

دراسة استقرارية سفح سد القائم المقترح انشاءه على نهر الخوصر- دراسة حالة

د. عبد الوهاب محمد يونس
f.saeed@uomosul.edu.iq

د. كامل علي عبد المحسن
k.almohseen@uomosul.edu.iq

فرح خزعل سعيد
gazaal@uomosul.edu.iq

جامعة الموصل - كلية الهندسة - قسم هندسة السدود والموارد المائية

تاريخ القبول: 10/7/2020

تاريخ الاستلام: 1/5/2020

المستخلص:

ان أحد اهم نقاط الضعف في السدود الترابية هو تسرب المياه من خلال جسم او اساسات السد مما قد يعرضه للانهدام، لذا يجب الاخذ بنظر الاعتبار تحليل هذا التسرب واستقرارية السدود في مراحل التصميم. أجريت هذه الدراسة على سد القائم المقترح على نهر الخوصر حيث تم تحليل حالات مختلفة لمنسوب الماء في الخزان مع اجراء بعض التحويرات على المقطع المقترح من قبل شركة SOGREAH من اجل الحصول على مقطع عرضي بديل ذو كلفة أقل وبنفس الوقت يحقق معامل امان مقبول . استخدم برنامج Geo-Studio 2012 لتحليل ثلاث حالات للسد (حالة نهاية الانشاء، الحالة المستقرة وحالة الانخفاض السريع). كما و استخدم البرنامجين $Seep/w$ ، $Slope/w$ الملحقين بالبرنامج في تحليل التسرب والاستقرارية للمقطع المصمم وجاءت نتائج التحليل العددي مقارنة لتلك التي اوصت بها الشركة المصممة وباعادة التحليل تبين انه بالإمكان تحقيق معامل امان مقبول باستخدام مقطع محور اخر وفي نفس الوقت تقليل في حجم الاملايات بحدود 10% .

الكلمات الدالة:

السدود الترابية، استقرارية السدود، Geo-Studio .

<https://rengj.mosuljournals.com>

Email: alrafidain_engjournal1@uomosul.edu.iq

مقدمة:

اجري عدد كبير من الدراسات السابقة والتي تتحرى استقراريه سفوح السدود الترابية وامست من الامور التقليدية التي ترافق تصميم اي سد ترابي. وفي هذا السياق فقد درس Khattab عام 2010 تحليل استقرارية سد الموصل لحالتي التربة المشبعة وغير المشبعة وقام بيجاد معامل الامان لإملايات السد أخذاً بنظر الاعتبار امكانية حدوث تفريغ سريع للمياه او عند حدوث هزة ارضية وباستخدام عدد من طرق التحليل باستخدام برنامج Geo-studio بثلاث احتمالات لتفريغ المياه خلال (30,21,8) يوماً من خلال التحليل الانتقالي للتسرب خلال الترب المشبعة وغير المشبعة واطهرت النتائج ان الحد الادنى لمعاملات الامان للمنحدرات تم حسابها بطريقتي (Bishop & Lowe-Karafiath) ، واطهرت الدراسة بان الحالة الحرجة التي قد يمر بها سفح مقدم السد هي اثناء التفريغ السريع للمياه بفترة 8 ايام اذ تم تسجيل الحالة الاكثر حرجة والتي حدثت في اليوم الثاني من التفريغ على وجه التحديد [2]. قام Mandal واخرون عام 2013 بتحليل استقراريه السفوح للحالتين الساكنة والديناميكية وكذلك عند حدوث الهزة الارضية باستخدام طريقة الدائرة السويدية وطريقة Bishop . كما وتضمنت الدراسة تحليل الاستقرار الزلزالي للسفح باستخدام طريقة Pseudo-static، واستنتج ان السفح كان مستقراً بشكل تام في الحالة الساكنة وان عامل الامان FoS الذي تم ايجاده بالطريقة السويدية اقل من ذلك المحسوب بطريقة Bishop ، كما واستنتج

تمتاز السدود الترابية بكونها قليلة الصلابة نظرا لطبيعة المواد المستخدمة في تنفيذها وبناءها على ذلك فان مقاومتها للانهدام عادة ما تكون قليلة مقارنة بنظيراتها من انواع السدود الاخرى كالسدود الجاذبية او القوسية وغيرها. تعزى اسباب فشل استقراريه سفحي السد الترابي الى خطأ في التصميم او التنفيذ او حتى طريقة تشغيل السد. وبالإمكان حصر أنواع الفشل بثلاثة أسباب رئيسية: (1) الانهيار الهيدروليكي Hydraulic failure ، (2) الانهيار بسبب التسرب Seepage failure و (3) الانهيار الانشائي Structural failure [1].

تتعرض اية كتلة ترابية لها ميل يربط بين نهايتها الى جهد قص (shear stress) داخل الكتلة ويكون قريباً من ميل الكتلة. ويعزى ذلك الى قوة الجاذبية التي تحاول سحب الكتلة الترابية التي ترتبط نهايتها بميل معين نحو الأسفل، فاذا كانت قوة مقاومة القص للكتلة الترابية اكبر من قوة القص المسلطة عليها فان الكتلة الترابية ستبقى مستقرة. اصف الى ذلك ان قوى تسرب الماء داخل التربة سيقلل من قوة مقاومة القص للكتلة، وبالتالي سنقلل من استقراريه السفح.

ان طريقة تخمين استقرارية السفوح تتأني من حساب معامل الامان من خلال قسمة محصلة القوى المقاومة للحركة على محصلة القوى التي تحاول سحب الكتلة الترابية نحو الاسفل.

اعادة تحليل وتقييم استقرارية سفحي السد المقترح ولعدة حالات قد يمر بها الخزان مستقبلاً وان الوقت لازال متاحاً لاعادة النظر في معطيات التصميم المقترح .

