المقارنة بين الطرائق العددية والطرق التقليدية في حساب عامل الأمان لسد الحويز

* م محمود تلج ** د. نوار كعدان

(الإيداع: 23 نيسان 2019، القبول: 4 آيلول 2019)

الملخص:

تهدف هذه الدارسة إلى المقارنة بين الطرائق العددية والطرق التقليدية في حساب عوامل الأمان للسدود الترابية.

و تم اختيار طريقة العناصر المحدودة لكونها إحدى الطرق العددية وتم اختيار طريقة سبنسر باعتبارها إحدى الطرق التقليدية التي تستخدم معادلات التوازن الحدي.

تم تطبيق هذه الدارسة على سد الحويز درسنا توازن كل من وجهي السد باستخدام برامج (GEO–STUDIO) وبحالتي تحميل مختلفتين بكل من طريقتي سبنسر والعناصر المحدودة وحساب عامل الأمان للسد.

وبينت النتائج التي حصلنا عليها وجود توافق في قيم عوامل الأمان المحسوبة بكلتا الطريقتين وتم اقتراح ما يلي:

1. تتطابق نتائج طريقة العناصر المحدودة وطريقة سبنسر بسبب تتطابق توزع الإجهاد الناظمي.
2. في طريقة العناصر المحدودة يوجد لكل شريحة عامل أمان خاص بها وعامل أمان كلي للمنحدر أما في طريقة سبنسر فعامل الأمان له قيمة واحدة.
3. في طريقة العناصر المحدودة نستطيع معرفة سلوك مواد المنحدر وتأثيرها على آلية وشكل انهيار المنحدر أما طرق التوازن الحدي فلا تأخذ بعين الاعتبار سلوك المادة وتفترض شكل انهيار للمنحدر بعيداً عن طبيعة التربة المكونة له وعن ظروف وسرعة التصريف.

الكلمات المفتاحية: طريقة العناصر المحدودة –طريقة سبنسر –عامل الأمان في السدود الترابية

* طالب دكتوراه في كلية الهندسة المدنية في جامعة حلب.

** أستاذ في قسم الهندسة الجيوتكنيكية في جامعة حلب.

Comparison of numerical methods and traditional ways of calculating safety factor for Al-Hawiz Dam

* Mahmoud Toloj **DR.Nawar kadan

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

Abstract:

The aim of this study is to compare numerical methods and traditional ways of calculating safety factors for earth dam.

The finite element method was chosen as one of the numerical methods and the Spencer method was chosen as a traditional way using the critical equations.

This study was conducted on Al-Hawiz Dam and we studied the balance of both sides of the dam using the GEO-STUDIO software and two loading modes in both Spencer and the limited elements.

The results obtained in each of the two methods having a consensus between safety factors in spencer method and finite element method because normal stress distribution The finite element method each slide exists own safety factor and total safety factor for the slope while spencer method the safety factor has one value, and a number of suggestions and recommendations were proposed.

Keyword: finite elements method' Spencer's method, dam safety factors.

* PHD Student in civil engineering in Aleppo University

** Prof in civil engineering in Aleppo Universit

1- مقدمة:

إن انهيار أي منحدر يكون نتيجة لعدم قدرة مقاومة القص للكتلة المنزلقة على التغلب على اجهادات القص الفعلية، فعامل الأمان هو القيمة التي يتم من خلالها فحص حالة الاستقرار للمنحدرات[2]

فعندما :

(عامل الأمان) فالمنحدر مستقر FOS >1

فالمنحدر غير مستقر FOS <1

كما يلي:FOS يتم حساب

$$\mathbf{FOS} = \frac{\tau}{\tau_f}$$

هي مقاومة القص لتربة المنحدر ويتم حسابها من معيار مور –كولومب هي كالتالي:τحيث:

$$\tau = C + \sigma_n \tan \varphi$$

اجهادات القص لسطح الانزلاق ويتم حسابها: τ_f

$$\tau_f = C_f + \sigma_n \tan\varphi_f$$

حيث:

$$C_f = \frac{C}{SRF}$$

$$\varphi_f = \frac{\varphi}{SRF}$$

حيث أن SRFهي عامل تخفيض مقاومة القص، ومن الضروري أن يتم تتبع قيمة عامل الأمان التي تسبب الإنهيار وذلك للوصول إلى قيمة عامل تخفيض مقاومة القص الصحيحة.

