# Evaluating the Efficiency of the Horizontal Drains in Upstream Shell of Earth Dams on the Upstream Slope Stability During Rapid Drawdown Conditions (Case Study: of Al- Houiz Dam - Jableh Lattakia)

**Dr. Izz Addin Hasan***
**Mohammed Lutf****

**(Received 5 / 4 / 2022. Accepted 28 / 7 / 2022)**

## □ ABSTRACT □

This research deals with the study of the stability of the upstream slope of Al- Houiz dam before ramping in the steady state and upon the rapid drawdown of the reservoir, and while instating horizontal drains within this slope.

The study included the deduction of safety factors in the theory of "Finite Element Method (FEM)" according to the GeoStudio-SLOPE/W, by connecting to the GeoStudio-SEEP/W, as well as the experimental deduction of safety factors according to the method of ordinary slices in order to cross-examine the results. has been developed three models to study the stability slope of the upstream. The first model is of dam its Without horizontal drains. The second one of constructing two horizontal drains, and the third of the construction of three horizontal drains.

By studying and analyzed the first model, we found that the safety factor Without horizontal drains amounted to Fs = 2.656 in the steady state, reaching Fs = 0.863 at the unstable state (rapid drawdown), and based on the instability. has been proposed the establishment of horizontal drains to evaluate their impact on the stability of the upstream slope of Al- Houiz dam.

Thus, it caused instability of the slope at the rapid drawdown. Having examined the stability during rapid drawdown in the second model, the safety factor was Fs = 1.662, and in the third model the safety factor was Fs = 1.970. Therefore, the installation of horizontal drains within the upstream slope of the earth dams contributes to increasing their stability during rapid drawdown.

**Keywords:** earth dams, rapid drawdown, horizontal drains, upstream slope stability, Slope/w, Seep/w, Al- Houiz.

***Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. izhassan@SCS-net.org**
****Postgraduate Student (Mastere), Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. mohammedabdullahlutf@hotmail.com**

# تقييم فعالية المصارف الأفقية على استقرار الوجه الأمامي لسد ترابي عند ظروف التفريغ السريع للخزان (حالة سد الحويز– جبلة اللاذقية)

**د. عز الدين حسن ***

**محمد لطف ****

**(تاريخ الإيداع 5 / 4 / 2022. قُبِل للنشر في 28/ 7 / 2022)**

## □ ملخّص □

تناول هذا البحث دراسة استقرار المنحدر الأمامي لسد ترابي في الحالة المستقرة وعند التفريغ السريع للخزان، واخترنا سد الحويز قبل التعلية كونه سد ترابي متجانس لتقييم فعالية المصارف الأفقية على استقرار المنحدر الأمامي للسد عند ظروف التفريغ السريع.

شملت الدراسة استنتاج عوامل الأمان وفق نظرية العناصر المحدودة في برنامج GeoStudio–SLOPE/W، عبر ربطه مع برنامج GeoStudio–SEEP/W، وكذلك استنتاج عوامل الأمان تجريبياً وفق طريقة الشرائح العادية من أجل مقارنة النتائج ببعضها.

قمنا بوضع ثلاثة نماذج لدراسة استقرار المنحدر الأمامي، النموذج الأول سد الحويز قبل التعلية وبدون مصارف أفقية، والنموذج الثاني إنشاء مصرفين أفقيين والنموذج الثالث إنشاء ثلاثة مصارف افقية.

وبدراسة وتحليل النموذج الأول توصلنا إلى أن عامل الأمان في الوضع الحالي بلغ Fs=2.565 في الحالة المستقرة، وبلغ Fs=0.863 في الحالة غير المستقرة (عند التفريغ السريع)، وبالتالي عدم استقرار المنحدر عند التفريغ السريع، وانطلاقاً من عدم الاستقرار اقترحنا إنشاء المصارف الأفقية لتقييم تأثيرها على استقرار المنحدر الأمامي لسد الحويز.

وبدراسة الاستقرار أثناء التفريغ السريع في النموذج الثاني (عند إنشاء مصرفين أفقيين) بلغ عامل الأمان Fs=1.662، وفي النموذج الثالث (عند إنشاء ثلاثة مصارف افقية) بلغ عامل الأمان Fs=1.970، وبالتالي فإن إنشاء مصارف أفقية ضمن المنحدر الأمامي للسدود الترابية يسهم في زيادة استقرارها أثناء التفريغ السريع.

**الكلمات المفتاحية:** السدود الترابية، التفريغ السريع، الحالة المستقرة، المصارف الأفقية، استقرار المنحدر الأمامي، برنامج Slope/w، برنامج Seep/w، سد الحويز.

***أستاذ – قسم المائية والري– كمية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية–سورية.** izhassan@SCS-net.org

****طالب دراسات عليا (ماجستير) –قسم الهندسة المائية والري –كمية الهندسة المدنية –جامعة تشرين –اللاذقية سورية.** mohammedabdullahlutf@hotmail.com

## مقدمة:

تعتبر السدود الترابية والركامية من بين أكثر المنشآت المائية انتشاراً في العالم وظيفتها حجز المياه وتخزينها بغرض استخدامها في مختلف المجالات الزراعية والصناعية وتلبية احتياجات المجتمعات ودفع عجلة التنمية. لذلك لابد أن يضمن المهندسون استقرار هذا النوع من السدود كون كلفة إنشائها كبيرة، ويواجه هذا النوع من السدود حالات طوارئ قد تؤدي إلى إفراغ البحيرة مما يؤدي إلى إنخفاض منسوب التخزين بشكل مفاجئ فيصبح الوجه الأمامي للسد معرض لقوى هيدروديناميكية تسبب إنزلاق الشريحة المشبعة بالمياه بسبب ضغط الماء المسامي.

عند إنخفاض منسوب المياه ينعكس إتجاه المياه المتسربة لتصبح بإتجاه البحيرة والتي بدورها قد تسبب تهديد لإستقرار السد، وفي هذه الحالة تتشكل الضغوط الهيدروديناميكية في المنحدر، وتقل مقاومة القص مما يشكل عدم استقرار المنحدر [4, 3, 2, 1].

سوف نركز في دراستنا على أداء المصارف الأفقية في الوجه الأمامي للسد ومساهمتها في تجفيف التربة المشبعة في المنحدر الأمامي أثناء التفريغ السريع وانخفاض المنسوب بشكل مفاجئ، لتقييم فعالية المصارف الأفقية على استقرار المنحدر الأمامي لسد الحويز قبل التعلية عند التفريغ السريع للخزان.

بينت الدراسات أنه مع زيادة منسوب السحب يجب أن يقابله زيادة في عدد المصارف الأفقية وحجمها للحفاظ على سلامة السد، وأن للمصارف الأفقية القدرة على زيادة استقرار المنحدر الأمامي للسدود الترابية عند التفريغ السريع كونها تعمل على تجفيف المنحدر الأمامي وتخفيف آثار القوى الهيدروديناميكية [9, 7, 6, 5].

وقد بين الباحثون أن معامل الأمان لاستقرار المنحدر الأمامي للسد يجب أن لا تقل عن (1.3–1.5) في الحالة المستقرة، و (1.2–1.3) عند التفريغ السريع [10].

## أهمية البحث وأهدافه:

تعتبر منشآت السدود من ذات أهمية كبيرة لنمو الاقتصاد وتطور المجتمعات، لكن كلفة انشائها كبيرة لذلك يجب أن تبقى آمنة وفق مختلف الظروف الطارئة، ويمثل التفريغ المفاجئ احدى المشكلات التي تعرض الوجه الأمامي لقوى هيدروديناميكية تهدد استقراره، ولم تتم دراسة فعالية المصارف الأفقية في التخفيف من آثار التفريغ المفاجئ في سورية، وقد وجدنا أن هناك أهمية لدراسة إنشاء مصارف أفقية ضمن المنحدر الأمامي تعمل على تجفيف المنطقة المشبعة وتقلل مخاطر تشكل ضغط ماء مسامي وتسرب عكسي.

يهدف البحث إلى تقييم تأثير المصارف الأفقية وقدرتها في الحفاظ على استقرار وثبات المنحدر الأمامي للسدود عند ظروف التفريغ السريع والانخفاض المفاجئ للمنسوب من خلال:

- وضع نموذج رياضي لسد الحويز قبل التعلية بوجود مصارف أفقية على المنحدر الأمامي للسد ومحاكاة عدة سيناريوهات لظروف التفريغ المفاجئ، وتحديد عوامل أمان السد وتقييمها عند عدم وجود مصارف ومع وجود مصارف أفقية في المنحدر الأمامي.
- إثبات ضرورة إدخال المصارف الأفقية في المنحدرات الأمامية للسدود الترابية لتفادي عدم الاستقرار عند ظروف التفريغ السريع للخزان.