هدف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة الى ما يأتي:

1. تحليل الاستقرارية وسلامة سفحي السد باستخدام التقنيات الحديثة التي تتلخص بتطبيق البرنامج-GEO STUDIO 2012 وتفرعاته وعند مستويات متباينة من السعة التخزينية للسد الترابي قيد الدراسة وحساب معامل الامان لسفوح المنحدرات مقدم ومؤخر السد الترابي عند مستويات متباينة من ارتفاع عمود الماء مقدم السد.
2. ان الدراسة الحالية هي محاولة لم يتم التطرق لها اي من الباحثين السابقين وكما ورد اعلاه لتقييم المقطع العرضي الانسب من الناحية الاقتصادية وذلك بتغيير ميل سفحي السد بحيث يتحقق عامل امان ضمن المعايير المقبولة وباستخدام اساليب تحليل مختلفة يوفرها البرنامج GEO-STUDIO 2012 مما قد ينعكس على كلفة التنفيذ بمقادير لا يستهان بها.

الاساليب المستخدمة في تحليل استقرارية السفوح (خلفية نظرية):

تتوفر طريقتان رئيسيتان لغرض تحليل استقرارية السفوح هما: Limit Equilibrium Method (LEM) و Finite Element Method (FEM) وان الاختلاف الرئيسي بين هاتين الطريقتين يتلخص بأن FEM تعتمد على تطور اداء الحواسيب في التحليل الجيوتقني بينما LEM تكون اكثر بساطة ودقة [8]. كما ان طريقة FEM تتضمن ايجاد السطح الحرج تلقائياً باستخدام البرامج الحاسوبية في حين ان طريقة LEM تتبنى البحث عن السطح الحرج باستخدام الطرق الهندسية [8].

اضف الى ذلك فان FEM تستخدم علاقة-stress strain للتربة بينما تستخدم LEM نمذجة Mohr-Coulomb فقط. وان FEM بإمكانها حساب الازاحة displacement في حين لا يتم حسابها بطريقة LEM، كما ان الطريقة FEM بإمكانها تمثيل الفشل التدريجي بينما لا تستطيع LEM تمثيل هذا الفشل. تتمحور هذه الدراسة على تطبيق معادلات طريقة LEM كونها تصلح في تحليل ثلاث حالات حرجة يمر بها خزان السد الترابي هي: (1) نهاية الانشاء (2) الحالة المستقرة (3) الانخفاض السريع.

فرضيات طريقة التوازن المحدد LEM :

1. تفترض طريقة LEM بان نظام الجهد stress system يكون ثنائي الابعاد وان الجهد بالاتجاه الثالث (عمودي على مقطع كتلة التربة) مساوياً للصفر.
2. تفترض بان متغيرات الجهد الخاصة بمواصفات التربة C و ϕ معلومة.
3. تفترض بان حالة التسرب وارتفاع مستوى الماء معلوم وبالإمكان حساب ضغط مسام الماء Pore Water Pressure.
4. تفترض ان يكون الفشل على امتداد السطح الحرج.
5. اعتماداً على طريقة التحليل يتم وضع بعض الافتراضات الاضافية المتعلقة بكمية وتوزيع القوى على السطوح المختلفة.

طرق التحليل المعتمدة في التوازن المحدد Limit

Equilibrium:

1. Swedish slip circle method
2. Ordinary Method of Slice
3. Modified Bishop's method
4. Spencer method

وان السطح يصبح غير مستقر تدريجياً في المنطقة الأكثر عرضة للزلازل [3].

اجرى Gopal وآخرون عام 2014 بحثاً حول تحليل استقرارية السفوح والتسرب للسد الترابي لخزان Nandyal في الهند باستخدام برنامج SEEP/W واعتمدوا اشكال مختلفة للشبكة (mesh) المقترحة لدراسة مقطع السد تتلخص بأربعة انواع (خشن، متوسط، ناعم وغير مشبع). كما وتم استخدام برنامج SLOPE/W لتحليل استقرار هذا السطح وباستخدام طرق مختلفة من التحليل وقد تبين بان طريقتي Ordinary method of slice و Bishop اعطت الحد الأدنى لقيمة معامل الامان الذي يعبر عن استقرارية سطح السد [4].

في العام 2015 قام Burman وآخرون بإجراء دراسة مقارنة بين طريقة تحليل سفوح المنحدرات التقليدية وبين طريقة العناصر المحددة حيث استخدم تقنيات التوازن المحدودة (Limit Equilibrium Technique) التي تشمل طرق (Ordinary method of slice، Spencer، Bishop، Morganstern-price) وكذلك طريقة العناصر المحددة FEM لدراسة مشاكل استقرار السفوح المختلفة ولاحظوا ان Ordinary slice method تعطي اقل معامل امان من بقية الطرق المستخدمة لذلك فان اي تصميم يعتمد هذه الطريقة سيكون اكثر اماناً. تمت مقارنة FOS التي تم الحصول عليها باستخدام FEM مع القيم التي تم الحصول عليها باستخدام طرق Limit Equilibrium ووجد انه في طريقة FEM فان عامل الامان يتم الحصول عليه مباشرة لسطح الانزلاق الحرج اما في حالة LE فينبغي تحليل العديد من سطوح الانزلاق للحصول على سطح الانزلاق الحرج [5].

قام Kirra وآخرون في عام 2015 بدراسة تحليل التسرب واستقرارية السفوح للسدود الترابية حيث تم استخدام نموذج للعناصر المحددة FEM لمحاكاة تحليل التسرب والجهد من خلال برنامج Geo-Studio وتم تحليل سطح التسرب (phreatic line) وتوزيع الضغط المسامي للماء وتغير الارتفاع الهيدروليكي الكلي للسد وتم التحقق من نتائج النموذج واستخدامه لتحليل تسرب واستقرار سد مندلي في العراق، اذ تم اعتماد ثلاث حالات مختلفة من التشغيل : عند نهاية الانشاء قبل ملئ الخزان، حالة التسرب المستقرة وحالة السحب السريع من الخزان.

أكدت نتائج التحليل لهذه الدراسة على سلامة سد مندلي ضد التسرب واستقرار السفوح في جميع حالات التشغيل واطهرت ان حالة السحب السريع هي حالة التشغيل الحرجة مقارنة بحالات التشغيل الأخرى [6].

