب عامل الأمان

والتي تأخذ بعين الاعتبار توازن القوى و العزوم [11]. تم تحليل الاستقرار قبل الإملاء وتمثل هذه الحالة حالة المنحدرات الجافة ثم تم التحليل بعد الإملاء و استقرار خط الرشح و أخيراً تحليل الاستقرار في حالة تفريغ البحيرة و تشكل خطوط تسرب متغيرة مع الزمن ضمن جسم السد.

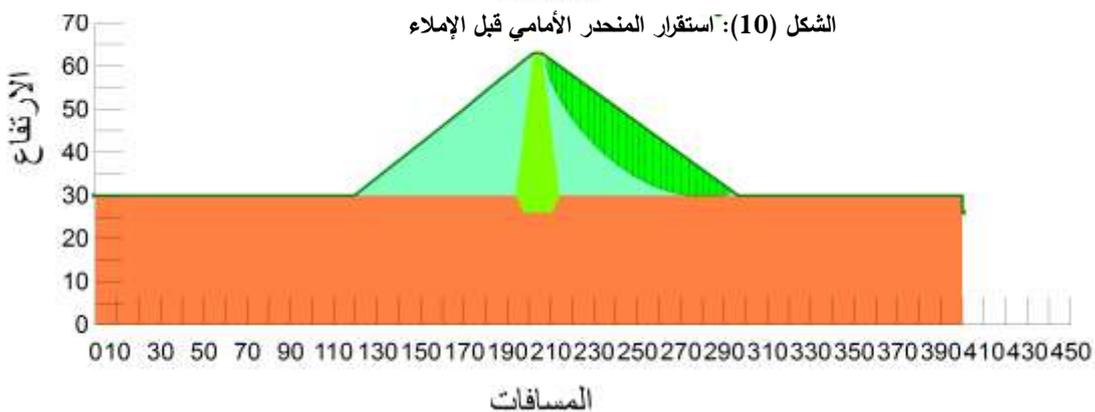
الجدول (2) خواص التربة المكونة للسد ( جوانب السد، النواة، الأساس) :

معامل النفاذية (m/day)	زاوية الاحتكاك $\phi$	التماسك النوعي C (kg/cm <sup>2</sup> )	المسامية n	$\gamma_b$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )	موقع التربة ونوعها
$7.25 \cdot 10^{-4}$	17.4	0.57	0.47	1.93	1.51	النواة (غضارية)
$2.6 \cdot 10^{-3}$	20.5	0.24	0.47	1.85	1.44	جوانب السد (غضار سيلتي)
$8.64 \cdot 10^{-2}$	20	0.73	0.51	1.78	1.26	الأساس الصخري

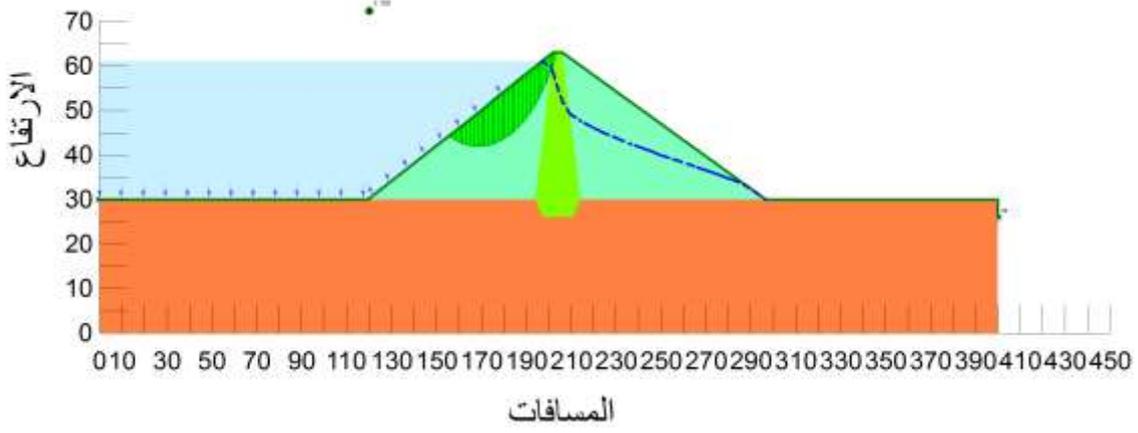
تم حساب عامل الأمان للجانبين الأمامي والخلفي عند المقطع العرضي الأعظمي ، للحالات قبل الإملاء و بعد الإملاء و التفريغ السريع و سطوح الانزلاق المتشكلة موضحة في الأشكال ( 10-11-12-13 ) أما قيم عوامل الأمان الأصغرية فموضحة في الجدول (3) و (4) .