## طرائق البحث ومواده:

لإنجاز الدراسة تم الاعتماد على برنامج Geo-studio 2018 والذي يعتبر البرنامج الأشهر في دراسة توازن المنحدرات ودراسة المنشآت الترابية.

وقد صمم وطور من قبل GEO-SLOPE International Ltd, Calgary, Alberta, Canada [11] .

- **يتألف من عدة برامج فرعية استخدمنا منها:**

**SEEP/W:** برنامج يستخدم نظرية العناصر المحدودة لدراسة الرشح والضغوط المسامية المتشكلة في مختلف أنواع الترب سواء في حالة الجريان المستقر أو غير المستقر.

SLOPE/W: برنامج دراسة توازن المنحدرات وفق نظرية Limit Equilibrium Method ويقوم بحساب عوامل الأمان للمنحدرات الترابية لمختلف أشكال سطوح الانزلاق وظروف الضغوط المسامية ونظرية التحليل وحالات التحميل.

**1- دراسة التسرب والتفريغ السريع في السدود الترابية بواسطة برنامج SEEP/W:**

يمكن دراسة التسرب في السدود الترابية وفق قانون دارسي الذي يعبر عن رشح المياه في التربة على الشكل الآتي:

$$V = K.i = \frac{dh}{dl} \qquad (1)$$

أو المعادلة:

$$Q = V.A = K.i.A \qquad (2)$$

حيث أن:

$V$ – سرعة المياه الراشحة (م/ثا).

$K$ – عامل نفاذية التربة التي ترشح المياه عبرها (م/ثا).

$i$ – الميل الهيدروليكي.

$h$ – الضاغط المائي (م).

$l$ – طول خط الرشح (م).

$Q$ – كمية المياه الراشحة في واحدة الزمن (التصريف) ($م^3$/ثا).

$A$ – مساحة المقطع العرضي للتربة التي ترشح المياه عبرها ($م^2$).

وبالنسبة لدراسة الرشح عبر السدود الترابية وأساساتها، فيمكن اعتبار الجريان ثنائي البعد، وبالتالي يمكن كتابة معادلة التدفق ثنائية البعد العامة كما في الشكل (3) [11].

$$\frac{\partial}{\partial \mathrm{x}}\left[K_x \frac{\partial h}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial \mathrm{y}}\left[K_y \frac{\partial h}{\partial y}\right] + Q = \frac{\partial \theta}{\partial t} \qquad (3)$$

حيث يبين الجدول (1) دلالات بارامترات المعادلة رقم (3).

**الجدول (1): بارامترات المعادلة رقم (3).**

| | |
|---|---|
| $i_x = \frac{\partial h}{\partial x}$ – التدرج الهيدروليكي في الإتجاه X. | $K_y$ – معامل النفاذية في الإتجاه Y. |
| $i_y = \frac{\partial h}{\partial y}$ – التدرج الهيدروليكي في الإتجاه Y. | $K_x$ – معامل النفاذية في الإتجاه X. |
| $\frac{\partial \theta}{\partial t}$ – معدل التغير في المحتوى الحجمي للماء في التربة مع الزمن. | |

إن الطرف اليميني من المعادلة يعبر عن معدل التغير في حجم الماء المخزن في التربة مع الزمن ونحتاجه فقط في حالة الجريان غير المستقر (التفريغ السريع).

أما في حال الجريان المستقر، حيث يكون كمية التدفق الداخل عبر حجم معين من التربة مساوياً لكمية التدفق الخارج من الحجم نفسه، بمعنى آخر أن المحتوى الحجمي للرطوبة في التربة لا يتغير مع الزمن أي لا يوجد أي زيادة في التخزين أو زيادة في تحرير المياه وذلك وفقاً لمبدأ الإستمرارية فإن الطرف اليميني من المعادلة العامة يساوي الصفر أي $\frac{\partial \theta}{\partial t} = 0$ [11].

وبالتالي تصبح المعادلة من الشكل التالي:

$$\frac{\partial}{\partial \mathrm{x}}\left[K_x \frac{\partial h}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial \mathrm{y}}\left[K_y \frac{\partial h}{\partial y}\right] + Q = 0 \qquad (4)$$

وباعتبار أن التربة متجانسة (متماثلة الصفات) في هذه الحالة تكون عوامل النفاذية الأفقية والشاقولية متساوية $K_x = K_y$ تصبح المعادلة من الشكل التالي:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \qquad (5)$$

و تعرف هذه المعادلة بمعادلة لابلاس في الوسط ثنائي البعد متماثل الصفات، التسرب غير المستقر أو العابر (Unsteady or Transient Seepage) صنف آخر من المسائل الكبيرة التي يمكن تحليلها بواسطة برنامج SEEP/W، يستطيع البرنامج حساب تسرب الماء من مسامات التربة والتغيرات في معامل النفاذية [11].

**2- دراسة الاستقرار وفق مختلف الحالات بواسطة برنامج SLOPE/W:**

يعتبر برنامج SLOPE/W منتج برمجي قوي يستخدم نظرية التوازن الحدي لحساب عامل أمان المنحدرات الترابية والصخرية ضد الانزلاق، تركيبته الشاملة تجعله قادراً على تحليل كل من مشاكل استقرار المنحدرات المعقدة والبسيطة باستخدام طرائق حساب مختلفة، ويبين الجدول (2) طرائق حساب عامل الأمان التي يستخدمها برنامج GEOSTUDIO [11,12].

**الجدول (2): طرائق حساب عامل الأمان التي يستخدمها برنامج GEOSTUDIO.**

| اسم الطريقة | العام | المصطلح المعرف للطريقة |
|---|---|---|
| طريقة العالم فيلينوس أو الطريقة التقليدية | (1936) | method Ordinary or Fellenius |
| طريقه العالم بيشوب | (1950) | Bishop method |
| طريقة العالم جانبو | (1957) | Janbu method |
| طريقة العلماء سبنسر ومورغين برايس | (1968) | Spencer M-P method |

**2-1- الطريقة التقليدية (Ordinary or fellenius)**

في عام 1936 قدم العالم (Fellenius) هذه الطريقة ضمن المؤتمر العالمي الثاني حول السدود من خلال دراسة توازن رصيف ميناء (Stigberg Quay) في (Gothernberg-Sweden)، حيث اعتبر سطح الكتلة المنزلقة المحتمل دائري الشكل [11,12]، ويحسب معامل الأمان كما في المعادلة رقم (6).

$$F_s = \frac{\sum(C.B.R) + \sum(W.cos\alpha - U.B).R.tg\varphi}{\sum W.sin\alpha.R} \qquad (6)$$

حيث أن:

$F_s$: عامل الأمان المحسوب من معادلة توازن العزوم، $C$: التماسك، $B$: عرض قاعدة الشريحة $(b/cos\alpha)$، $R$: نصف قطر سطح الانزلاق، $W$: وزن الشريحة، $\alpha$: زاوية ميل قاعدة الشريحة، $U$: ضغط ماء المسام، $\varphi$: زاوية الاحتكاك الداخلي، $h$: الارتفاع الوسطي للشريحة.

**2-2- طريقة بيشوب (Bishop)**

قام البروفيسور بيشوب من الكلية الملكية في لندن في عام 1950 باستنباط طريقة الكتلة المنزلقة على سطح انزلاق دائري متضمنة القوى الناظمية الداخلية E، ولكن مع إهمال قوى القص الداخلية X وعدم اعتبار القوى الناظمية في أسفل قاعدة الشريحة مشتقة مباشرة من الوزن الذاتي للشريحة كما هو موضح في المعادلة رقم(7،8) [13,15].

$$F_S = \frac{1}{\sum W.sin\alpha.R} \times \frac{C.\beta + W.tan\varphi - \frac{C.\beta}{F_S} sin\alpha.tan\varphi}{m.\alpha} \qquad (7)$$

حيث أن:

$$m.\alpha = cos\alpha + \frac{sin\alpha.tan\varphi}{F_S} \qquad (8)$$

**2-3- طريقة جانبو(Janbu)**

قدم العالم جانبو عام 1957 تصور جديد مشابه لطريقة العالم Bishop لكن بالاعتماد على المجموع الجبري لمساقط القوى المؤثرة على جميع الشرائح على المحور الأفقي لإيجاد عامل الأمان [14,15].