قدم Mishal وآخرون عام 2018 بحثاً حول استخدام برنامج Geo-Studio 2007 لتحليل استقرارية السدود الترابية لحالات مختلفة لسد العظيم في محافظة ديالى/العراق كدراسة حالة واستخدام طرق تحليل مختلفة (M-ordinary slice، Bishop، Crops of Engineers#1، Lowe-Karafiath، Janbu، P Spenser and General Limit، Crops of Engineers#2، Equilibrium) ومن خلال التحليل البعدي للمتغيرات المتوفرة استنتج انه يمكن استخلاص المعادلات التجريبية من خلال افتراض ظروف التربة المختلفة في جسم السد الترابي ويمكن ان تمثل المعادلة التجريبية العامة جميع المعادلات التجريبية المشتقة لان الاختلاف في قيم FOS المحسوبة ليست عالية [7].

بينت الدراسات السابقة بان المشكلات التي يجب مراعاتها في التحليل والحساب هي تحليل استقرارية السفوح اثناء وبعد اكتمال بناء السد لسفحي مقدم ومؤخر السد وتحليل حالة التسرب المستقرة لميل المقدم والمؤخر وكذلك تحليل سلوك السد لانخفاض المفاجئ في مستوى المياه في الخزان.

دوافع الدراسة:

بالنظر لكون سد القائم على نهر الخوصر هو قيد التخطيط والتصميم ولم ينفذ بعد، فقد اقترحت هذه الدراسة لغرض

الجدول (1) يلخص القوى والعزوم المعتمدة في كل طريقة.

Janbu's simplified method .5

Morgenstern-Price .6

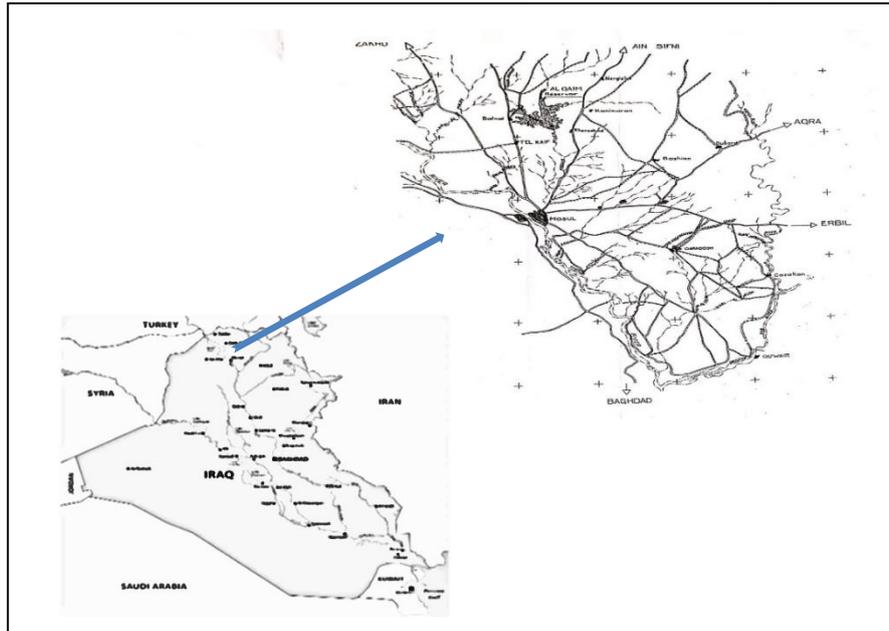
الجدول 1: القوى والعزوم المعتمدة للطرق المختلفة.

Method 1	Moment equilibrium 2	Force equilibrium 3	Inter-slice normal force 4	Inter-slice shear force 5	Relationship between 4&5
Ordinary	Yes	No	No	No	No interslice force
Bishop	Yes	No	Yes	No	Horizontal
Janbu	No	Yes	Yes	No	Horizontal
Spencer	Yes	Yes	Yes	Yes	Constant
M-P	Yes	Yes	Yes	Yes	Variable

اعتماد فترة عودة لغرض تصميم المسيل المائي مقدارها 1000 سنة (وبتصريف مقدار $2400 \text{ m}^3/\text{s}$) [9].
ان الهدف من انشاء هذا السد وكما ورد في تقرير الشركة المصممة هو تخفيف حدة الفيضان وحماية الأراضي الزراعية ومدينة الموصل عند حصول فيضان في وادي الخوصر كذلك خزن كمية من المياه لأغراض الري بالإضافة الى تغذية منطقة الشلالات السياحية بالمياه [9].

سد القائم (دراسة حالة) :

يقع سد القائم المقترح على نهر الخوصر (الذي يعد من الروافد الموسمية التي تصب في الجهة اليسرى من نهر دجلة) على بعد 18 كم شمال مدينة الموصل، والشكل (1) يبين الموقع الجغرافي للسد. يبلغ ارتفاع السد 31 متر من منسوب 280 متر فوق مستوى سطح البحر وطوله 1750 متر وهو من النوع ترابي املائي متجانس من المواد المتوفرة في المنطقة مع وجود مرشح مائل لتسهيل عملية مرور المياه التي تخترق جسم السد ويقدر حجم الخزين للسد بـ 150 مليون متر مكعب واعلى فيضان محتمل (بفترة عودة مقدارها 10000 سنة) هو $3400 \text{ m}^3/\text{s}$ بينما تم

