

نموذجة تحليلية لتقييم الفواقد الرشحية من سد ساحب باستخدام برنامج (Geo-Studio)

إعداد: [1] الباحثة : م. روعة ممدوح الظلمه

الإشراف :

[2] المشرف الرئيسي : أ.د.م. شعبان حديد

[3] المشرف المشترك : د.م. مازن سلوم

ملخص

أجريت الدراسة على سد ساحب الواقع في محافظة حماة الذي تم تنفيذه لدرء خطر الفيضان، حيث لوحظ ظهور مشاكل عديدة في السد منذ استنثاره و تم معالجة معظمها حتى ظهرت مشكلة الفاقد المائي الكبير و ظهور التشققات الطولية على قمة السد منذ عام 2010 ما لبث حتى انعدم المخزون المائي في البحيرة في عام 2020 ، و قد قمنا بإجراء دراسة جيولوجية تفصيلية لبيان مشاكل السد في الأساس و قاع البحيرة ، و تم إجراء التجارب اللازمة لتحديد كمية الفاقد المائي و أماكن التسرب ضمن منطقة السد و أيضاً تحديد مدى تطور الشقوق على قمة السد.

حيث تم تقسيم منطقة السد إلى عدة مقاطع هيدروجيوهندسية تبعاً للمواصفات الفيزيائية و الكيميائية للتشكيلات الترابية ضمن منطقة السد و قيم عامل الامتصاص النوعي و تبعاً لهذه الدراسة تم تحديد مناطق التسرب في البحيرة بدقة و تحديد كمية الفاقد المائي بنسبة 216% من المخزون المائي كما تم التوصل إلى أن التشققات على القمة هي تشققات سطحية لم تصل إلى النواة ، و بعد الدراسة الجيولوجية قمنا بنموذجة السد باستخدام برنامج Geo-studio و حساب التصريف ضمن منطقة السد و مقارنتها مع القيم الحسابية حيث أظهرت نتائج البرنامج دقة 97% .

كلمات مفتاحية : جيولوجية - هيدرولوجية - تجارب نفاذية - سد ساحب

[1] طالبة دكتوراه ، قسم هندسة و إدارة الموارد المائية ، كلية الهندسة المدنية ، جامعة البعث

[2] أستاذ دكتور ، قسم هندسة و إدارة الموارد المائية ، كلية الهندسة المدنية ، جامعة البعث

[3] أستاذ مساعد ، قسم هندسة و إدارة الموارد المائية ، كلية الهندسة المدنية ، جامعة البعث

Analytical Modeling to Evaluate Seepage Losses From Salhab Dam Using (Geo-Studio Program)

Summary

The study was conducted on the Salhab Dam, located in Hama Governorate, which was implemented to ward off the risk of flooding. It was noted that many problems appeared in the dam since its investment, and most of them were addressed until the problem of large water loss and the appearance of longitudinal cracks on the top of the dam appeared since 2010, and then the water reserve in the lake disappeared in 2020, We conducted a detailed geological study to show the problems of the dam in the foundation and the bottom of the lake, and the necessary experiments were conducted to determine the amount of water loss and places of leakage within the dam area, and also to determine the extent of the development of cracks on the top of the dam. The dam area was divided into several hydrogeometric sections according to the physical and chemical specifications of the soil formations within the dam area and the values of the specific absorption factor. According to this study, the leakage areas in the lake were accurately determined and the amount of water loss was determined at 216% of the water reserve, It was also concluded that the cracks on the top are superficial cracks that did not reach the core. After the geological study, we modeled the dam using the Geo-studio program and calculated the drainage within the dam area and compared it with the mathematical values, where the program results showed an accuracy of 97%.

Keywords: geology – hydrology – permeability experiments – Salhab Dam

مقدمة

تعدّ السدود من أقدم المنشآت المائية و أخطرها حيث تتعرض لمشاكل عديدة نتيجة أخطاء في التصميم أو التنفيذ قد تؤدي إلى انهيارها منها : انهيار المنحدرات ، تعرية الوجه الأمامي ولعل أهمها مشكلة التسرب ضمن جسم السد و أساساته مما يؤدي إلى تشكّل تجاويف أسفل و داخل السد و بالتالي انهيار السد إذا لم تتم معالجة المشكلة [8,10]، ومن هنا جاءت أهمية البحث نظراً لأهمية سد سلحب لدرء خطر الفيضان أثناء فترة الهطولات المطرية الغزيرة وإمكانية الاستفادة من المياه المخزنة في بحيرة السد دون ضياعها [9] . إن الغاية من البحث هي تقديم دراسة جيولوجية مفصلة لسد ترابي للمساهمة في معالجة المشاكل التي يتعرض لها السد، وخاصة الضياعات بالتسرب [3,11] .

و قد تمت دراسة مشاكل السدود الترابية و البحث عن حلول مناسبة لمشاكلها لاستمرار ديمومتها على نطاق واسع [2] حيث قام الباحثان أحمد محسن ، فحصة إياد [5] بدراسة الشبكة الارتفاعية لسد الدويسات و تأمينه ضد مخاطر الفيضان بعد حدوث الهزات الأرضية، بحيث تعطي القياسات الجيوديزية نتائج موثوقة و مضمونة يمكن الاعتماد عليها في اتخاذ القرارات اللاحقة، لما فيها من تبعات اقتصادية و بشرياً ، سلباً كانت أم إيجاباً ، حيث قاما باستطلاع المنطقة و الكشف عن الحالة الراهنة للسد المدروس و اقتراح شكل الشبكة المحقق للشروط الرياضية و الهندسية التي تمت مناقشتها بالبحث للحصول على أفضل النتائج و بعد ذلك تم تنفيذ المقترحات النظرية على أرض الواقع و بعد القياس و معالجة النتائج محلياً و نهائياً و تقييم دقتها تم التأكد من نتائج البحث و أن العمل تم تنفيذه بشكل آمن ولم تظهر أية مشاكل خلال فترة المراقبة .

كما و درست فارديميهر إيمان (عالمة في جامعة جنوب الأورال الحكومية الإيرانية) [6]، الجوانب الهيدروليكية و الهيكلية لمجرى سد من خلال تقييم و تحليل شامل للبيانات المستمدة من تشغيل أكبر سد في الشرق الأوسط (سد كاره) على مدار 17 عام و الذي يقع غرب مدينة انديميشك (إيران) . حيث بحثت أهم الخصائص الهيدروليكية و الهيكلية لمجرى سد كاره و الذي يمكن استخدامه لتصميم و بناء سدود جديدة لجعلها أكثر أماناً لتجنب العواقب المدمرة و التضحيات.

بحيث قامت بتفصيل كل مما يلي : المراقبة الهيكلية و الصيانة ، تصميم الرسومات الهيدرولوجية للفيضانات ، ظواهر التجويف ، إنتاجية المجاري المائية ، سطح الماء في الخزان و القوة الهيدروديناميكية المؤثرة (لمحاكاة هذه الخصائص تم بناء نموذج لسد كاره في المخبر بمقياس 1/65) و من خلال هذه الدراسة تم تحليل القدرة الإنتاجية ، طرق الفيضانات، خطر التجاويف أثناء تشغيل السد وتم أيضاً فحص شروط التحميل و ثبات التطبيق . تم استخدام نتائج البحث الفعلي من قبل علماء جامعة الأورال كمصدر موثوق من قبل المهندسين و شركات البناء .

الهدف من البحث

إن الهدف من البحث هو تحديد المشاكل التي يتعرض لها السد المدروس و تحليلها جيولوجياً [4,7] لتحديد مناطق التسرب ضمن منطقة السد و تقليل كمية الفاقد المائي [2] ، و يتم ذلك من خلال :

1- نمذجة النتائج ضمن بيئة برنامج GEO- STUDIO للاستفادة فيما بعد بمراقبة التطورات التي ممكن أن تحصل .

2- معالجة المشاكل للحصول على مخزون مائي للاستفادة منه بأعمال الري في المنطقة وتخفيف الضغط على الحامل المائي الجوفي ، كما يعتبر السد وجهة سياحية مميزة في المنطقة لما تتمتع به المنطقة من جمال المناظر الطبيعية .

طرق البحث

1- قمنا بإجراء تجارب حقلية ضمن منطقة السد و تم الحصول على عينات ترابية على أعماق مختلفة لإجراء تجارب مخبرية عليها (تحليل حبي ، حدود أتبرغ ، الكثافة و النفاذية،.....)([4,7]).

2- لقد قمنا بإجراء التجارب المخبرية في مخابر شركة الدراسات المائية - حمص أما التجارب الحقلية قمنا بإجرائها ضمن الموقع عام 2020 تم الانتهاء من الأعمال الحقلية و المخبرية عام 2022

1-معلومات عامة عن السد

1-1-الموقع العام

1- يقع سد سلحب في محافظة حماه عند البداية الجنوبية لمنخفض الغاب على مجرى نهر سلحب المتشكل من تجمع الينابيع المنتشرة على سفوح المرتفعات الجبلية الواقعة إلى الجنوب من السد .

2 - جيولوجياً موقع السد على الطرف الشرقي لسلسلة جبال الساحل والبداية الجنوبية لانهدام الغاب لذلك فهو متأثر بالفالق الكبير(الانهدام العربي الإفريقي). بحيرة التخزين ذات نفوذية كبيرة. و لأجل الحصول على كتامة نفذت مانعات رشح بالمواصفات التالية

: [1]

- نواة مركزية من الغضار عرض قمتها 3 m و بميل 1/4
- خندق مانعة رشح في الكتف الأيسر للسد الرئيسي
- ستارة حقن في الكتف الأيمن للسد الرئيسي تتضمن 9 صفوف (حقن 4 رئيسية و 5 تكثيفية).

1-2- الغاية من السد :

درء أخطار السيول - رfd المخزون الجوفي للمياه في المنطقة

تاريخ أول تعبئة للسد : 1990

تاريخ أول تخزين تصميمي : 1993

عدد نقاط المراقبة للهبوط والانزياح : 25

عدد بيزومتيرات المراقبة : 20

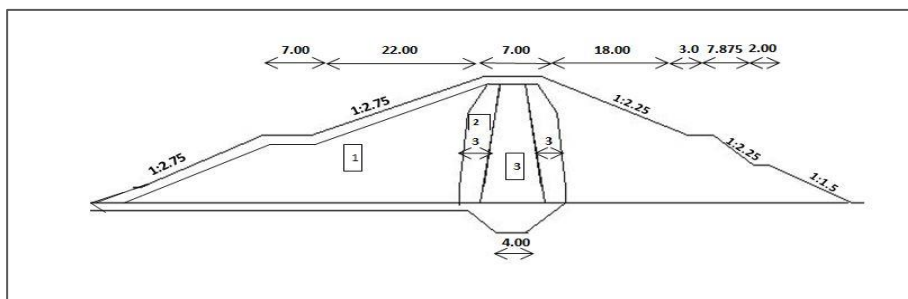
و يبين الجدول (1) هوية السد [1] ، ويوضح الشكل(1) المقطع العرضي لسد سلحب.