**2-4- طريقة مورغنسترن- برايس (Morgenstern-price)**

ظهرت طريقة (Morgenstern-price) عام 1968 التي تقوم بإدخال القوى الداخلية الشاقولية بين الشرائح. يتم حساب عامل الأمان من معادلة توازن العزوم ومعادلة توازن مساقط القوى على المحور الأفقي. تقوم هذه الطريقة بإدخال كافة القوى الداخلية الأفقية والشاقولية، وتفترض هذه الطريقة أن هذه القوى ترتبط مع بعضها وفق تابع توضحه العلاقة (9) [11,15].

$$X = \lambda.E.F(x) \qquad (9)$$

حيث أن:

$X$: المركبة الشاقولية للقوى الداخلية.

$E$: المركبة الأفقية للقوى الداخلية.

$F(x)$: تابع القوى الداخلية المستخدم.

$\lambda$ : نسبة من التابع المستخدم.

**اولاً – معادلة توازن العزوم (Moment Equilibrium):**

$$F_m = \frac{\sum(\acute{C}.\beta.R) + (N - u.\beta).R.tan\acute{\phi}}{\sum W.x - \sum N.f + \sum k.w.e \pm \sum D.d \pm \sum A.a} \qquad (9)$$

**ثانياً- معادلة توازن القوى (Force Equilibrium):**

$$F_f = \frac{\sum(\acute{C}.\beta.\cos\alpha + (N - u.\beta).tan\acute{\phi}.\cos\alpha)}{\sum N.\sin\alpha + \sum k.w - \sum D.\cos\omega \pm \sum A} \qquad (10)$$

حيث أن:

حيث يبين الجدول (3) دلالات بارامترات المعادلة.

**الجدول(3): بارامترات المعادلات رقم (9،10).**

| | | |
|---|---|---|
| $w$: وزن الشريحة | $k$: معامل الزلزال | $u$: ضغط الماء المسامي |
| $R$: ذراع مقاومة القص | $C$: التماسك | $N$: القوى الناظمية |
| $f$: ذراع القوة الناظمية | $e$: ذراع القوى الزلزالية | $D$: القوى الخارجية المطبقة |
| $d$: ذراع القوى الخارجية المطبقة | $a$: ذراع القوى الجانبية | $\phi$: زاوية الاحتكاك الداخلي لتربة جسم السد |
| $\beta$: عرض قاعدة الشريحة | $A$: القوى الجانبية المؤثرة مثل قوى ضغط الماء والقوى الناتجة عن تشقق قمة السفح | |
| $\alpha$: زاوية ميل المماس لقاعدة الشريحة عن الأفق. | | $x$: ذراع قوة الوزن الذاتي حول مركز سطح الإنزلاق |
| $F_m$: عامل الأمان المحسوب من توازن العزوم | | $F_f$: عامل الأمان المحسوب من توازن القوى |
| $f$: ذراع القوة الناظمية في قاعدة الشريحة حول مركز سطح الإنزلاق | | |
| $\omega$: زاوية ميل منحني التحميل الخارجي D عن الأفق بإتجاه دوران عقارب الساعة إعتباراً من المحور X الموجب | | |

ويوضح الجدول (4) الفرق بين طرائق دراسة التوازن والاستقرار والتي ينتج عنها اختلاف في قيم معاملات الأمان، علماً أن هذه الاختلافات والفروقات بسيطة وناتجة عن اهمال بعض الطرائق للقوى الداخلية [11].

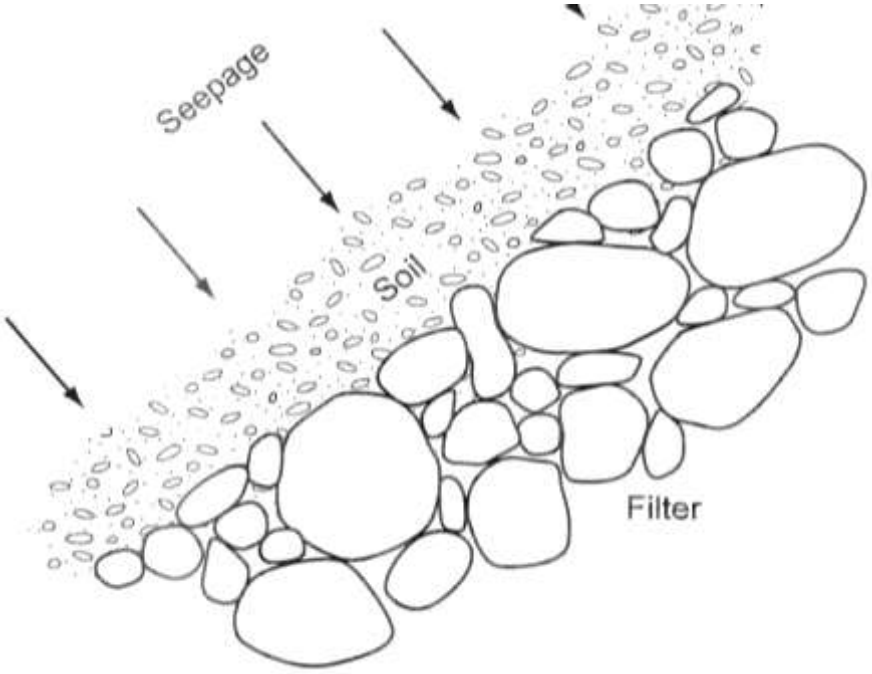
**الجدول(4): الفرق بين طرائق دراسة استقرار المنحدرات.**

| الطريقة | معادلة العزوم | معادلة القوى | القوة الناظمية الداخلية E | قوة القص الداخلية X |
|---|---|---|---|---|
| العادية | نعم | لا | لا | لا |
| بيشوب المبسطة | نعم | لا | نعم | لا |
| جانبو المبسطة | لا | نعم | نعم | لا |
| سبينسر | نعم | نعم | نعم | نعم |
| مورغنسترن– برايس | نعم | نعم | نعم | نعم |

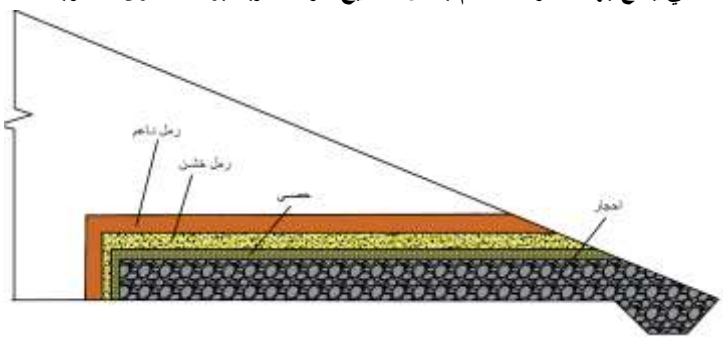
## 3- المصارف الأفقية

هناك عدة أنواع من المصارف منها موشور الصرف الطرفي ويدعى (Rock Toe) والمصرف الأفقي ويدعى (Horizontal drain) والمصرف الرأسي ويدعى (Chimney drain)، وتُعد المصارف من أهم عناصر المنشآت المائية التي تسهم في الحفاظ على السدود الترابية وخاصة في أنواع الترب التي تتأثر بشكل كبير بالمحتوى المائي والضغط المسامي، لذلك يتم إنشاء المصارف من أجل تخفيف آثار التسرب ومنع حدوث مشاكل تؤدي إلى الانهيار [16].

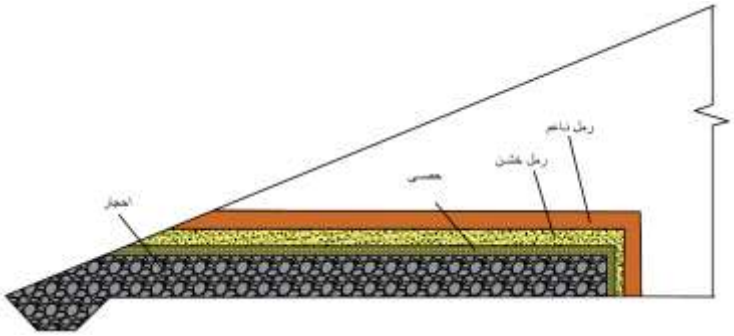
يوضع الفلتر على اتصال مع سطح التربة المكونة لجسم السد، حيث تتسرب المياه عبر مسام التربة، ويجب رص التربة جيداً لضمان اتصال جيد بين الفلتر والتربة الأساسية المكونة لجسم السد. يوضح الشكل (1) **الطريقة التي يمنع بها الفلتر المصمم بشكل صحيح حركة التربة بواسطة قوى التسرب عند سطح التصريف**، والشكل (2) توضع المصرف الأفقي في القدم الخلفية، والشكل (3) توضع المصرف الأفقي على المنحدر الأمامية [16].