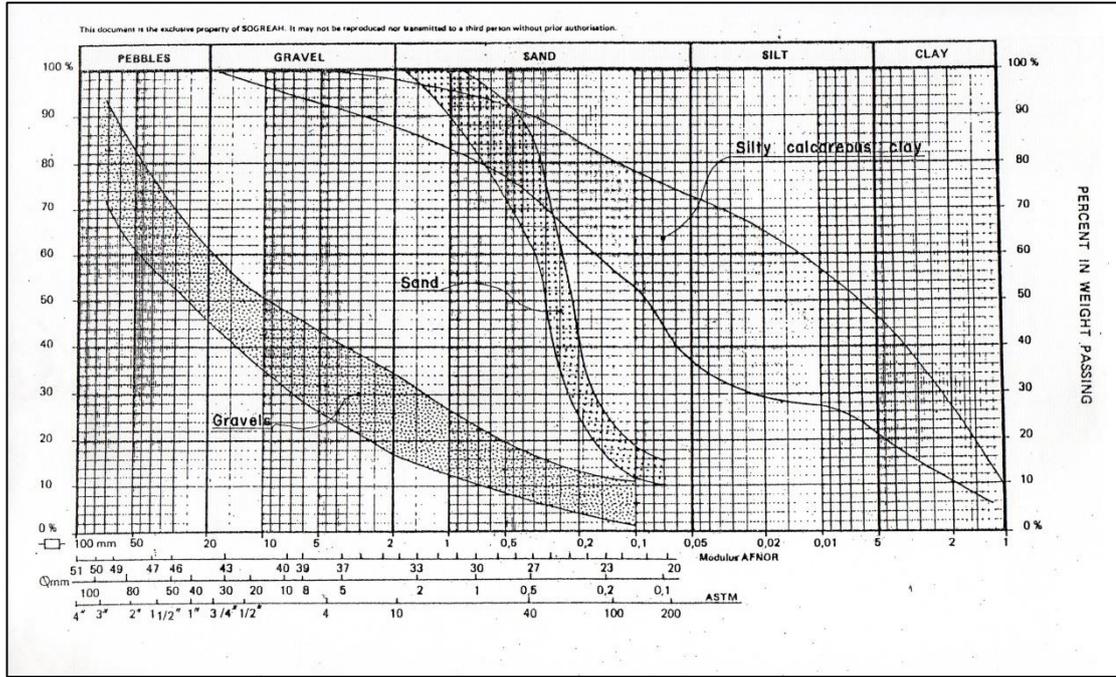


الشكل (1) موقع سد القائم المقترح على نهر الخوصر

ويكون من النوع المتجانس . الشكل (2) يوضح توزيع الحبيبات المكونة للتربة المزعم تنفيذ جسم سد القائم الذي يخضع للتحليل في هذه الدراسة. بينما يتشكل اساس السد من طبقة بسلك (18-9) متر تربة من نوع silty clay والتي سيقام عليها السد مباشرة وتليها طبقة من نوع Marls & silty marls بسلك 36 متر وهي طبقة قوية وغير نفاذة [9].

تحليل الإستقرارية لسد القائم المقترح:

قامت الشركة الفرنسية 1982 SOGREAH بعمل دراسة لإنشاء سد القائم من الناحية الجيولوجية والهيدرولوجية وتم تحديد موقع السد والمواد التي تكون جسم السد ومواقع اخذ التربة حيث ان التربة من نوع Silty calcareous clay هي التربة المتوفرة بكثرة في المنطقة وهي التي سوف ينشأ منها جسم السد



الشكل (2) توزيع حبيبات التربة المزمع تكوين السد منها [9]

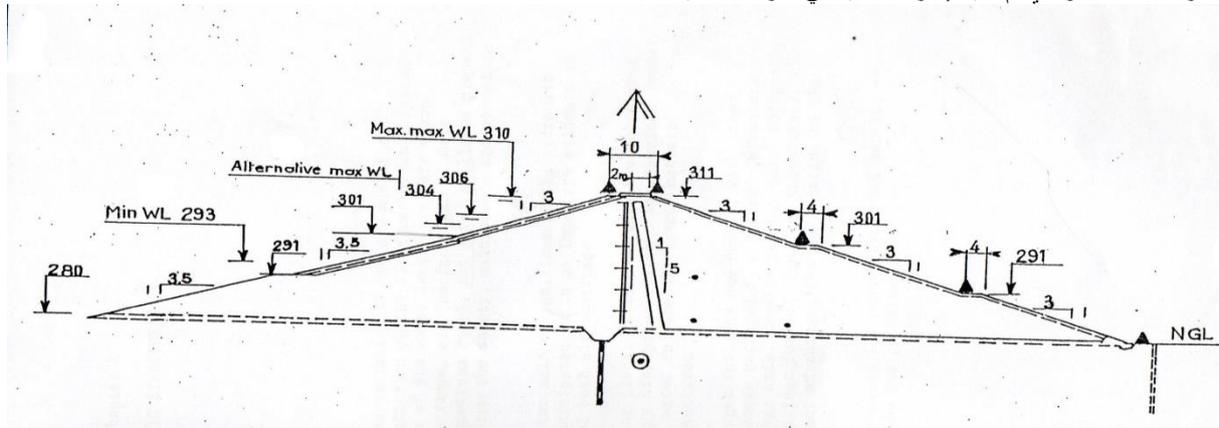
ادناه يلخص النتائج التي تم الحصول عليها والتي تبين خصائص التربة والمعتمدة في التصميم (أخذت معلومات هذا الجدول من التقرير التصميمي للشركة وتم جمعها بشكل جدول).

تم فحص 30 نموذج لتربة الموقع من قبل الشركة المصممة وأجريت الفحوصات المختبرية اللازمة للحصول على مواصفات الترب المستخدمة في إنشاء السد واسباساته والجدول (2)

جدول 2: خصائص التربة المزمع تكوين السد منها

Material	Total unit wt. (kN/m ³)	Saturated unit wt. (kN/m ³)	Total stress		Effective stress		K (m/s)	O.M.C %	Natural M.C %
			C (kPa)	Ø (°)	C̄ (kPa)	σ̄ (°)			
Embankment	19.8	20.3	37	17	13	24.8	1×10 ⁻⁹	21.8	17.8
Drain system	19	21	---	35	---	35	5×10 ⁻⁵	13	5
Riprap	17	20.5	---	35	---	35	---	---	---
Foundation	19.8	20	29	19.5	12	26.8	1×10 ⁻¹⁰	---	17.1

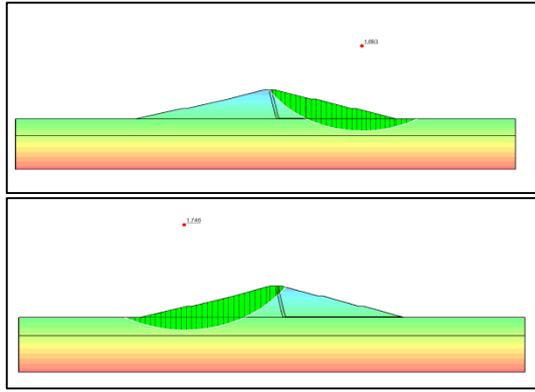
الشكل (3) ادناه يوضح المقطع العرضي المقترح للسد من قبل الشركة المصممة والذي تم تبنينه لإجراء التحليل في الدراسة الحالية.