2- هدف البحث:

هو المقارنة بين طريقة العناصر المحدودة التي تعتمد على سلوك مواد المنحدر وتأثيرها على آلية وشكل انهيار المنحدر وطريقة سبنسر التي تفترض شكلاً لانهيار المنحدر بعيداً عن طبيعية التربة المكونة له وعن ظروف التصريف او حتى عن تشديد التربة و مدى تأثير سرعة التصريف على انهيار المنحدر.

3. لمحة نظرية:

استخدام طريقة العناصر المحدودة في دراسة السدود الترابية:

1- عامل الأمان (Factory of safety):

تعتمد قيمة عامل الأمان على العوامل التالية:

شروط التصميم، قيم مقاومة القص التصميمية ، ارتفاع السد ، مواصفات (الإجهاد – التشوه) لكل من تربة أساسات السدود المواد المستخدمة في إنشائه وجود طبقات مختلفة ضمن جسم السد ، نوعية المراقبة والتحكم المتبعة ، وفي النهاية فإن دراسة نتائج الانهيار على الحياة البشرية والأضرار على الملكيات هي من العوامل المهمة في اختيار عوامل أمان مقبولة .

وتعتمد طريقة العناصر المحدودة على خواص التربة لكل من حالات السلوك (الخطي ، اللاخطي ، المرن اللدن) في تحديد مستوى الإنزلاق الحرج وعامل الأمان له .

- الخواص الخطية للترب المستخدمة في طريقة العناصر المحدودة يلائم العديد من الحالات للحصول على صورة ملائمة لتوزع الإجهادات أكثر من التي نحصل عليها باستخدام طريقة التوازن الحدية.
- الخواص اللاخطية للترب يستخدم عند الاهتمام بالتشوهات أكثر من الاهتمام بتوزيع الإجهادات ولكن ذلك يعقد المسألة.
- خواص التربة المرنة – اللدنة هي مناسبة للحصول على توزيع مناسب للإجهادات

إن التحليل باستخدام الخواص الخطية يعطي في بعض الحالات عامل أمان أقل من الواحد لبعض الشرائح المتجاورة (الإجهادات المطبقة أكبر من المقاومة) وهنا يجب استخدام الخواص اللاخطية من أجل توزيع الإجهادات المطبقة والتي تزيد عن المقاومة. إلا أن استخدام الخواص اللاخطية يعقد الحسابات.

وبشكل عام يوجد طريقتين لتحليل استقرار المنحدرات باستخدام العناصر المحدودة.

الطريقة الأولى: يتم بزيادة حمولة الجاذبية الأرضية.

الطريقة الثانية: يعتمد على تخفيض خصائص ومقاومة كتلة التربة.

ولإيجاد عامل الأمان بطريقة العناصر المحدودة يتم حساب الإجهادات σ_X،σ_Y،τ_{XY}

داخل كل عنصر ، ومن هذه الإجهادات يمكن حساب إجهادات

القص المحركة والقوة الناظمية عند منتصف قاعدة كل شريحة باتباع الخطوات التالية:

حساب الإجهادات σ_X ،σ_Y ،τ_{XY}عند كل عقده

من أجل الشريحة الأولى نوجد احداثي نقطة منتصف قاعدة الشريحة

حساب الإجهادات $(\sigma_X،\sigma_Y،\tau_{XY})$ عند نقطة وسط قاعدة كل شريحة

تحديد زاوية ميل قاعدة الشريحة

حساب الإجهاد الناظمي وإجهاد القص عند قاعدة الشريحة

تحديد مقاومة القص حسب الإجهاد الناظمي عند قاعدة كل شريحة

تعاد المراحل السابقة من أجل الشريحة التالية وصولاً للشريحة الأخيرة. [3]