**الشكل (1): الطريقة التي يمنع بها الفلتر المصمم بشكل صحيح حركة التربة بواسطة قوى التسرب عند سطح التصريف.**



**الشكل (2): توضع المصرف الأفقي في القدم الخلفية.**

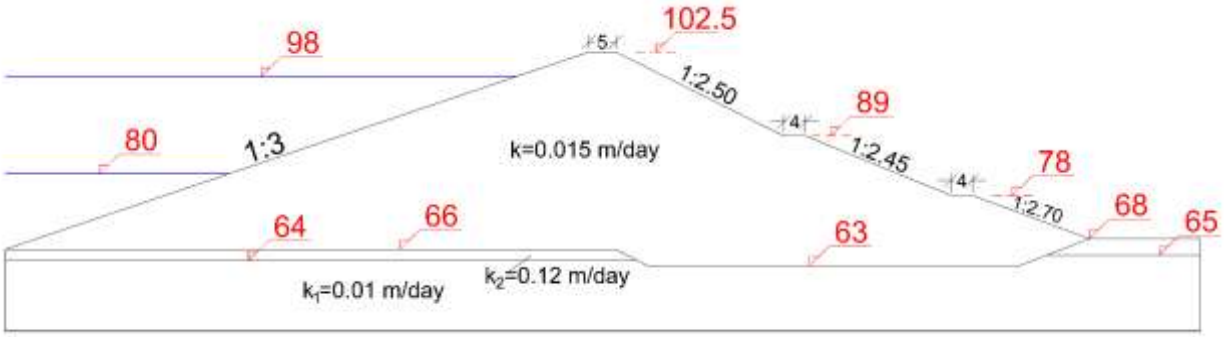


**الشكل (3): توضع المصرف الأفقي على المنحدر الأمامية.**

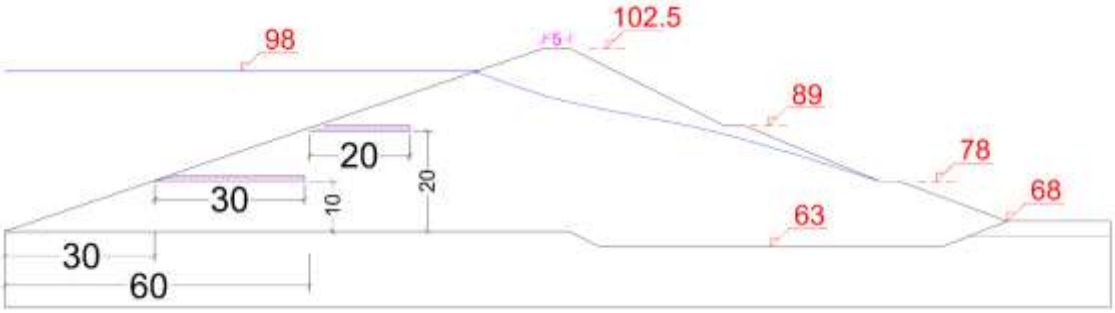
## 4- سد الحويز

تستهدف الدراسة سد الحويز قبل التعلية والذي يقع على نهر أبو برغل الى الجنوب الشرقي من مدينة اللاذقية بحوالي 40كم وإلى الشمال الغربي من سد السخابة بحوالي 2.5- 2 كم محافظة اللاذقية – جبلة، وهو عبارة عن سد ترابي، ويبين الجدول (5) مواصفات السد، والجدول (6) الشروط الطرفية المطبقة، ويبين الشكل(4) المقطع العرض لسد الحويز وهو المقطع الذي أجريت عليه دراسة استقرار المنحدر الأمامي.

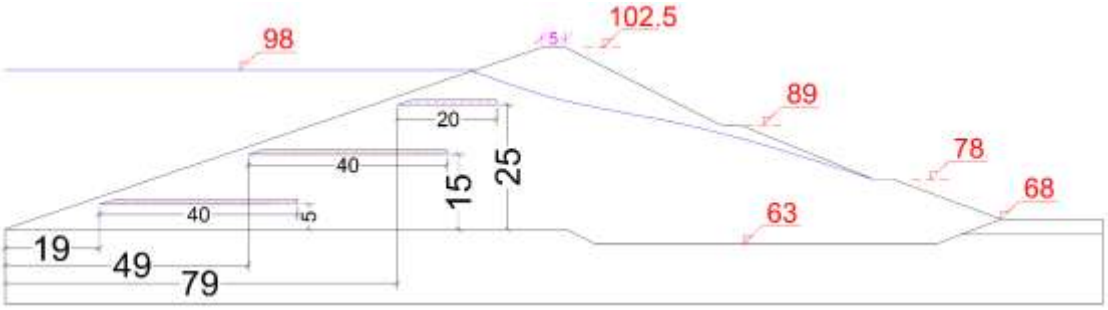
ويبين الشكل (5) المقطع العرضي لسد الحويز عند إنشاء مصرفين افقيين على المنحدر الأمامي وابعاد هذه المصارف وتوضعها، ويبين الشكل(6) المقطع العرضي لسد الحويز عند إنشاء ثلاثة مصارف أفقية على المنحدر الأمامي وابعاد هذه المصارف وتوضعها.




**الشكل(4): المقطع العرض لسد الحويز قبل التعلية.**




**الشكل (5): المقطع العرضي للسد عند توضع مصرفين افقيين.**




**الشكل (6): المقطع العرضي للسد عند توضع ثلاثة مصارف أفقية.**

عند دراسة فعالية المصارف الأفقية كان لابد من إختيار سد الحويز قبل التعلية كونه سد ترابي متجانس أما بعد التعلية فقد أدخلت بعض التعديلات على المقطع العرضي ولم نتطرق لدراسته بعد التعلية كون المقطع المدروس يجب ان يكون متجانس، وقد قمنا بدراسة ثلاثة نماذج: النموذج الأول السد بدون مصارف أفقية، والنموذج الثاني عند إنشاء مصرفين أفقيين، والنموذج الثالث إنشاء ثلاثة مصارف أفقية ضمن المنحدر الأمامي، ودراسة النماذج الثلاثة لتقييم فعالية المصارف خلال التفريغ السريع وفي الحالة المستقرة.

**الجدول (5): مواصفات سد الحويز.**

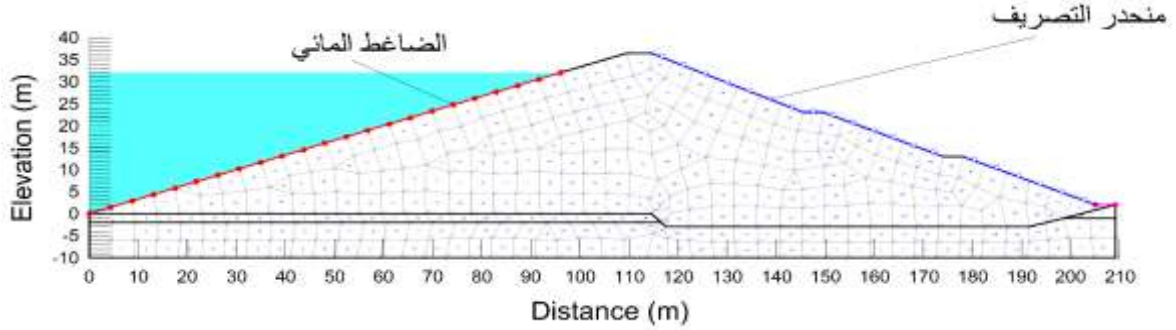
| | | | |
|---|---|---|---|
| نوع السد | ترابي | ميل الوجه الأمامي | 1V:3H |
| منسوب قمة السد | 102.5 m | ميل الوجه الخلفي | 1V:2.5H |
| عرض قمة السد | 5 m | منسوب الماء الطبيعي | 98 m |
| طول قمة السد | 305 m | حجم التخزين المفيد | 11.2 $Mm^3$ |
| الارتفاع الأعظمي | 37 m | حجم التخزين الإجمالي | 12.4 $Mm^3$ |

