

الهبوطات والتشققات في تربة النواة الغضارية وطرق معالجتها

د. سمر عبدالحميد عوده*

(الإيداع: 30 أيلول 2020، القبول: 26 كانون الثاني 2020)

الملخص:

تصمم السدود الركامية الحديثة وفق أسس التصميم الحديثة على نحو تتكون من نواة مركزية كتيمية من تربة ناعمة تحتوي على كميات كبيرة من الغضار، محوطة بمواد انتقالية تتدرج في الخشونة باتجاه الخارج، وتصمم المناطق الانتقالية لتمثل فلاتر تمنع من نقل حبيبات التربة الناعمة من النواة بواسطة المياه المتسربة باتجاه الردميات في الأوجه، وتؤمن مخرجاً آمناً للتسرب عند قدم السد الخلفية. وتحافظ على جفاف الردميات لتأمين استقرار المنحدر الخلفي وأمان السد . تحدث التشققات في السدود الترابية عند التنفيذ أو عند الاملاء الأولي نتيجة أسباب عدة ونتيجة التسرب تحدث ظاهرة الحث التراجعي إذ تعود نسبة 46 % من أسباب انهيار السدود للحث التراجعي، ويمكن للفلتر المصمم، بشكل صحيح السيطرة على التآكل وإغلاق الشقوق التي قد تحدث في نواة السد الكتيمية. وهذا البحث يتعرض للتشققات التي تحدث في النواة الغضارية للسد أسبابها، وطرق معالجتها، ومن ثم إجراء دراسة مخبرية على نموذج مخبري يمثل نواة السد الغضارية وطبقة الفلاتر التي تقع خلفها وتطبيق شروط حقلية من قيمة وجهه الضاغط المائي وطريقة وشروطها الترب المستخدمة، وجود التشققات في النواة، لمراقبة كيفية إغلاق التشققات وإيقاف الحث والانجراف، ودور الفلتر وشكل حباته في ذلك حيث تم إغلاق الشق في التربة الغضارية بعد 30 ساعة من بداية جريان الماء فيه، لكن بنسب انجراف مختلفة لكل من نموذجي الفلاتر حيث كانت نسبة الانجراف للنواة المتشققة في حال استخدام فلتر المقالع (حصويات زاوية) أكبر بمرتين ونصف استخدام نفس الفلتر بجات مدورة لمساء.

الكلمات المفتاحية: الفلاتر ، الحث، الانجراف، الترشيح ، إغلاق الشقوق ،السدود، التسرب.

* دكتوراه في الهندسة المدنية- اختصاص الهندسة الجيو تكنولوجية -كلية الهندسة المدنية – جامعة البعث

Displacements And Cracks In The Soil Of Clay Core And The Methods Of Crack Closing.

Dr. SAMAR AUDE*

(Received: 30 September 2020, Accepted: 26 January 2021)

Abstract:

Historical records of dam failures determined that 46% of these failures were due to piping, where the filters were either inadequate or not present.

Filter is important part in an embankment dam because it is critical in protecting the core (often clay) against erosion. A proper filter is also able to control and seal unfavorable cracks that may occur through the impermeable core.

Among all of the methods, laboratory simulation is still to be the best way of designing. To explain the reasons, this study has reviewed the literature. It was found that many factors like gradation curve and its properties, grain shape, fine content, filter, etc. affect the soil-filter behavior. Later in this paper these factors are explained.

This research to investigate the ability of filters to stop cracks, has many principal elements: Development of a laboratory filter test device for testing composite specimens with cracks formed through base coarse material.

–The effect of the grain size of the upstream and downstream filters on filtration mechanisms.

presents the main research findings and conclusions of the research study with the recommendation of an improved filter design guideline. It also presents some future directions in this field.

Key word : filters , piping, erosion, filtration, closed cracks , earth dam, seepage.

*Department of Geotechnical Engineering– Faculty of Civil Engineering– Albaath University.

1- مقدمة:

إن حدوث أي انهيار في السد وجريان المياه المخزنة خلفه يسبب دماراً شاملاً لذلك فإن التشغيل الأمثل للسد في الظروف كافة مهم جداً للحصول على المنافع التي بني من أجلها السد؛ بالرغم من أن السدود تصمم باعتماد عامل أمان مقبول فإن حوادث انهيار كثيرة قد حصلت، بعض هذه الحوادث في سدود صممت حديثاً وكثير منها حدث أثناء الإملء الأولي للبحيرة، وهنا نذكر أهمية الاهتمام بالكتابة عن التشققات في السدود الترابية وذلك للسببين التاليين:

- إن كثيراً من تصدعات الناتجة عن الحث التراجعي (piping) التي تقوم بتهديب الماء على طول كتف السد لها منشأ يعود إلى التشققات، وإن ملاحظة هذه التشققات ليس سهلاً حيث أنه في بعض الحالات لا تصل إلى سطح السد. [2]

- أكد Sherard 1974 أن الانهيارات الناجمة عن الحث التراجعي (Piping) تحصل عن طريق بعض أنواع الغضار المتواجد في حالة انتشار وتبعثر. عندما يكون الغضار على تماس مباشر مع الماء تفضل بعض حبيباته عن سطح الكتلة الغضارية وتصبح معلقة في الماء فإذا جرى الماء انتقلت هذه الحبيبات معه وسمحت بتشكيل ظاهرة الحث التراجعي (تسمى بأوكار الثعالب) بسرعة كبيرة وغالباً ما يبدأ جريان الماء هذا في بعض شقوق الجفاف أو الشقوق الناجمة عن هبوطات تفاضلية في أساس السد أو ردميات جسمه. [14]

- درس (1991) Leonards, G.A., Huang, A.B., & Ramos, J الحث والانجراف في سد Conner Run Dam بإجراء اختبار النفاذية بضغوط ثابت وتطبيق ميول هيدروليكية عالية، لدراسة انجراف التربة الغضارية لنواة السد، حيث أن دليل اللدونة للتربة الغضارية لنواة السد تراوح بين 13 إلى 21 وتم رصها حتى الكثافة الجافة الأعظمية لبروكتور. [12]

2- الهدف من البحث:

بينت الدراسات أن 46% من أسباب انهيار السدود نتيجة ظاهرة الحث التراجعي (Piping) نتيجة لوجود التشققات في التربة الغضارية.

