

تحديد البارامترات الهيدروديناميكية لتربة سد الحويز باللاذقية اللازمة لإعداد نموذج رياضي بالبرنامج PCSiWaPro® للتنبؤ بتوزيع المحتوى المائي في جسم السد.

د. عز الدين حسن¹

د. جهاد ابراهيم²

ريم برنبو³

(تاريخ الإيداع 17 / 5 / 2016. قُبل للنشر في 20 / 10 / 2016)

□ ملخص □

نركز في هذا البحث على أهمية إجراء التجارب اللازمة سواء الحقلية أو المخبرية بغية الحصول على قيم واقعية لبارامترات التربة الهيدروديناميكية مما يتيح أفضل نتيجة لمحاكاة الحالة الفعلية لأي منشأة هندسية. تبرز أهمية البحث في السدود والسدات الترابية فهي ذات أهمية كبيرة اقتصادية وبيئية وبشرية، إذ أنه من الضروري توخي الدقة التامة عند إنشاء نموذج رياضي لدراسة استقرارها، ومن هنا تتبع ضرورة حساب هذه البارامترات بدلاً من استخراجها من الكودات الهندسية، حيث سنستخدمها لإجراء محاكاة لتأثير الهطول المطري المديد على توزيع المحتوى المائي لتربة سد الحويز، وبالتالي على استقراره، وسنقوم بإنشاء نموذج رياضي للسد قبل التعلية باستخدام البرنامج PCSiWaPro® بالاستناد إلى علاقة الجريان التي تشمل كل من الحالة المشبعة وغير المشبعة، مع الأخذ بالاعتبار أن الناقلية الهيدروليكية والمحتوى الرطوبي هي توابع لضغط الماء المسامي، وهذه العلاقات مع توابعها تعطي انتقالاً إنسيابياً للمياه (غير مضطرب)، حيث تعتبر حالة التربة المشبعة حالة خاصة للمعادلات المستخدمة.

الكلمات المفتاحية: التربة غير المشبعة - سدود ترابية - المحتوى المائي للتربة - الشد الشعر

¹ أستاذ، قسم الهندسة المائية والري، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

² أستاذ، قسم علوم التربة والمياه، كلية الزراعة، جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

³ طالبة ماجستير، قسم الهندسة المائية والري، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Identifying hydrodynamic soil parameters of Hweez dam in Lattakia which needed to build mathematical model for Predicting the Water Content Distribution using the Simulation Program PCSiWaPro®

Dr. Izzeddin hassan⁴
Dr. Jihad Ibraheem⁵
Reem branbo⁶

(Received 17 / 5 / 2016. Accepted 20 / 10 / 2016)

□ ABSTRACT □

In this paper, we focus on the importance of conducting the necessary tests either field or laboratory in order to obtain realistic values for soil hydrodynamic parameters allowing the best result to simulate the actual situation of any engineering facility.

The importance of this research highlights in earth dams and dikes which have great importance to economic, environmental and human. It is necessary to be complete accuracy when creating a mathematical model to study stability of these structures. From here comes the need to calculate these parameters rather than extracted from engineering codes, that we will use them to simulate the effect of long rainfall on the distribution of water content in the Hweez dam soil and hence its stability. We will build a mathematical model for dam using **PCSiWaPro®** depending on transition flow chart. concerning that, hydraulic conductivity and volumetric water content in the soil are functions of pore water pressure. These equations with their functions give a smooth transition of the studied model where the saturated state is considered as a special case of the used equations.

Keyword : earth dam; dike; water balance; stability; seepage line; water content; precipitation; matric head

1 Professor in Department of water engineering and Irrigation - Faculty of Civil Engineering - Tishreen University - Lattakia-Syria

2 Professor in Department of water and soil science- Faculty of agriculture - Tishreen University - Lattakia-Syria

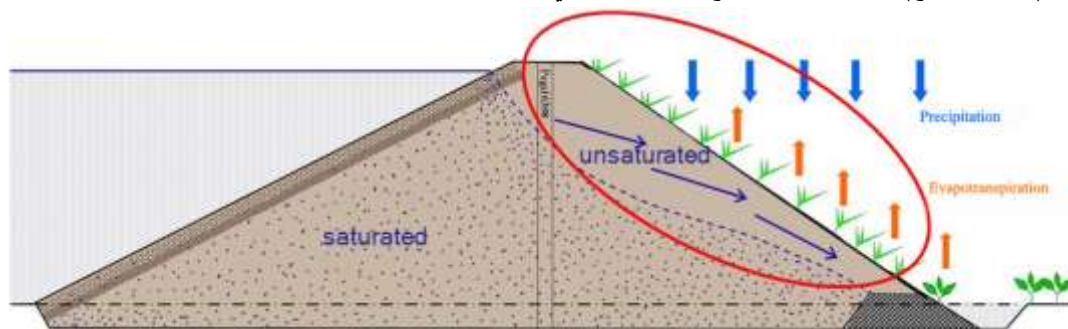
3 Postgraduate student , Department of water engineering and Irrigation- Faculty of Civil Engineering- Tishreen University - Lattakia-Syria

مقدمة

تعتبر السدود والسدات الترابية منشآت حماية هامة من الفيضان والتحكم به، مما يعرضها لخطر انهيار المنحدر بسبب عوامل عديدة كمواد الإنشاء والعوامل الجوية وغيرها [11]. يشكل كل من الأورزيون السطحي للأجزاء السطحية المعرضة للأمطار وتزايد الإشباع بالمياه في جسم السد الأسباب الرئيسية لخطر عدم الاستقرار [11]، إلا أنه من السهل تحري الأورزيون السطحي وتفاذي حدوثه أو حتى معالجته إن حدث، لكن من الصعب جداً تحديد خطر تزايد رطوبة تربة هذه المنشآت ومحتواها من المياه وخصوصاً فوق خط التسرب في مجال المنطقة غير المشبعة، لذلك فإن هذه المنشآت الهيدروليكية أكثر حساسية فهي منشآت معرضة لعدم الاستقرار بسبب تغير محتوى رطوبة التربة وتوزعها وجريان المياه الجوفية في المناطق غير المشبعة منها [11].