الشكل (3) المقطع العرضي لسد القائم والمقترح من قبل شركة SOGREAH [9]

التسرب اولا باستخدام seep/w ومن ثم تحليل استقرارية الميول باستخدام slope/w وحساب معامل الامان للحالات المختلفة وباستخدام بعض طرق التحليل المتاحة في البرنامج ومقارنة نتائج

تم تمثيل حالات السد (حالة نهاية الانشاء، الحالة المستقرة وحالة التفريغ السريع) باستخدام برنامج Geo-studio2012 يتفرع عنه seep/w ثم slope/w حيث تم تحليل



الشكل (4) مقطع نمذجي لحساب عامل الامان وتمثيل سطح الانزلاق لحالة نهاية الإنشاء باستخدام البرنامج Geo-studio2012

يتبين من الشكل (4) أعلاه بان الفشل الحاصل في هذه المرحلة من التحليل هو فشل دائري (circular failure) ويحدث هذا النوع في الترب المتجانسة ونوع هذا الفشل هو Base failure والذي يمتد الى جزء من طبقة الأساس وتحدث هذه الحالة عندما تكون تربة الأساس ضعيفة نوعا من مما يؤدي الى مرور قوس الفشل فيها [11]، ومع ذلك فان معاملات الأمان للسد في هذه الحالة من التحليل ضمن الحدود المقبولة والسد امين من ناحية الانزلاق.

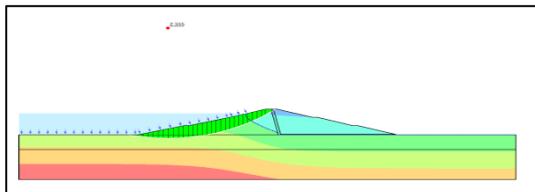
الحالة المستقرة Steady State

تبدأ حالة التسرب الثابت عندما يكون الخزان ممتلئاً لبعض الوقت حيث تكون التربة اسفل خط الجريان العلوي (phreatic line) في حالة تشبع بالكامل. يجب تحليل هذه الحالة من حيث الضغط الفعال وتحديد قيم ضغط المسام من شبكة الجريان ويكون سفح السد الخلفي (D/S) هو الحرج في هذه الحالة ويجب ان لا يقل معامل الامان عن 1.5 [10].

تم تمثيل حالة السد في الوضع المستقر وتحليل التسرب اولا بواسطة seep/w للحصول على phreatic line ومن ثم تحليل استقرارية الميول. اعتمد هذا التحليل منسوب الماء في الخزان مساوي لـ 306 وهو المنسوب الذي اعتمدته الشركة المصممة في تحليلها على اعتبار ان اعلى منسوب (310) حالة نادرة الحصول. تم تحليل الاستقرارية لمنسوب 306 اولا لأجل مقارنة النتائج وايضا تم تحليل المنسوب 310. الجدول (4) ادناه يوضح نتائج التحليل للمنسوبيين المذكورين.

جدول 4: يوضح نتائج تحليل الحالة المستقرة

Used Method	المنسوب 306 m		المنسوب 310 m	
	FoS U/S	FoS D/S	FoS U/S	FoS D/S
Bishop	2.33	1.82	2.47	1.84
Ordinary	2.17	1.67	2.39	1.67
M-P	2.34	1.82	2.47	1.84
Spencer	2.34	1.82	2.47	1.84
Janbu	2.21	1.67	2.39	1.67



شكل (5) معامل الامان للحالة المستقرة U/S لمنسوب 306m باستخدام البرنامج Geo-Studio 2012

البرنامج مع النتائج التي تم طلب اعتمادها من قبل الشركة المصممة.

End of Construction حالة نهاية الإنشاء

تحدث معظم حالات الفشل في اوجه السد اما اثناء الإنشاء او في نهايته. يتم بناء جسم السد بطبقات تحتوي على تربة عند او اعلى من محتواها الرطوبي الامثل Optimum moisture content ويكون جسم السد متماسك بسبب وزن هذه الطبقات المحدولة، ويعتمد ضغط ماء المسام pwp على المحتوى الرطوبي للتربة وعلى معدل سرعة الإنشاء حيث ان الانجاز السريع سيؤدي الى ضغط مسامي عالي في مرحلة نهاية الإنشاء لذلك يجب ان تكون فترة بناء السد طويلة بما يكفي للسماح بالتبديد الجزئي لضغط مسام الماء الزائد خاصة بالنسبة للسد ذي التصريف الداخلي. يتم تحليل الاجهاد الكلي في هذه المرحلة والذي يعطي تصميم اكثر تحفظاً وتصل قيمة عامل الامان الى حدود 1.3 [10].

تم تمثيل حالة السد في مرحلة نهاية الإنشاء واجري التحليل باعتماد بعض طرق التحليل المتاحة في برنامج Geo-studio 2012 ووضعت النتائج في الجدول (3) ادناه:

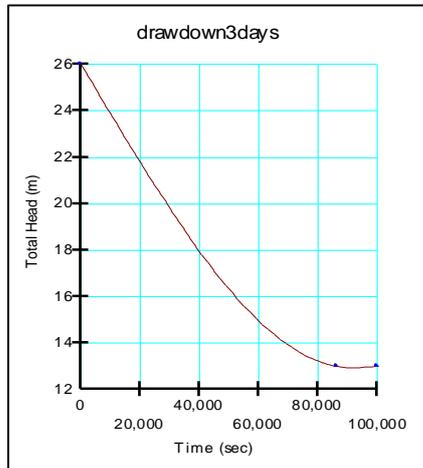
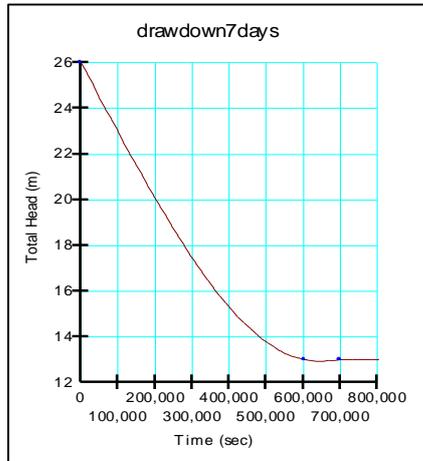
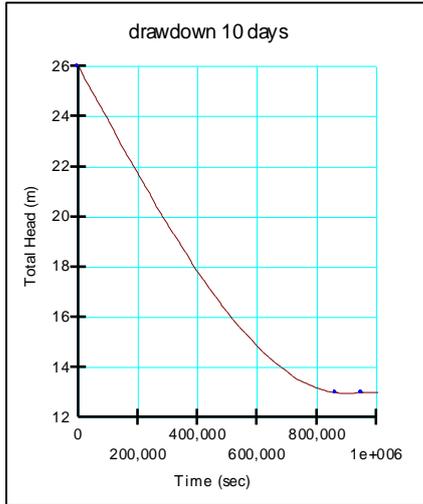
جدول 3: قيم معامل الامان لسفحي السد المحسوبة بطرق مختلفة