يمثل البحث تعريفاً عاماً بالتشققات التي يمكن أن تحدث في النواة الغضارية للسد ومن ثم دراسة مخبرية لمنطقة اتصال الفلتر بالنواة الغضارية، لدراسة آلية الترشيح لفلتر مفروض ومناقشة تأثير العوامل المؤثرة على إغلاق التشققات واستقرار مجموعة (التربة - فلتر). بشكل مماثل للشروط الحقلية وبما يناسب خصوصية كل تربة. [2]

يركز هذا البحث على مجموعة نقاط أساسية هي:

- تعريف عام بأنواع وأشكال التشققات التي تحدث في التربة الغضارية لنواة السد.
- دراسة مخبرية توضح آلية إيقاف الحث وإغلاق الشقوق في نواة السد وتأثير شكل حبات الفلتر ودورها في إغلاق التشققات في نواة السد.

3- مواد و طرق البحث:

سننظر في هذا البحث إلى الهبوطات والتشققات في السدود الترابية والاسباب المؤدية لها والتي يمكن تلخيصها بما يلي:

1- تشققات الهبوط التفاضلي

إن كثيراً من حالات الماء الراشحة التي سببها تشققات جسم السد تتحول إلى حث تراجعي، وهذا الوضع يصادف في السدود الصغيرة المبنية بشكل عشوائي، ولكن التشققات إن وجدت في السدود الكبيرة والمبنية بأساليب حديثة دقيقة فهي تحتاج لمراقبة.

تنتج التشققات من تأثير اجهادات الشد في السد وتظهر عندما يتبدل وضع السد تحت تأثير الهبوط التفاضلي.

إن شبكة التشققات ترتبط بهندسة المشروع والانضغاطية في أساساته أو أكتافه أو جسمه، ويمكن للتشققات أن تأخذ أي اتجاه فتكون محلية أو تمتد لمسافات كبيرة عبر النواة، وقد يبلغ عرض الشق 15 سم علما بأن الشقوق التي عرضها 3-4 سم هي شقوق شائعة. [3]

يتطور وضع التشققات في السدود المتوسطة (التي ارتفاعها أقل من 30م) وفي القسم العلوي من السدود الكبيرة بينما يمنع تطورها وتمركز الاجهادات في قسمها السفلي وفي جميع الأحوال يجب أن نعلم ما يجري داخل السد الترابي ومعرفتنا لمواقع احتمال ظهور التشققات.

2- التشققات العرضية

إن أخطر التشققات هي التشققات العرضية لأنها تسهل مرور الماء الراشح عبر النواة، وسبب هذا النوع من التشققات هو هبوط تفاضلي بين الأقسام المتجاورة من السد، وغالبا يكون بين الردميات الموجودة في سرير الوادي والقسم المجاور للأكتاف.

إن أهم أنواع التشققات هي التي تنتج بسبب أساسات قابلة للانضغاط وأكتاف شديدة الانحدار غير قابلة للانضغاط وهنا تظهر التشققات في النصف العلوي من الأكتاف ويمكن أن تكون شاقولية أو مائلة وبكل الاتجاهات وفق التصميم الهندسي للسد والتشوهات التي تصيبه.

إن الخطر الكبير يأتي من كون أساسات السد قابلة للانضغاط وكذلك من انضغاطية جسم السد رغم الاعتناء ببنائه فقد ينتج عن ذلك تشققات عرضية. [3]

3- التشققات الطولية

لا تعتبر التشققات الطولية خطرة، وهذا ما دلت عليه الأحداث حتى في السدود الحديثة، وسبب هذه التشققات هي الحركات المختلفة التي يتعرض لها السد (عمقها لا يزيد عموما عن متر واحد) وتظهر التشققات الطولية نتيجة:
- هبوط تفاضلي في الأساسات : ويحصل عندما تكون ردميات مانعة الرشح مرصوفة جيدا، فتتهبط قمة السد أقل من جوانبه

إن ظهور التشققات الطولية على قمة السد يعود جزئيا إلى وجود اجهادات شد في أعلى جسم السد ولكن يجب الإشارة إلى أن الخطر الرئيس من وجود التشققات الطولية هو اتصالها بالتشققات العرضية غير المرئية، لذا يجب مراقبتها وعندما تتوقف حركتها نقوم بحفر قسم التشقق ونملأه بترية مرصوفة ومن الموصى به إجراء آبار مراقبة كي نتأكد من أن التشققات الطولية ليست مائلة تقطع النواة وإذا ما لاحظنا وجود شق طولي طويل وعميق فلا بد من مراقبته وأخذ قياساته.

4- التشققات الداخلية غير المرئية على سطح السد:

إن غالبية أنواع التشققات التي قمنا بوصفها حتى الآن ممكن ظهورها على سطح السد وقد لا نستطيع رؤيتها فيما لو كان سطح السد مستورا بمواد غير متماسكة، لذا يمكن وجود مثل هذه التشققات في كثير من السدود دون أن نعرف بها، لكن هنا أنواع من التشققات لا تظهر أبدا على سطح السد وهي التي تشكل موضوع هذه الفقرة مثل :

1- في حالة نواة شاقولية ضيقة قابلة للانضغاط في سد ركامي يمكن أن تحصل الشقوق وسبب ذلك :

* انضغاط النواة خلال عملية البناء بتأثير من وزن الطبقات الجانبية والعلوية التي تضغط أكثر .

* استناد وزن النواة على الجوانب بالاحتكاك مما يؤدي إلى حدوث التشققات العرضية في النواة. [4]

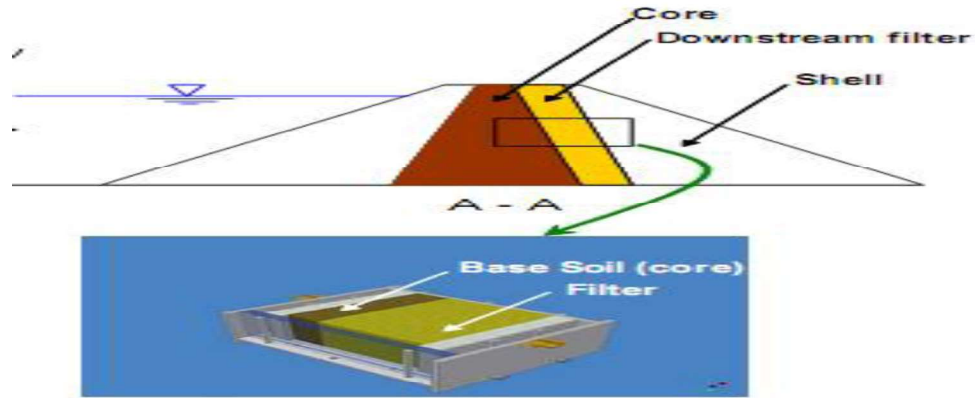
2- عندما يكون قسم الأساسات قابلا للانضغاط أكثر من غيره تظهر اجهادات شد في جسم السد تؤدي إلى تشققات. وفي جميع الأحوال يجب أن نتذكر أنه لا بد من تخمين بعض أنواع التشققات خاصة التي يكون من الصعب التحري عنها.