**الجدول (6): موصفات مواد الأنشاء في السد.**

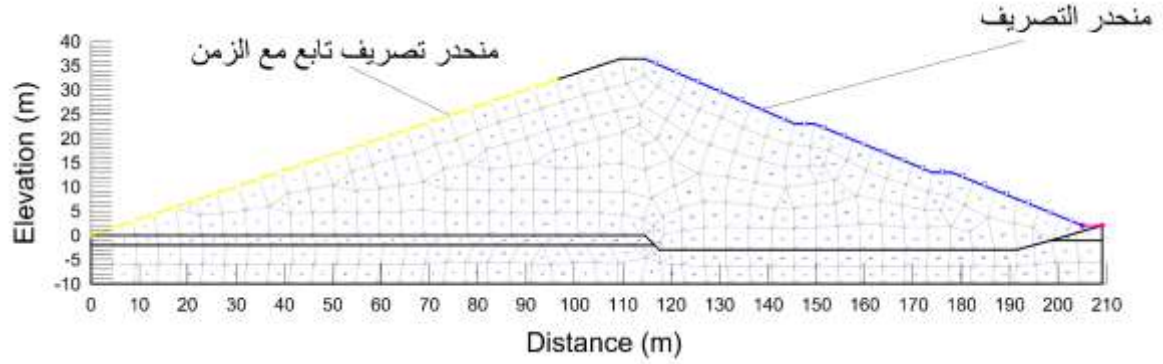
| المنطقة | الكثافة ($t/m^3$) | | معاملات قوى القص | | عامل النفاذية K (m /d) | معامل المرونة الديناميكية (MPa ) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | الرطبة | المشبعة | TAN (PIH) | C (MPA) | | |
| جسم السد | 2.03 | 2.15 | 0.55 | 0.03 | 0.015 | 5200 |
| الأساس2 | 2.03 | 2.15 | 0.25 | 0.04 | 0.12 | 30000 |
| الأساس1 | 2.15 | 2.28 | 0.5 | 0.2 | 0.01 | 30000 |
| المصارف | 1.85 | 2.12 | 0.65 | 0 | كبيرة جداً | 5200 |

عند دراسة السد في الحالة المستقرة اعتبرنا الوجه الأمامي كشرط طرفي بضاغط ثابت يمثل ارتفاع المياه في بحيرة التخزين، واعتبرنا الوجه الخلفي منحدر التصريف، ولا يحدث أي تصريف عبر قاعدة السد باعتبار السد يرتكز على أساس كتيم، أما في الحالة غير المستقرة فيسند النموذج المدروس إلى الحالة المستقرة مع تغيير الشرط الطرفي في الوجه الأمامي والذي يعتبر منحدر تصريف تابع مع الزمن نتيجة هبوط المنسوب خلال فترات مختلفة، رسمنا المقطع العرضي للسد وقمنا بإدخال مواصفات التربة المكونة لجسم السد، ويبين الشكل (7) الشروط الطرفية للنموذج الأول في الحالة المستقرة، والشكل (8) الشروط الطرفية للنموذج الأول في الحالة غير المستقرة.

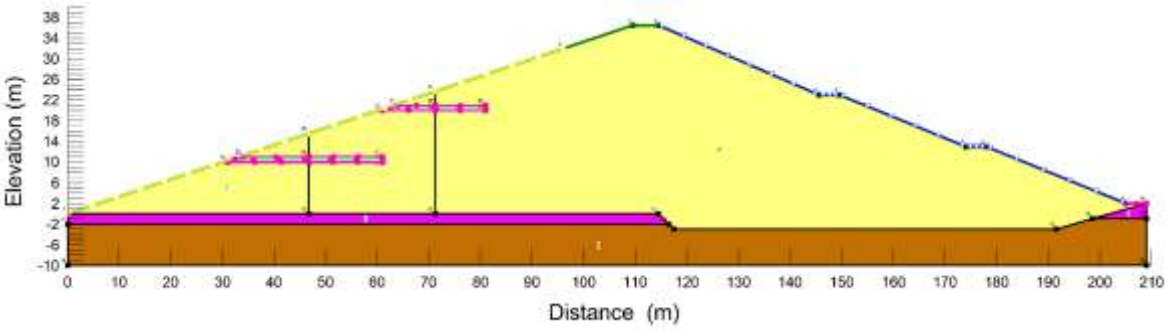
عند إنشاء مصارف افقية في النموذج الثاني والثاني تمت مراعاة أن تكون المصارف ضمن المنطقة المشبعة وبعيدة عن قدم المنحدر الأمامي ولا تتجاوز منتصف المقطع العرضي، وقد قمنا بإختيار أبعاد المصارف تجريبياً مع مراعاة أن يبقى المنحدر مستقراً وأن تلبي المصارف وظيفتها في تجفيف المنحدر أثناء هبوط المنسوب، وقد تم وضع شروط طرفيه في المصارف تعمل على استنزاف المحتوى المائي خلال هبوط المنسوب، ويبين الشكل (9) الشروط الطرفية للنموذج الثاني، ويبين الشكل (10) الشروط الطرفية للنموذج الثالث.



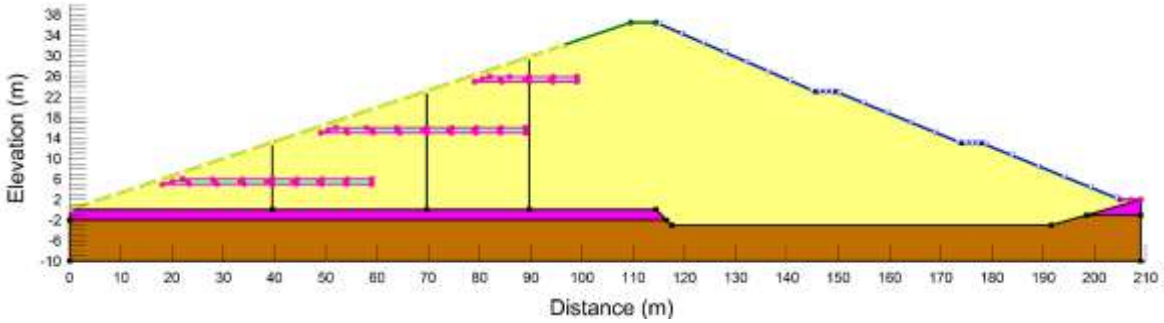

**الشكل (7): الشروط الطرفية للنموذج الأول في الحالة المستقرة.**




**الشكل (8): الشروط الطرفية للنموذج الأول في الحالة غير المستقرة.**




**الشكل (9): الشروط الطرفية للنموذج الثاني.**




**الشكل (10): الشروط الطرفية للنموذج الثالث.**

## النتائج والمناقشة:

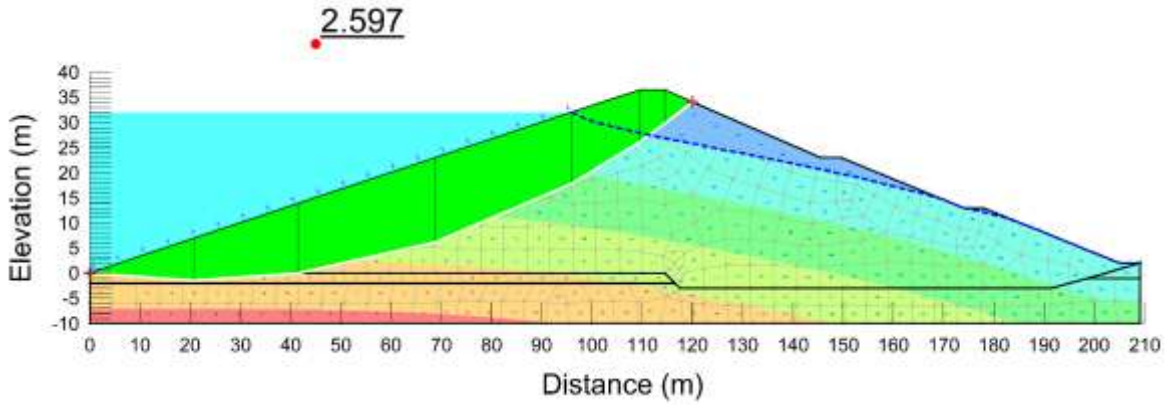
يحسب استقرار منحدرات السدود الترابية وفق مختلف الطرائق المذكورة في طرائق البحث ومواده حيث اعتبرنا أن الإنزلاق المفترض سيكون من اليمني باتجاه اليسار وقمنا بحساب عوامل أمان استقرار السد من خلال برنامج SLOPE/W والذي أظهر نتائج استقرار المنحدر الأمامي لسد الحويز وفق مختلف الحالات.