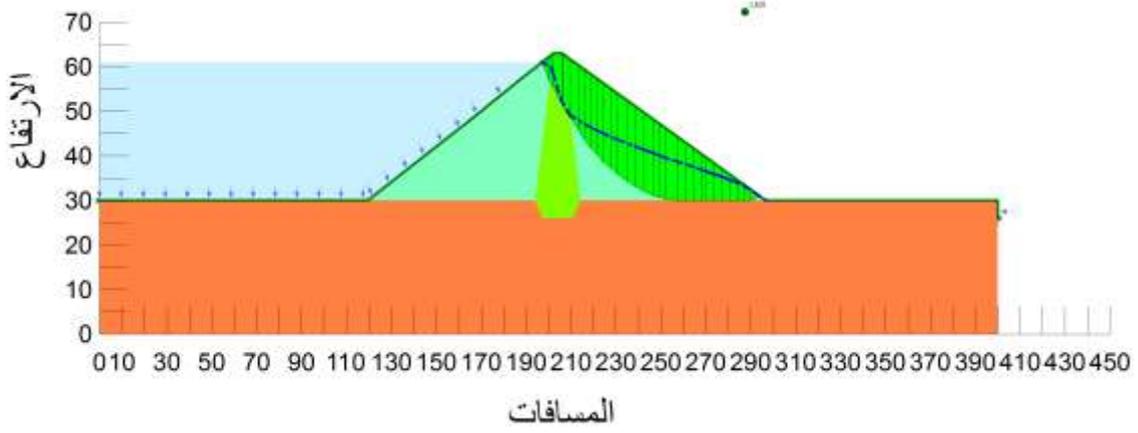
الشكل (10): استقرار المنحدر الأمامي قبل الإملاء



الشكل(11): استقرار المنحدر الخلفي قبل الإملاء



الشكل (12): استقرار الوجه الأمامي بعد الإملاء الكامل (حالة التخزين الطبيعي)