وقد كشف الشقوق الداخلية صدفة عند حفر السبور اليدوية في النواة بعد بناء السد. [5]

الدراسة العملية:

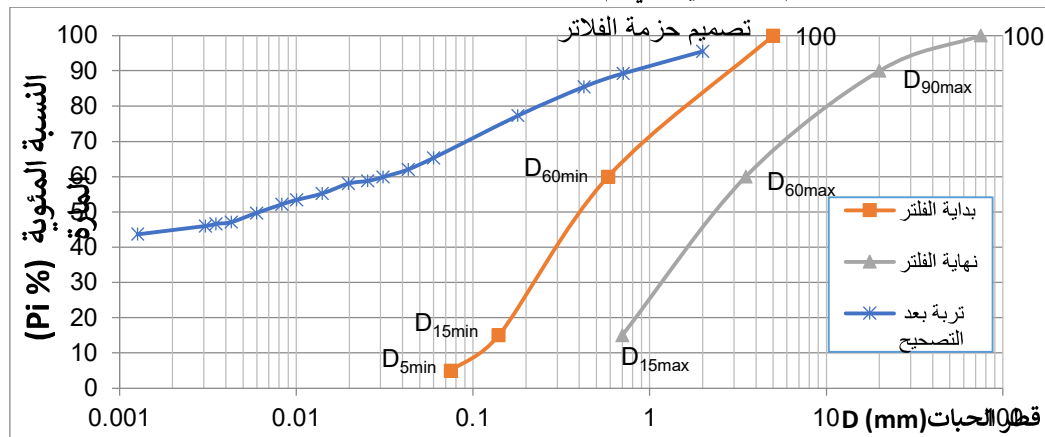
بعد التعرف على أهم أنواع التشققات التي من الممكن أن تحدث ضمن نواة السد الغضارية وأسبابها تم إجراء دراسة مخبرية على نموذج مخبري يتألف من طبقة تربة غضارية بحالة الإشباع تمثل نواة السد الكتيمة بعد امتلاء بحيرة السد تحوي شقاً شاقولياً باتجاه الجريان وإخضاعها لجريان ثابت موجه من الأعلى للأسفل وهو كما ذكرنا سابقاً أخطر أنواع التشققات لوجود خطر انجراف التربة الغضارية مع المياه المتسربة و طبقة الفلتر الخلفي للنواة لدراسة ومراقبة كيفية اغلاق هذه الشقوق وإيقاف الانجراف والعوامل المؤثرة على ذلك حيث يستدل على حالة عدم الاستقرار عند هجرة وحركة حبات التربة التي تلاحظ بالعين المجردة من خلال خلية النفاذية الشفافة وتؤكد بالتحليل الحبي قبل وبعد الجريان.

يبين الشكل 1 النموذج المخبري للمشكل لمراقبة ودراسة التشققات في التربة الغضارية لنواة السد وكيفية اغلاقها.



الشكل رقم (1): تمثيل منطقة التماس بين النواة والفلتر ضمن قالب الاختبار لتشكيل النموذج

تم اختيار مواصفات التربة الغضارية بحيث تحقق مواصفات اللجنة الدولية للسدود ICOLD لنواة السد الكتيمة مع تشكيل شق مسبق فيها على كامل ارتفاعها، وتصميم طبقة الفلتر المناسبة للتربة الغضارية والمحققة لمعايير تراكبي، ويبين الشكل 2 حزمة الفلاتر المناسبة للتربة الغضارية التي تم اختيارها.



الشكل رقم (2): منحنى التركيب الحبي للتربة الغضارية المدروسة وحزمة الفلاتر المناسبة لها

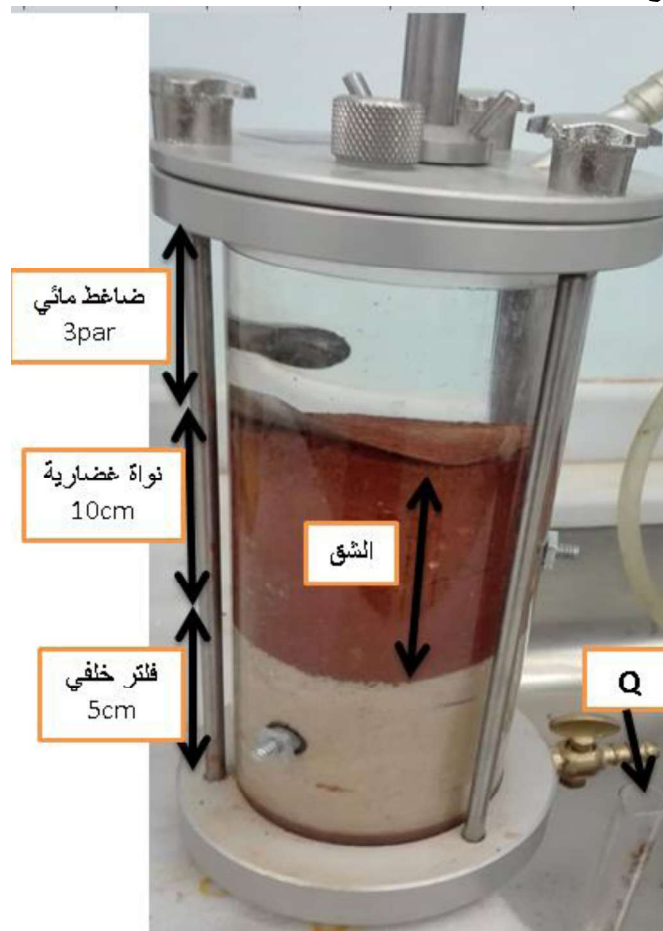
رص عينات الاختبار

التربة الغضارية : تم رص التربة الغضارية التي ستمثل نواة السد وفق الكثافة الجافة الأعظمية ($\gamma_{d_{max}}=1.59 \text{ gr/cm}^3$) ورطوبة مثالية ($w_{opt}=22\%$) ضمن قالب الاختبار بارتفاع 10cm على شكل طبقات افقية سماكة كل طبقة 3 Cm.