هناك تباين في قيم عامل الأمان لكل طريقة من طرائق حساب توازن المنحدرات الترابية، علماً أن هذه التباينات والفروقات بسيطة وناتجة عن إهمال بعض الطرائق للقوى الداخلية بينما تدخل القوى الداخلية في الطرائق الأخرى المشروحة في طرائق البحث ومواده، ويعتبر عامل الأمان الأصغري الناتج وفق مختلف الطرائق هو عامل الأمان المعتمد كونه يأخذ بالاعتبار جميع القوى الداخلية المؤثرة على الشرائح.

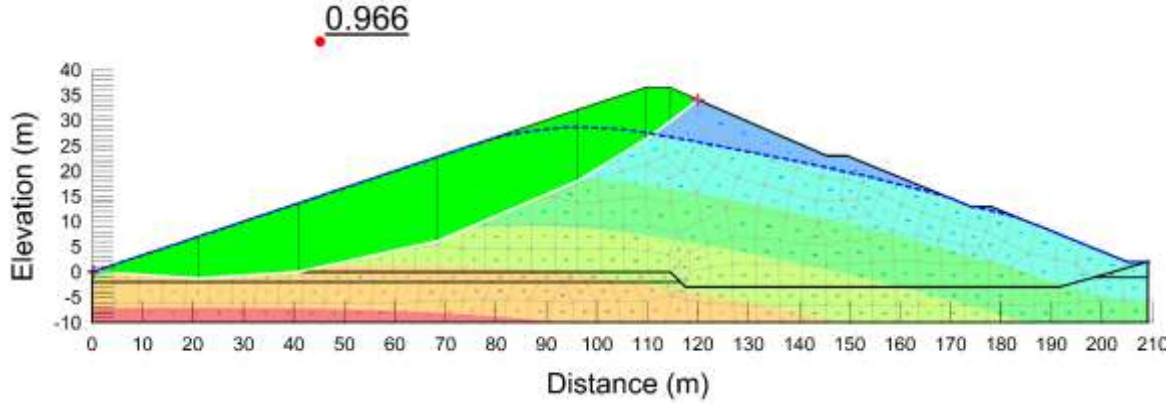
**1- النموذج الأول سد الحويز قبل التعلية وبدون مصارف أفقية.**

في هذا النموذج درسنا سد الحويز قبل التعلية بدون مصارف أفقية برمجياً وتجريبياً وفق حالتين عند الامتلاء وعند التفريغ المفاجئ، ويبين الشكل (11) قيمة عامل الأمان في المنحدر الأمامي عند الامتلاء، حيث بلغ قيمته Fs=2.597، ويبين الشكل (12) قيمة عامل الأمان في المنحدر الأمامي عند التفريغ المفاجئ، حيث بلغت قيمته Fs=0.966.

وبالحساب التجريبي استخدمنا الطريقة التقليدية (Ordinary Method of Slices)، ويوضح الجدول (7) نتائج حساب عامل الأمان عند الامتلاء، حيث بلغت قيمة عامل الأمان Fs=2.823، ويوضح الجدول (8) نتائج حساب عامل الأمان عند التفريغ المفاجئ، حيث بلغت قيمة عامل الأمان Fs=0.935.




**الشكل (11): قيمة عامل الأمان في المنحدر الأمامي عند الامتلاء.**




**الشكل (12):** قيمة عامل الأمان في المنحدر الأمامي عند التفريغ المفاجئ.

**الجدول (7): حساب عامل الأمان عند الامتلاء.**

| | Li | N(kn) | T(kn) | C.L | N.tanΦ |
|---|---|---|---|---|---|
| Sum | 128.1 | 9368.2 | 3125.6 | 3842.0 | 4980.9 |

$$F_s = \frac{\text{C. L} + \text{N. tan}\square}{\text{T}} = \frac{3842 + 4980.9}{3125.6} = 2.823$$

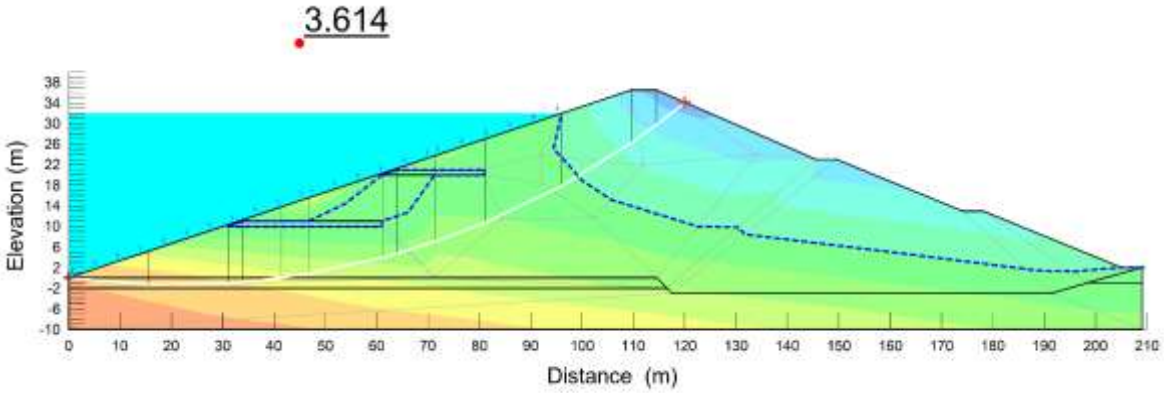
**الجدول (8): حساب عامل الأمان عند التفريغ المفاجئ.**

| | Li | N(kn) | T(kn) | C.L | Zw | U(ɣw.Zw) | U(u.Li) | N-U | (N-U).tanΦ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sum | 128.07 | 9368.16 | 3125.64 | 3842.02 | 47.82 | 478.20 | 11665.21 | -1672.01 | -919.61 |

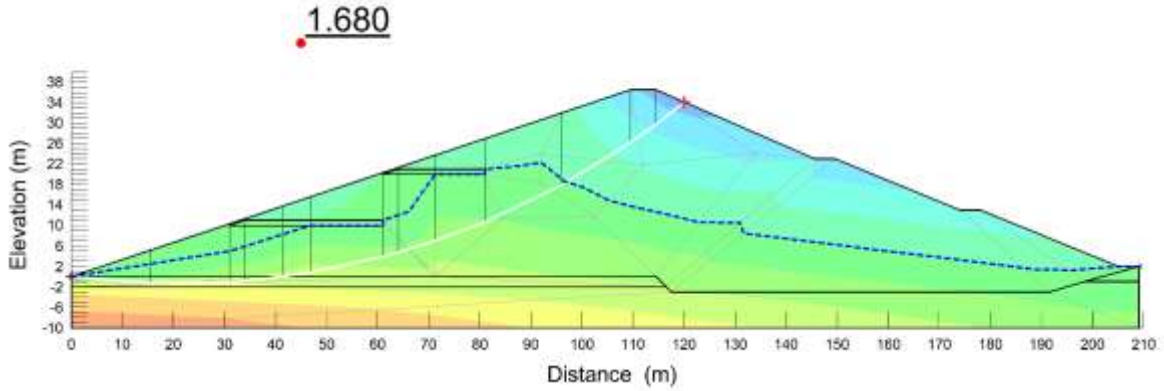
$$F_s = \frac{\text{C. L} + (\text{N} - \text{U}).\tan\square}{\text{T}} = \frac{3842.02 - 919.61}{3125.64} = 0.935$$

**2- النموذج الثاني سد الحويز قبل التعلية عند إنشاء مصرفين افقيين.**

في هذا النموذج درسنا سد الحويز قبل التعلية مع إنشاء مصرفيين أفقيين برمجياً وتجريبياً وفق حالتين عند الامتلاء وعند التفريغ المفاجئ، يبين الشكل (13) قيمة عامل الأمان في المنحدر الأمامي عند الامتلاء، حيث بلغت قيمته Fs=3.614، ويبين الشكل (14) قيمة عامل في المنحدر الأمامي عند التفريغ المفاجئ حيث بلغت قيمته Fs=1.680، وبالحساب التجريبي، يوضح الجدول (9) تفاصيل حساب عامل الأمان عند الامتلاء، حيث بلغت قيمة عامل الأمان Fs=2.846، ويبين الجدول (10) تفاصيل حساب عامل الأمان عند التفريغ المفاجئ، حيث بلغت قيمة عامل الأمان Fs=1.842.




