

## تأثير تغير عوامل المقاومة والمرونة لمواد جسم السد على عوامل الأمان

\* \* د. نوار كعدان

\* م محمود تلج

(الإيداع: 28 شباط 2019، القبول: 5 آب 2019)

## الملخص:

يهدف هذا البحث إلى معرفة التغيرات التي تطرأ على عوامل الأمان عند تغير طبيعة المواد المستخدمة في بناء السدود الترابية وخاصة عوامل المرونة والمقاومة. لهذه الغاية أجريت الدراسة على سد محردة وهو سد ركامي، حيث قمنا بدراسة توازن كل من وجهي السد باستخدام برامج (GEO-STUDIO) وبحالتي بحيرة التخزين ممتلئة حتى المنسوب الأعظمي و ممتلئة حتى المنسوب الأصغري وباستخدام البرامج العددية المعتمدة على طريقة العناصر المحدودة وقمنا بتغير كل وسيط ضمن مجاله المحتمل مع بقاء الوسطاء الأخرى ثابتة عند قيمها، وبينت النتائج أن عامل الأمان يعتمد بشكل أكبر على بزواوية الاحتكاك الداخلي للركام الصخري. وأخيراً تم اقتراح جملة من الملاحظات.

الكلمات المفتاحية: طريقة العناصر المحدودة-السدود الترابية-عامل الأمان

\* طالب دكتوراه في كلية الهندسة المدنية في جامعة حلب

\* \* أستاذ في قسم الهندسة الجيوتكنيكية في جامعة حلب

## The Effect of Differences Dam's Bodymaterials on Factories of Elasticity and Strength on Safety Factor

\*Mahmoud Toloj

\*\*DR.Nawar kadan

(Received:28 February 2019,Accepted: 5 August 2019)

### Abstract:

This search aims to know the effects of differences of earth Dam's Bodymaterials specifically on elasticity and strength factors,  
Using Geo–studio software on analyzing the slop stability of Maharadeh Dam, the factor of safety was determined considering two conditions:  
The case of maximum level of water and the case of minimum level of water using numerical programs that depends on the finite elements method, by changing each factor within its possible range with the stability of the other factories still fixed. The results show that the safety factor depends mostly on angle of internal friction. Finally, some suggestions have been given.

**Keyword:** finite elements method, Earth dam, factor of safety.

---

\*PHD Student in civil engineering in Aleppo University

\*\* Prof in civil engineering in Aleppo University

**1-مقدمة:**

تعتبر دراسات توازن المنحدرات الترابية من أهم الدراسات المتعلقة باستقرار السدود الترابية والمقاطع الطرقية والمنحدرات الطبيعية. إن السبب الرئيس في انزلاق المنحدرات الترابية هو عدم كفاية مقاومة التربة على القص لتربة المنحدر لمقاومة إجهادات القص المطبقة على سطح انزلاق المنحدر والقوى الخارجية المطبقة على المنحدر. أما قيمة مقاومة التربة على القص لسطح الانزلاق فتتعلق بنوع تربة المنحدر وتغير مواصفات هذه التربة مع الزمن بتأثير الظروف الخارجية كما تتعلق أيضاً بشكل سطح الانزلاق المتوقع. تنزلق المنحدرات وفق سطوح مستوية غالباً في التربة المتطبقة ووفق سطوح دورانية بالتربة المتجانسة، يحدد عامل أمان توازن المنحدر بنسبة مقاومة التربة على القص إلى قيمة إجهاد القص المطبق على سطح الانزلاق.

تبنى دراسات تحليل توازن المنحدر على أساس التوازن الحدي حينما يكون ذلك ممكناً ويعبر عن درجة التوازن بعامل الأمان، وهو نسبة القوى المقاومة للانزلاق إلى القوى المولدة للانزلاق وعندما يكون عامل الأمان مساوياً إلى الواحد يكون المنحدر على وشك الانزلاق، وهناك طرقٌ أخرى لتحديد عامل الأمان وهي الطرق العددية المعتمدة على طريقة العناصر المحدودة. يدخل في حساب القوى المولدة للانزلاق القوى العائدة للوزن الذاتي والقوى الخارجية المطبقة، وقوى دفع الماء إن وجد، والقوى التي تولدها الهزات الأرضية، كما يدخل في حساب القوى المانعة للانزلاق مقاومة القص (التماسك والاحتكاك) على سطوح الانزلاق وقوى التثبيت(كالشدادات) وفي كل الأحوال يعتمد تحليل التوازن على القوى أو الإجهادات الفعالة دوماً.