تم تشكيل شق على كامل ارتفاع التربة الغضارية بوضوح صفيحة ألمنيوم ملساء أثناء الرص ذات مقطع عرضي (10×1 mm) بين العينة وجدار القالب على كامل ارتفاع التربة ثم سحب الشريحة بهدوء عند انتهاء رص طبقات التربة بحيث يبقى مفتوحاً بسماكة 1mm بعد ازالة الصفيحة.

الفلتر: تم رص الفلتر ضمن القالب بسماكة 5cm وفق الكثافة الجافة الأعظمية ورطوبة 6% على 3طبقات. لدراسة الفلتر خلف نواة السد (Downstream filter) يتم رص طبقات الفلتر في أسفل القالب وفوقها طبقات التربة الغضارية لتمثيل حالة الفلتر خلف نواة السد.

ويتم وضع قرص مسامي أسفل وأعلى النموذج لتوزيع ضغط الماء على النموذج ومنع خروج وانجراف حبات التربة من النموذج. ومن ثم تم تطبيق ضاغط مائي ثابت على النموذج خلال الاختبار لكل من الفلتر الأمامي والخلفي مقداره 3bar أي ما يعادل ارتفاع ماء 30m حيث أن أغلب السدود الترابية في الجمهورية العربية السورية ارتفاع التخزين فيها حوالي 30m. يبين الشكل 3 نموذج الاختبار للفلتر خلف نواة السد



الشكل رقم (3): تشكيل نموذج الاختبار للفلتر خلف نواة السد

4-النتائج والمناقشة

طريقة الاختبار:

بعد تشكيل النموذج (تربة تحوي الشق - فلتر خلفي) الموضح بالخطوة السابقة يتم اشباع العينة 24 ساعة ومن ثم تطبيق ضاغط مائي ثابت على النموذج مقداره 3 par.

وبما أن النفاذية هي المعيار الأساسي لتقييم سلوك مجموعة التربة والفلتر تم تسجيل كمية الماء المتسربة من العينة (النموذج) حتى استقرار الجريان وحساب نسبة التدفق (Q) مع الزمن خلال التجربة.

بعد انتهاء التجربة تم وزن التربة الغضارية بعد التجربة ومقارنتها مع الوزن قبل التجربة الذي تم رصه بالقالب لمعرفة نسبة التربة التي تم جرفها أثناء الجريان لتقييم حركة حبات التربة ونسبة انجرافها.

وكذلك تم وزن الفلتر بعد التجربة ومقارنته مع الوزن قبل التجربة الذي تم رصه لمعرفة نسبة التربة التي احتفظ بها الفلتر. بعد ذلك تم تجفيف كل من التربة الغضارية والفلتر واجراء تجربة التحليل الحبي بعد التجربة لكل من التربة والفلتر لمعرفة نسبة النقصان في كل من مكونات التربة والفلتر.

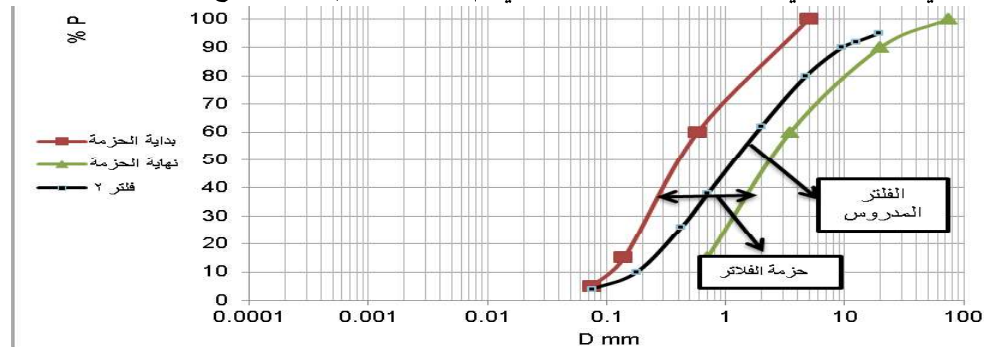
تتم معرفة مقدار احتفاظ الفلتر بالتربة الناعمة على أساس وزن النواعم الأصغر حجماً من أصغر حبات الفلتر، ويحدد وزنهم كنسبة من الوزن البدائي للفلتر، إضافة للملاحظات العينية لكمية التربة المنجرفة مع المياه المتسربة وتعتبر هذه النسبة عن نجاح أو فشل في ترشيح هذه الكمية من التربة والاحتفاظ في التربة المحمية.

تم اختبار نوعين من الفلاتر مع نفس التربة الغضارية المتشقة ومراقبة طريقة اغلاق الشق الفلتر الأول: عبارة عن بحص سيل مدور أملس مع رمل ناعم.

الفلتر الثاني: عبارة عن بحص مقالع مكسر.

سيتم اختبار سلوك كل من الفلترين مع التربة المتشقة وتقدير نسبة الاحتفاظ بالتربة واغلاق الشق وايقاف الحت فيها، الاختلاف بين الاختبارين البحص المستخدم في الفلتر مع تشابه كافة شروط الاختبار الاخرى (منحني التحليل الحبي للفلتر والتربة، الرطوبة، درجة الرص، سماكة التربة والفلتر، أبعاد الشق، الضاغط المائي).

تم اختيار منحني التحليل الحبي للفلتر ضمن حزمة الفلتر التي تم تصميمها للتربة كما يوضح الشكل 4.



النسب الوزنية للفلتر حسب النظام الموحد (U.S.C.S)		
نسبة النواعم الاصغر من 0.075 mm	رمل	بحص
5%	75%	20%

الشكل رقم (4): منحني التحليل الحبي للفلتر

ويبين الشكل 10 شكل الحبات المستخدمة في كل فلتر.