الشكل (13): استقرار الوجه الخلفي بعد الإملاء الكامل

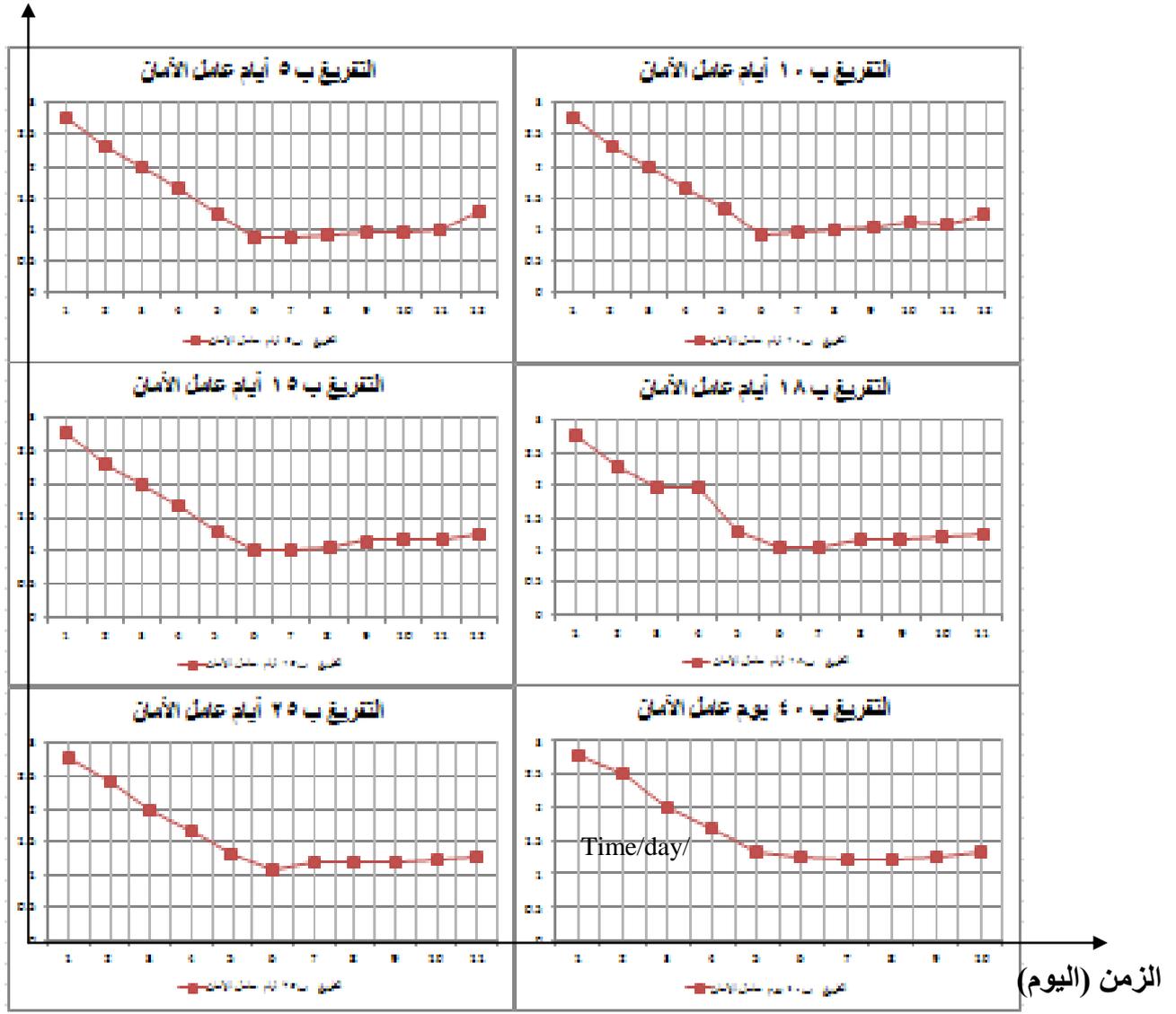
الجدول (3) نتائج دراسة استقرار جسم السد.

حالة الدراسة	عامل الأمان الأصغري
وجه أمامي قبل الإملاء	1.569
وجه خلفي قبل الإملاء	1.554
وجه أمامي بعد الإملاء	1.573
وجه خلفي بعد الإملاء	1.559