يؤثر الهطل المطري بشكل مباشر على تغير المحتوى المائي من خلال المياه المتسربة إلى تربة المنحدر غير المشبعة، وبالإضافة لتأثير ارتفاع المياه بالخاصة الشعرية سيتأثر توزع المحتوى المائي ضمنه. لتحليل استقرار منحدر السد خاصة المنطقة غير المشبعة منه، كان لابد من دراسة محتوى المياه و العمليات الجيوهيدروليكية في كل المنطقة المشبعة وغير المشبعة للسد ومحاكاتها عبر نموذج باستخدام برنامج **PCSiWaPro®**.

تؤثر العديد من العوامل المختلفة في المنطقة غير المشبعة على التوازن المائي فيها وبالتالي على استقرارها، مثال على ذلك: (طريقة الإنشاء، مكونات التربة، الأبعاد الهندسية، العوامل الجوية كالهطول المطري، والإكساء النباتي [7,8] (الشكل 1). يؤثر الهطل المطري بشكل مباشر على تغير المحتوى المائي من خلال المياه المتسربة إلى تربة المنحدر غير المشبعة وبدورها تغير نظام أو توضع خط التسرب (خصوصاً في حال الأمطار المديدة)، و يلعب الغطاء النباتي دوراً كبيراً في استقرار المنحدر عبر زيادة تماسك تربته وتجفيف المياه فيه من خلال امتصاصه من قبل النبات (التبخّر - نتج) [3]، لكن لن نعالج دور النبات في هذه الدراسة.



الشكل (1): رسم تخطيطي مبسط لسد ترابي يوضح توزع محتوى المياه في مجال المنطقة المشبعة وغير المشبعة [6]

حتى الآن أجريت تجارب مخبرية عديدة لتحليل استقرار السدود والسدات وخصوصاً في المنطقة غير المشبعة، ولقد أظهر نموذج (6) AIGNER [4,6] بوضوح تأثير البارامترات الهيدرولوجية المرافقة لتزايد منسوب المياه (قيم الهطولات المطبية على النموذج الفيزيائي والتبخّر نتج وعلاقتها وتأثيرها على بمنسوب التخزين) على الوجه الأمامي للسد وحدوث انزلاق لتربة المنحدر الخلفي أعلى خط التسرب في المنطقة غير المشبعة أو المشبعة جزئياً انظر الشكل (2).



الشكل (2): نموذج فيزيائي لسد ترابي تعرض لانزلاق على الوجه الخلفي حسب [4](Aigner, 2004)

1-1- وصف البرنامج الحاسوبي PCSiWaPro®

يحاكي البرنامج PCSiWaPro® (المطور من جامعة دريسدن التقنية، معهد النفايات الصلبة ومعالجة التلوث) توزيع محتوى الماء بشروط طرفية متغيرة في جسم سدة أو سد أو منحدر ترابي ما [5]، ويستند إلى حل علاقة ريتشارد في بعدين فراغيين باستخدام طريقة العناصر المنتهية، بإدخال معطيات الطقس بشكل يدوي أو آلي إلى برنامج PCSiWaPro®. يقوم هذا البرنامج بحساب الجريان غير المستقر باعتبار الشروط الطرفية الجوية (الهطول، التبخر، درجة الحرارة اليومية الوسطية ومدة السطوع الشمسي) وامتصاص المياه عبر جذور النباتات [6]، ويمكن أن تستورد البيانات المناخية من خلال هذا الربط بمساعدة محطات المناخ الممكن الوصول إليها من أنظمة المعلومات لهيئة المناخ الألمانية (DWD) [6]، أما بالنسبة لباقي البلدان فإن البيانات المناخية يتم إدخالها يدوياً للبرنامج بعد جمعها من محطات الرصد المناخية المحلية في بلد الدراسة (كما تم في بحثنا هذا).

1-1- الأساس النظري للبرنامج PCSiWaPro®

يحاكي برنامج PCSiWaPro® عمليات جريان الماء وانتقال الملوثات في ظروف متغيرة من حيث درجة إشباع التربة، وشروط طرفية مستقرة أو متغيرة. ويتم شرح نموذج الجريان من خلال علاقة ريتشارد (1):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[K \left(K_{ij}^A \frac{\partial h}{\partial x_j} + K_{iz}^A \right) \right] - S \quad (1)$$

حيث أن: θ : المجهول: يمثل محتوى الماء الحجمي، h : ارتفاع الضغط، و x_i : (في المستوي الشاقولي) مقدار الصرف والمتمثل بحجم الماء الذي يمكن امتصاصه من جذور النباتات. هذه العلاقة غير خطية وتعبر عن سلوك التربة وفقاً للظاهرة التخلفية (hysteresis) وخصوصاً العلاقة بين محتوى الماء والجهد [6]. أما شرح علاقة بارامترات التربة فالبرنامج قائم على معادلة (فان - غينوختن - لوكنر) [5] الموضحة بالعلاقة.