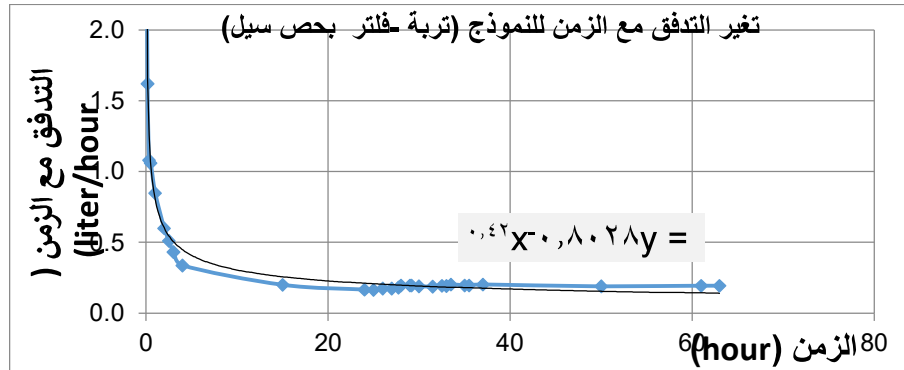


الشكل رقم (10): شكل الحبات المستخدمة في كل فلتر

الاختبار الأول: استخدام بحص سيل مدور ورمل في الفلتر:

تم تشكيل نموذج الاختبار (ترية - فلتر) بحيث يكون فلتر من بحص سيل مدور مع رمل ناعم تم تشكيله وفق منحني التحليل الحبي الموضح بالشكل 4 ورصه وفق الشروط المعتمدة للاختبارات (الرطوبة 6% ودرجة الرص حسب الكثافة الجافة الأعظمية)، ومن ثم رص التربة التي تحوي الشق فوق الفلتر في قالب الاختبار وفق الرطوبة المثالية والكثافة الجافة الاعظمية، وبتطبيق ضاغط مائي ثابت (3 par) على العينة المشبعة وقياس كمية المياه المتسربة حتى استقرار الجريان.

تم قياس التدفق مع الزمن من النموذج التربة المتشقة مع بحص السيل بحبات مدورة لمساء كانت كمية التدفق (4.2 liter/hour) واستقر بعد زمن 30 ساعة عند قيمة (0.19 liter/hour). كما يبين الشكل 11.



الشكل 11 تغير التدفق مع الزمن للنموذج (ترية - بحص سيل مدور)

النسب بعد التجربة للنموذج (ترية - بحص سيل مدور)

لتقدير كمية الانجراف الحاصل في التربة عند استخدام فلتر بحبات بحص مدورة ورمل ناعم تم وزن التربة المستخدمة في النموذج قبل وبعد التجربة، وكذلك وزن الفلتر قبل وبعد التجربة فكانت القيم كما يوضحها الجدول 1.

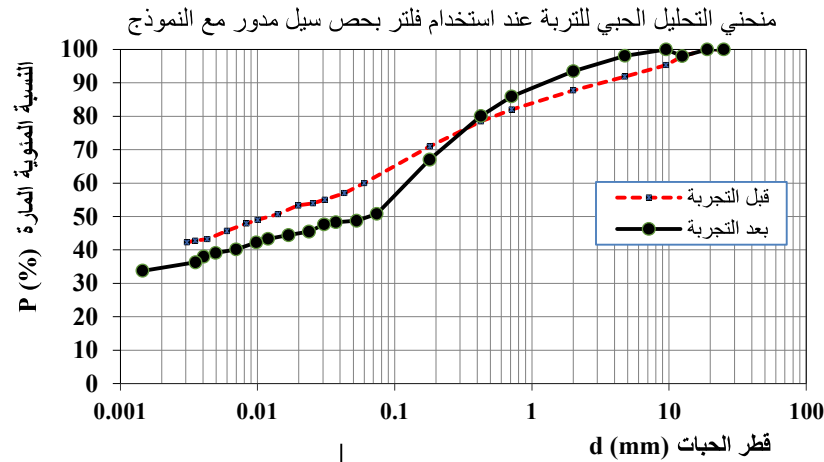
الجدول رقم (1): مقارنة النسب الوزنية للنموذج (تربة مع شق-فلتر بحص سيل) قبل وبعد التجربة

مقارنة وزن التربة والفلتر بحص سيل قبل وبعد التجربة	
483.4	وزن الفلتر جاف قبل التجربة gr
450.2	وزن الفلتر جاف بعد التجربة gr
33.2	النقصان في وزن الفلتر gr
6.9%	نسبة النقصان في الفلتر %
780	وزن التربة جاف قبل التجربة gr
700	وزن التربة جاف بعد التجربة gr
80	النقصان في وزن التربة gr
10.3	نسبة النقصان في التربة %

نلاحظ من الجدول 1 للنموذج أن نسبة التربة المفقودة حوالي 10 % من وزن التربة الأساسي ونسبة الرمل المفقود من الفلتر حوالي 7 % من وزن الرمل الأساسي المستخدم في الفلتر .

منحني التحليل الحبي للتربة بعد التجربة:

بإجراء تجربة التحليل الحبي للتربة الغضارية بعد انتهاء التجربة ومقارنتها مع نسب التربة قبل اجراء التجربة لتقدير قيمة الانجراف الذي حصل في التربة حتى اغلاق الشق عند استخدام بحص بحبات مدورة مع رمل ناعم مع النموذج كان منحني التحليل الحبي للتربة كما هو موضح في الشكل 12.



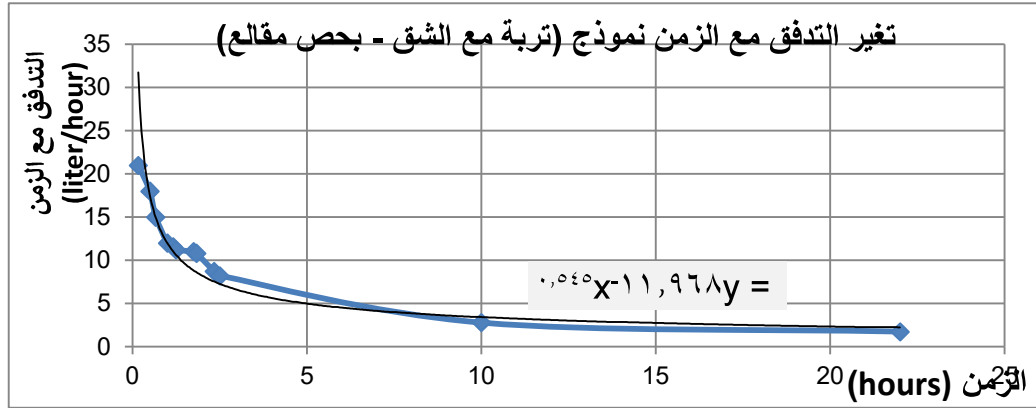
الشكل رقم (12): منحني التحليل الحبي للتربة قبل وبعد التجربة عند استخدام فلتر بحص سيل مع التربة