**2-الغاية من البحث:**

تسليط الضوء على التغييرات التي تؤثر على تفاصيل التصميم عند تغيير طبيعة المواد المستخدمة في بناء السدود الترابية، وخاصة عوامل المرونة وعوامل المقاومة، وبحيث تؤدي إلى تصاميم أكثر أماناً واقتصاداً والتركيز على الاستخدام الفعال لمواد البناء المتوفرة في المنطقة إذا توفرت مقالع لمواد مختلفة تؤمن اختيار البدائل باستخدام البرامج العددية المعتمدة على طريقة العناصر المحدودة.

كتطبيق عملي فقد تم اختيار سد محردة الواقع في محافظة حماه وهو عبارة عن سد ركامي يقع على نهر العاصي على بعد 2Km بعكس مجرى النهر من دخوله مناطق السهل المفتوح في وادي العشارنة ، حيث توفرت فيه مجموعة من المعطيات المتعلقة بالتحريات الحقلية والمخبرية والمقاطع العرضية وخواص المواد المستخدمة في بنائه حيث قمنا بنمذجته ودراسة استقرار السد في وضعه الحالي تحت تأثير الحمولات الستاتيكية والديناميكية وذلك باستخدام حزمة البرامج GEOSTUDIO، وبيان أثر حالات التحميل المختلفة على استقراره ، ثم تم التحقق من عامل الأمان وحساسيته للتغيرات المحتملة في المعطيات، وبناء على ذلك قمنا بتغيير كل وسيط ضمن مجاله المحتمل مع بقاء الوسطاء الأخرى ثابتة عند قيمها وتحليل الحساسية هذا مهم في تحديد الوسطاء الأكثر حرجاً .

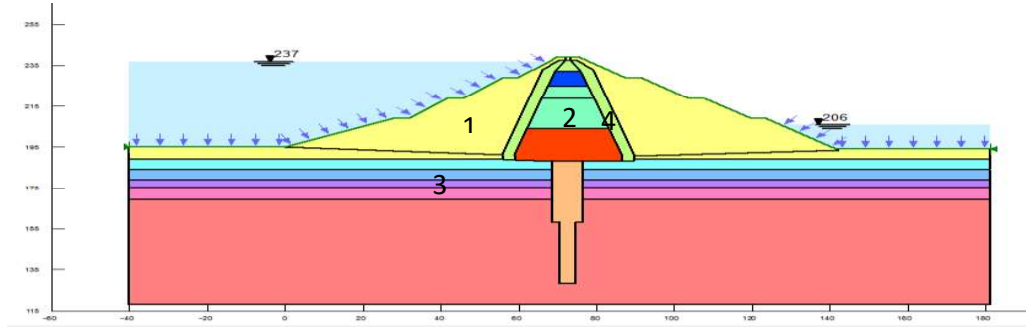
**3-أهمية البحث:**

تكمن في نتائج هذه الدراسة التي ستؤدي إلى تصاميم أكثر أماناً واقتصاداً بعد إجراء دراسة اقتصادية أولاً في إسقاط نتائج هذا البحث على الدراسات المستقبلية لسدود المنطقة.

**المسألة المدروسة:**

تم اختيار سد محردة لإجراء الدراسة وهو عبارة عن سد ركامي مكون من ردم صخري ذو نواة غضارية مركزية كتيمية تفصل في جانبيها عن الردم الصخري بفلاتر سماكتها الاجمالية 3.2m ويفترض التصميم تنفيذ صفيين من ستائر المونة الاسمنتية بعمق 30m عند الوجه المغمور للسد و 60m عند وجهه الجاف ، المسافة بين صفي المونة الاسمنتية هي 2m حيث يقع كل منهما على بعد 1m من محور السد . المسافة التصميمية بين ثقب المونة هي 6m مع مسافة انزياح قدرها 3m بين ثقب الصفيين.