$$\theta = \theta_{r,w} + \frac{\phi - \theta_{r,w} - \theta_{r,L}}{[1 + (\alpha \cdot h_c)^n]^{1 - \frac{1}{n}}} \quad (2)$$

ϕ : مسامية الوسط (التربة)، و $\theta_{r,w}$: محتوى الماء المتبقي، و $\theta_{r,L}$: محتوى الهواء المتبقي، h_c : فرق ارتفاع الضغط بين الوسط المبلول (الماء) وغير المبلول (الهواء) والبارامترات α : (معامل تخفيض) و n : (معامل انحدار) هي بارامترات تجريبية لعلاقة فان غينوختن [7]. يستخدم البرنامج PCSiWaPro® هذه العلاقة ويحل علاقة ريتشارد في البعدين الأفقي والشاقولي بشروط طرفية متغيرة بواسطة طريقة العناصر المنتهية العددية، وللحل العددي لجملة

العلاقات الخطية الناتجة من التجزيء (التقسيم) لعلاقة ريتشارد، يتم استخدام وسيط للمستقيمات المتوصل إليها بشروط مسبقاً [12].

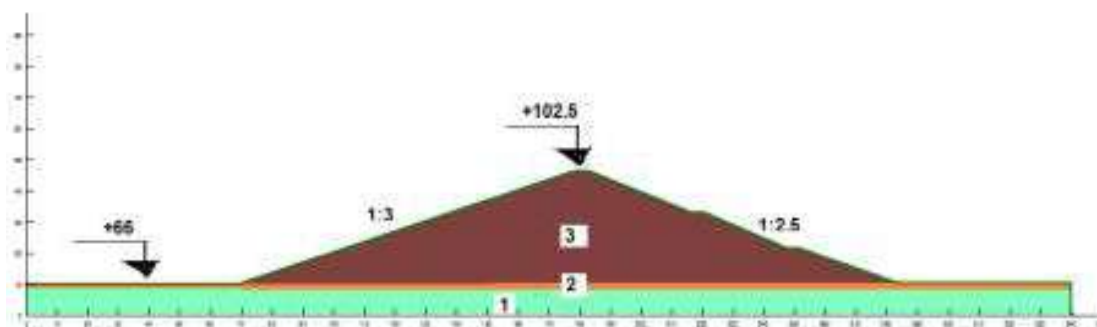
1-2- إنشاء نموذج سد الحويز قبل التعلية بالبرنامج PCSiWaPro®

يقع سد الحويز على نهر برغل جنوب شرق مدينة اللاذقية بمسافة حوالي 40 كم، وإلى الشمال الغربي من سد السخابة بحوالي (2-2.5) كم، تقع أرض المشروع في سهل متموج يشطره وادي عريض عمقه 70 م، تم بناؤه في الفترة بين 1980-1986 لاستخدامات الري [1،12]، وهو سد ترابي متجانس يبلغ ارتفاعه 37 م، منسوب القمة 102.5م عن سطح البحر وعرضها 5م، طول السد 305 م، ميل الجانب الأمامي 1:3 والجانب الخلفي 1:2.5.



الشكل (3) صورة جوية يظهر فيها جسم السد وبحيرة التخزين

يبين الشكل (4) مقطعاً عرضياً في جسم السد قبل التأهيل وتظهر فيه الطبقات المشكلة للسد وأساسه.



الشكل (4): مقطع عرضي لجسم سد الحويز قبل التعلية [1]

يوضح الجدول (1) مواصفات الطبقات المكونة لجسم السد (3،2،1) [1]

الجدول (1): مواصفات الطبقات المكونة لجسم سد الحويز [1]

الطبقة	الكثافة (KN/m ³)	زاوية الاحتكاك الداخلي (°)
1	21.5	26.5
2	20	24
3	20.3	28.8

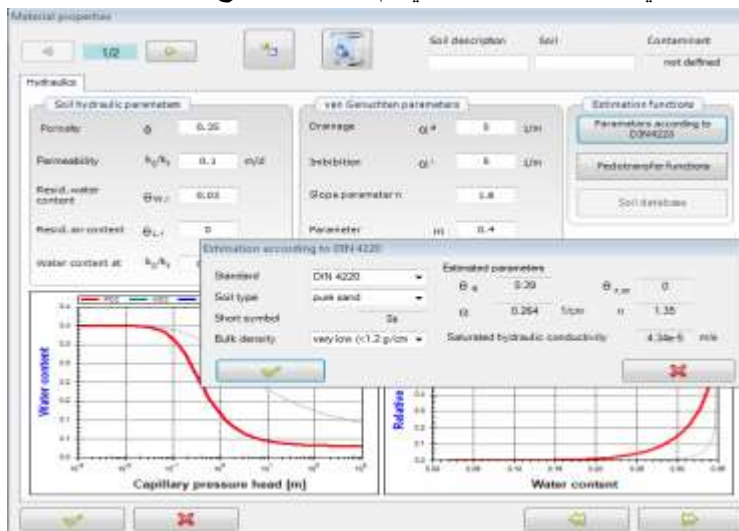
لوحظ رشح كبير عبر الوجه الخلفي لجسم السد عند المنسوب 87 م عندما كان منسوب الماء في البحيرة (82-84)م، وقد تمت دراسة أسباب الرشح في العام 1996 بإجراء تجارب النفاذية على السبر رقم 2 الواقع على محور السد عند الارتفاع الأعظمي للمقطع العرضي، ونتيجة تجارب الضخ تبين أن عامل النفاذية ابتداءً من قمة السد وحتى عمق 10 م من جسم السد $K=0.34 \text{ m/d}$ ، ولبقية الارتفاع $K=0.015 \text{ m/d}$ وقد تم اتخاذ قرار من قبل الجهة الدارسة بحل المشكلة عن طريق بناء حاجز كتامة لامركزي، وتعليه السد بمقدار 5 م بنفس الوقت للاستفادة من كمية تخزين إضافية لأغراض الري.