كما و يبين الجدول (2) المشاكل التي تعرض لها السد منذ بداية استثماره وحتى وقتنا

الحالي مع الحلول التي تم تنفيذها للتقليل من هذه المشاكل [الباحث ,1].

الجدول (1) هوية سد سلحب

| | | |
|------------------------------|------------------------|--------|
| لدرء خطر الفيضان | الغاية من الإنشاء | |
| 14.5 m | ارتفاع السد | |
| 895 m | طول السد | |
| 7m | عرض قمة السد | |
| 7.75 M.m ³ | حجم التخزين الطبيعي | |
| 2.4 M.m ³ | الحجم الميت | |
| 220 m | منسوب قمة السد | |
| 217.80 m | منسوب التخزين الأعظمي | |
| 145 h | مساحة البحيرة | |
| 2 km | طول البحيرة | |
| المنشآت الملحقة بالسد | | |
| خندقي جانبي | نوع المفيض | المفيض |
| 185 m ³ /s | غزارة المفيض | |
| 50 m | طول عتبة المفيض | |
| معدني | نوع المفرغ | المفرغ |
| 95 m | طول المفرغ | |
| 5m ³ /s | التصريف الأعظمي للمفرغ | |



1 : ركام حجري ، 2 : فلاتر بسماكة 3m ، 3 : نواة غضارية

الشكل (1) مقطع عرضي في سد سلحب

الجدول (2) مشاكل السد خلال مرحلة الاستثمار

| الإجراءات للمراقبة و المعالجة | المشكلة | العام |
|---|--|-------|
| تم تنفيذ مصرف أفقي خلف السد بهدف تخفيض خط الضاغط البيزومتري و كذلك للحصول على شروط مراقبة و قياس التصاريف و العكارة الموجودة بالمياه الراشحة . | وجود رشح كبير أسفل جسم السد و بتصاريف (120-180L/s) و ذلك في المنطقة القريبة من موشر الصرف | 1993 |
| تم تنفيذ سجادة غضارية أمام السد الرئيسي | المشكلة السابقة نفسها | 1996 |
| نفذت ثلاثة أبار بيزومترية إضافية على قمة السد الرئيسي | المشكلة نفسها | 2002 |
| مراقبة تطور مشكلة التسرب الحاصلة من خلال آبار المراقبة الموجودة | امتألت بحيرة السد حتى المنسوب الطبيعي و كان الرشح الموجود في المصرف هو (120-180L/s) كما لوحظ وجود مياه مضغوطة بالآبار البيزومترية (7-8-9-10) خلف السد و ذلك لمنسوب فوق منسوب الأرض الطبيعية بمقدار 1m. | 2003 |
| تقرر كسر المفيض على طرفيه و تم تنفيذ سجادة من الفلاتر في الجهة الهوائية للسدة الثانوية و إغلاق الفجوة الكارستية على الكتف الأيمن للسدة الثانوية | امتألت بحيرة السد و عندما كان السد بحالة التخزين الأعظمي ظهرت رشوات مفاجئة غير طبيعية منتشرة على القدم الخلفي للسدة الثانوية و بطول حدود 30m | 2006 |
| فتم ترميم الإكساء الحجري في المناطق المخلفة بمواد حجرية من نفس حزمة التركيب الحبي | تم ملاحظة وجود خلخلة مع تحرك بعض الأحجار لطبقة الإكساء الحجري في بعض المواقع للسدة الثانوية على المنسوب / 216.8 m / منسوب التخزين الطبيعي في السد كما أنه لم يلاحظ وجود أية شقوق طولية أو عرضية على قمة السدة الثانوية أو عند قدم السد أو ظواهر انزلاق | 2008 |
| | ظهرت شقوق طولية على قمة السد الرئيسي و الثانوي | 2010 |
| قمنا بالدراسة الجيولوجية المذكورة أدناه للبحث عن أسباب المشكلة | ملاحظة وجود شقوق طولية على قمة السد الرئيسي و على الوجه الخلفي للسد السد لا يخزن بشكل نهائي أي حجم تخزين يتم تفريره مباشرة إضافة لوجود أقماع في بحيرة التخزين | 2020 |

2- الحالة الراهنة و المشاهدة العينية للسد :

تمت المشاهدات العينية للسد في الشهر الأول لعام 2020 [الباحث] و قد وضحت النقاط الآتية :

1- وجود تشققات طولية على قمة السد تمتد من بداية السد و حتى نهايته كما يبين الشكل(2).

2- وجود تشققات على الوجه الخلفي للسد و جحور قوارض كما يوضح الشكل (3) .

3- عدم وجود منسوب تخزيني ضمن البحيرة مع العلم أنه في هذه الفترة يوجد هطولات مطرية غزيرة كما يبين الشكل (4) [الباحث] الوجه الأمامي و مخزون البحيرة .

4- ملاحظة وجود دوامات مائية ضمن بحيرة السد كما يبين الشكل(5) هذه الدوامات [الباحث] .

5- آثار سيلان للمياه من الآبار البيزومترية موضحة في الشكل (6) [الباحث] .

6- ملاحظة ظهور بساط مائي على الوجه الخلفي للسد (مشاهدة عينية)[الباحث] .



الشكل (2) يوضح التشققات الطولية على قمة السد



الشكل (3) يوضح التشققات على الوجه الخلفي



الشكل (4) يوضح منسوب الماء في البحيرة و الوجه الأمامي للسد



الشكل (5) الدوامات المائية في بحيرة السد



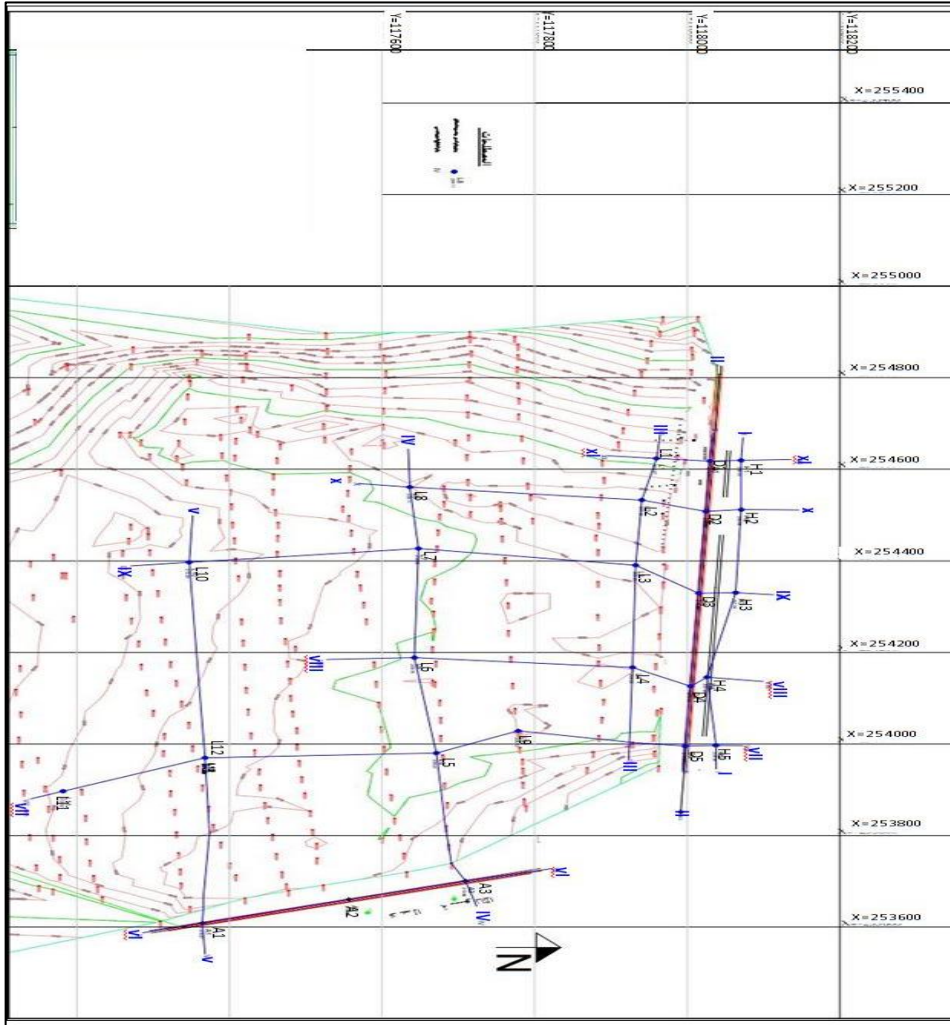
الشكل (6) آثار سيلان الماء من البئر البيزومتري

3- الأعمال المنفذة

3-1- الأعمال الطبوغرافية

قمنا بإجراء المسح الطبوغرافي لموقع السد و المنشآت الملحقة (مفيض - مفرغ - ..) بمقياس 1/2000 ، كما يوضح الشكل (7) ، و قد تبين من خلال رصد مواقع

السيور المنفذة في الموقع وجود شبكة ستريوغرافي تم تحديد إحداثياتها [1] كما يبين الجدول (3).



الشكل (7) يوضح توزيع السيور ضمن منطقة السد

الجدول (3) احداثيات السبور [1]

| الإحداثيات | | | رقم السبر | موقع السبر |
|------------|------------|-------------|-----------|---------------------|
| Z | Y | X | | |
| 219.91 | 118029.71 | -245617.93 | D1 | سبور مائة السد |
| 219.98 | 118024.21 | -254508.04 | D2 | |
| 219.98 | 118014.79 | - 254329.79 | D3 | |
| 219.93 | 118004.32 | -254126.01 | D4 | |
| 219.87 | 117997.38 | -253995.48 | D5 | |
| 209.33 | 118070.41 | -254619.55 | H1 | سبور الوجه الخافي |
| 206.06 | 118070.73 | -245511.72 | H2 | |
| 207.05 | 118063.52 | -254330.52 | H3 | |
| 207.46 | 118025.83 | -254145.90 | H4 | |
| 207.38 | 118037.54 | -253996.79 | H5 | |
| 219.91 | 117364.71 | -253609.12 | A1 | سبور السعة الثانوية |
| 219.99 | 117556.21 | -253660.32 | A2 | |
| 219.96 | 117709.26 | -253701.16 | A3 | |
| 210.47 | 117959.62 | -254623.61 | L1 | سبور الجبيرة |
| 207.20 | 1179340.52 | -254532.83 | L2 | |
| 208.68 | 117932.44 | -254390.31 | L3 | |
| 209.02 | 117928.32 | -254167.19 | L4 | |
| 209.61 | 117671.17 | -253980.20 | L5 | |
| 209.75 | 117642.55 | -254188.64 | L6 | |
| 210.36 | 117674.67 | -254426.91 | L7 | |
| 209.11 | 117636.62 | -254561.12 | L8 | |
| 208.73 | 117778.54 | -254028.63 | L9 | |
| 212.20 | 117347.19 | -254396.55 | L10 | |
| 212.52 | 117182.12 | -253896.85 | L11 | |
| 211.30 | 117368.08 | -253969.73 | L12 | |

3-2- التقسيمات الهيدروجيوهندسية :

بحسب نتائج الاستطلاع الجيولوجي الحقلي و لباب الحفر المستخرج من السبور و التجارب الفيزيائية و الميكانيكية و الكيمائية عليها و تجارب النفوذية في السبور التي قمنا بها أمكن تقسيم الموقع إلى مقاطع هيدروجيوهندسية حيث أمكن من خلالها تقسيم التوضعات في الموقع إلى طبقات و يبين الجدول (4) أرقام و مواقع المقاطع الهيدروجيوهندسية .