ويبين الشكل (1) مقطعاً عرضياً في سد محردة



الشكل رقم (1): مقطع عرضي في سد محردة

- حيث أن : 1- ردميات صخرية مرصوفة  
2- ردميات غضارية للنواة  
3- طبقة أساس صخري من الحجر الكلسي  
4- طبقة الفلاتر

ويبين الجدول (1) مواصفات هذه الطبقات حسب المواصفات التصميمية

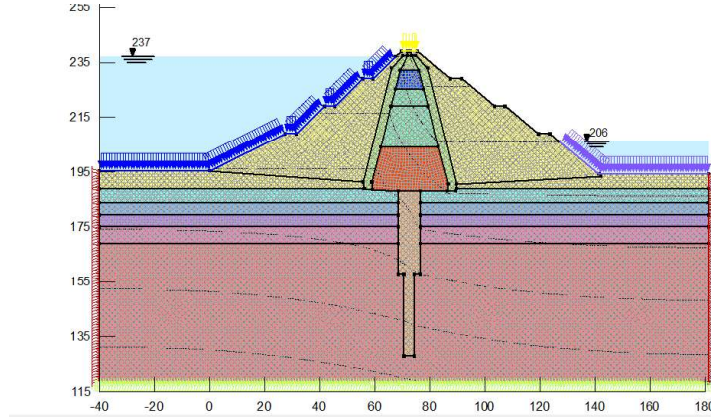
الجدول رقم (1): مواصفات الطبقات حسب المواصفات التصميمية

Parameter	Units	Shell Material	Core Material	Filter Material	Foundator
نوع المادة		ركام صخري	مواد غضارية	أمواد رملية	صخر
وزن وحدة الحجم ( $\gamma$ )	KN/m <sup>3</sup>	23	19.4	20	23
زاوية الاحتكاك الداخلي	(degree)	50	22	30	45
C التماسك	KPa	0	33	0	100
عامل المرونة	Kpa	$1 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^5$	$2.63 \cdot 10^3 - 11.9 \cdot 10^3$	$20.0 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^6$
عامل بواسيون		0.3	0.45	0.33	0.28
اللفافية	m/sec	1	$7.39 \cdot 10^{-12} - 1.26 \cdot 10^{-11}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$5.78 \cdot 10^{-8} - 2.66 \cdot 10^{-6}$

وقد مرت الدراسة بالحالة الستاتيكية بالمراحل التالية:

- 1- نمذجة السد وشبكة العناصر المحدودة على واجهة البرنامج GEO-STUDIO تم رسم نموذج السد وتحديد مواصفات مواد بناء جسم السد بالإضافة إلى تحديد الشروط الطرفية للأساس بعدم الحركة الأفقية والشاقولية، أما الشروط الطرفية للحواف الشاقولية فهي ممنوعة من الحركة الأفقية وسمح لها بالحركة الشاقولية فقط.
- ويبين الشكل (2) الشكل النهائي للرسم على نافذة برنامج GEO-Studio مع طبقات التربة المكونة للسد والسد بحالة التخزين الأعظمي. ونشير أنه رسم شبكة العناصر المحدودة بعد تحديد أنواع التربة المشكلة للسد و خواص التربة وسلوكها

(خطية أم مرنة – لدنة) وتم اعتماد الخواص الخطية ومن ثم توليد شبكة العناصر المحدودة لكل منطقة حيث يحدد أبعاد شبكة العناصر المحدودة بحيث يكون أصغر ما يمكن وبشكل يمكن رؤيته بشكل واضح من قبل المستخدم وبعده أشكال، يقوم البرنامج بالدراسة على أساس البعد الثالث العمودي على الرسم بقيمة واحدة ويجب أن تنطبق شبكة العناصر المحدودة على خطوط رسم طبقات تربة السد وإلا ستكون النتائج غير صحيحة

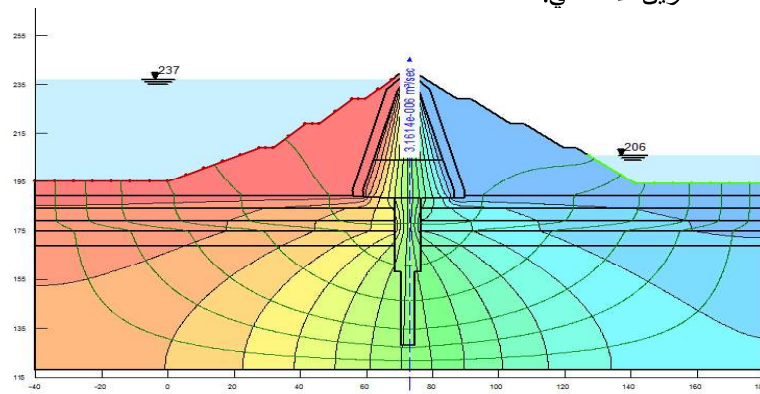


الشكل رقم (2): شبكة العناصر المحدودة لسد محرقة وقد بلغت / 20079 / عنصر محدد

2- حساب كمية التسرب ضمن جسم السد وقيم ضغط ماء المسام والضاغط الكلي في كل نقطة من السد باستخدام البرنامج الفرعي seep/w ولمعرفة الرشوات يجب تحديد معلومتين أساسيتين: الأولى سطح التسرب الحر والثانية حساب غزارة الرش وباعتماد الشروط الطرفية .