الجدول (2):المواصفات العامة للسد

المقارنة	السد قبل التعلية	السد بعد التعلية	المقارنة	السد قبل التعلية	السد بعد التعلية
منسوب قمة السد	102.5م	107.5م	ميل الوجه الخلفي	1:2.5	1:2-2.5
عرض قمة السد	5م	8م	حجم التخزين المفيد	11.2 مليون م ³	15.2 مليون م ³
طول قمة السد	305م	365م	الحجم الكلي	12.4 مليون م ³	16.3 مليون م ³
منسوب التشغيل الأعظمي	100.5م	105.5م	الإرتفاع الأعظمي	37م	42م
ميل الوجه الأمامي	1:3	1:2-1:3			

قبل البدء بالمحاكاة ببرنامج **PCSiWaPro** يجب أن تحدد الشروط البدائية والطرفية، أي الشروط المسيطرة في بداية الحساب، وكذلك الشروط على الوجه الأمامي والخلفي وأساس السد كشروط طرفية. لقد اعتبر الشرط الطرفي المسيطر على الجزء العلوي من الوجه الخلفي شرطاً طرفياً جوباً، بينما اعتبر أسفله سطح تصريف seepage face ، وتم اعتبار عدم وجود تسرب على الوجه الأمامي، أي لا تمر أية كمية من المياه خلاله no flux نظراً لوجود طبقة كتيمة على هذا الوجه، واعتبرت قدم السد اليسرى شرطاً طرفياً متغيراً مع الزمن، ويمثل ارتفاع الضاغط المتعلق بتغير منسوب الماء في البحيرة شرطاً ابتدائياً، حيث اعتبرنا منسوب الماء في البحيرة 95 م.

بعد إدخال الشروط الطرفية والبدائية يجب أن تعطى إلى البرنامج **PCSiWaPro** بارامترات مواد السد الترابي (منحدرات السد، النواة إن وجدت، مواد التأسيس، مواد التربة خلف منطقة السد) (الشكل 5). ويمكن أن تعطى هذه البارامترات لمواد السد من بارامترات التربة المتحصّل عليها من الحقل أو من التجارب المخبرية أو بشكل مبسط من البيانات الأساسية للتربة الموجودة في الكودات الهندسية التي تم ربطها بالبرنامج.



الشكل (5):يمثل نافذة إدخال البارامترات في البرنامج

أهمية البحث وأهدافه

بمراجعة الأبحاث العلمية المنشورة حول حساب خط التسرب وتغيراته ودراسة توزيع محتوى المياه في جسم السد بفعل عواصف مطرية مديدة وتأثيره على استقرار وتوازن السدود الترابية من خلال وضع نماذج رياضية باستخدام برنامج PCSiWaPro®، وجدنا تركيزاً على أهمية إجراء التجارب المخبرية للحصول على قيم البارامترات المجهولة كبارامترات التربة المطلوبة للمحاكاة بهذا البرنامج، حيث تزداد دقة النتائج كلما كانت البارامترات المدخلة إلى البرنامج واقعية ودقيقة [5,6,7,8,9] وليست قيم تقريبية وفقاً للكودات الهندسية، لذا كان هدف هذه الدراسة هو إجراء التجارب اللازمة لإيجاد قيم البارامترات الهيدروديناميكية لتربة سد الحويز واستخدامها في إنشاء النموذج الرياضي ببرنامج PCSiWaPro®

طرائق البحث ومواده:

التجارب المخبرية لتحديد البارامترات المطلوبة لإنشاء النموذج الرياضي

أجريت الدراسة على عينات من تربة السد المدروس (سد الحويز) المأخوذة من طبقة على عمق 50cm، الواقع في محافظة اللاذقية مدينة جبلة قرية الحويز، حيث أخذت العينات بواسطة أسطوانات معدنية ارتفاعها 4cm لدراسة وتحديد منحنى الشد الرطوبي بالإضافة لتحديد معامل التوصيل المشبع، كما أخذت عينة بأسطوانة معدنية ارتفاعها 10cm لتحديد الانتشارية الهيدروليكية باستخدام طريقة الهواء الساخن ومن خلالها تحسب الناقلية المائية (معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع)، وعلاوة على ذلك أخذت عينات مخربة البناء لتحديد بعض الخصائص الفيزيائية للتربة ونسب مكوناتها وتصنيفها.

2-2- إنشاء نموذج رياضي باستخدام برنامج PCSiWaPro®

تم إدخال قيم البارامترات الهيدروديناميكية التي تم التوصل إليها من خلال إجراء التجارب المخبرية على عينات التربة المأخوذة من جسم السد إلى البرنامج، بالإضافة لبيانات أخرى متعلقة بالزمن والشروط الطرفية والبدئية موضحة بفقرات لاحقة.

النتائج والمناقشة

فيما يلي شرح للتجارب المجراة على عينات تربة السد ونتائجها، بالإضافة لمثال يوضح استخدام تلك النتائج لمحاكاة جسم السد بشروط طرفية مختلفة تبعاً لسيناريو افتراضي تمت نمذجته ببرنامج PCSiWaPro® يمثل حالة جريان مستقر للتنبؤ بالتغيرات التي قد تطرأ على استقرار سد الحويز نتيجة لتغير توزيع المحتوى المائي ضمن تربة وجهه الخلفي بسبب الهطولات المطرية، وسوف يتم استكمال الدراسة الشاملة لسد الحويز فيما يتعلق بتوزيع المحتوى المائي ضمن جسم السد وتأثيره على استقرار المنحدر الخلفي بحساب عوامل الأمان في بحث لاحق [2].