الجدول(4): عامل الأمان في برامج التفريغ المختلفة للمقطع المدروس

التفريغ خلال 55 يوم		التفريغ خلال 25 يوم		التفريغ خلال 18 يوم		التفريغ خلال 15 يوم		التفريغ خلال 10 أيام		التفريغ خلال 5 أيام	
FOS	T/day	FOS	T/day	FOS	T/day	FOS	T/day	FOS	T/day	FOS	T/day
2.776	0	2.776	0	2.776	0	2.776	0	2.776	0	2.776	1
2.313	5	2.426	3	2.298	3	2.319	3	2.32	2	2.3	2
1.961	10	1.966	6	1.967	6	2.006	6	1.992	4	1.967	3
1.76	15	1.682	9	1.964	9	1.687	9	1.664	6	1.647	4
1.318	20	1.306	15	1.296	12	1.297	12	1.32	8	1.247	5
1.247	55	1.081	25	1.027	18	0.996	15	0.919	10	0.873	6
1.276	65	1.185	28	1.06	21	1.03	18	0.981	12	0.896	7
1.313	70	1.18	31	1.152	24	1.065	21	1.01	14	0.928	8
		1.193	34	1.173	27	1.152	24	1.033	16	0.95	9
		1.228	37	1.184	30	1.172	27	1.146	18	0.97	10
		1.28	50	1.256	50	1.184	30	1.074	20	0.992	12
						1.259	50	1.269	50	1.275	60

تم تمثيل هذه القيم على الشكل ( 14 ) وتبين أنه خلال برامج التفريغ ( 5-10-15-18-25 ) يوم، ينخفض عامل الأمان إلى قيم أقل من الواحد مما يعني وجود خطر انزلاق جزئي للوجه الأمامي كما لوحظ أن أدنى قيمة لعامل الأمان في جميع برامج التفريغ المذكورة ظهرت عند اليوم السادس من التفريغ.



الشكل (14) تغير عامل أمان الوجه الأمامي أثناء تفريغ البحيرة

## الاستنتاجات والتوصيات:

- 1) أظهرت نتائج تحليل استقرار الوجه الأمامي للسد عند المقطع الأعظمي أنه غير مستقر في حالات التفريغ خلال (5 و 10 و 15 و 18 و 25) يوم و يستقر عند برنامج التفريغ 55 يوم والذي لا يعد تفريغاً سريعاً.
- 2) يمكن اعتبار برنامج التفريغ خلال 55 يوم هو برنامج التفريغ الأمثل عند عدم الحاجة لتفريغ أكثر سرعة.
- 3) دراسة حالات تفريغ أخرى للبحيرة بعد تغيير أبعاد المقطع العرضي لجسم السد (ميل الوجه الأمامي) للحصول على استجابة في سلوك المنحدر الأمامي تكون أكثر أماناً في ظروف التفريغ.
- 4) دراسة استقرار السد في حالة التفريغ السريع المترافق مع حدوث هزات أرضية.

## المراجع:

1. ALONSO,E;PINYOL,N,*Slope stability under rapid drawdown conditions*, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona,Canada2003,367.
2. FREDLUND,M.*Combined Seepage and Slope Stability Analysis of Rapid Drawdown Scenarios for Levee Design*.Geo-Frontiers2011© 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. 16Bund A,2011 ,165-177.
5. KUNITOMO,N, *Design and Construction of Embankment Dams*, Dept. Aichi Institute of Technology,2000.
6. فويتي، فاطمة، دراسة تأثير تبيد ضغط الماء المسامي على استقرار السدود الترابية(حالة سد الحوييز )، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة العلوم الهندسية. 2013.
7. *Stability Modeling with SLOPE/W 2007 Version*, Engineering Methodology Third Edition, March 2008, GEO-SLOPE International Ltd.
8. *Seepage Modeling with SEEP/W 2007 Version*, Engineering Methodology,ThirdEdition,UniversitatPolitècnica de Catalunya, March 2008,317.
- 9.KATTAB,S,*stability analysis of mosul dam under saturated and unsaturated soil condition*,assistant professor mosul university-civil engineer department,al-rafidain engineering vol.18 no.1,January 2010.
10. State Of Colorado Department Of Natural Resources, *Rules And Regulations For Dam Safety And Dam Construction*. Colorado, 2007,76.
11. DEPARTMENT OF THE ARMY U.S. Army Corps of Engineers Washington, DC 20314-100,*ENGINEERING AND DESIGN, Slope Stability*, No. 1110-2-1902, 1 October 2003.
12. وثائق دراسة سد الدويسات، وزارة الري، مديرية الري العامة لحوض العاصي.