المتولدة على كامل سطح الانزلاق يتم حساب S_r ومقاومة القص الكلية S_m وبعد حساب قوة القص المحركة

عامل الأمان بتطبيق العلاقة:

$$F_s = \frac{\sum S_r}{\sum S_m}$$

ولإيجاد عامل الأمان في التحليل الستاتيكي –حيث يعتمد هذا التحليل على نظرية الكتلة المنزلقة و المقسمة إلى شرائح و هذه الكتلة سوف تنزلق على سطح انزلاق افتراضي حيث يتم دراسة تحديد سطح الانزلاق الحرج– يتم تجميع القوى والعزوم في الاتجاهين على طول دائرة الانهيار وهذه المعادلة غير كافية لجعل المشكلة مقررة ستاتيكياً ويلزمنا مزيد من المعلومات عن توزع القوى الخارجية المطبقة أو عن توزع القوى الداخلية في الشريحة ولدنيا المعادلات الستاتيكية التالية لتحديد عامل الأمان

1- المجموع الجبري لمساقط القوى المؤثرة على كل شريحة على المحور الشاقولي لتحديد القوى الناظمية N المؤثرة على مركز قاعدة كل شريحة.

2- المجموع الجبري لمساقط القوى المؤثرة على كل شريحة على المحور الأفقي لتحديد القوى الناظمية الداخلية E المؤثرة على جانب كل شريحة.

3- المجموع الجبري لعزوم القوى المؤثرة على جميع الشرائح حول مركز العزم الموحد لجميع الشرائح تعطي معادلة توازن العزم لحساب عامل الأمان F_m.

4- المجموع الجبري لمساقط القوى المؤثرة على جميع الشرائح على المحور الأفقي تعطي معادلة توازن القوى لحساب عامل الأمان F_f.

حيث أن عامل الأمان هو أحد النوعين و ذلك حسب المعادلة المحددة له، إما من معادلة توازن العزم F_m أو من معادلة توازن القوى F_f .

ومن الطرق الأكثر استخداما في التحليل الستاتيكي

1- الطريقة العادية (Ordinary Method)

2- طريقة بيشوب المبسطة Simplified Bishop method .

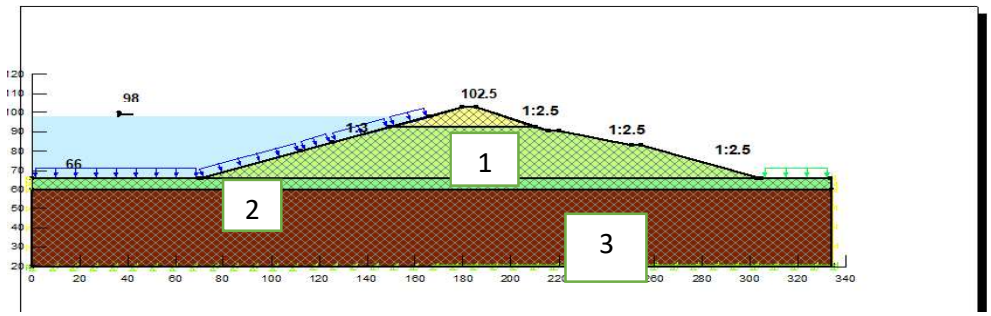
3- طريقة سبينسر Spencer's method .

4- طريقة جانبو المبسطة Janbu's Simplefied method .