التحليل الميكانيكي لعينات تربة جسم السد

لإجراء التحليل الميكانيكي أخذنا 100 غ من تربة طبيعية جافة معروفة الرطوبة منخلة على منخل قطر فتحاته 2مم.

1- **مرحلة التفريق:** تهدف إلى تفريق مكونات عينة التربة، حيث يتم إزالة المواد الرابطة (المواد التي تربط حبيبات التربة مع بعضها) لتحطيم الحبيبات الثانوية إلى أولية أو ما يعرف بمفصولات التربة، تختلف المادة المستخدمة في التفريق حسب طبيعة المواد الرابطة، فمثلاً يستخدم الماء الأوكسجيني لإزالة المواد العضوية في حين تستخدم الأحماض الممددة لإزالة كربونات الكالسيوم والغسل لإزالة الأملاح، حيث اتبعنا مايلي:

- أضفنا لعينة التربة ماء أوكسجيني لأكسدة المادة العضوية الرابطة (الماء الأوكسجيني بتركيز 33%) بمقدار $0,45 \text{ cm}^3$ لكل 1% مادة عضوية ضمن 1gr تربة جافة تماماً.
- أضفنا $0,75 \text{ cm}^3$ بيروفوسفات الصوديوم لكل 10 ميلي مكافئ (سعة تبادل كاتيوني 30) ضمن 1gr تربة جافة تماماً.

2- **مرحلة الفصل** وتشمل العمليات التي يتم من خلالها فصل الحبيبات حسب أحجامها المختلفة، وهناك طرق عديدة للفصل يعتمد اختيار الأسلوب المناسب على حجم الجزيئات والهدف وسهولة التقسيم ، وقد اتبعنا مايلي:

- **الفصل بالتبخيل:** يتم الفصل بإمرار مفصولات التربة خلال شبكة المناخل المختلفة بأقطار تقوياً، بحيث يكون المنخل الأكبر أعلى المجموعة والمناخل ذات الفتحات الأصغر في الأسفل، وتستخدم هذه الطريقة للحبيبات الخشنة أي الحبيبات ذات القطر أكبر من 50 ميكرون.
- **الفصل بالطريقة الماصة:** تعتمد فكرتها على قياس تركيز المعلق عند عمق معين وبعلاقة مع الزمن وبثبات درجة الحرارة، وكانت النتائج وفق الجداول التالية:

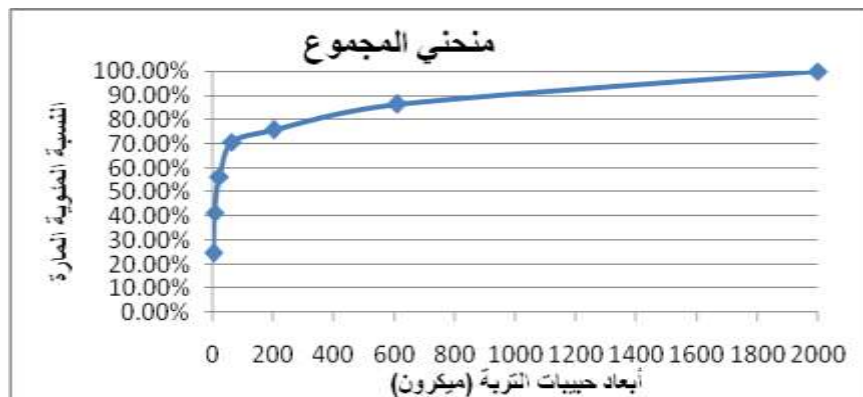
الجدول (3): نتائج الطريقة الماصة

طين	سيلت ناعم	سيلت متوسط	سيلت خشن	رمل ناعم	رمل متوسط	رمل خشن
T	fu	Mu	Gu	fs	Ms	GU
%24.51	%16.91	%14.91	%14.49	%4.91	%10.6	%13.67

الجدول (4): نسب مكونات التربة المدروسة

رمل %	سيلت %	طين %
29.18	46.31	24.51

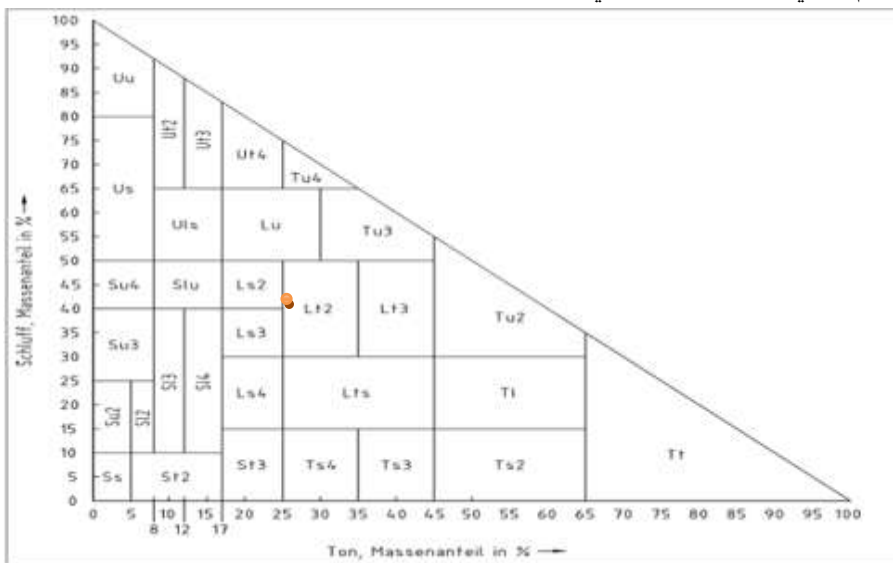
قمنا بتمثيل النتائج وحصلنا على منحنى التحليل الحبي لتربة جسم السد وهو موضح بالشكل (7):



الشكل (6): نتائج تجربة التحليل الحبي على تربة السد.