Method	FoS U/S	FoS D/S
Bishop	1.74	1.69
Ordinary	1.57	1.51
M-P	1.75	1.69
Spencer	1.75	1.69
Janbu	1.55	1.51

وبمقارنة قيمة معامل الامان الواردة في تقرير الشركة التي اعدت التقرير التخطيطي لسد القائم المقترح والذي اعتمدت فيه طريقة Bishop في التحليل لحساب قيمة عامل الامان اسفل السد (FoS D/S) لحالة نهاية الإنشاء اذ وجدت ان $FoS = 1.59$ وهي مقاربة لقيمتها التي تم ايجادها بالبرنامج Geo-studio2012 وباعتماد طريقة Bishop ايضاً وكانت (1.69). ان الشكل (4) يري تمثيل مقطع السد لحالة نهاية الإنشاء في برنامج Geo-studio2012.

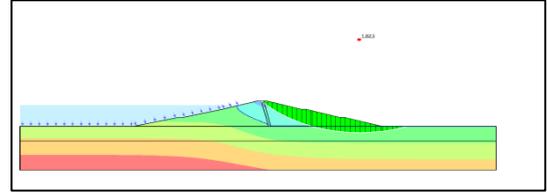
يتبين من الجدول أعلاه زيادة في قيمة معامل الامان في السفح الامامي للسد مع زيادة منسوب الماء والسبب في ذلك ان زيادة مستوى الخزين سبب زيادة في ضغط الماء باتجاه جسم السد أي زيادة في القوة المساعدة على تثبيت السد وهذا يزيد من استقرارية السفح الامامي مع ثبات كافة المتغيرات الأخرى.

كانت نتائج الشركة المصممة لحالة منسوب 306 m وبطريقة Bishop للتحليل هي $FoS D/S = 1.79$ و $FoS U/S = 2.08$ والشكل (5)، (6) ادناه تبين نتائج التحليل لمقدم ومؤخر السد على التوالي.



شكل (8) دوال انخفاض مستوى الخزان للفترات (3، 7، 10) أيام

تم اجراء تحليل وحساب معامل الأمان لسفح السد الامامي لثلاث فترات من زمن التخفيض وتبين بان السد امين للانخفاض السريع حتى لو كان زمن التفريغ ثلاث أيام والسبب في ذلك ان نفاذية السد قليلة (1×10^{-9}) وان التربة تأخذ وقت طويل لكي تنتقل من حالة التشبع الى عدمه والشكل (9) ادناه يوضح علاقة معاملات الأمان مع زمن التفريغ .

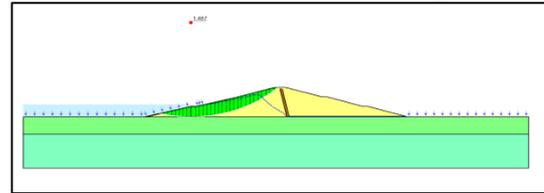


شكل(6) تحليل معامل الامان للحالة المستقرة D/S للمنسوب 306m باستخدام البرنامج Geo-studio2012

تبين نتائج التحليل أعلاه بان الفشل الحاصل في السد أيضا من النوع الدائري (circular failure) وأيضا من النوع (base failure) وذلك لان السد متجانس وتربة الأساس ضعيفة الى حد ما ومع ذلك فقيم معاملات الأمان ضمن الحدود المقبولة .

تحليل حالة الانخفاض السريع Rapid drawdown

يؤدي السحب السريع لمياه الخزان (التفريغ السريع) بعد حالة التسرب الثابت steady state الى تغيير في توزيع ضغط الماء المسامي pwp . اذا كانت نفاذية التربة منخفضة فقد تكون فترة السحب التي تقاس بالاسابيع سريعة فيما يتعلق بالتغيير في ضغط الماء المسامي . يكون تحليل هذه الحالة بالاعتماد على الضغط الفعال لحساب معامل الامان لأي موضع من خط التشبع [10]. في حالة الانخفاض السريع يتم اولا تحليل التسرب للحالة المستقرة steady state وذلك للحصول على الحالة الاولية لضغط مسام الماء في التربة ومن ثم تمثيل نفس الحالة ولكن بنوع تحليل مختلف وهو الانتقالي transient analysis والذي يكون مرتبط بالحالة المستقرة ليعتمد في تحليله على ضغط مسام الماء المحسوب في الحالة المستقرة ومن ثم اضافة دالة جديدة في المحددات (Boundary Conditions) وهي دالة الانخفاض السريع من منسوب 306 الى منسوب 293 الذي هو اوسط منسوب لمياه الخزان وخلال فترة (3،7،10) ايام للتفريغ وحساب معامل الامان لكل حالة ، تم اعتماد طريقة Bishop لتحليل الاستقرار لمقارنة النتائج مع التقرير والشكل (7) يوضح حالة السد في اليوم العاشر للتفريغ.