### 1- حالة التخزين الأعظمي:

على الوجه الأمامي للسد الضاغط الكلي في حالة التخزين الأعظمي 237m أما على الوجه الخلفي للسد الضاغط الكلي في حالة التخزين الأعظمي 206m ونلاحظ أن قيمة التسرب في حالة التخزين الأعظمي في المقطع المدروس  $Q=3.16 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$  كما يبين الشكل (3) شبكة التسرب في حالة التخزين الأعظمي.

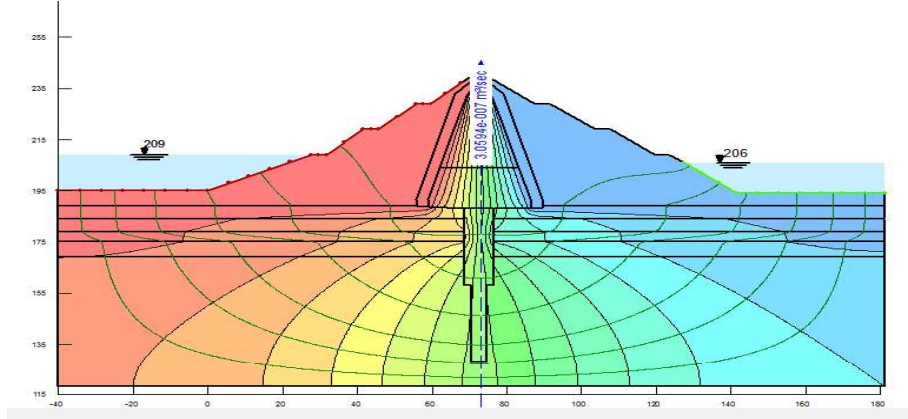


الشكل رقم (3) شبكة التسرب في حالة التخزين الأعظمي

### 2- حالة التخزين الأصغري:

على الوجه الأمامي للسد الضاغط الكلي في حالة التخزين الأصغري 209m أما على الوجه الخلفي للسد الضاغط الكلي في حالة التخزين الأصغري 206m وأن قيمة التسرب

في حالة التخزين الأصغري في المقطع المدروس  
شبكة التسرب في حالة التخزين الأصغري. (4) كما يبين الشكل (4)  $Q_2=3.0 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{sec}$