5- طريقة جانبو المعقدة Jambu's Rigorou

الدراسة العملية: حالة سد الحويز:

تم اختيار سد الحويز لإجراء الدراسة وهو عبارة عن سد ركامي متجانس يقع في ريف جبلة (جنوب شرق مدينة اللاذقية) ويبلغ ارتفاع السد37m وميل الوجه الأمامي 1:3 وميل الوجه الخلفي1:2.5 ومنسوب قمة السد 102.5m عن سطح البحر وعرض قمة السد6m و بالاعتماد على تجارب النفاذية المنفذة على السبر رقم 2 الواقع على محور السد عند الارتفاع الأعظمي للمقطع العرضي ،وجد أن عامل النفاذية للعشرة الأمتار العلوية من جسم السد k=0.34m/day ولبقية الارتفاع k=0.015m/day وتبين وجود رشح عبر جسم السد ظهر عند المنسوب 78 لذلك تم اتخاذ قرار من قبل الجهة الدارسة بإعادة تأهيله وذلك عن طريق بناء جدار كتامة مركزي وتعلية السد بمقدار 5m بنفس الوقت. [1]



ويبين الشكل رقم (1): مقطع عرضي في سد الحويز قبل التأهيل

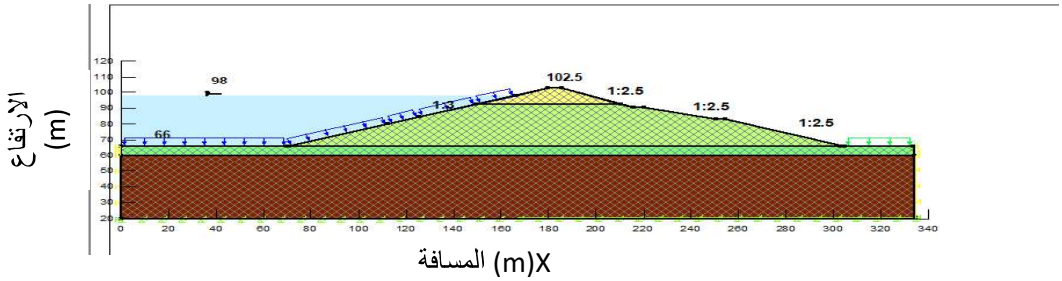
ويبين الجدول رقم (1): مواصفات الطبقات المشكله للسد وأساسه قبل التأهيل حسب المواصفات التصميمية

رقم الطبقة	وزن وحدة الحجم(KN/m^2)	زاوية الاحتكاك الداخلي(5)	التماسك(KPa)
1	21.5	26.5	200
2	20.3	14	40
3	20.3	28.8	30

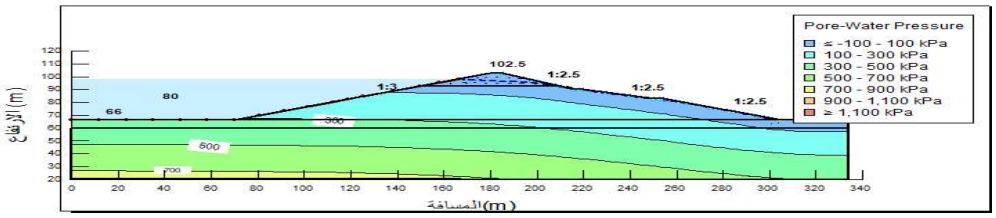
حالة التخزين الأعظمي:

1- تم نمذجة السد وشبكة العناصر المحدودة على واجهة البرنامج GEO-STUDIO وتم رسم نموذج السد وتحديد مواصفات مواد بناء جسم السد بالإضافة إلى تحديد الشروط الطرفية للأساس بعدم الحركة الأفقية والشاقولية، أما الشروط الطرفية لحواف الشاقولية فهي ممنوعة من الحركة الأفقية وسمح لها بالحركة الشاقولية فقط

ويبين الشكل (2) شبكة العناصر المحدودة لسد الحويز قبل التأهيل وتم اعتماد الخواص الخطية ومن ثم توليد شبكة العناصر المحدودة