الجدول (4) أرقام و مواقع المقاطع الهيدروجيوهندسية [الباحث]

| رقم المقطع | السبور الممثلة للمقطع | المنطقة المدروسة بالمقطع |
|------------|-----------------------|---|
| I-I | H1-H2-H3-H4-H5 | الوجه الخلفي |
| II-II | D1-D2-D3-D4-D5 | نواة السد الرئيسي |
| III-III | L1-L2-L3-L4 | بحيرة السد |
| IV-IV | A3-L5-L6-L7-L8 | بحيرة السد و عمودي على السدة الثانوية |
| V-V | A2-L12 -L10 | بحيرة السد و عمودي على السدة الثانوية |
| VI-VI | A1-A2-A3 | السدة الثانوية |
| VII-VII | L11-L12-L5-L9-D5-H5 | بحيرة السد و عمودي على المحور الرئيسي للسد على بعد 623.56 m الوجه الأمامي للسد |
| VIII-VIII | L6-L4-D4-H4 | بحيرة السد و عمودي على المحور الرئيسي للسد على بعد 492.64 m من الوجه الأمامي للسد |
| IX-IX | L10-L7-L3-D3-H3 | بحيرة السد و عمودي عن المحور الرئيسي للسد على بعد 289.12 m من الوجه الأمامي للسد |
| X-X | L8-L2-D2-H2 | بحيرة السد و عمودي على المحور الرئيسي للسد على بعد 110.04 m من الوجه الأمامي للسد |
| XI-XI | L1-D1-H1 | بحيرة السد و عمودي على المحور الرئيسي للسد من بداية جسم السد |

كما و تم تحديد أماكن السبور و المقاطع كما هو موضح في الشكل (2).

وتقسم منطقة السد كاملة (السد الرئيسي - البحيرة - السدة الثانوية) تبعاً للدراسة إلى عدة طبقات موضحة حسب الجدول (5) ، أما توزع الطبقات و أعماقها فسيتم توضيحه حسب كل مقطع مدروس .

الجدول (5) الطبقات المكونة لمنطقة السد (رئيسي + أساس + بحيرة + سدة ثانوية) [الباحث]

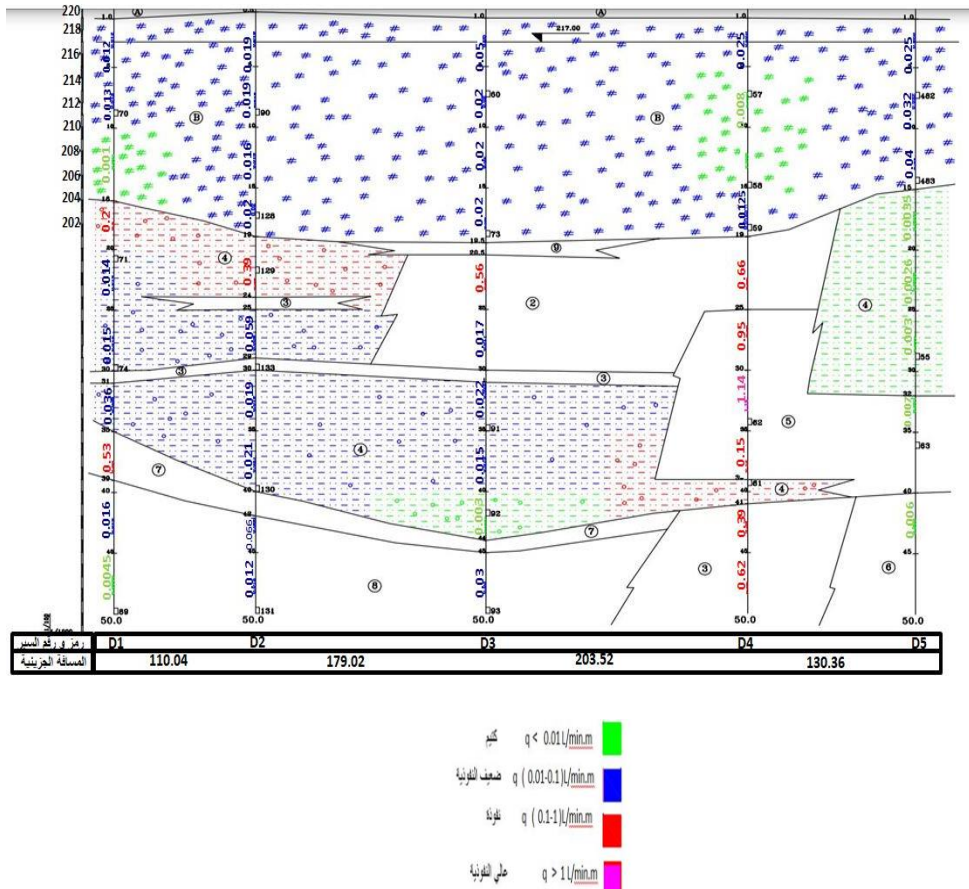
| رمز الطبقة | مواصفات الطبقة |
|------------|--|
| A | فلتر مؤلف من رمال و حصى |
| B | غضار رملي متوسط إلى جيد التماسك بني اللون |
| 1 | رديميات من تربة زراعية غضارية و حجارة كلسية |
| 2 | غضار رملي بني إلى بيحي اللون جيد إلى متوسط التماسك يتناوب معه حجر رملي و كونغولوميرا و حجارة كلسية |
| 3 | حجر رملي متوسط التماسك مع رمل و كونغولوميرا أحياناً |
| 4 | غضار رملي بني إلى بيحي اللون جيد إلى متوسط التماسك مع حصى كلسية ناعمة و حتى قطر 5 cm |
| 5 | حجر كلسي أبيض اللون مع دولوميت رمادي يتناوب معه مارل رملي على شكل طبقات رقيقة |
| 6 | مارل رمادي إلى أبيض قاسي إلى طري |
| 7 | رمل كلسي خشن الحبيبات و مفتت |
| 8 | من رمل غضاري بني اللون ، متوسط إلى جيد التماسك مع حصى كلسية ناعمة و رمل ناعم إلى خشن الحبيبات |
| 9 | حصى و حجارة كلسية |

حيث سيتم اعتماد رموز الطبقات في جداول المقاطع المدروسة التي سنقدم دراسة

تفصيلية لبعضها كما يلي :

3-2-1- المقطع (II-II) السد الرئيسي:

يشمل المقطع المدروس دراسة السد الرئيسي ابتداء من قمة السد حتى أساساته ، و يمثل المقطع قيم عامل الامتصاص النوعي التي تم الحصول عليها و الطبقات المكونة لهذا المقطع، حيث يوضح الشكل (8) المقطع الهيدرولوجي هندسي [1] ، و يمثل الجدول (6) المواصفات الفيزيائية و الكيميائية للسد الرئيسي و الجدول (7) مواصفات أساس السد أما الجدول (8) فيوضح مواصفات الطبقات المكونة للمنطقة المدروسة و أعماقه



الشكل (8) المقطع الهيدرولوجي هندسي (II-II)

الجدول (6) المواصفات الفيزيائية و الكيميائية لسد الرئيسي [الباحث]

| 8 | 4 | B | المواصفات الفيزيائية و الكيميائية و الميكانيكية و الكيميائية | | |
|-------|-------|-------|--|--------------------------------|--------------------------|
| 2.66 | 2.62 | 2.69 | g/cm ³ | الوزن النوعي | |
| 15.86 | 24.95 | 26.93 | % | الطبيعية | الرطوبة |
| 18.06 | 27.41 | 27.08 | % | المشبعة | |
| 2.08 | 1.91 | 1.96 | g/cm ³ | الرطبة | الكثافة |
| 1.8 | 1.53 | 1.56 | g/cm ³ | الجافة | |
| 2.12 | 1.94 | 1.98 | g/cm ³ | المشبعة | |
| 32.42 | 41.81 | 42.14 | % | المسامية | |
| 0.48 | 0.72 | 0.73 | - | معامل المسامية | |
| 87.43 | 88.7 | 95.74 | % | درجة الإشباع | |
| 0.00 | 0.00 | 3.31 | % | >4.75 | التركيب الحبي حسب ASTM |
| 23.47 | 18.54 | 12.72 | % | 0.075-4.75 | |
| 44.85 | 30.95 | 30.73 | % | 0.005-0.075 | |
| 31.69 | 50.51 | 53.24 | % | <0.005 | |
| 28.32 | 39.19 | 46.64 | % | حد السيولة W _{ll} | |
| 20.84 | 29.10 | 30.72 | % | حد اللدونة W _{pl} | |
| 7.48 | 10.09 | 15.92 | % | دليل اللدونة PL | |
| 29.12 | 9.01 | 7.55 | % | حد الانكماش SL | |
| 0.70 | 0.51 | 0.58 | Kg/cm ² | ثابت التماسك | القص مع العمق |
| 21.88 | 19.91 | 22 | درجة | زاوية الاحتكاك | |
| - | - | - | Cm/s | عامل الرشح K | |
| 0.92 | 0.45 | 1.46 | % | الانتفاخ النسبي S | |
| 15.33 | 29.63 | 29.77 | % | رطوبة الانتفاخ W _{sw} | |
| 0.20 | 0.17 | 0.44 | Kg/cm ³ | ضغط الانتفاخ | |
| 64.68 | 44.01 | 12.60 | % | كربونات الكالسيوم | نتائج التحليل الكيميائية |
| 7.91 | 8.75 | 2.67 | % | الجبس | |
| 0.05 | 0.06 | 0.08 | % | الأملاح المعدنية | |
| 1.00 | 4.2 | 3.11 | % | المواد العضوية | |

الجدول (7) مواصفات لترب أساسات السد [الباحث]

| نوع الطبقة | الوزن النوعي | رطوبة الإمتصاص | الرطوبة المشبعة | الكثافة الجافة | الكثافة المشبعة | المسامية | معامل المسامية | درجة الإشباع | حالة الكسر | حد الكسر | عامل التلين |
|------------|-------------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------------|----------|----------------|--------------|------------|-------------------|-------------|
| - | g/cm ³ | % | % | g/cm ³ | g/cm ³ | % | - | % | - | g/cm ³ | - |
| 3 | 2.61 | 3.76 | 6.10 | 2.25 | 2.34 | 13.73 | 0.16 | 61.63 | مشبع | 303.7 | 0.95 |
| | | | 6.12 | 2.29 | | 13.76 | 0.16 | | جاف | 319.9 | |
| 4 | 2.66 | 2.35 | 2.98 | 2.47 | 2.52 | 2.27 | 0.08 | 89.86 | مشبع | 434.47 | 0.71 |
| | | | 2.95 | 2.47 | | 2.28 | 0.08 | | جاف | 612.49 | |