* (حيث أن سعة تبادل كاتيوني 30: هي عدد ميلي مكافئات الكاتيونات (الشوارد الموجبة) المدمصة على سطح 100gr تربة جافة تماماً.

من مثلث القوام التالي حسب الكود الألماني DIN4220 استنتجنا أن التربة لومية [13].



الشكل (7): يوضح مثلث تصنيف قوام التربة حسب التصنيف الألماني (الملف التعريفي للبرنامج PCSiWaPro®)

تحديد معامل التوصيل الهيدروليكي لتربة السد المشبعة

تم تحديده مخبرياً عند تدرج هيدروليكي يساوي الواحد وتدفق مستقر حيث تكون حركة المياه خاضعة لقانون

$$q = Ks * Grad(\Psi H) \quad (3)$$

دارسي في الأوساط المشبعة:

q : التدفق (يمثل الحجم المتدفق V م³ عبر مقطع تربة مساحته F م² خلال زمن t بالثانية)، Ks : معامل

التوصيل الهيدروليكي المشبع، $Grad(\Psi H)$: تدرج الجهد الهيدروليكي ويساوي $\frac{L}{H}$.

$$Ks = \frac{V}{F \cdot t} * \frac{L}{H} \quad (4)$$

بالتعويض بالقيم السابقة

$L =$ بما أن التدرج الهيدروليكي يساوي الواحد وفقاً للتجربة أي طول العينة وارتفاع الضاغظ متساويان

$$Ks = \frac{V}{F \cdot t} \quad (5)$$

H وبالتالي:

وزمن التجربة كان نصف ساعة و سطح مقطع الاسطوانة 25.059 cm²

الجدول(5): نتائج تجربة تحديد معامل التوصيل المشبع لتربة السد

عينة 4	عينة 3	عينة 2	عينة 1	
0.6	0.8	0.5	0.7	حجم الماء المتدفق v(cm ³)
0.0115	0.0153	0.0095	0.013	Ks(m/d)

وبالتالي القيمة الوسطية لمعامل التوصيل الهيدروليكي المشبع $Ks = 0.0122$ m/d

الانتشارية الهيدروليكية

إن دراسة التدفق غير المشبع هو عملية معقدة، لذلك كثيراً ما يفضل تعديل معادلات التدفق إلى صيغة مشابهة لمعادلات الانتشارية، حيث يتم ربط التدفق مع تدرج المحتوى الرطوبي بدلاً من تدرج الشد الرطوبي [10]. يمكن كتابة قانون دارسي للجريان (موضح بالفقرة السابقة) في الأوساط غير المشبعة بالعلاقة (6) :

$$q = K \cdot \frac{d\Psi}{dx} \quad (6)$$

وبما أن تغير الجهد $\partial\Psi$ عبر عنصر تفاضلي من طول عينة التربة ∂X يعطى بالعلاقة [10]:

$$\frac{\partial\Psi}{\partial X} = \frac{d\Psi}{d\theta} \cdot \frac{\partial\theta}{\partial X} \quad (7)$$

وبما أن تغير المحتوى الرطوبي $d\theta$ عند تغير الجهد $d\Psi$ (أي $\frac{d\theta}{d\Psi}$) يمثل السعة المائية النوعية يرمز لها

C ينتج :

$$q = K \cdot \frac{\partial\theta}{c \cdot \partial X} \quad (8)$$

وبإدخال معامل الانتشارية D المعطى بالعلاقة (9) [10]:

$$D = K \cdot \frac{d\Psi}{d\theta} = \frac{K}{c} \quad (9)$$

تصبح المعادلة (8) على شكل قانون فيك الأول للانتشار [10]:

$$q = D \cdot \frac{d\theta}{dx} \quad (10)$$

إن تغير الانتشارية الهيدروليكية مع تغير الشد الرطوبي أو الرطوبة يكون أصغر من تغير التوصيل الهيدروليكي مع تغير الشد الرطوبي والمحتوى الرطوبي للتربة، وهذه إحدى ميزات استخدام الانتشارية الهيدروليكية. إن قيمة الانتشارية تزداد مع زيادة المحتوى الرطوبي للتربة وعند الإشباع تصبح قيم الانتشارية غير محدودة لأن $\frac{d\theta}{d\Psi}$ تنتهي إلى الصفر، وبالتالي تكون نسبة التوصيل إلى الصفر هو لانهاية أو عدم تعيين، وتأخذ الانتشارية قيماً تتراوح بين $12-0.001 \text{mm}^2/\text{sec}$ حسب رطوبة التربة ونوعها، وهناك طرق عديدة لتحديد الانتشارية أهمها :

- الانتشارية الهيدروليكية حسب Klute and Broce 1956
 - الانتشارية الهيدروليكية بطريقة التدفق وتطبيق ضغط واحد (one step method) Out flow method
 - الانتشارية الهيدروليكية بطريقة الهواء الساخن Hot air method
 - الانتشارية الهيدروليكية بطريقة التدفق نحو الخارج وتطبيق ضغوط متزايدة .
- وقد اتبعنا طريقة الهواء الساخن لتحديد الانتشارية في هذا البحث.