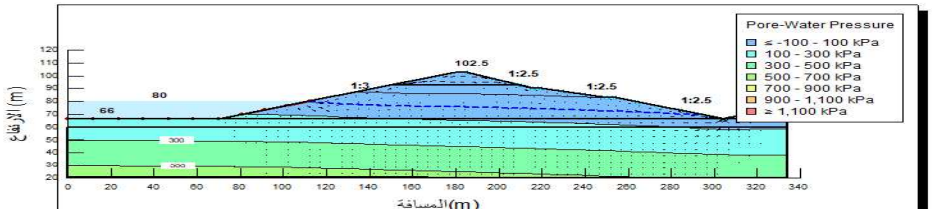


الشكل رقم(2): شبكة العناصر المحدودة لسد الحويز وقد بلغت / 788 / عنصر محدداً



الشكل رقم(3): قيم ضغط ماء المسام في كل نقطة من السد عند التخزين حتى المنسوب 98باستخدام البرنامج الفرعي seep/w

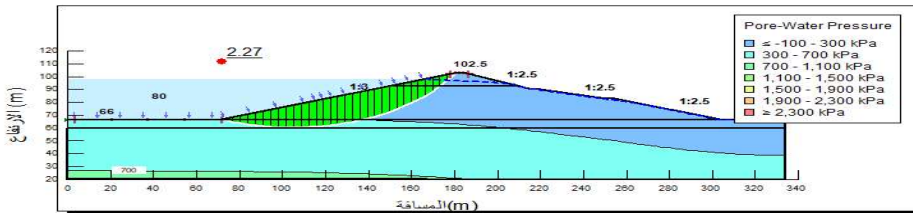
حالة التخزين الأصغري:



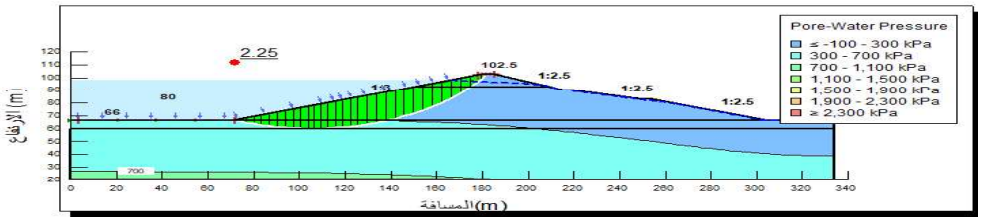
الشكل رقم(4): قيم ضغط ماء المسام في كل نقطة من السد عند التخزين حتى المنسوب 80 باستخدام البرنامج الفرعي seep/

2- حساب عامل الأمان بطريقة العناصر المحدودة:

1- لقد تم حساب عامل الأمان تحت حمولات الاستثمار (وزن السد + حمل الماء) حيث يكون مستوى الماء عند المنسوب 98m في بحيرة السد والتربة مغمورة في جسم السد ويؤثر وزن الماء عمودياً على وجه السد.

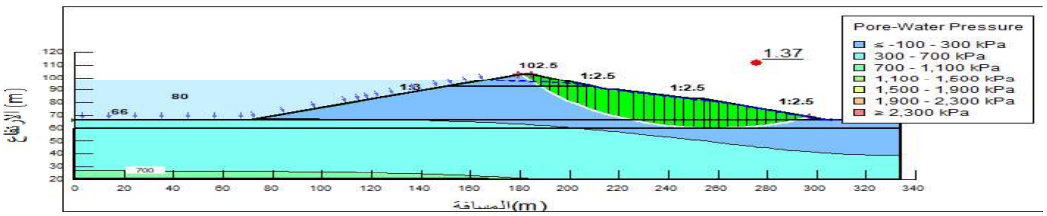


الشكل رقم (5):عامل الأمان الأصغري للوجه الأمامي عند التخزين الأعظمي وفق طريقة (FEM)



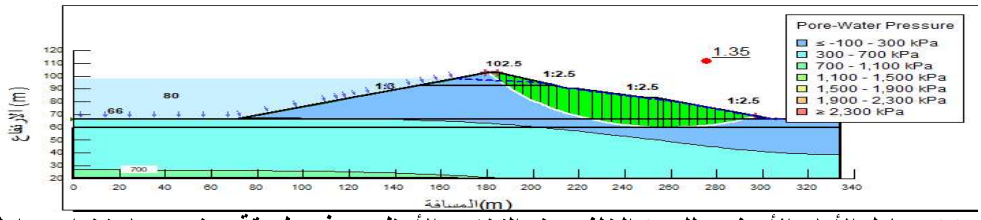
يبين الشكل رقم (6):عامل الأمان الأصغري للوجه الأمامي عند التخزين الأعظمي وفق طريقة سبنسر وباستخدام عوامل الأمان الكلية.