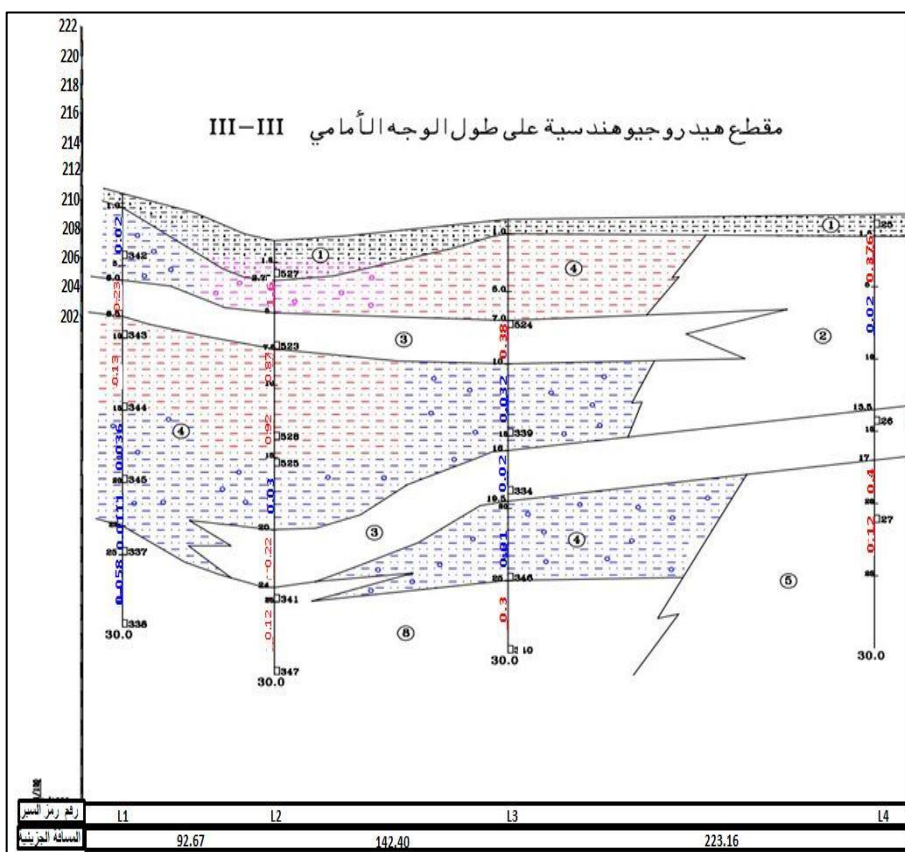
الجدول (8) مواصفات الطبقات و أعماقها [الباحث, 1]

| رمز الطبقة | سماكة و امتداد الطبقة | عامل الإمتصاص النوعي L/min.m | مواصفات الطبقة |
|------------|---|------------------------------|--|
| A | 0.5-1 m | | - |
| B | 14-15 m و 18.5 m تصل إلى | | لدنة - مشبعة - ضعيفة الانتفاخ |
| 2 | سماكة متغيرة 6-1m تغطي المنطقة بين D3 و D4 | 0.017-0.66 | |
| 3 | 1m تمتد من D1 إلى D3 غير مستمرة على طول المحور | 0.02-0.03 | متوسطة المتانة ثابتة تجاه المياه |
| 4 | 4-14m امتدادها مستمر على طول المحور من الغرب إلى الشرق و تنتهي على العمق المحصور (39-41 m) | 0.003-0.39 | غير لدنة - مشبعة - ضعيفة الانتفاخ |
| 5 | 8-14 m تنتشر شرقاً بدءاً من البئر D4 | 0.007-1.14 | متوسطة المتانة - ضعيفة إلى متوسطة الثبات تجاه المياه |
| 6 | 10m متواجدة في البئر D5 غير مستمرة على طول المحور | 0.006 | - |
| 7 | سماكتها تبدأ من 4 m غربي المحور على عمق من (39-35m) و تضيق باتجاه D4 حتى تصل إلى 1m | 0.002-0.35 | - |
| 8 | 5-11 m | 0.004-0.06 | غير لدنة - مشبعة - ضعيفة الانتفاخ |
| 9 | 1m تحت المانعة مباشرة متواجدة في السبر D3 | | - |

3-2-2- الوجه الأمامي المقطع (III-III) :

يشمل المقطع المدروس دراسة السد الرئيسي عند القدم الأمامي ، و يمثل المقطع قيم عامل الامتصاص النوعي التي تم الحصول عليها و الطبقات المكونة لهذا المقطع ، حيث يوضح الشكل (9) المقطع الهيدروجيوهندسي [1] ، كما الجدول (9) فيوضح مواصفات الطبقات المكونة للمنطقة المدروسة و أعماقها.

أما الجدول يمثل (10) المواصفات الفيزيائية و الكيميائية للوجه الأمامي و يبين الجدول (11) مواصفات أساس الوجه الأمامي .



الشكل (9) المقطع الهيدروجيوهندسي (III-III)

نمذجة تحليلية لتقييم الفواقد الرشحية من سد سلحب باستخدام برنامج (Geo-Studio)

الجدول (9) مواصفات الطبقات المشكلة للمقطع و أعماقها [الباحث, 1]

| رمز الطبقة | سماكة الطبقة و امتدادها | عامل الامتصاص النوعي L/min.m | مواصفات الطبقة |
|------------|--|---------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 1-2.75m | - | - |
| 2 | 12m متواجدة في السبر L4 | 0.02-0.27 | - |
| 3 | تتراوح سماكتها 2-4 m تمتد من السبر L1 إلى السبر L3 بالأعماق التي تتراوح من 6-10 m و تمتد من الشرق باتجاه الغرب من السبر L4 إلى السبر L2 بأعماق تتراوح 7-13.5 شرقاً و 20-24 غرباً | 0.02-0.87 | متوسطة المتانة - ثابتة تجاه المياه |
| 4 | 15-20 m تمتد من الغرب إلى الشرق تخترقها الطبقة 3 في نطاقين أفقيين | 0.01-1.66 | مشبعة - ضعيفة الانتفاخ |
| 5 | 13m تنتشر شرقاً عند السبر L4 | 0.4 | - |
| 8 | 5-7 m تمتد من منطقة السبر L1 غرباً حتى L3 شرقاً | 0.05-0.3 | لدنة - مشبعة - ضعيفة الانتفاخ |

الجدول (10) المواصفات الفيزيائية و الكيميائية لترب القدم الأمامية [الباحث]

| المواصفات الفيزيائية و الميكانيكية و الكيميائية | | | | | |
|---|-------|-------|-------------------|----------|---------|
| 8 | 5 | 4 | الوزن النوعي | الرطوبة | |
| 2.74 | 2.75 | 2.73 | g/cm ³ | الطبيعية | |
| 20.71 | 20.45 | 18.23 | % | المشبعة | |
| 22.26 | 21.14 | 20.85 | % | الرطوبة | الكثافة |
| 2.06 | 2.10 | 2.06 | g/cm ³ | الجافة | |
| 1.71 | 1.74 | 1.74 | g/cm ³ | المشبعة | |
| 2.08 | 2.11 | 2.10 | g/cm ³ | | |

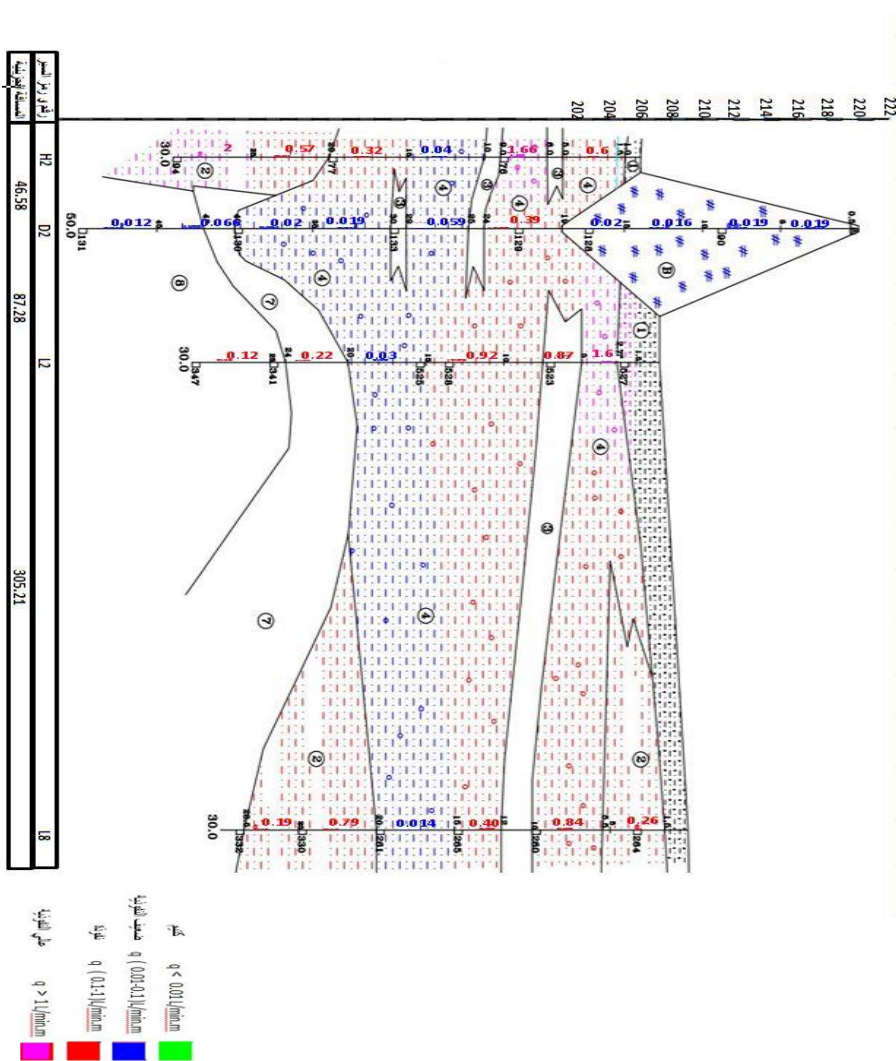
| | | | | | |
|---------------------|-------|--------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------|
| 37.83 | 36.78 | 36.28 | % | المسامية | |
| 0.61 | 0.58 | 0.57 | - | معامل المسامية | |
| 93.40 | 96.7 | 86.89 | % | درجة الإشباع | |
| 1.39 | 0.00 | 0.00 | % | >4.75 | التركيب الحبي حسب ASTM |
| 25.90 | 37.17 | 39.34 | % | 0.075-4.75 | |
| 39.07 | 32.56 | 37.28 | % | 0.005-0.075 | |
| 33.64 | 30.18 | 23.28 | % | <0.005 | |
| 27.30 | 25.01 | 25.68 | % | حد السيولة W_{II} | |
| 20.18 | 18.27 | 19.84 | % | حد اللدونة W_{pl} | |
| 7.12 | 6.74 | 5.84 | % | دليل اللدونة PL | |
| 12.86 | 9.44 | 10.75 | % | حد الانكماش SL | |
| 0.52 | 0.74 | 0.88 | Kg/cm ² | ثابت التماسك | القص مع العمق |
| 23.56 | 20.68 | 14.19 | درجة | زاوية الاحتكاك | |
| 1.86E ⁻⁸ | - | 1.0E ⁻⁷ | Cm/s | عامل الرشح K | |
| 0.38 | 0.0 | 0.63 | % | الانتفاخ النسبي S | |
| 24.07 | 21.13 | 34.35 | % | رطوبة الانتفاخ W_{sw} | |
| 0.03 | 0.00 | 0.02 | Kg/cm ³ | ضغط الانتفاخ | |
| 61.83 | 70.04 | 67.04 | % | كربونات الكالسيوم | نتائج التحليل الكيميائية |
| 5.43 | 3.44 | 3.87 | % | الجبس | |
| 0.07 | 0.07 | 0.07 | % | الأملاح المعدنية | |
| 1.49 | 0.83 | 1.68 | % | المواد العضوية | |