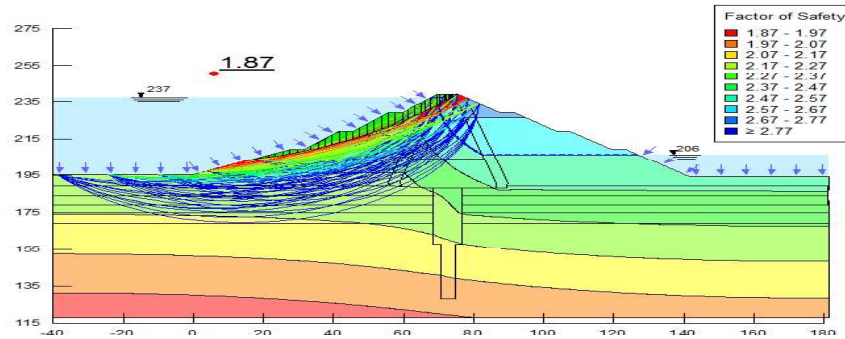


الشكل رقم (4): شبكة التسرب في حالة التخزين الأصغري

### 3- حساب عامل الأمان بطريقة العناصر المحدودة:

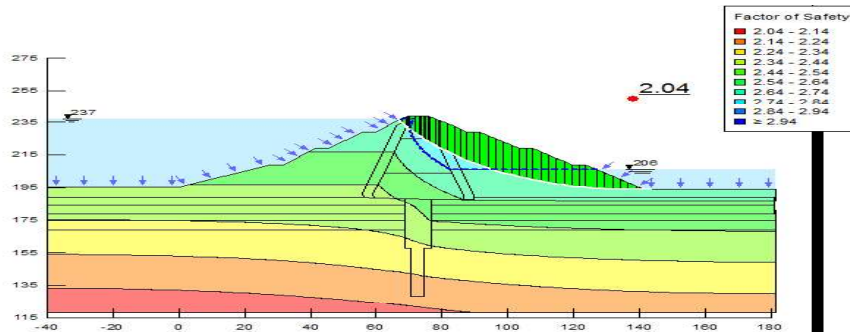
1 - عامل الأمان تحت حمولات الاستمرار ( وزن السد + حمولة منتظمة تكافئ حمل آليات مقداره  $10 \text{ kN/m}^2$  + حمل الماء ) حيث يكون مستوى الماء عند المنسوب  $237 \text{ m}$  في بحيرة السد والتربة مغمورة في جسم السد ويؤثر وزن الماء عمودياً على وجه السد .

ويبين الشكل (5) عامل الأمان الأصغري للوجه الأمامي عند التخزين الأعظمي وفق طريقة (FEM)



الشكل رقم (5): عامل الأمان الأصغري للوجه الأمامي عند التخزين الأعظمي وفق طريقة (FEM)

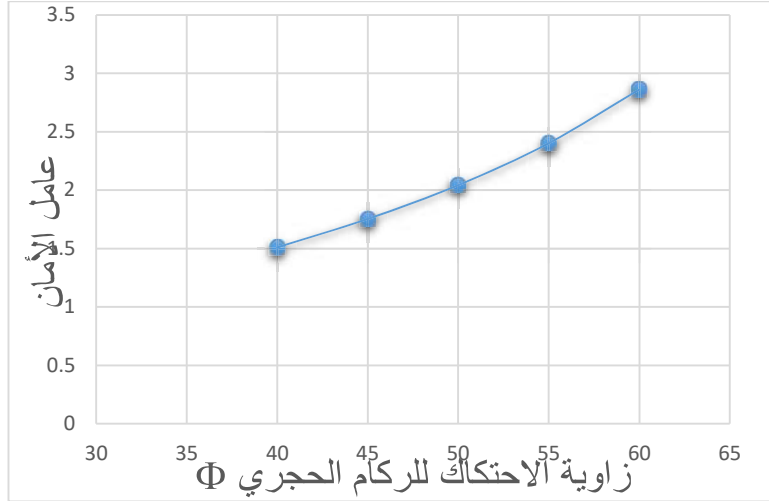
ويبين الشكل (6) عامل الأمان الأصغري للوجه الخلفي عند التخزين الأعظمي وفق طريقة (FEM)



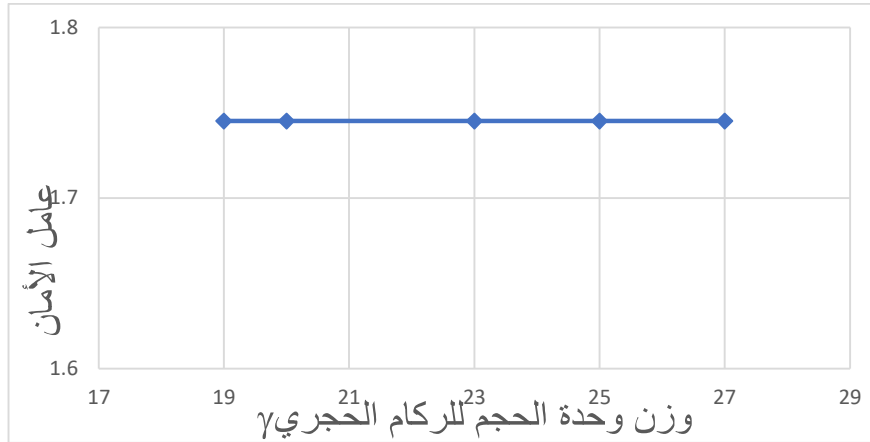
الشكل رقم (6): عامل الأمان الأصغري للوجه الخلفي عند التخزين الأعظمي وفق طريقة (FEM)

ولأجل فهم مدى تأرجح قيمة عامل الأمان للسد للوجه الخلفي عند التخزين الأعظمي على استقراره تم اعتماد القيم المتغيرة للركام الحجري:

- الزاوية الداخلية للاحتكاك 50 درجة بتزايد 10 درجات نحو الأعلى وتناقص 10 درجات
  - وزن وحدة الحجم  $23 \text{Kn/m}^3$  بتزايد  $4 \text{Kn/m}^3$  وتتناقص بنفس القيمة
- ونبين بالأشكال (7-8) تأثير القيم المتغيرة للركام الحجري على عامل الأمان



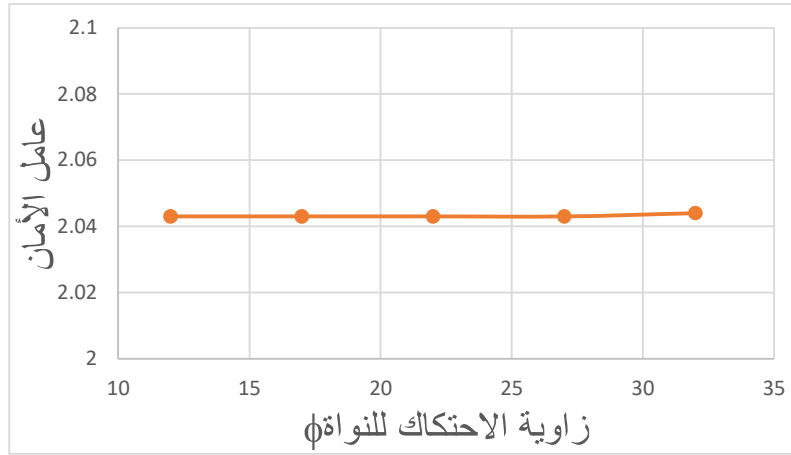
الشكل رقم (7): تأثير تغير قيمة زاوية الاحتكاك ( $\Phi$ ) للركام الحجري على عامل الأمان



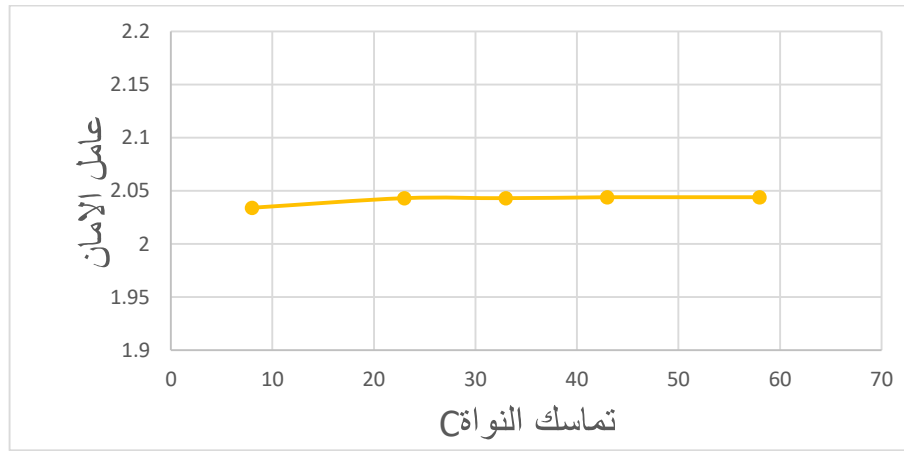
الشكل رقم (8): تغير وزن وحدة الحجم ( $\gamma$ ) للركام الحجري على عامل الأمان

وأيضاً لمعرفة مدى تأرجح قيمة عامل الأمان للسد للوجه الخلفي عند التخزين الأعظمي على استقراره تم اعتماد القيم المتغيرة لمواد نواة السد والفلتر:

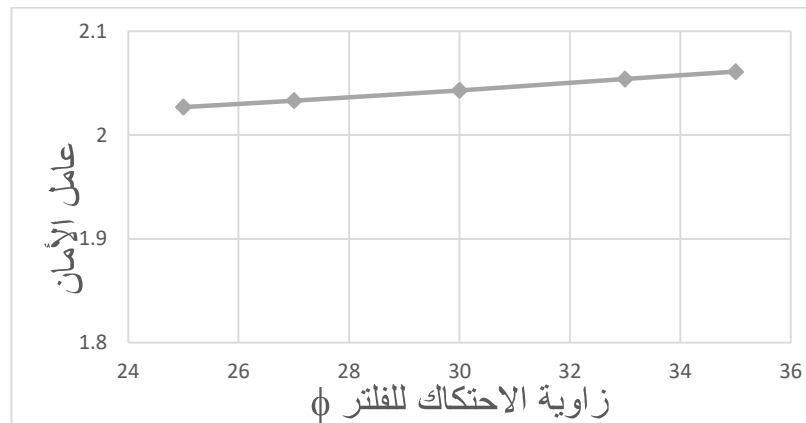
- الزاوية الداخلية للاحتكاك 22 درجة بتزايد 10 درجات نحو الأعلى وتناقص 10 درجات
  - تماسك مواد نواة السد  $33 \text{KN/m}^2$  بتزايد  $25 \text{KN/m}^2$  وتتناقص بنفس القيمة
  - الزاوية الداخلية للاحتكاك للفلتر 30 درجة بتزايد 5 درجات نحو الأعلى وتتناقص 5 درجات
- ونبين بالأشكال (9-10-11) تأثير القيم المتغيرة لمواد نواة السد والفلتر على عامل الأمان