وكذلك يبين الشكل رقم (7) عامل الأمان الأصغري للوجه الخلفي عند التخزين الأعظمي وفق طريقة (FEM)



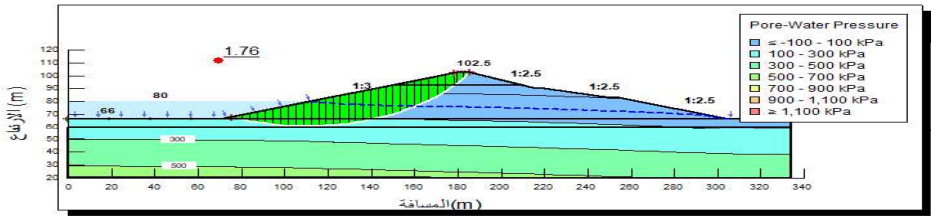
الشكل رقم (7): عامل الأمان الأصغري للوجه الخلفي عند التخزين الأعظمي وفق طريقة FEM)

كذلك يبين الشكل (8) عامل الأمان الأصغري للوجه الخلفي عند التخزين الأعظمي وفق طريقة سبنسر وباستخدام عوامل الأمان الكلية.



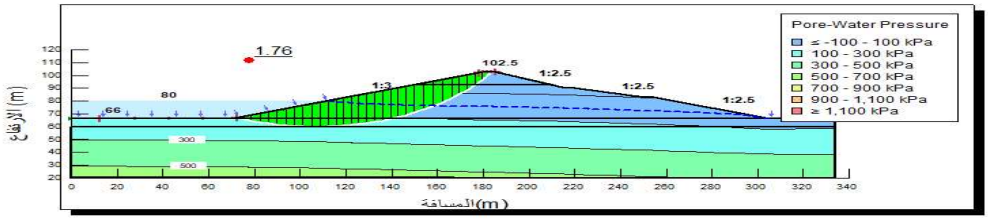
الشكل (8): عامل الأمان الأصغري للوجه الخلفي عند التخزين الأعظمي وفق طريقة سبنسر وباستخدام عوامل الأمان الكلية

ويبين الشكل (9) عامل الأمان الأصغري للوجه الأمامي عند التخزين الأصغري وفق طريقة العناصر المحدودة



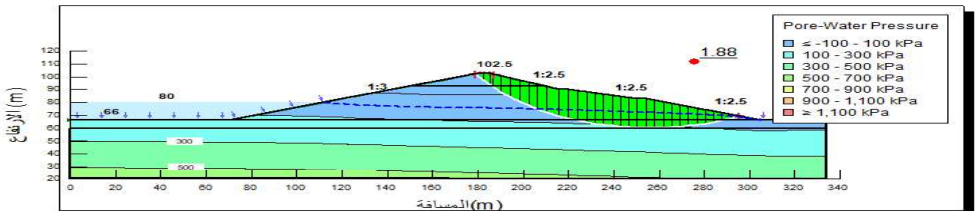
الشكل رقم (9): عامل الأمان الأصغري للوجه الأمامي عند التخزين الأصغري وفق طريقة العناصر المحدودة

ويبين الشكل (10) عامل الأمان للوجه الأمامي عند التخزين الأصغري وفق طريقة سبنسر وباستخدام عوامل الأمان الكلية