الجدول (11) مواصفات أساس المقطع المدروس

| نوع الطبقة | الوزن النوعي | رطوبة الامتصاص | الرطوبة المشبعة | الكثافة الجافة | الكثافة المشبعة | المسامية | معامل المسامية | درجة الإشباع | حالة الكسر | حد الكسر | عامل التلين |
|------------|-------------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------------|----------|----------------|--------------|------------|-------------------|-------------|
| - | g/cm ³ | % | % | g/cm ³ | g/cm ³ | % | - | % | - | g/cm ³ | - |
| 3 | 2.86 | 3.47 | 11.62 | 2.15 | 2.22 | 24.96 | 0.333 | 26.13 | مشبع | 378.0 | 0.97 |
| | | | 12.05 | | | 24.14 | 0.35 | | جاف | 378.8 | |

3-2-3- المقطع (X-X) ضمن البحيرة و عمودي على محور السد الرئيسي :

تمت دراسة عدة مقاطع ضمن البحيرة و سنقوم بعرض نتائج / X-X / و الذي يعتبر المقطع الأكثر نفاذية .يوضح الشكل (10) المقطع الهيدرولوجي هندسي [1] وتبين الجداول (14,13,12) المواصفات الفيزيائية و الكيميائية للبحيرة ، المواصفات الفيزيائية و الكيميائية لأساس البحيرة و مواصفات الطبقات المكونة للمنطقة المدروسة في المقطع المذكور على الترتيب .



الشكل (10) المقطع (X-X)

نمذجة تحليلية لتقييم الفوائد الرشحية من سد سلحب باستخدام برنامج (Geo-Studio)

الجدول (12) المواصفات الفيزيائية و الكيميائية لترب بحيرة السد [الباحث]

| المواصفات الفيزيائية و الميكانيكية و الكيميائية | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------------------------|-------|--------------------|--------------------------------|--------------------------|
| 8 | 7 | 5 | 4 | 2 | g/cm ³ | الوزن النوعي | |
| 2.74 | 2.74 | 2.75 | 2.60 | 2.73 | % | الطبيعية | الرطوبة |
| 20.71 | - | 20.45 | 22.09 | 1.741 | % | المشبعة | |
| 2.06 | - | 2.10 | 2.03 | 2.07 | g/cm ³ | الرطوبة | الكثافة |
| 1.71 | - | 1.74 | 1.06 | 1.76 | g/cm ³ | الجافة | |
| 2.08 | - | 2.11 | 2.02 | 2.12 | g/cm ³ | المشبعة | |
| 37.83 | - | 36.78 | 36.13 | 35.44 | % | المسامية | |
| 0.61 | - | 0.56 | 0.57 | 0.55 | - | معامل المسامية | |
| 93.40 | - | 96.7 | 92.47 | 86.56 | % | درجة الإنباع | |
| 1.39 | 47.84 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | % | >4.75 | التركيب الحبي حسب ASTM |
| 25.90 | 48.53 | 37.17 | 32.27 | 35.0 | % | 0.075-4.75 | |
| 39.07 | 3.06 | 32.65 | 38.44 | 42.61 | % | 0.005-0.075 | |
| 33.64 | 0.57 | 30.18 | 29.28 | 22.39 | % | <0.005 | |
| 27.30 | 23.18 | 25.01 | 33.71 | 29.17 | % | حد السيولة W _l | |
| 20.18 | 20.42 | 18.27 | 20.73 | 20.42 | % | حد اللدونة W _p | |
| 7.12 | 2.76 | 6.74 | 12.99 | 8.75 | % | دليل اللدونة PL | |
| 12.86 | 11.79 | 9.44 | 9.78 | 9.49 | % | حد الانكماش SL | |
| 0.52 | - | 0.74 | 0.678 | 0.62 | Kg/cm ² | ثابت التماسك | القص مع العمق |
| 23.56 | - | 20.68 | 22 | 20.86 | درجة | زاوية الاحتكاك | |
| 1.86*10 ⁻⁰⁸ | - | - | 1.31*10 ^{-0.1} | - | Cm/s | عامل الرشح K | |
| 0.38 | - | 0.00 | 0.44 | 0.63 | % | الانتفاخ النسبي S | |
| 24.07 | - | 21.13 | 22.98 | 20.87 | % | رطوبة الانتفاخ W _{sw} | |
| 0.03 | - | 0.00 | 0.05 | 0.05 | Kg/cm ³ | ضغط الانتفاخ | |
| 61.38 | 65.87 | 70.04 | 85.19 | 63.16 | % | كربونات الكالسيوم | نتائج التحليل الكيميائية |
| 5.43 | 2.92 | 3.44 | 4.43 | 2.92 | % | الجبس | |
| 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | % | الأملاح المعدنية | |
| 1.49 | 1.03 | 0.83 | 1.36 | 1.50 | % | المواد العضوية | |

الجدول (13) المواصفات الفيزيائية والكيميائية لترب أساس البحيرة [الباحث]

| نوع الطبقة | الوزن النوعي | رطوبة الامتصاص | الرطوبة المشبعة | الكثافة الجافة | الكثافة المشبعة | المسامية | معامل المسامية | درجة الإشباع | حالة الكسر | حد الكسر | عامل التلين |
|------------|-------------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------------|----------|----------------|--------------|------------|-------------------|-------------|
| - | g/cm ³ | % | % | g/cm ³ | g/cm ³ | % | - | % | - | g/cm ³ | - |
| 2 | 2.84 | 3.69 | 9.75 | 2.22 | 2.30 | 21.67 | 0.28 | 37.84 | مشبع | 326.9 | 0.66 |
| | | | 9.27 | 2.25 | | 20.76 | 20.26 | | جاف | 190.5 | |
| 3 | 2.83 | 3.32 | 7.72 | 2.32 | 2.40 | 17.95 | 0.22 | 43.02 | مشبع | 344.13 | 0.77 |
| | | | 7.75 | 2.32 | | 17.99 | 0.22 | | جاف | 447.45 | |
| 4 | 2.81 | 1.55 | 3.97 | 2.53 | 2.56 | 10.04 | 0.11 | 39.03 | مشبع | 960.70 | 0.87 |
| | | | 6.62 | 2.37 | | 15.67 | 0.18 | | جاف | 1097.1 | |

الجدول (14) مواصفات الطبقات المكونة للمنطقة المدروسة [الباحث, 1]

| رمز الطبقة | سماكة و امتداد الطبقة | عامل الامتصاص النوعي L/min.m | مواصفات الطبقة |
|------------|--|------------------------------|---|
| 1 | 1-1.5m | | |
| 2 | 3.5-16.5 m وتمتد من الغرب باتجاه الشرق تتناقص سماكتها عند أقدم السدة الثانوية | 0.02-0.8 | صلبة (غير لدنة) - مشبعة - ضعيفة الانتفاخ - ضعيفة المتانة - ضعيفة الثبات تجاه المياه |
| 3 | 1.5-25m تمتد من الغرب تجاه الشرق حتى المانعة الغضارية للسدة الثانوية أقصى سماكة لها في L11 تصل إلى 25m غير متواجدة في السبر L7 و عموماً متواجدة بين نطاقين أفقيين تفصل بينهما الطبقة 4 | 0.02-1.33 | متوسطة المتانة - متوسطة الثبات تجاه المياه |
| 4 | 1-20.5m مستمرة من الغرب إلى الشرق حتى منطقة السبر L4 و غير متواجدة في L5 | 0.008-1.61 | مشبعة - ضعيفة الانتفاخ |
| 5 | 3-13m تنتشر في الآبار (L4-L5-L9) | 0.4-0.121 | متينة - ثابتة تجاه المياه |
| 7 | 2-5m غربي البحيرة على العمق من 25m حتى العمق 30m لم يتم اختراقها بشكل كامل في السبر (L7-L8) | 0.15-0.19 | |
| 8 | 5-7m تمتد من السبر L1 غرباً إلى البئر L3 شرقاً | 0.05-0.3 | لدنة - مشبعة - ضعيفة الانتفاخ |

3-3- عامل الامتصاص النوعي و النفاذية :

قمنا بإجراء تجارب الضغط لحساب قيم عامل الامتصاص النوعي للطبقات و على أعماق مختلفة و يوضح الجدول (15) قيم عامل الامتصاص النوعي المقاسة و قيم النفاذية المقابلة لها لجميع السور المنفذة .