حساب الانتشارية الهيدروليكية بطريقة الهواء الساخن Hot air method

تم تحديد الانتشارية الهيدروليكية انطلاقاً من علاقة دارسي (6)، ومن معادلة الاستمرار الموضحة بالمعادلة

[10,11](11):

$$\frac{\partial\theta}{\partial t} = - \frac{\partial q}{\partial x} \quad (11)$$

فينتج لدينا معادلة ريتشارد بالصيغة التفاضلية [4,5,6,7,8,10]:

$$\frac{\partial\theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k(\Psi) \cdot \frac{\partial\Psi}{\partial x} \right] \quad (12)$$

ولدينا من العلاقة (9) قيمة الإنتشارية :

$$D_{(\theta)} = \frac{k_{(\Psi)}}{\frac{\partial \theta}{\partial \Psi}}$$

بالتعويض نحصل على المعادلة (13) وهي تمثل معادلة ريتشارد بالشكل الذي يربط بين تغير المحتوى

الرطوبي بالإنتشارية الهيدروليكية [10]:

$$\rightarrow \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D_{(\theta)} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x} \right] \quad (13)$$

قمنا بإشباع العينة المأخوذة بأسطوانة معدنية ارتفاعها 10cm بالماء لمدة 24 ساعة ثم قمنا بتعريض العينة لتيار هوائي ساخن حرارته 200 درجة عن طريق فرد هوائي وكمية المياه المفقودة بهذه الطريقة يجب أن تكون متناسبة مع الجذر التربيعي للزمن، ويجب أن يبقى أسفل العينة محافظاً على رطوبة ثابتة قريبة من الرطوبة الأولية. بدأت التجربة 11 صباحاً وانتهت 11.25 صباحاً أي أن زمن القياس 25min، وقد تمت مراحل التجربة وفقاً للتالي:

1. أخذنا عينة تربة من جسم السد بأسطوانة ارتفاعها 10سم، ووضعت بالماء مالا يقل عن 24 ساعة لنضمن وصولها لدرجة الإشباع، ثم قمنا بوزن الجففات فارغة.
2. جففنا أعلى العينة بوساطة فرد هوائي يعطي هواء بحرارة تصل حتى 300 درجة مئوية فيما يبقى أسفلها ذا رطوبة عالية (حالة إشباع)، هذا يولد تدرج هيدروليكي كبير ومفيد في البحث.
3. تم تقطيع عينة التربة لشرائح طول الشريحة 3mm بواسطة معدات مخصصة.
4. جففنا الشرائح بالفرن بحرارة 105 درجة مئوية لمدة لا تقل عن 24 hour، ثم قمنا بوزنها بعد التجفيف.

تحديد المحتوى الرطوبي للتربة باستخدام الطريقة الوزنية

قمنا بتقطيع العينة ذات الارتفاع 100mm إلى شرائح (3-2) عددها 33 شريحة بواسطة جهاز قص مخصص لإجراء التجربة، وقمنا بوزن الجففات فارغة ثم مع التربة الرطبة .

الجدول(6):يبين وزن الجففات فارغة ومع التربة رطبة.

رقم الجفنة	وزنها فارغة	وزنها مع التربة رطبة	رقم الجفنة	وزنها فارغة	وزنها مع التربة رطبة
1	20.28	29.5	18	20.27	29.75
2	20.45	25.21	19	20.03	36.66
3	20.15	31.18	20	20.31	29.34
4	20.35	26.91	21	20.26	33.49
5	46.58	55.54	22	20.16	30.47
6	20.47	30.25	23	20.23	31.84
7	20.26	33.58	24	20.15	31.9
8	20.11	29.86	25	20.04	31.06
9	20.04	32.3	26	20.16	30.33
10	20.17	31.21	27	20.35	31.9
11	20.18	33.6	28	20.28	32.65
12	20.19	29.79	29	20.14	29.69
13	19.9	29.19	30	20.54	32.83
14	46.8	57.82	31	20.18	34.85

33.55	20.12	32	29.21	19.92	15
27.77	20.43	33	30.01	20.05	16
			36.25	20.17	17

- جففنا التربة بالفرن بدرجة حرارة 105 درجة مئوية لمدة لا تقل عن 24 ساعة.
- أعدنا وزن العينات بعد التجفيف مع الجففات ثم حسبنا الوزن الجاف للتربة.
- وزن التربة الجاف (ms) = وزن الجفنة مع التربة رطبة - وزن الجفنة مع التربة جافة.
- حسبنا الرطوبة الوزنية M% بالعلاقة:

$$M\% \text{ الرطوبة الوزنية} = \frac{\text{الوزن قبل التجفيف} - \text{الوزن بعد التجفيف}}{\text{الوزن الجاف}}$$

- حساب الكثافة الظاهرية

$$\rho_d = \frac{\sum ms}{v} \quad (14)$$

حيث: قطر الاسطوانة 65 cm، وارتفاعها 10 cm وحجمها 250.59 cm³

$$\rho_d = \frac{281.85}{250.59} = 1.12 \text{ gr/cm}^3$$

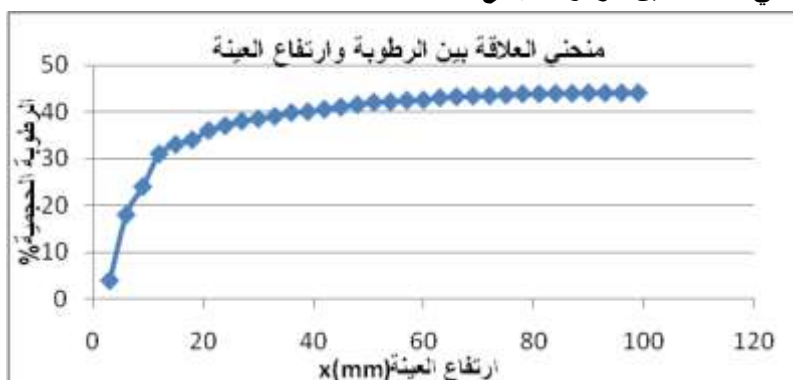
- حساب الرطوبة الحجمية: $\theta\% = \rho_d \cdot M\%$ (15)

الجدول (7): يوضح مراحل تحديد الرطوبة الوزنية و الحجمية لعينات التربة.