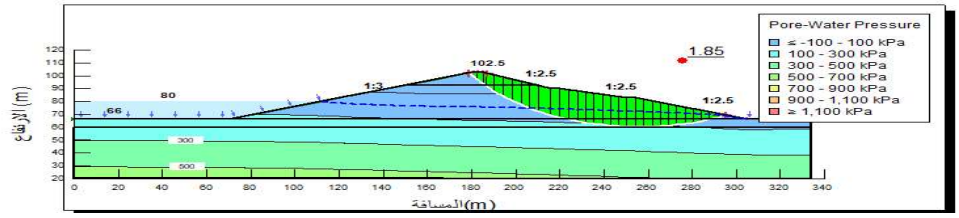


الشكل رقم (10): عامل الأمان للوجه الأمامي عند التخزين الأصغري وفق طريقة سبنسر وباستخدام عوامل الأمان الكلية

ويبين الشكل (11) عامل الأمان الأصغري للوجه الخلفي عند التخزين الأصغري وفق طريقة (FEM)



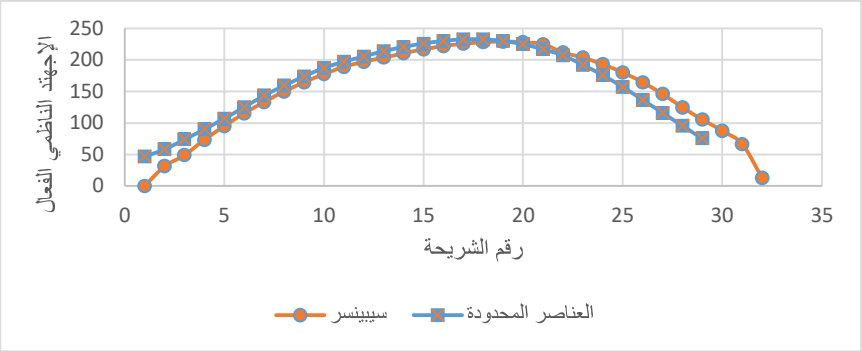
الشكل رقم (11): عامل الأمان الأصغري للوجه الخلفي عند التخزين الأصغري وفق طريقة (FEM)



ويبين الشكل رقم (12): عامل الأصغري للوجه الخلفي عند التخزين الأصغري وفق طريقة سبنسر وباستخدام عوامل الأمان الكلي

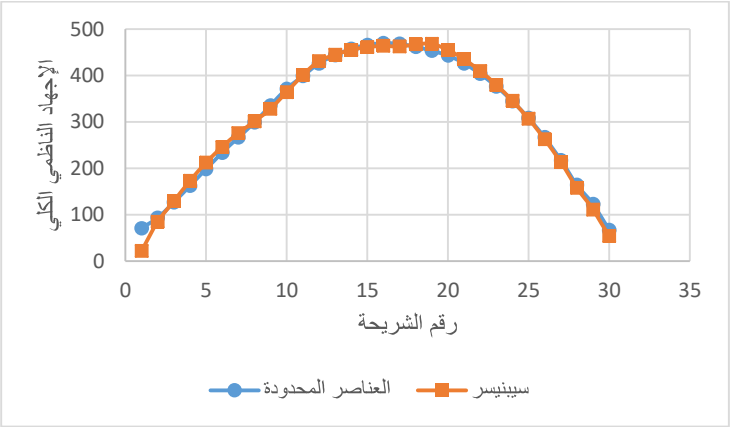
ونبين بالشكل تغير الإجهاد الناظمي الكلي مع رقم الشريحة

ونبين بالشكل(13) تغير الإجهاد الناظمي االفعال للوجه الأمامي عند التخزين الأعظمي مع رقم الشريحة