الجدول (15) قيم عامل الامتصاص النوعي لتجارب الضغط [1]

| رقم السبر | مجال التجربة | الامتصاص النوعي | النفاذية | رقم السبر | مجال التجربة | الامتصاص النوعي | النفاذية |
|-----------|--------------|-----------------|----------|-----------|--------------|-----------------|----------|
| No | من - إلى | L/min.m' | m/d | No | من - إلى | L/min.m' | m/d |
| D1 | 16-20 | 0.2 | 0.4 | D1 | 20-25 | 0.013 | 0.026 |
| D1 | 25-30 | 0.014 | 0.028 | D1 | 30-35 | 0.015 | 0.03 |
| D1 | 35-40 | 0.53 | 1.06 | D1 | 40-45 | 0.016 | 0.032 |
| D1 | 45-50 | 0.0045 | 0.009 | D2 | 19-25 | 0.39 | 0.48 |
| D2 | 25-30 | 0.059 | 0.118 | D2 | 30-35 | 0.018 | 0.036 |
| D2 | 35-40 | 0.021 | 0.042 | D2 | 40-45 | 0.066 | 0.132 |
| D2 | 45-50 | 0.012 | 0.024 | D3 | 19.5-25 | 0.56 | 1.12 |
| D3 | 25-30 | 0.017 | 0.034 | D3 | 30-35 | 0.022 | 0.044 |
| D3 | 35-40 | 0.015 | 0.03 | D3 | 40-45 | 0.026 | 0.032 |
| D3 | 45-50 | 0.035 | 0.07 | D4 | 19-25 | 0.066 | 0.132 |
| D4 | 25-30 | 0.95 | 1.9 | D4 | 30-35 | 1.14 | 2.28 |
| D4 | 45-50 | 0.15 | 0.3 | D4 | 40-45 | 0.39 | 0.78 |

| | | | | | | | |
|-------|--------|----------|----|-------|-------|-------|----|
| 0.007 | 0.0035 | 15-20 | D5 | 1.24 | 0.62 | 45-50 | D4 |
| 0.006 | 0.003 | 25-30 | D5 | 0.052 | 0.026 | 20-25 | D5 |
| 0.013 | 0.0065 | 40-45 | D5 | 0.014 | 0.007 | 30-35 | D5 |
| 0.04 | 0.02 | 10-15 | H1 | 0.08 | 0.04 | 5-10 | H1 |
| 0.034 | 0.017 | 20-25 | H1 | 0.02 | 0.01 | 15-20 | H1 |
| 3.32 | 1.66 | 5-10 | H2 | 0.056 | 0.028 | 25-30 | H1 |
| 0.32 | 0.26 | 15-20 | H2 | 0.036 | 0.018 | 10-15 | H2 |
| 4 | 2 | 25-30 | H2 | 1.14 | 0.57 | 20-25 | H2 |
| 0.46 | 0.23 | 10-15 | H3 | 0.86 | 0.43 | 5-10 | H3 |
| 0.86 | 0.43 | 20-25 | H3 | 2.4 | 1.2 | 15-20 | H3 |
| 1.02 | 0.51 | 5-10 | H4 | 0.036 | 0.018 | 25-30 | H3 |
| 7.2 | 3.6 | 15-20 | H4 | 6.8 | 3.4 | 10-15 | H4 |
| 7.2 | 3.6 | 25-30 | H4 | 7.2 | 3.6 | 20-25 | H4 |
| 0.8 | 0.4 | 10-15 | H5 | 2.8 | 1.4 | 5-10 | H5 |
| 0.02 | 0.01 | 20-25 | H5 | 0.08 | 0.04 | 15-20 | H5 |
| 0.084 | 0.042 | 13.25-19 | A1 | 0.02 | 0.01 | 25-30 | H5 |
| 1.1 | 0.55 | 14-20 | A2 | 0.018 | 0.009 | 19-25 | A1 |

نمذجة تحليلية لتقييم الفواقد الرشحية من سد سلحب باستخدام برنامج (Geo-Studio)

تتمة الجدول (15) قيم عامل الامتصاص النوعي لتجارب الضغط

| النفاذية | الامتصاص النوعي | مجال التجربة | رقم السبر | النفاذية | الامتصاص النوعي | مجال التجربة | رقم السبر |
|----------|----------------------|--------------|-----------|----------|----------------------|--------------|-----------|
| m/d | L/min.m ² | من - إلى | No | m/d | L/min.m ² | من - إلى | No |
| 0.62 | 0.31 | 25-30 | A2 | 0.244 | 0.122 | 20-25 | A2 |
| 1 | 0.5 | 16.5-20 | A3 | 0.36 | 0.28 | 15-20 | A3 |
| 0.468 | 0.234 | 10-50 | L1 | 0.06 | 0.03 | 20-25 | A3 |
| 0.072 | 0.036 | 15-20 | L1 | 0.262 | 0.131 | 10-15 | L1 |
| 1.84 | 0.92 | 10-15 | L2 | 1.74 | 0.87 | 5-10 | L2 |
| 0.424 | 0.217 | 20-25 | L2 | 0.064 | 0.032 | 15-20 | L2 |
| 0.76 | 0.38 | 5-10 | L3 | 0.22 | 0.11 | 25-30 | L2 |
| 0.04 | 0.02 | 15-20 | L3 | 0.0636 | 0.0318 | 10-15 | L3 |
| 0.6 | 0.3 | 25-30 | L3 | 0.03 | 0.015 | 20-25 | L3 |
| 0.8 | 0.4 | 15-20 | L4 | 0.04 | 0.02 | 5-10 | L4 |
| 0.0496 | 0.0248 | 5-10 | L5 | 0.24 | 0.12 | 20-25 | L4 |
| 0.736 | 0.368 | 15-20 | L5 | 0.136 | 0.068 | 10-15 | L5 |
| 0.136 | 0.068 | 10-15 | L6 | 0.0584 | 0.0292 | 5-10 | L6 |
| 1.36 | 0.68 | 20-25 | L6 | 0.36 | 0.18 | 15-20 | L6 |
| 1.5 | 0.75 | 5-10 | L7 | 0.088 | 0.044 | 25-30 | L6 |
| 0.16 | 0.08 | 15-20 | L7 | 0.362 | 0.0181 | 10-15 | L7 |

| | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-----|--------|--------|-------|-----|
| 0.308 | 0.154 | 25-30 | L7 | 0.016 | 0.008 | 20-25 | L7 |
| 0.8 | 0.4 | 10-15 | L8 | 1.68 | 0.84 | 5-10 | L8 |
| 1.58 | 0.79 | 20-25 | L8 | 0.028 | 0.014 | 15-20 | L8 |
| 0.06 | 0.03 | 5-10 | L9 | 0.368 | 0.184 | 25-30 | L8 |
| 0.76 | 0.38 | 15-20 | L9 | 0.0544 | 0.0272 | 10-15 | L9 |
| 0.51 | 0.255 | 25-30 | L9 | 0.582 | 0.291 | 20-25 | L9 |
| 0.062 | 0.031 | 15-10 | L10 | 2.66 | 1.33 | 5-10 | L10 |
| 0.682 | 0.341 | 20-25 | L10 | 0.062 | 0.031 | 15-20 | L10 |
| 1.68 | 0.84 | 5-10 | L11 | 0.216 | 0.0108 | 25-30 | L10 |
| 0.84 | 0.42 | 15-20 | L11 | 1 | 0.5 | 10-15 | L11 |
| 0.04 | 0.02 | 25-30 | L11 | 0.0414 | 0.0207 | 20-25 | L11 |
| 1.64 | 0.82 | 10-15 | L12 | 1.6 | 0.8 | 5-10 | L12 |
| 0.78 | 0.39 | 20-25 | L12 | 1.04 | 0.52 | 15-20 | L12 |
| - | - | - | - | 0.564 | 0.282 | 25-30 | L12 |

من خلال نتائج عامل الامتصاص النوعي و المقاطع الهيدرولوجيوهندسية نلاحظ
[الباحث]:

1- المانعة كتيمة و غير نفوذة و بالتالي التشققات الموجودة على قمة السد هي
تشققات سطحية لا تصل إلى قمة المانعة كما يوضح المقطع الهيدرولوجيوهندسي
(II-II) الشكل (8).

أما بالنسبة لأساس السد الرئيسي فهو نفوذ ضمن نطاق السبور من D2 إلى D4 و على عمق من 19.5m حتى 25m من قمة السد ، أي يوجد مجال نفوذ أسفل محور السد يمتد لمسافة 382.54 m و عمق 5.5m أما مناطق السبر D1 و D5 غير نفوذة .

2- السدة الثانوية غير نفوذة ما عدا منطقة السبر A1 نفوذة على عمق 1.5 m حتى عمق 5 m أما أساسات السدة الثانوية غير نفوذة.

3-بالنسبة للبحيرة تبين وجود عدة نطاقات نفوذة ابتداء من سطح البحيرة و حتى عمق 5m و هي كالتالي :

- النطاق الأول : يمتد من L2 إلى السبر L4 و يبتعد عن محور السد مسافة قدرها 86.44 m و يمتد لمسافة 382.54m أما المسافة العمودية على محور السد الرئيسي 225.94 m بالتالي مساحة النطاق النفوذ : $382.5 * 225.94 = 86431.087 \text{ m}^2$

- النطاق الثاني : هي المنطقة التي يغطيها السبور (L7-L8) و تبعد بمقدار 225.94 m عن محور السد أما أبعاد هذا النطاق فهي :

المسافة العمودية على محور السد الرئيسي : $7.7 + 195.97 = 271.67 \text{ m}$ (المسافة بين L7,L10) (المسافة بين النطاق الأول و السبر L7)

المسافة العمودية على السدة الثانوية : 288.66 (محدد من منطقة السبر L8 و حتى منتصف المسافة بين السبرين L6, L7)

و بالتالي المساحة التي يشغلها هذ النطاق : $271.67 * 288.66 = 78420.26 \text{ m}^2$

- النطاق الثالث : هي المنطقة التي يغطيها السبر L5 ، أما المساحة التي يشغلها النطاق تمتد من منتصف المسافة بين L5 و L9 و حتى منتصف المسافة تقريباً بين L5 و L12 و تقدر ب 247 m (المسافة العمودية على محور السد الرئيسي) و مسافة

تقدر 389.11m تمتد من منتصف المسافة بين L5 و L6 إلى السبر A3 (المسافة

العمودية على السدة الثانوية) و بالتالي تقدر مساحة النطاق النفوذ:

$$389.11 * 247 = 96110.71m^2$$

يبعد هذا النطاق عن محور السد الرئيسي بمقدار : 280.23m

- تشكّل مسارات مائية أسفل محور السد تمتد من البحيرة إلى خلف السد مروراً

بأساسات السد وهي :

1- المسار الأول : L8,L2,D2,H2

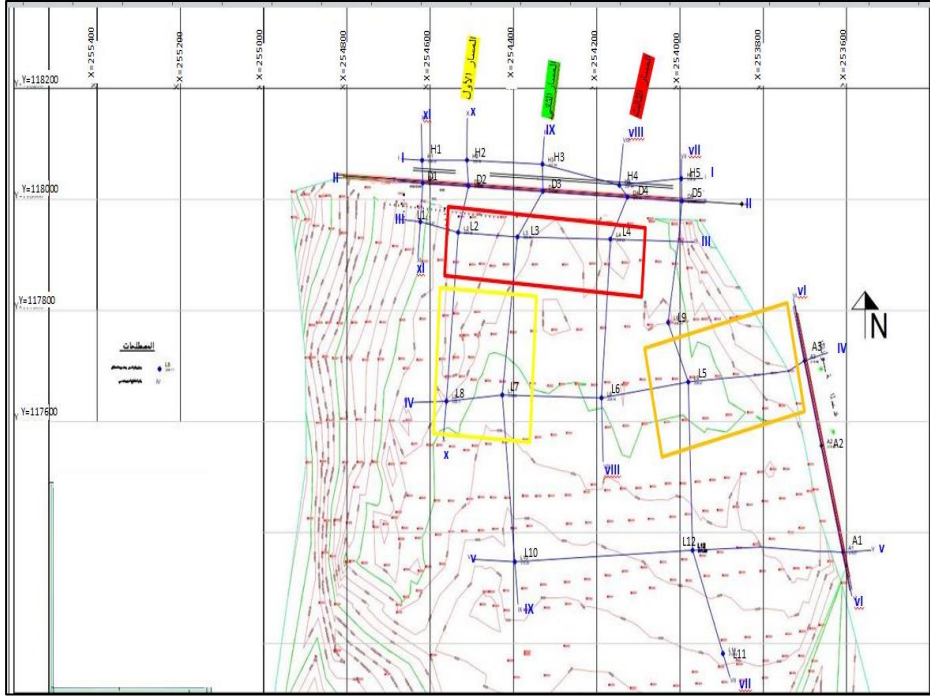
2- المسار الثاني : L7,L3,D3,H3

3- المسار الثالث : L4,D4,H4

و هذا ما يفسر ظهور بساط مائي خلف السد .