**الشكل(13): قيمة عامل في المنحدر الأمامي لسد الحويز في الحالة المستقرة.**




**الشكل (14): قيمة عامل في المنحدر الأمامي لسد الحويز في الحالة غير المستقرة (حالة التفريغ السريع).**

**الجدول (9): حساب عامل الأمان عند الامتلاء.**

| | tanΦ | Li | N(kn) | T(kn) | C.L | N.tanΦ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Sum | | 162.9 | 9246.6 | 3089.5 | 3842 | 4950.7 |

$$F_s = \frac{3842.02 + 4950.7}{3089.47} = 2.846$$

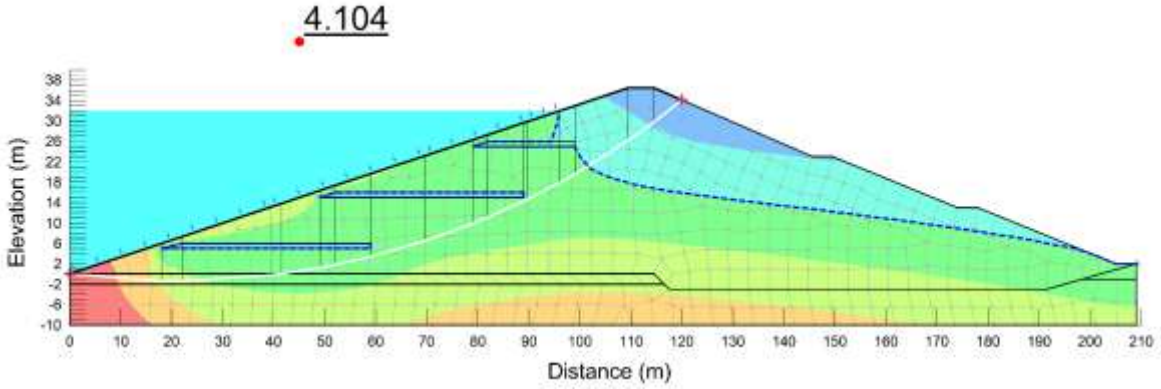
**الجدول (10): حساب عامل الأمان عند التفريغ المفاجئ.**

| | Li | N(kn) | T(kn) | C.L | Zw | u(ɣw.Ze) | U(u.Li) | N-U | (N-U).tanΦ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sum | 162.9 | 9246.6 | 3089.5 | 3842.0 | 25.6 | 255.6 | 6165.8 | 3295.4 | 1849.2 |

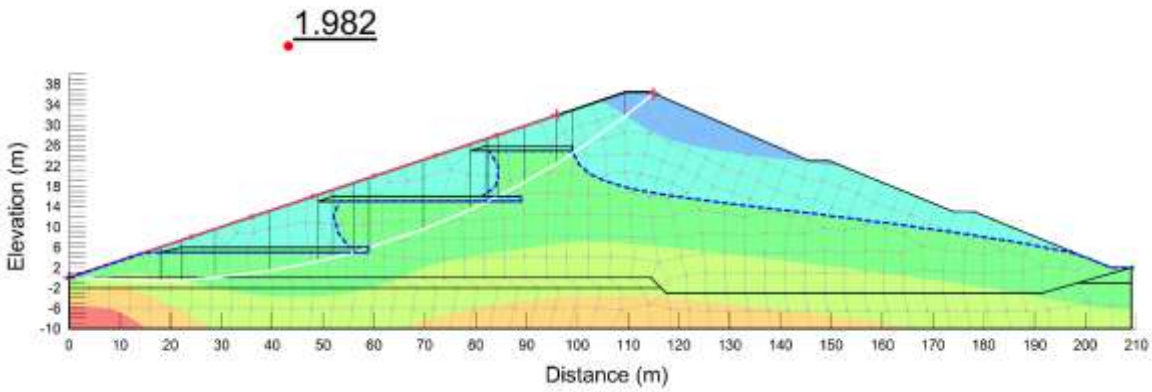
$$F_s = \frac{3842 + 1849.2}{3089.5} = 1.842$$

**3- النموذج الثالث سد الحويز قبل التعلية عند إنشاء ثلاثة مصارف أفقية.**

في هذا النموذج درسنا سد الحويز قبل التعلية مع إنشاء ثلاثة مصار أفقية برمجياً وتجريبياً وفق حالتين عند الامتلاء وعند التفريغ المفاجئ، يبين الشكل (15) قيمة عامل في المنحدر عند الامتلاء، حيث بلغت قيمته Fs=4.104، ويبين الشكل (16) قيمة عامل في المنحدر الأمامي عند التفريغ المفاجئ، حيث بلغت قيمته Fs=1.982. وبالحساب التجريبي يوضح الجدول (11) والجدول (12) تفاصيل حساب عامل الأمان عند الامتلاء وعند التفريغ البمفاجئ، حيث بلغت قيم عوامل الأمان Fs=2.9، و Fs=2.23، على التوالي.




**الشكل (15): قيمة عامل في المنحدر الأمامي عند الامتلاء.**




**الشكل (16): قيمة عامل في المنحدر الأمامي عند التفريغ المفاجئ.**

**الجدول (11): حساب عامل الأمان في الحالة المستقرة.**

| | Li | N(kn) | T(kn) | C.L | N.tanΦ |
|---|---|---|---|---|---|
| Sum | 194 | 9251 | 3065 | 3842 | 4985 |

$$F_s = \frac{3842 + 4985}{3065} = 2.9$$

**الجدول (12): حساب عامل الأمان عند التفريغ السريع.**

| n | Li | N(kn) | T(kn) | C.L | Zw | U(ɣw.Ze) | U(u.Li) | N-U | (N-U).tanΦ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sum | 194 | 9251 | 3065 | 3842 | 18 | 176 | 4159 | 5302 | 2985 |

$$F_s = \frac{3842 + 2985}{3065} = 2.23$$

وتوضح الجداول (13،14،15) نتائج عوامل الأمان وفق مختلف الطرائق في البرنامج والطريقة التجريبية، حيث يبين الجدول (16) ملخص نتائج حساب الاستقرار وقيم عامل الأمان للمنحدر الأمامي وفق النموذج الأول (سد الحويز قبل التعلية بدون مصارف أفقية)، ويبين الجدول (17) ملخص نتائج حساب الاستقرار وقيم عامل الأمان في النموذج الثاني عند إنشاء مصرفيين أفقيين في المنحدر الأمامي لسد الحويز قبلف التعلية، ويبين الجدول (18) ملخص نتائج حساب الاستقرار وقيم عامل الأمان النموذج الثالث عند إنشاء ثلاثة مصارف أفقية في المنحدر الأمامي لسد الحويز قبل التعلية.

**الجدول (16): نتائج حساب الاستقرار وقيم عامل الأمان للمنحدر الأمامي لسد الحويز قبل التعلية بدون مصارف أفقية.**

| طرائق الحساب / حالة السد | طرائق برنامج SLOPE/W | | | | الطريقة التجريبية |
|---|---|---|---|---|---|
| | اوردنيري | العالم بيشوب | العالم جانبو | مورغنسترن–برايس | الشرائح العادية |
| الامتلاء عند منسوب الماء الطبيعي | 2.597 | 2.646 | 2.565 | 2.623 | 2.823 |
| حالة التفريغ المفاجئ | 0.966 | 0.863 | 0.872 | 0.865 | 0.935 |

**الجدول (17): نتائج حساب الاستقرار وقيم عامل الأمان في النموذج الثاني.**

| طرائق الحساب / حالة السد | طرائق برنامج SLOPE/W | | | | الطريقة التجريبية |
|---|---|---|---|---|---|
| | اوردنيري | العالم بيشوب | العالم جانبو | مورغنسترن–برايس | الشرائح العادية |
| الامتلاء عند منسوب الماء الطبيعي | 3.614 | 3.792 | 3.661 | 3.767 | 2.846 |
| حالة التفريغ المفاجئ | 1.680 | 1.691 | 1.662 | 1.682 | 1.842 |

**الجدول (18): نتائج حساب الاستقرار وقيم عامل في النموذج الثالث.**

| طرائق الحساب / حالة السد | طرائق برنامج SLOPE/W | | | | الطريقة التجريبية |
|---|---|---|---|---|---|
| | اوردنيري | العالم بيشوب | العالم جانبو | مورغنسترن–برايس | الشرائح العادية |
| الامتلاء عند منسوب الماء الطبيعي | 4.104 | 4.315 | 4.143 | 4.286 | 2.9 |
| حالة التفريغ المفاجئ | 1.982 | 2.013 | 1.970 | 2.007 | 2.23 |

## الاستنتاجات والتوصيات:

### الاستنتاجات:

1- بينت نتائج الدراسة وجود تباين بسيط في عوامل الأمان وفق مختلف الطرائق الحسابية وهذا التباين ناتج عن إهمال بعض الطرائق للقوى الداخلية المؤثرة على الشرائح.