الجدول رقم (2): مقارنة النسب الوزنية للتربة عند استخدام فلتر بحص سيل في النموذج

النسب الوزنية للتربة حسب النظام الموحد (U.S.C.S)				
بحص	رمل	سيلات	غضار	
8	28	24	40	قبل التجربة %
6	43	21	35	بعد التجربة %
-2	+15	-3	-5	تغير النسب %

نلاحظ أن انجراف الغضار من حواف الشق عند استخدام بحص سيل مدور ورمل ناعم كان 5%، مع تزايد نسبة الرمل التي عملت على اغلاق الشق وحجز التربة حوالي 15% وبذلك نجح الفلتر بحبات مدورة في اغلاق الشق وايقاف الحت. الاختبار الثاني: استخدام بحص مقالع مكسر في الفلتر:

تم اعادة تشكيل النموذج بنفس شروط الاختبار السابق لكم مع تغيير البحص المستخدم في الفلتر ليصبح بحص مقالع مكسر بنفس منحنى التحليل الحبي للفلتر بالاختبار الأول وتشابه باقي الشروط جميعها. لدراسة تأثير استخدام بحص مكسر بحبات زاوية في الفلتر على دور الفلتر في الاحتفاظ بالتربة المتشقة واغلاق التشققات. وبحساب تغير التدفق مع الزمن من النموذج التربة المتشقة مع بحص مقالع مكسر بحبات بزوايا، كانت كمية التدفق (21 liter/hour) واستقر بعد زمن 30 ساعة عند قيمة (1.7liter/hour). كما يبين الشكل 13.



الشكل رقم (13): تغير التدفق مع الزمن للنموذج (تربة -بحص مقالع مكسر)

النسب بعد التجربة للنموذج (تربة -بحص مقالع مكسر)

لتقدير كمية الانجراف الحاصل في التربة عند استخدام فلتر بحبات بحص حبات زاوية تم وزن التربة المستخدمة في النموذج قبل وبعد التجربة، وكذلك وزن الفلتر قبل وبعد التجربة فكانت القيم كما يوضحها الجدول 3.

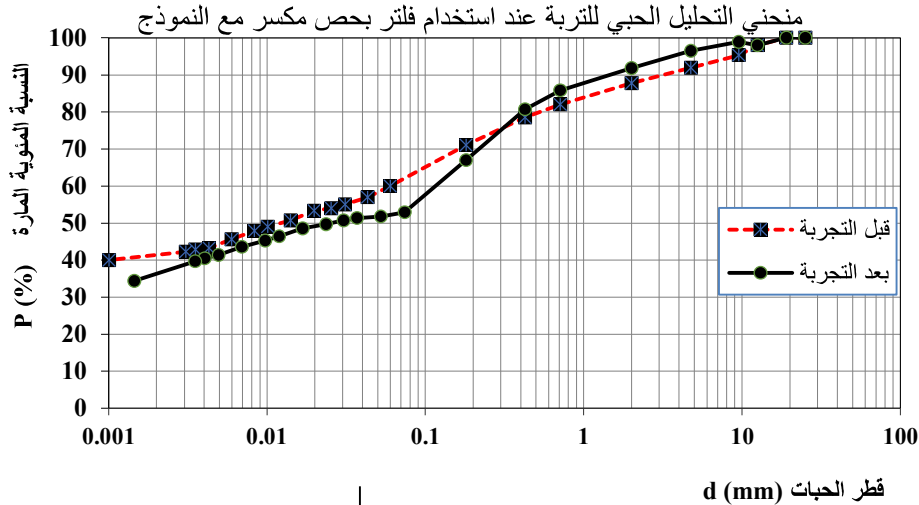
الجدول رقم (3): مقارنة النسب الوزنية للنموذج (تربة مع شق -فلتر بحص مقالع مكسر)

مقارنة وزن التربة والفلتر بحص مكسر قبل وبعد التجربة	
475	وزن رمل الفلتر قبل التجربة gr
404.6	وزن رمل الفلتر بعد التجربة gr
70.4	النقصان في وزن رمل الفلتر gr
14.8	نسبة النقصان في رمل الفلتر %
780	وزن التربة قبل التجربة gr
622	وزن التربة بعد التجربة gr
158	النقصان في وزن التربة gr
20.3	نسبة النقصان في التربة %
4.7	وزن التربة في الماء المجمع بعد التجفيف gr

نلاحظ من الجدول 3 للنموذج أن نسبة التربة المفقودة حوالي 20 % من وزن التربة الأساسي ونسبة الرمل المفقود من الفلتر حوالي 15 % من وزن الرمل الأساسي المستخدم في الفلتر وبعد تجفيف المياه المتسربة المجمعة ترسب 4.7 gr من التربة التي مرت من الفلتر مع المياه المتسربة.

منحني التحليل الحبي للتربة بعد التجربة:

بإجراء تجربة التحليل الحبي للتربة الغضارية بعد انتهاء التجربة ومقارنتها مع نسب التربة قبل إجراء التجربة لتقدير قيمة الانجراف الذي حصل في التربة حتى اغلاق الشق عند استخدام بحص بحات زاوية مكسرة مع النموذج كان منحني التحليل الحبي للتربة كما هو موضح في الشكل 14 .