المناطق التي تغطيها السبور (L6,L9,L10,L11,L12) هي مناطق غير نفوذة .

و يبين الشكل (11) النطاقات النفوذة و مسارات التسرب أسفل محور السد .



الشكل (11) النطاقات النفوذة و مسارات التسرب أسفل محور السد

4- فواقد المياه بالرشح في توضعات ردمية جسم السد:

مع الأخذ بالحسبان الفرضيات الآتية [6] :

1- تم اعتبار محور السد الرئيسي قطاع رشح واحد .

2- اعتبار السطح الكتيم ضمن توضعات أساسات السد الرئيسي حسب النفاذية و عامل الامتصاص النوعي $> 0.01 \text{ L/min.m}^3$.

فإن كمية المياه المتوقع فقدانها بالرشح من منسوب التخزين 217 m عن سطح البحر و حتى أسفل مناسب الحفر باستخدام علاقة (كامينسكي) التالي :

$$Q = k \cdot \frac{H \cdot t}{t + 2l} \cdot L \quad (1)$$

حيث :

K : عامل الرشح m/day حيث $K=2q$ ، q : عامل الامتصاص النوعي 'L/min.m'
(.

H : الضاغط المائي m .

t : سماكة الطبقة الراشحة m.

2l : عرض الجزء الكتيم في قاعدة السد لسد ترابي على اعتبار ميل الوجهين 1/2.25
و عرض القمة 5m .

L : طول جبهة الرشح m.

و يبين الجدول (16) قيمة فواقد الرشح في جسم السد الرئيسي و السدة الثانوية .

الجدول (16) قيم فواقد الرشح في السد الرئيسي و السدة الثانوية [الباحث]

| رقم القطاع | عامل الرشح K | الضاغط المائي H | سماكة الطبقة الراشحة t | عرض القاعدة الكتيمية من جسم السد 2l | طول جبهة الرشح L | كمية الرشوحات Q |
|----------------|----------------------------------|-----------------|------------------------|-------------------------------------|------------------|-------------------|
| | m/day | M | M | M | M | m ³ /d |
| السد الرئيسي | 0.36 | 39.06 | 34.86 | 84.65 | 750 | 3077 |
| السدة الثانوية | 0.32 | 21.76 | 21.43 | 64.1 | 387 | 675 |
| | إجمالي الفواقد خلال اليوم الواحد | | | | | |
| | إجمالي الفواقد خلال 180 يوم | | | | | |
| | 3514 | | | | | |
| | 675360 | | | | | |

5- كمية الرشوحات المتوقعة من قاع البحيرة:

تتألف توضعات هذا الجزء من الحجر الكلسي المشقق والحجر الرملي والكونغولوميرا والغضار الرملي، وتوجد بعض النطاقات ذات نفوذية عالية جداً وتأثيرها أثناء عمليات الرشح كبيرة تكون على شكل دوامات مائية والتي تمت مشاهدتها بالعين المجردة بأكثر من موقع ضمن بحيرة التخزين في الشهر الأول من عام 2020 [الباحث] عند المنسوب 211.8 m والتخزين 1.87 M.m³ وعامل الامتصاص النوعي لهذه التوضعات (0.7 L/min.m³) وذلك بالاعتماد على مجالات النفاذية العالية و حتى عمق 15 m من سطح الأرض في السبور المنفذة ضمن البحيرة و تم اعتبار فواقد الرشح في هذه الطبقة شاقولية ، و جرى حسابها بالعلاقة [10] :

$$Q = KFI \quad (2)$$

حيث : Q : فواقد الرشح الشاقولي (m³/day)

K : عامل الرشح الوسطي (1.4 m/day)

F :مساحة البحيرة = 1340366 m²و ذلك باعتبار منسوب التخزين على

المنسوب 217m فوق سطح البحر .

I : الميل الهيدروليكي =0.01

و بالحساب : $Q = 1.4 \times 1340366 \times 0.01 = 18765 \text{ m}^3/\text{day}$

و مجموع فواقد البحيرة خلال ستة أشهر (180 day) :

$$Q = 18765 \times 180 = 3377700 \text{ m}^3/\text{d}$$

و بالتالي يمكن حساب مجموع الفاقد خلال (180 day) :

$$\text{بحيرة التخزين} + \text{محور السد} = 675360 + 3377700 = 4053060 \text{ m}^3/\text{d}$$

نسبة الفواقد على اعتبار أن حجم التخزين 1.87 مليون متر مكعب على منسوب التخزين 211.8 m فوق سطح البحر و خلال 180 يوم من السنة:

$$4053060/1870000 = 216\%$$

6- نمذجة السد :

تم نمذجة السد باستخدام برنامج (ge-ostodio) الحزمة البرمجية لدراسة التسرب هي (seep/w) و يبين الشكل (12) السد المنمذج في البرنامج و مناطق النفاذية المختلفة ،حيث تم دراسة المقطع الذي يمثل أكثر فاقد مائي متمثل (L8-L2-D2-H2) [الباحث] و استخدمت قيم النفاذية التي تم الحصول عليها في الدراسة الجيولوجية و هي موضحة في الجدول (16) .

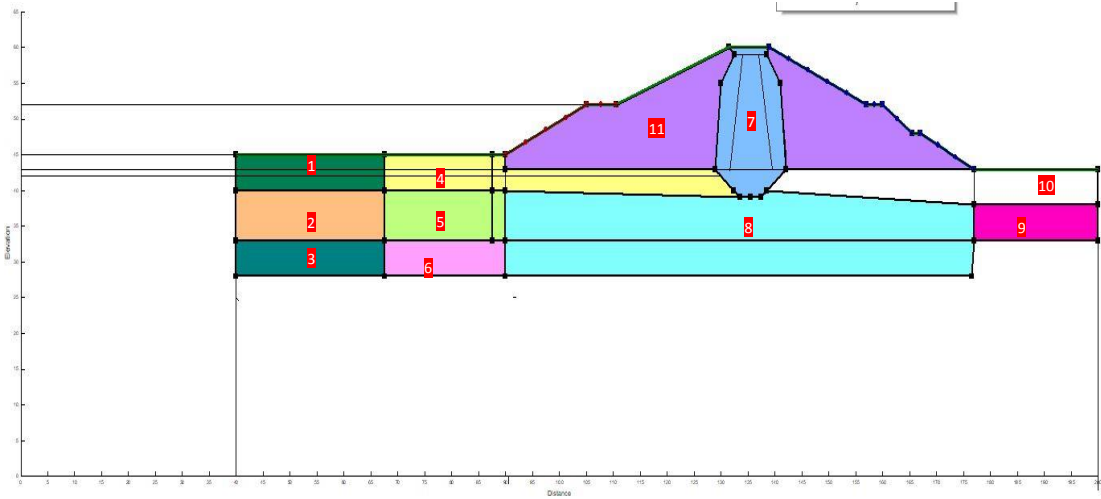
تم معالجة القيم في بيئة البرنامج و الحصول على النتائج حيث و يوضح الشكل (13) سيلان الماء على الوجه الخلفي للسد و خطوط الكونتور (تساوي الضاغط) [الباحث].

كما يبين الشكل (14) تغير التصريف و الضغط المائي في أساس البحيرة ، و الشكل (15) تغير التصريف و الضاغط المائي في أساس محور السد [الباحث]

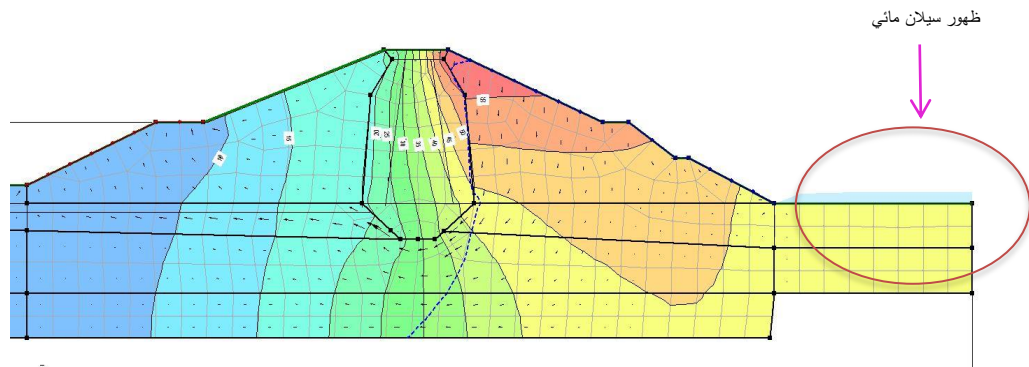
نمذجة تحليلية لتقييم الفواقد الرشحية من سد سلحب باستخدام برنامج (Geo-Studio)

الجدول (16) قيم النفاذية المستخدمة في البرنامج

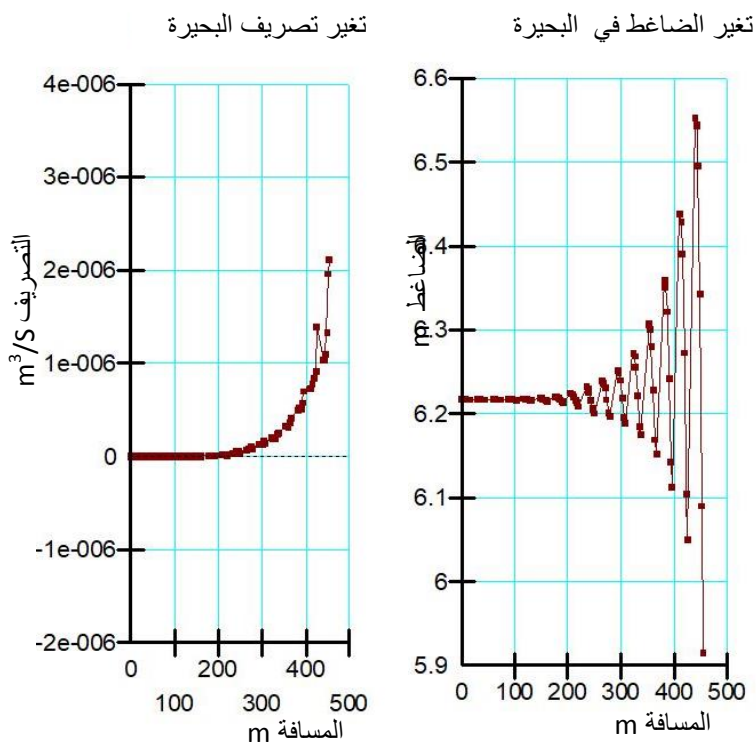
| رمز الطبقة | اللون | ترب المنطقة | النفاذية m/sec |
|------------|---------------|---|----------------|
| 1 | الأخضر الغامق | غضار رملي يتناوب معه حجر رملي و كونغلواميرا و حجارة كلسية | 6E-6 |
| 2 | البرتقالي | حجر رملي متوسط التماسك مع رمل و كونغلواميرا | 1.94E-5 |
| 3 | الأزرق المخضر | حجر رملي متوسط التماسك مع رمل و كونغلواميرا | 9.2E-6 |
| 4 | الأصفر | غضار رملي مع حصى كلسية ناعمة و حتى قطر 5cm | 3.7E-5 |
| 5 | الأخضر الفاتح | حجر رملي متوسط التماسك مع رمل و كونغلواميرا | 1.94E-5 |
| 6 | الزهري الفاتح | حجر رملي متوسط التماسك مع رمل و كونغلواميرا | 2.12E-5 |
| 7 | الأزرق الغامق | غضار رملي متوسط إلى جيد التماسك | 6.3E-7 |
| 8 | الأزرق الفاتح | غضار رملي مع حصى كلسية ناعمة و حتى قطر 5cm | 9E-6 |
| 9 | الزهري الغامق | غضار رملي مع حصى كلسية ناعمة و حتى قطر 5cm | 3.84E-5 |
| 10 | الأبيض | غضار رملي مع حصى كلسية ناعمة و حتى قطر 5cm | 1.38E-5 |
| 11 | البنفسجي | ركام حجري | 1E-6 |