الشكل رقم (9): تغير زاوية الاحتكاك للنواة ( $\phi$ ) على عامل الأمان



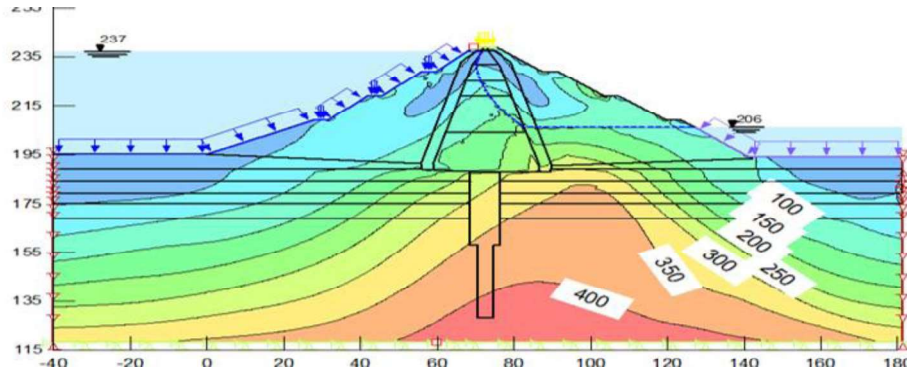
الشكل رقم (10): تأثير تغير تماسك النواة (C) على عامل الأمان



الشكل رقم (11): تغير زاوية الاحتكاك للفلتر ( $\phi$ ) على عامل الأمان

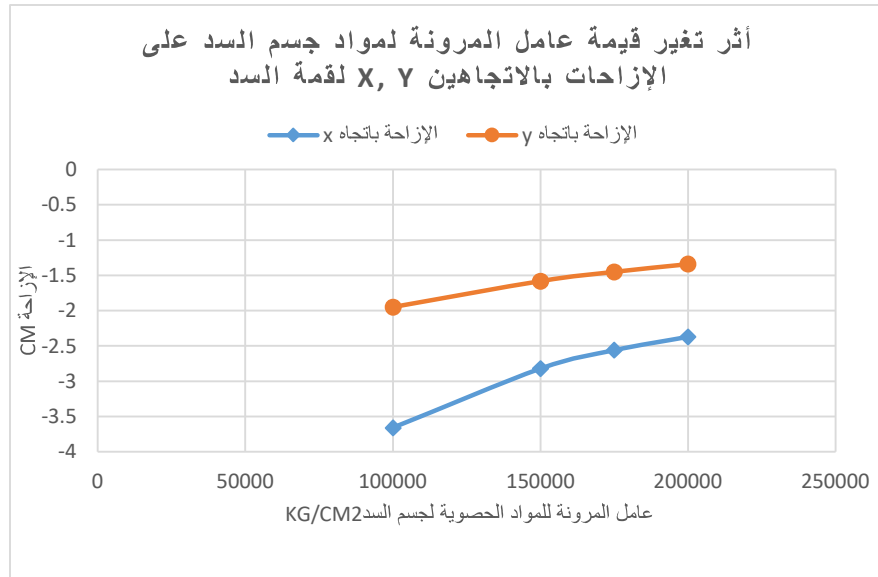
ونبين بالشكل (12) النقاط المرجعية على السد