الشكل رقم (10): منحني التحليل الحبي للتربة قبل وبعد التجربة عند استخدام فلتر بحص مكسر مع التربة
الجدول رقم (4): مقارنة النسب الوزنية للتربة عند استخدام فلتر بحص مكسر في النموذج

النسب الوزنية للتربة حسب النظام الموحد (U.S.C.S)				
غضار d < 0.002 mm	سيلت d = (0.002 ~ 0.075) mm	رمل d = (0.075 ~ 4.75) mm	بحص d > 4.75 mm	
40	24	28	8	قبل التجربة %
34	18	43	5	بعد التجربة %
-6	-6	+15	-3	تغير النسب %

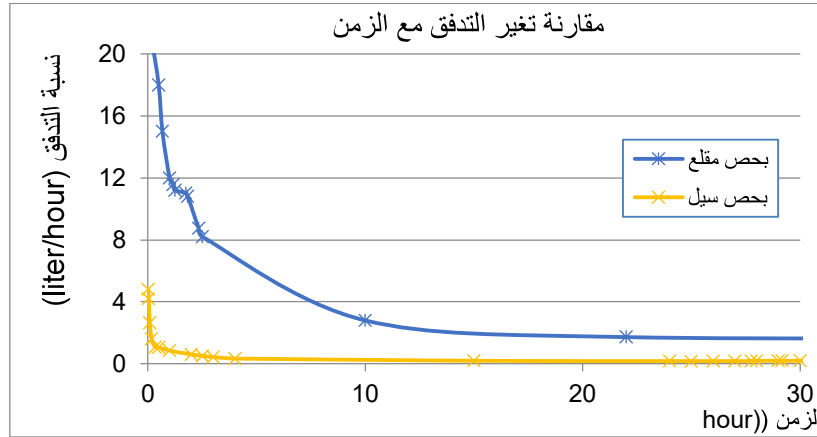
نلاحظ أن انجراف الغضار من حواف الشق عند استخدام بحص مقالع مكسرة بحات زاوية كان حوالي 6%، مع تزايد نسبة الرمل التي عملت على اغلاق الشق وحجز التربة حوالي 15% وبذلك نجح الفلتر بحات زاوية في اغلاق الشق وايقاف الحت.

5-النتائج والتوصيات

بمقارنة استخدام نوعين من البحص في الفلتر النوع الأول بحص سيل مدور بحات ملساء، والنوع الثاني بحص مقالع مكسر بحات زاوية لهما نفس التركيب الحبي والنسب الوزنية وتشابه كافة شروط الاختبار الأخرى للتربة والفلتر مع التربة الغضارية التي تحوي الشق في نموذج الاختبار، لدراسة آلية اغلاق التشققات في النواة الغضارية تم التوصل للنقاط التالية:

مقارنة تغير التدفق مع الزمن من النموذج:

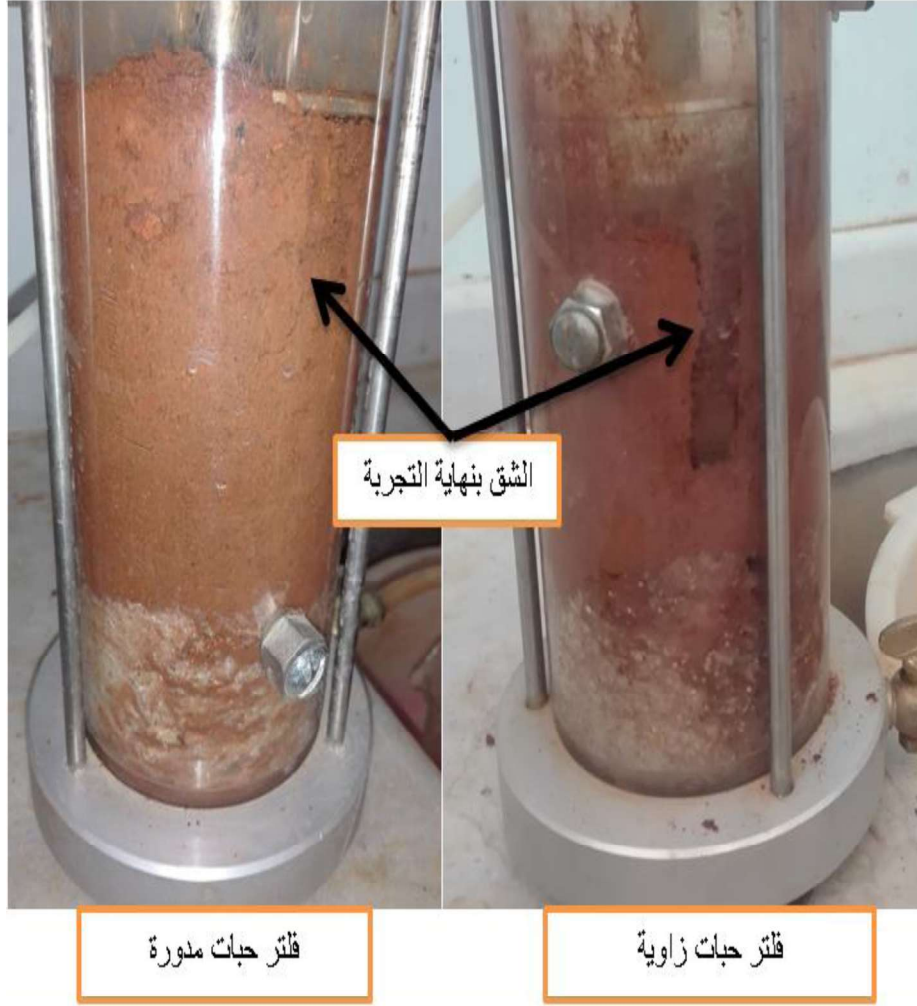
بمقارنة التدفق مع الزمن من النموذج تبين أنه في حال استخدام بحص سيل مدور ورمل ناعم في الفلتر مع التربة المتشقة استقر التسرب عند القيمة (0.19 liter/hour) بعد زمن 30 ساعة، أما في حال استخدام بحص مكسر بحبات زاوية في الفلتر مع النموذج استقر التسرب عند القيمة (1.7 liter/hour) بعد زمن 30 hour الشكل 14. إن نسبة استقرار التسرب في حال استخدام بحص مكسر في الفلتر أكبر بـ 9 أضعاف القيمة التي استقر عندها عند استخدام بحص سيل في الفلتر وعند نفس الزمن، وذلك لأن حبات البحص الزاوية تترك فراغ أكبر بينها مما يسمح بحركة وانجراف أكبر للتربة الغضارية.