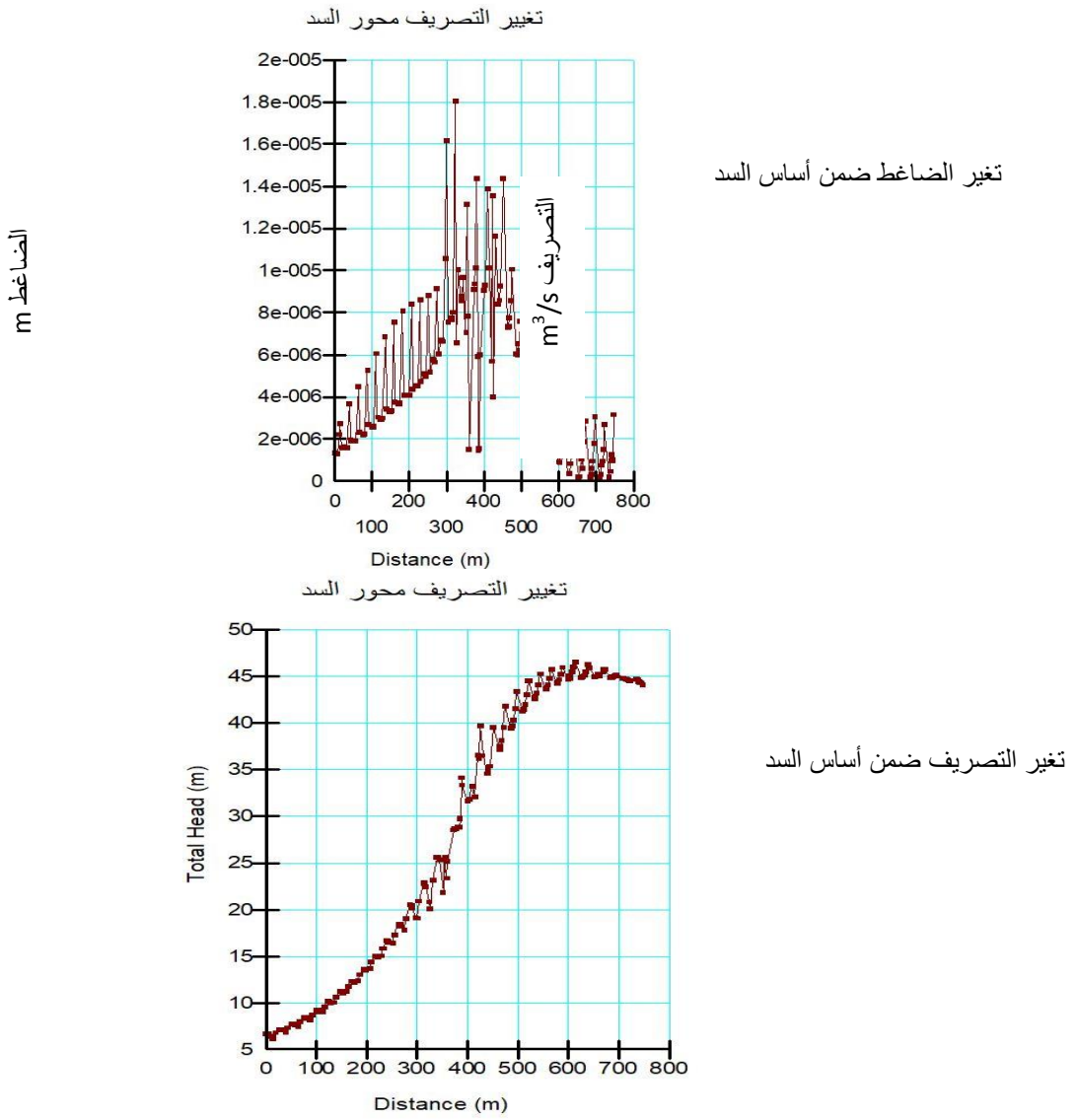
الشكل (12) السد النمذج



الشكل (13) سيلان الماء خلف السد و خطوط الكونتور [الباحث]



الشكل (14) تغيير الضاغظ و التصريف ضمن البحيرة



تغير الضاغط ضمن أساس السد

تغير التصريف ضمن أساس السد

الشكل (15) تغيير الضاغط و التصريف في أساس السد [الباحث]

من خلال نتائج الشكل (14) نستنتج أن التصريف الوسطي ضمن البحيرة هو $(2E-7 \text{ m}^3/\text{s})$ و بالتالي التصريف باعتبار مساحة البحيرة (1340366 m^2) عند حجم تخزيني (1870000 m^3) و خلال 180 يوم يساوي $(4169074 \text{ m}^3/\text{d})$.

أما التصريف الوسطي من جسم السد الذي تم استنتاجه من الشكل (10) فهو $(3.85E-5 \text{ m}^3/\text{s})$ و بالتالي التصريف على كامل طول السد حيث $(L=895\text{m})$ و خلال 180 يوم يساوي $(2977 \text{ m}^3/\text{s})$.

ومنه كامل التصريف يساوي $(4172051 \text{ m}^3/\text{d})$.

من خلال ما سبق و باعتبار قيمة التصريف المحسوبة رياضياً هي $(405308 \text{ m}^3/\text{d})$ فإن نسبة تطابق نتائج البرنامج مع القيم المحسوبة هي [الباحث]:

$$\frac{405308}{4172051} * 100 = 97\%$$

7- النتائج و المقترحات :

أولاً : النتائج :

1- بينت النتائج الجيولوجية عدم نفاذية النواة المركزية للسد الرئيسي و عدم وجود فجوات ضمنها أما التشققات الظاهرة على قمة السد هي تشققات سطحية و لا تصل إلى قمة النواة .

2- النفاذية العالية لأساس السد الرئيسي متمثلاً من منطقة السبر D2 حتى السبر D4 و عمق المنطقة النفوذة هو 5.5m و هذا ما تم توضيحه بالشكل (8).

- 3- وجود نطاقات ذات نفاذية عالية ضمن البحيرة محددة بالشكل (11) إضافة لوجود مسارات مائية تمتد من البحيرة و حتى الوجه الخلفي للسد الرئيسي و هذا ما يفسر ظهور بسات مائي خلف السد .
- 4- نسبة تطابق النتائج التي تم حصول عليها من برنامج geo- studio و النتائج الحاسوبية هي 97% ، و قد وضح البرنامج وجود بسات مائي خلف السد و هذا ما تم مشاهدته بالعين المجردة .

ثانياً : المقترحات :

- 1- ضرورة إجراء القياسات في جميع الآبار البيزومترية ، و المراقبة المشددة و اليومية و بشكل دوري و منتظم و مراقبة تصريف الرشوحات و منسوب الماء في سرير الوادي من أجل الكشف المبكر عن أي مشكلة مباشرة لتلافي الوقوع في مشاكل كبيرة تمتد على كامل السد و تهدده بالانهيار الكامل و حصول كارثة بيئية و بشرية .
- 2- يجب القيام بوضع أجهزة مراقبة الرشوحات لجميع السدود بما يتناسب و تطور أجهزة المراقبة الحديثة و الحالة الاستثمارية للسد المنفذ ، كتركيب بعض الحساسات للكشف المبكر عن المشاكل و سرعة أخذ القياسات .

المراجع العربية

- 1- التقرير الفني بنتائج التحريات الجيولوجية و الهيدروجيولوجية لسد سلحب المنفذ من قبل الشركة العامة للدراسات المائية ، الجمهورية العربية السورية ، 2022 .
- 2- حديد شعبان، ليوس الياس، استثمار وصيانة المنشآت المائية، جامعة البعث، حمص، الجمهورية العربية السورية، 2014-2015.
- 3- حديد شعبان ، إبراهيم بسام ، منشآت مائية (السدود) ، جامعة البعث ، حمص ، الجمهورية العربية السورية ، 2006 - 2007.
- 4- تقلا محمد، ميكانيك التربة (1) ، جامعة البعث، حمص، الجمهورية العربية السورية، 2003 - 2004
- 5- فارديميهر إيمان ، تحليل أكبر سد ترابي في إيران لمنع الكوارث في المستقبل ، جامعة الأورال الحكومية ، إيران ، 2019 .
- 6- فحصة إياد ، محسن أحمد ، التصميم الجيوديزي لشبكات المراقبة الارتفاعية في السدود "حالة دراسية سد الدويسات"، مجلة جامعة تشرين للبحوث و الدراسات العلمية ،المجلد 37 العدد 1 ، جامعة تشرين ، الجمهورية العربية السورية، 2015 .
- 7- سالم ميساء ، محاضرات ميكانيك التربة ، جامعة الفرات الأوسط ، العراق ، 2021 .

المراجع الأجنبية

8- Arthur J. Rocque , Jr. , Guidelines for Inspection and Maintenance of Dams, ,Connecticut Department of Environmental Protection,2001.

9 -Suttisak Soralump, Chinoros Thongthamchart , Montri Jinagoolwipat and Apisit Boonpo, Rehabilitation of leakage and seismic damaged problem of Mae Suai Earth zone composited RCC Dam, Dam Safety Research Unit, Geotechnical Engineering Research and development center, Civil Engineering Department, Kasetsart University, Thailand,2015.

10- VAL KOFOED, Willowstick Technologies, Utah, USA
JERRY MONTGOMERY, Willowstick Technologies, Utah, USA
KEITH GARDINER, United Utilities, Warrington, UK, Identifying Leakage Paths in Earthen Embankments, Improvements in reservoir construction, operation and maintenance, Thomas Telford, London, 2006.

11- A.K. HUGHES, Atkins Limited, Epsom, UK , Modern Technique for Leakage Detection at Dams, Challenges in a Time of Change ,Thomas Telford, London, 2010.