شكل (7) استجابة الخزان للانخفاض السريع لفترة عشرة ايام . باستخدام برنامج Geo-studio 2012

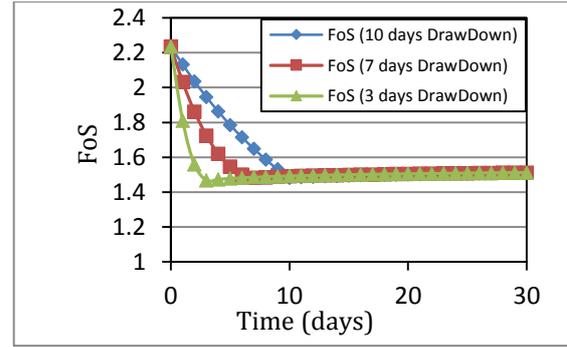
يبين الشكل (7) أعلاه الفشل الحاصل في سفح السد الامامي في اليوم الأخير من التفريغ ويتبين من شكل خط الرشح الناتج من التحليل ان جزيئات الماء تحتاج وقت طويل لكي تنتقل من مكان الى اخر أي من منطقة الضغط العالي الى الضغط الاوطأ الذي يحدث في حالة الانخفاض السريع بسبب كون التربة ذات نفاذية قليلة جدا وكذلك وقت التفريغ سريع.

دالة الانخفاض المستخدمة في التحليل هي عبارة عن علاقة بين ارتفاع الماء مقدم السد مع الزمن يتم تكويتها في البرنامج من خلال إعطاء قيمة لعلمق الماء قبل الانخفاض أي عند الزمن صفر وبعد زمن من الانخفاض أي الزمن المحدد للتفريغ والشكل (8) يبين هذه الدوال .

جدول 6: قيم معاملات الامان المحسوبة والتصميمية

Case	FoS	1982	Present study
End of construction	D/S	1.59	1.69
Steady state	U/S	2.08	2.33
	D/S	1.79	1.82
Sudden Draw Down(10 days)	U/S	1.33	1.48

يتبين من الجدول أعلاه التقارب في نتائج التحليل بين الشركة المصممة وبين البرنامج المستخدم مما يدل على مدى مقبولية النتائج التي تم الحصول عليها والتي سوف تستخدم لاحقاً لغرض إيجاد مقطع بديل أقل كلفة الجدول (7) ادناه يبين طرق التحليل المستخدمة مع الحالات المختلفة لسد القاتم:



شكل (9) دالة الزمن ومعامل الامان لحالات الانخفاض السريع للفتترات (10، 7، 3) أيام

تم تحليل استقرارية الميول لمنحدر مقدم السد باعتباره الأكثر تأثيراً في حالة الانخفاض السريع بطرق التحليل المختلفة وكانت النتائج (اليوم العاشر) موضحة بالجدول (5) وكالاتي:

جدول 5: معامل الامان لليوم العاشر

Method Used	FoS U/S
Bishop	1.48
Ordinary	1.38
M-P	1.48
Spencer	1.49
Janbu	1.38

الجدول (6) ادناه يوضح القيم المحسوبة بالبرنامج لمختلف الحالات والقيم المبينة بالتقرير المعد من قبل الشركة المصممة التي اعتمدت طريقة Bishop للتحليل.

الجدول 7: معاملات الامان بطرق تحليل مختلفة وحالات مختلفة للسد

Method for analysis	Case 1		Case 2		Case 3
	End of construction		Steady state		Rapid drawdown
	U/S	D/S	U/S	D/S	U/S
Minimum required computed safety factor	1.25	1.25	1.5	1.5	1.25
Bishop	1.74	1.69	2.33	1.82	1.48
Ordinary	1.57	1.51	2.17	1.67	1.38
M-P	1.75	1.69	2.34	1.82	1.48
Spencer	1.75	1.69	2.34	1.82	1.49
Janbu	1.55	1.51	2.21	1.67	1.38

تم اعتماد طريقة Bishop في حساب معاملات الامان نظرا لتبني هذه الطريقة من قبل الشركة المصممة لكي يتم ضمان قاعدة للمقارنة.

بعد اجراء التحليل لعدة ميول وحالات مختلفة تبين ان اقل ميل من بين هذه الميول ممكن ان يعطينا عامل امان مقبول كان 1:3 لسفح مقدم السد و 1:2.5 لسفح مؤخر السد حيث تم تحليل الحالات الثلاث لهذا الميل وتبين بانها تعطي معامل امان مقبول وضمن المعايير المطلوبة وبنفس الوقت تكون قد قللنا من حجم السد بحدود 10% من الحجم الأصلي وما لهذا العامل من اثر مهم من الناحية الاقتصادية وكذلك تم حساب كمية التصريف المارة خلال جسم السد واساسه وكانت $3.82e-8 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ والجدول (8) يوضح معاملات الامان للميول التي تم تحليلها.

وبمعرفة كلفة المتر المكعب الواحد فبالامكان تصور مقدار التوفير المالي الذي وفره هذا التحويل البسيط والذي يفى بالمطلوبات الفنية والاقتصادية التي تعتبر العمود الفقري لأي مشروع هندسي. من الجدير بالذكر انه عندما تم تبني الميل 1:3.5

يتضح من نتائج هذا الجدول بان تحليل استقرارية سد القاتم وحالات مختلفة وبالطرق المختلفة يعطينا نتائج جيدة واعلى من الحد الأدنى لقيم معاملات الامان المطلوبة وبذلك نستطيع ان نقول بان السد آمن من ناحية الانزلاق للحالات الثلاث.

فحص الجدوى الاقتصادية عند تغيير الميول:

تركز الدراسة الحالية على دراسة جدوى زيادة ميول اكتاف السد موضوع الدراسة لغرض بيان الفائدة الاقتصادية من تلك العملية بشرط ان تبقى عوامل الامان تقي بالغرض التصميمي. وبناءً على ذلك فقد تم اجراء عدة محاولات لتجربة ميول جديدة اكبر من الميول التصميمية التي اوصت بهما الشركة المصممة وهما U/S 1:3.5 و D/S 1:3. الجدول (8) يلخص قيم معاملات الامان التي تم الحصول عليها عند تغيير الميول وحالات الخزان الثلاث. يبين الصف الثاني من الجدول قيم معاملات الامان التي يجب ان لا يقل عنها معامل الامان المحسوب اذا ما ريد ان تكون سفوح السد مستقرة.

أقل من القيمة الدنيا المعطاة في المعايير وبالغا (1.5) لذلك تم استبعاد هذا الميل.