الشكل رقم (14): مقارنة تغير التدفق للنموذج التربة الغضارية المتشقة مع نوعي الفلاتر المدروسة

مقارنة الملاحظات العينية:

بمراقبة النموذج خلال الاختبار في حال استخدام بحص سيل مدور مع الفلتر كانت المياه عكرة قليلاً ببداية التجربة دخلت التربة ضمن الفلتر لكن تم احتجازها بالفلتر بين حباته وقد لوحظت كميات التربة تتجمع داخل الفلتر ولم يلاحظ انجراف تربة مع المياه المتسربة، وتجمعت التربة في أسفل الشق واغلاقه بعد 24 ساعة من زمن التجربة حتى منتصفه تقريباً لذلك بدأت كمية التسرب بالانخفاض ولم يلاحظ أي انجراف أو زيادة في توسع الشق المحدث في عينة التربة. أما في حال استخدام بحص مكسر مع الفلتر في النموذج لوحظ انجراف للغضار مع المياه المتسربة، لم يستطع الفلتر حجزها لأن الحبات الزاوية تترك فراغات كبيرة بينها عند رصها، لذلك فالانجراف المستمر للتربة من حواف الشق أدى لتوسع الشق، مما جعل التدفق في حال استخدام هذا الفلتر كبير. كما لوحظ كمية من رمل وبحص الفلتر تحرك مع المياه المتسربة لكن لم يحصل انهيار للنموذج وعند تجفيف المياه المتجمعة بعد التجربة ترسب 5 gr من التربة مرت من فلتر البحص المكسر لم يستطع حجزها . يبين الشكل 15 النموذج في نهاية التجربة عند استخدام فلتر بحص مكسر وعند استخدام فلتر بحص مدور مع رمل مع التربة المتشقة.



الشكل رقم (15) النموذج في نهاية التجربة عند استخدام فلتر بحص مكسر وفلتر بحص مدور ورمل مع التربة المتشقة

يبين الجدول 5 نتائج اختبار كل من نموذجي الفلاتر مع التربة الغضارية المتشقة

الجدول رقم (5) : مقارنة نتائج تأثير شكل حبات الفلتر على اغلاق التشققات

ملاحظات	النقصان في نسب التربة الغضارية %	التحليل الحبي للتربة بعد التجربة %	الاستقرار		وزن التربة المنجرفة		الرمل المجروف من الفلتر		D ₁₅ /D ₈₅	النموذج
			T hours	Q l/hour	%	وزن gr	%	وزن gr		
K=9.24*10 ⁻⁷ cm/sec بدون شق K=2.7*10 ⁻⁴ cm/sec مع شق		غضار 40 سلت 24 رمل 28 بحص 8	-	-	-	-	-	-	-	التربة الغضارية
مياه عكرة قليلاً لمدة 24 ساعة وصافية عند 30 ساعة Ks+f=6.8*10 ⁻⁵ cm/sec	-5 -3 +15 -2	غضار 35 سلت 21 رمل 43 بحص 6	30	0.19	10	80	7	33	0.9	تربة- فلتر بحص سيل
مياه عكرة جدا انجراف للتربة ترسب 5gr تربة مع المياه المترسبة Ks+f=1.2*10 ⁻⁴ cm/sec	-6 -6 +15 -3	غضار 34 سلت 18 رمل 43 بحص 5	30	1.7	20	158	15	70	0.9	تربة- فلتر بحص مكسر

النتيجة:

إن حبات بحص المقالع المكسرة بحبات زاوية تترك فراغات بين الحبات عند رصها وبالتالي نسبة فراغاتها ونفاذيتها أكبر مما يجعل امكانية حت وانجراف الغضار من خلالها عند استخدامها كفلتر خلفي للنواة المتشققة أكبر بمرتين ونصف فيما لو استخدم نفس الفلتر بحبات مدورة ملساء.

إن استخدام بحص سيل مدور في الفلتر كان أفضل في الحفاظ على التربة مقارنة مع بحص المقالع المكسرة لأن نسبة الفراغات في بحص السيل أقل لذلك عند تصميم الفلتر ببحص مقالع مكسر يجب الأخذ بعين الاعتبار نسبة الفراغ بين حبات الفلتر إضافة إلى التكلفة الاقتصادية لتكسيهه وطحنه.

6-المراجع

[1]- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2000). "**Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils**", Annual Book of ASTM Standards, D4318-00.

- [2]– Arulanandan, K. and Perry, E. B. (1983). "**Erosion in Relation to Filter Design Criteria in Earth Dams**", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 109, No. 5, 682698.
- [3]– Ashok K. Raut, 2006, "**Mathematical modelling of granular filters and constriction-based filter design criteria**", University of Wollongong ftesis Collection.
- [4]– ASTM International, "**Standard Test Method for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density**", Annual Book of ASTM Standards, D4254-00. 2000.
- [5]– Bertram, G.E. (1940). "**An Experimental Investigation of Protective Filters**" Harvard Pub. No. 267, Vol. 6.
- [6]– Das Neves, E. M. (1989). "**Analysis of Crack Erosion in Dam Cores: The Crack Erosion Test.**" De Mello Volume: a tribute to Prof. Dr. Victor F.B. de Mello, Sao Paulo, Brazil, 284298.
- [7]– rulanandan, K., Loganathan, P. and Krone, R. B. (1975). "**Pore and Eroding Fluid Influences on Surface Erosion of Soil**", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 101, No. 1, 5166.
- [8]– U.S. Department of the Interior (1980) 3rd Ed. "**Earth Manual**" 2ndEd.
- [9]– Farrar, J.A. R.L. Torres, and Z. Erdogon,(2007),"**Bureau of Reclamation Erosion Testing for Evaluation of Piping and Internal Erosion of Dams**", Geotechnics of Soil Erosion, GSP 167, Proceedings of Geo-Denver.
- [10]– Foster, M. and Fell, R. (2001) "**Assessing Embankment Dam Filters that Do Not Satisfy Design Criteria**", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 127, No. 5, 398407
- [11]– Terzaghi, K. (1922). Der Grundguch an Stauwerken und seine Verhütung, "**The failure of dams by piping and its prevention**", Die Wasserkraft, Vol. 17, 445449 , 445 – 449
- [12]– Leonards, G. A., Huang, A. B., and Ramos, J. (1991) "**Piping and Erosion Tests at Conner Run Dam.**" Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 117, No. 1, 108117.
- [13]–Locke, M. & Indraratna, B., and Adikari, G. (2000) "Erosion and Filtration of Cohesive Soils." **Filters and Drainage in Geotechnical and Environmental Engineering** (ISBN: 90 5809 146 5) / GeoFilters 2000, 175182 , 175 – 182.
- [14]– . Shearad, J. L., Cluff, L. S. and Allen, C. R. (1974), Design of Dams–, 128–129 "**Potentially Active Faults in Dam Foundations**" **Geotechnique**, 24(3), 367–428.