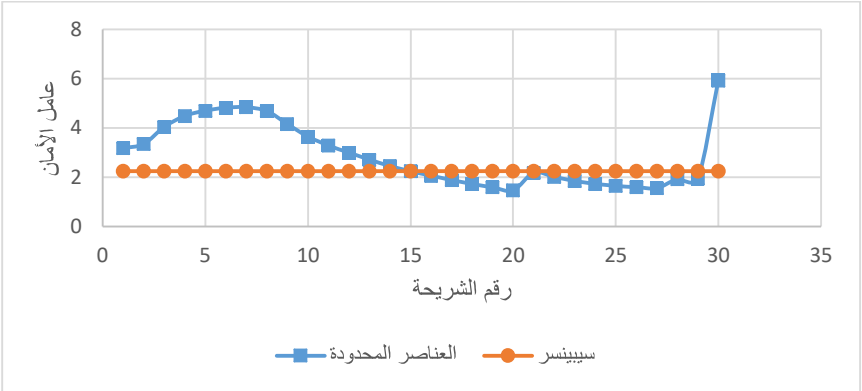
ونبين بالشكل رقم (13): تغير الإجهاد الناظمي الفعال للوجه الأمامي عند التخزين الأعظمي مع رقم الشريحة وفق طريقتي العناصر المحدودة وطريقة سبنسر

ونبين بالشكل (14) تغير الأجهاد الناظمي الكلي للوجه االخلفي عند التخزين الأعظمي مع رقم الشريحة وفق طريقتي العناصر المحدودة وطريقة سبنسر



بالشكل رقم (14): تغير الإجهاد الناظمي الكلي للوجه الخلفي عند التخزين الأعظمي مع رقم الشريحة وفق طريقتي العناصر المحدودة وطريقة سبنسر

ونبين بالشكل (15)تغير عامل الأمان مع رقم الشريحة للوجه الأمامي عند التخزين الأعظمي وفق طريقتي العناصر المحدودة وسبنسر



الشكل رقم (15): مقارنة بين طريقتي العناصر المحدودة وطريقة سبنسر للوجه الأمامي عند التخزين الأعظمي لسد الحويز

الجدول رقم (2) ملخص النتائج بين الطريقتين

الحالة المدروسة		قيمة عامل الأمان بطريقة العناصر المحدودة	قيمة عامل الأمان بطريقة سبنسر
الوجه الأمامي	التخزين الأعظمي حتى المنسوب+98	2.27	2.25
	التخزين الأصغري حتى المنسوب +80	1.76	1.76
الوجه الخلفي	التخزين الأعظمي حتى المنسوب +98	71.3	1.35
	التخزين الأصغري حتى المنسوب +80	1.88	1.85

تحليل النتائج

الاستنتاجات الرئيسية والتوصيات:

1 . تتطابق نتائج طريقة العناصر المحدودة وطريقة سبنسر بسبب تتطابق توزع الإجهاد الناظمي.

2. في طريقة العناصر المحدودة يوجد لكل شريحة عامل أمان خاص بها وعامل أمان كلي للمنحدر أما في طريقة سبنسر فعامل الأمان له قيمة واحدة.

3 . في طريقة العناصر المحدودة نستطيع معرفة سلوك مواد المنحدر وتأثيرها على آلية وشكل انهيار المنحدر بينما طرق التوازن الحدي لا تأخذ بعين الاعتبار سلوك المادة وتفترض شكل انهيار للمنحدر بعيداً عن طبيعة التربة المكونة له وعن ظروف وسرعة التصريف.

وأخيراً يتبين لنا أن طريقة العناصر المحدودة تعتمد على خواص التربة بكافة حالات السلوك (الخطي . اللاخطي المرن اللدن) ويتم من خلالها إيجاد سطح الانهيار الحرج بشكل آلي، وهي لا تحتاج إلى تحديد توزع قوى القص بين الشرائح وبالإضافة لكونها تعطي معلومات هامة عن الإجهادات . العزوم . وضغط ماء المسام.

المراجع الأجنبية:

1. AL-sinn Project, Final Detailed Desijn Report. Second Phase. 13/95-05-09 Moscow.1997.
2. Application of the finite Element method to slope stability, (2001-2004) article preperd for recnows.
3. Finite Element Analysis of Splitgrouting on Earth-rock Dam Shandong vocational water Polytechnic collage of resources Rizhao city, shandog province 276826,P,R of china.2010
4. John Karhan ,Stress and Deformation With Sigma/w, User Manuels,2004