لسفح مقدم السد والميل 1:2 لسفح مؤخر السد وحالة السد المستقرة steady state تم الحصول على عامل امان مقداره (1.33) وهو

الجدول 8: قيم معاملات الامان عند تغيير ميلي سفح السد لحالات الخزان الثلاث

U/S slope	D/S slope	Steady state		End of construction		Rapid drawdown (10 days)
		FoS U/S	FoS D/S	FoS U/S	FoS D/S	FoS U/S
Min Required FoS criteria		1.5		1.25		1.25
3.5	3	2.33	1.82	1.74	1.69	1.48
3.5	2.5	2.25	1.62	1.74	1.55	1.50
3.5	2	2.25	1.33	1.74	1.41	1.40
3	3	2.07	1.84	1.63	1.69	1.33
3	2.5	2.06	1.62	1.63	1.55	1.33

ان تقليل الميل من 1:3.5 لسفح مقدم السد كما اقترحه الشركة المصممة الى الميل 1:3 وتغيير الميل 1:3 لسفح مؤخر السد الى الميل 1:2.5 يفي بمتطلبات الامان للحالات الثلاث التي يمكن ان يمر بها الخزان المائي ، علما ان التوفير في حجم الاملايات الترابية قد بلغ 613375 م³ أي ما يقارب 10% من الحجم الاصلي مما له اثر اقتصادي واضح. كما وافرزت النتائج بان السد آمن من ناحية التفريغ السريع حتى وان كانت الفترة مقتصرة على ثلاثة ايام فقد اعطت قيمة معامل امان مقداره 1.28 باستخدام طريقة Bishop وهو ضمن الحدود المقبولة كذلك.

الاستنتاجات:

بينت النتائج التي تم الحصول عليها من تحليل الحالات المختلفة للسد وبيمول ومختلفة بان البرنامج *Geo-Studio 2012* كان ذا اداء حسن في حساب معاملات الامان لسفح سد القائم المقترح. لقد تبين ان افضل ميل لسفح السد الامامي هو 1:3 وللسفح الخلفي 1:2.5 حيث اعطى معاملات امان مقبولة. كما ووجد ان كميات المياه المتسربة والتي تقدر بـ $3.82e-8 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ هي ضمن الحدود المسموح بها للكميات المتسربة [9]. تحرت الدراسة الحالية امكانية عمل دراسة جدوى اقتصادية وذلك بمحاولة تقليل ميول سفح السد مما يؤدي الى تقليل حجم الاملايات الترابية، ولقد تبين

المصادر:

- [1] م. بسمر عودة؛ 2015 ؛ "اهم المشاكل التي تتعرض لها السدود الترابية وكيفية مراقبتها"؛ مجلة جامعة البعث- المجلد-37 العدد 8.
- [2] Khattab S.A.A.; 2010; "Stability Analysis of Mosul Dam under saturated and unsaturated soil condition"; *Al-Rafidain Engineering*, vol.18, No. 1.
- [3] Mandal T., Sengupta S.; 2013; "Slope Stability Analysis By Static and Dynamic Method"; *International conference on structural engineering and mechanics*, Rourkela, India.
- [4] Gopal P., Kumar T.K.; 2014; "Slope Stability and seepage analysis of earthen dam of a summer storage tank: A case study by using different approaches"; *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE)*; Vol. 1; Issue 12; ISSN: 2349-2163.
- [5] Burman A., Acharya S.P., Sahay R.R. and Maity D.; 2015; "A Comparative Study of Slope Stability Analysis using Traditional Limit Equilibrium Method and Finite Element Method"; *Asian Journal of Civil Engineering (BHRC)* vol. 16, no. 4, pp.467-492.
- [6] Kirra M.S., Shahien M. Zeidan, B.A.; 2015; "Seepage and Slope Stability Analysis of Mandaly Earthen Dam, Iraq: A case study"; *International Conference on Advances in Structural and Geotechnical Engineering ICASGE'15*, 6-9 April 2015, Hurghada, Egypt.
- [7] Mishal U.R., Khayyun T.Sh.; 2018; "Stability analysis of an earth dam using Geo-slope model under different soil condition"; *Engineering and Technology Journal*, vol.36, part A, no.5.
- [8] Salunkhe D. P., Chvan G., Bartakke R. N., Kothavale P.R.; 2017; "An Overview on Methods for Slope Stability Analysis"; *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*; vol.6 Issue 03, ISSN:2278-0181.
- [9] SOGREAH Construction Engineers; 1982; *AL-Qaim Dam Planning Report*; vol. 1&2.
- [10] Andrew Graham. 1997. "World Wide Web Pages for Dam Design." Durham University. 1997. <http://community.dur.ac.uk/~des0www4/cal/dams/fron/contents.htm>
- [11] Types of slope failures/Geotechnical engineering. <https://theconstructor.org/>
- [12] GEO-SLOPE International Ltd; July 2012 Edition; *Stability Modeling with SLOPE/W*; An Engineering Methodology, Calgary, Alberta, Canada T2P2Y5.

Slope Stability Study of Al-Qaim Dam that Proposed to be Constructed on Khosar River – Case Study

Farah K. Saeed
f.saeed@uomosul.edu.iq

Kamel A. Al-Mohseen
k.almohseen@uomosul.edu.iq

Abdulwahab M. Yunis
gazaal@uomosul.edu.iq

Dams and Water Resources Engineering Department, Collage of Engineering, University of Mosul

Abstract:

It is extremely significant during the design stage of an earth dam is to analyze the seepage and slope stability. The proposed Al-Qaim dam on Al Khoser river was used as a case study to apply Geo-Studio 2012 program and its appendices Seep/w and Slope/w. Some minor modifications to the original design suggested by SOGREAH company have been proposed. The Geo-Studio 2012 program was used to analyze three states of Al-Qaim reservoir i.e. (end of construction, steady-state, and rapid drawdown). Seep/w and Slope/w have used to analyze the seepage and the stability of the slopes, the results reveal a good agreement between this analysis and the design company's results. Moreover, the present analysis achieves the requirement of safety with less volume of embankment which reduces the cost of construction substantially.

Key words:

Embankment dam, slope stability, Geo-Studio.