2- عوامل الأمان في جميع النماذج أكبر من القيم المسموحة (1.3–1.5) في الحالة المستقرة (الامتلاء عند منسوب الماء)، وبالتالي يعتبر المنحدر الأمامي آمن وفق مختلف طرائق الدراسة عندما لا يحدث تفريغ مفاجئ.

3- أظهرت نتائج دراسة النموذج الأول (سد الحويز قبل التعلية بدون مصارف أفقية) أن المنحدر الأمامي غير مستقر عند التفريغ المفاجئ، حيث بغلت أصغر قيمه لعامل الأمان ( 0.863 )=Fs وفق مختلف الطرائق، وهي أقل من القيم الدنيا والتي يجب أن لا تقل عن (1.2–1.3)، وبالتالي سيحدث إنزلاق للمنحدر الأمامي أثناء التفريغ المفاجئ.

4- أظهرت نتائج دراسة النموذج الثاني (سد الحويز قبل التعلية عند إنشاء مصرفين أفقيين) أن المنحدر الأمامي آمن في حالة التفريغ المفاجئ، حيث بغلت أصغر قيمه لعامل الأمان (1.662)=Fs وهي أكبر من القيم الدنيا لاستقرار منحدرات السدود والتي يجب أن لا تقل عن (1.2–1.3) عند التفريغ السريع، وبالتالي اسهمت المصارف الأفقية ضمن المنحدر الأمامي في زيادة قيمة عامل الأمان عند التفريغ السريع للخزان ويعزى ذلك لقدرة المصارف على تجفيف المنحدر الأمامي اثناء هبوط المنسوب والتخفيف من آثار القوى التي يسببها التسرب العكسي.

5- أظهرت نتائج دراسة النموذج الثالث (سد الحويز قبل التعلية عند إنشاء ثلاثة مصارف أفقية) ضمن المنحدر الأمامي لسد الحويز أنه آمن في حالة التفريغ السريع للخزان، حيث بلغت عوامل الأمان (1.970)=Fs وهي قيم أكبر من القيم الدنيا لاستقرار منحدرات السدود التي يجب أن لا تقل عن (1.2–1.3) عند التفريغ السريع، وبالتالي فإن إنشاء المصارف الأفقية ضمن الوجه الأمامي للسدود الترابية يسهم في زيادة الاستقرار بشكل بسيط في الحالة المستقرة ولا يهدد استقرار السد أثناء الملء الأولي للخزان.

6- تبين من النماذج أن زيادة عدد المصارف يسهم في زيادة قيمة عامل الأمان وبالتالي زيادة استقرار السد.

**التوصيات:**

1- إنشاء المصارف الأفقية في المنحدرات الأمامية للسدود الترابية بدلاً من إنشاء سدود ركامية، وذلك لفعاليتها في زيادة قيم عوامل الأمان وزيادة الاستقرار في السدود الترابية.

2- تنفيذ المصارف الأفقية بشكل جيد بحيث تضمن قدرتها على العمل لتصريف المياه اثناء هبوط منسوب الماء بشكل أمين، وتكون متدرجة الأقطار بحيث تعمل كفلتر يمنع تآكل التربة المكونة لجسم السد اثناء التسرب العكسي بتنظيفها من الحبيبات الناعمة (غربلة مواد إنشاء المصرف).

**3-** دراسة أبعاد وحجم وتوضع المصارف الأفقية ضمن الوجه الأمامي للسدود الترابية وتقييم وتأثيرها على الاستقرار، والتوسع في هذا النوع من الأبحاث.

## References:

[1] FATTAH, M; OMRAN, H; HASSAN, M. *Flow and stability of Al-Wand earth dam during rapid drawdown of water in reservoir*, Engineering Department, University of Technology, Baghdad, Iraq. Vol.(22) No.(1) 2017, 43-57.

[2] FATTAH, M; OMRAN, H; HASSAN, M. *Behavior of an Earth Dam during Rapid Drawdown of Water in Reservoir – Case Study*, International Journal of Advanced Research Baghdad, Iraq. Vol.( 3), No.(10), 2015, 110 -122.

[3] ALONSO, E; PINYOL, N; OLIVELLA, S. *Rapid drawdown in slopes and embankments, Water Resour Research*, Department of Geotechnical Engineering and Geosciences, Universitat Polite`cnica de Catalunya, Barcelona, Spain., Vol.(44), W00D03, 15-1-2020.

[4] ALFATLAWI, T; AL-TEMIMI, Y; ALOMARI, Z. *Evaluation of the upstream slope stability of earth dams based on drawdown conditions - Khassa Chai Dam: a case study*,

University of Babylon, Department of civil Engineering, Babylon, Iraq. Materials Science and Engineering 671 (2020) 012072, 22/1/2020. <10.1088/1757-899X/671/1/012072, 2020>.

[5] MOHARRAMI, A; HASSANZADEH, Y; SALMASI, F; MORADI, G; MOHARRAMI, G. *Performance of the horizontal drains in upstream shell of earth dams on the upstream slope stability during rapid drawdown conditions*, Department, Tabriz University, Tabriz, Iran. 2013, 22/1/2020. <10.1007/s12517-013-0872-y>.

[6] BOUSHEHRIAN, A; REZAEE, A; VAFNMAND, A. *Studying the Effect of Horizontal Drains on Stability of Heterogeneous and Homogeneous Earth Dams during Rapid Drawdown Condition*, Journal of Structural Engineering and Geotechnics, Department of Civil Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad, Iran. Vol.(7) No.(1) 2017, 31- 45.

[7] ZOMORODIAN, A; ABODOLLAHADEH, M. *Effect of Horizontal Drains on Upstream Slope Stability During Rapid Drawdown Condition*, INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOLOGY, Vol.(4) 2010, 85-90.

[8] OZER, A; B, L. *Use of geocomposite drain against rapid-drawdown loading for roller-compacted concrete (RCC) armored earth dam*, Geosynthetics International, Civil Engineering Department, Okan University, Istanbul, Turkey, Vol(18) No.(5) 2011, 207–220.

[9] MALEKPOUR, A; FARSADIZADEH, D; DALIR, A; ADREKARIMI, J. *Effect of horizontal drain size on the stability of an embankment dam in steady and transient seepage conditions*, , University of Tabriz, Tabriz-IRAN, Vol.(36) 2012, 139-152.

[10] FOUIT, F; SOKR, J. *Analysis the Effect of soil permeability on stability of the upstream shell of the dam under rapid drawdown(Braddon dam)*.Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series.Vol.( 37) No.(6) 2015,402-415.

[11] FARKOUH, B; MANSOUR, H. *Slope Stability Under Rapid Drawdown Conditions Ghadir Al-Bustan Dam*, Thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Master, Department of Water Engineering Faculty of Civil Engineering Damascus University, 2017.

[12] ZOLKEPLI, M. F; ISHAK, M. F; ZAINI, M. S. I. *Slope stability analysis using modified Fellenius's and Bishop's method*. Faculty of Engineering Technology, Universiti Malaysia Pahang, 26300 Kuantan, Vol.( 527) No.(012004) 2019, < doi:10.1088/1757-899X/527/1/012004>.

[13] HUNGR, O. *An extension of Bishop's simplified method of slope stability analysis to three dimensions*. Tufts University USA , Vol.( 37) No.(1) 2016,113-117.

[14] AHMED, A. UGAI, K. and YANG, Q. Q. A*ssessment of 3D Slope Stability Analysis Methods Based on 3D Simplified Janbu and Hovland Methods*. Gunma Univ, International Journal of Geomechanics Japan. Vol.( 12) No.(2) 2012,81-89.

[15] Maheshwari, B.K. Prajapati, S. *Slope Stability Evaluation by Different Limit Equilibrium Methods, Indian Institute of Technology Roorke, Bombay*. 2016. INDOROCK201641. p. 23

[16] DANNY, K. JAMES, R. TALBOT, P.E. DAVID, P. NOAH, D. VROMAN, P.E. LANDRIS, T. LEE, P.E. U.S. *Filters for Embankment Dams*, The Federal Emergency Management Agency's (FEMA) National Dam Safety Program and Army Corps of Engineers (USACE), 2011.