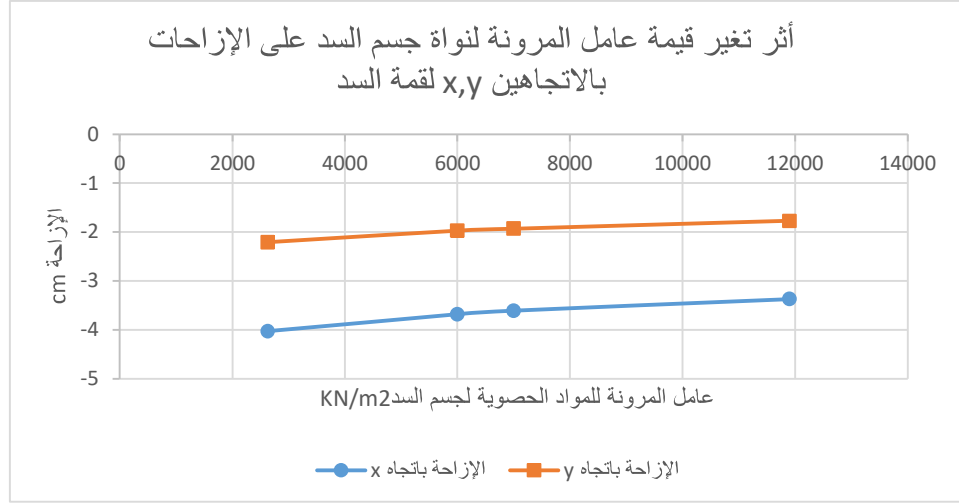


الشكل رقم (12): النقاط المرجعية على السد

ولقد تم التحقق من عامل الأمان وحساسيته للتغيرات المحتملة في المعطيات بالنسبة لعوامل المرونة الركام الحجري ومواد نواة السد أثناء تعرض السد لهزة أرضية شدتها (0.1g) بعد تحديد الشروط الطرفية للأساس بعدم الحركة الأفقية والشاقولية، أما الشروط الطرفية للحواف الشاقولية فهي ممنوعة من الحركة الشاقولية وسمح لها بالحركة الأفقية فقط وحيث قمنا بتغيير قيمة عامل المرونة ضمن مجاله المحتمل مع بقاء الوسطاء ثابتة عند قيمها الوسطية ونبين بالأشكال (13-14) تغير قيمة عامل مرونة الركام الحجري ومواد نواة السد على الإزاحات بالاتجاهين  $x, y$  للنقطة المرجعية التي تقع على قمة السد



الشكل رقم (13): تغير قيمة عامل المرونة لمواد جسم السد على الإزاحات بالاتجاهين  $x, y$  لقمة السد



الشكل رقم (14): تغير قيمة عامل المرونة لنواة جسم السد على الإزاحات بالاتجاهين x,y لقمة السد

#### 4-النتائج والمناقشة:

- إن عامل الأمان يتعلق بشكل أساسي بزواوية الاحتكاك الداخلي للركام الصخري المكون لجسم السد فعند زيادة زاوية الاحتكاك الداخلي للركام الصخري بمقدار 10 درجات يزداد عامل الأمان بمقدار حوالي 35%
- إن تأثير كل من زاوية الاحتكاك الداخلي للفلتر والنواة وتماسك النواة ووزن وحدة الحجم للركام الصخري محدود على عامل الأمان
- عند زيادة عامل المرونة لمواد جسم السد (الركام الصخري) بمقدار 50% تنقص الإزاحة للنقطة المرجعية على قمة السد بالاتجاه x حوالي 30%
- عند زيادة عامل المرونة لمواد جسم السد (الركام الصخري) بمقدار 50% تنقص الإزاحة للنقطة المرجعية على قمة السد بالاتجاه y بحوالي 23%
- عند زيادة عامل المرونة لمواد نواة السد بمقدار 100% تنقص الإزاحة للنقطة المرجعية على قمة السد بالاتجاه x بحوالي 9%
- عند زيادة عامل المرونة لمواد نواة السد بمقدار 100% تنقص الإزاحة المرجعية على قمة السد بالاتجاه y بحوالي 11%.
- تتعلق الإزاحة للنقطة المرجعية على قمة السد بالاتجاه y,x بشكل أساسي بقيم عامل المرونة لمواد جسم السد (الركام الحجري).

المراجع العلمية :

المراجع العربية:

1- طريقة العناصر المنتهية The finite Elements method – محمد نزيه ايلوش الموسوعة العربية WWW

Arab Encyclopedia.com.

المراجع الأجنبية:

1. Stability Modling Slop/ w book, a computer program , John Krahn – Canada May 2004

" WWW–GEO–Slop.com

2. Application of the finite element to slop stability article prepared for rocnews ,

Rocscience Inc. Toronto , 2001–2004 .