رقم الجفنة	وزنها فارغة	وزنها مع التربة رطبة	وزنها مع التربة جافة	وزن التربة الجاف ms	الرطوبة الوزنية M%	الرطوبة الحجمية $\theta\%$
1	20.28	29.5	28.99	8.71	5.86	6.59
2	20.45	25.21	24.54	4.09	16.38	18.42
3	20.15	31.18	29.29	9.14	20.68	23.26
4	20.35	26.91	25.25	4.9	33.88	38.10
5	46.58	55.54	53.38	6.8	31.76	35.73
6	20.47	30.25	28.38	7.91	23.64	26.59
7	20.26	33.58	30.61	10.35	28.70	32.27
8	20.11	29.86	27.36	7.25	34.48	38.78
9	20.04	32.3	29.47	9.43	30.01	33.75
10	20.17	31.21	28.6	8.43	30.96	34.82
11	20.18	33.6	30.59	10.41	28.91	32.52
12	20.19	29.79	27.36	7.17	33.89	38.12
13	19.9	29.19	27.02	7.12	30.48	34.28
14	46.8	57.82	55.18	8.38	31.50	35.43
15	19.92	29.21	26.97	7.05	31.77	35.74
16	20.05	30.01	28.59	8.54	16.63	18.70
17	20.17	36.25	32.85	12.68	26.81	30.16
18	20.27	29.75	27.67	7.4	28.11	31.61
19	20.03	36.66	33.15	13.12	26.75	30.09
20	20.31	29.34	27.1	6.79	32.99	37.10
21	20.26	33.49	30.53	10.27	28.82	32.42
22	20.16	30.47	28	7.84	31.51	35.43
23	20.23	31.84	29.18	8.95	29.72	33.43
24	20.15	31.9	29.11	8.96	31.14	35.02
25	20.04	31.06	28.09	8.05	36.89	41.50
26	20.16	30.33	29.55	9.39	8.31	9.34

28.73	25.54	9.2	29.55	31.9	20.35	27
33.82	30.07	9.51	29.79	32.65	20.28	28
الرطوبة الحجمية % θ	الرطوبة الوزنية M%	وزن التربة الجاف ms	وزنها مع التربة جافة	وزنها مع التربة رطبة	وزنها فارغة	رقم الجفنة
33.47	29.76	7.36	27.5	29.69	20.14	29
32.57	28.96	9.53	30.07	32.83	20.54	30
34.71	30.87	11.21	31.39	34.85	20.18	31
32.91	29.26	10.39	30.51	33.55	20.12	32
37.08	32.97	5.52	25.95	27.77	20.43	33

تم رسم منحنى العلاقة بين الرطوبة وارتفاع العينة X



الشكل(8): العلاقة بين الرطوبة وارتفاع العينة

والمعادلة النهائية (بشكل تكامل) لحساب الانتشارية بطريقة الهواء الساخن بالشكل:

$$D(\theta x) = \frac{1}{2r} \cdot \left(\frac{dx}{d\theta}\right) \cdot \int_{\theta_x}^{\theta_i} x \cdot d\theta \quad (16)$$

X: طول العينة أو ارتفاعها بحيث لا يقل عن $\theta x, 100\text{cm}$: الرطوبة عند العمق x عند الزمن t, t زمن

القياس θ_i : الرطوبة البدائية للعينة مشبعة، D: الانتشارية الهيدروليكية.

نظراً لصعوبة حساب قيم الانتشارية تم تطوير برنامج حاسوبي *Q Basic* يمكن من خلاله تحديد هذه القيم

بسهولة عند قيم مختلفة من المحتوى الرطوبي، وذلك بإيجاد قيمة x لعينة التربة المقابلة لقيم الرطوبة المتزايدة من

منحنى العلاقة بينهما الموضح بالشكل(8)، الموافقة وكانت النتائج كما هو موضح بالجدول التالي (8):

الجدول(8): قيم الانتشارية الهيدروليكية عند قيم الرطوبة المختلفة وفقاً لارتفاع العينة

x	θ	D	x	θ	D
9.0	25	0.09500	3.0	4	0.02000
9.8	26	0.09100	3.1	5	0.00240
10.3	27	0.08800	3.1	6	0.00180
11.0	28	0.05300	3.1	7	0.00195
11.8	29	0.03500	3.1	8	0.00196
12.0	30	0.03500	3.1	9	0.00197
12.2	31	0.02890	4.0	10	0.06900
14.5	32	0.03040	4.3	11	0.04400
15.0	33	0.07900	4.5	12	0.01100
17.0	34	0.07700	4.6	13	0.00990
18.0	35	0.15100	5.5	14	0.00980
21.0	36	0.14400	5.6	15	0.01000
24.0	37	0.34100	5.8	16	0.02200

x	θ	D	x	θ	D
28.2	38	0.36200	5.9	17	0.08000
32.0	39	0.38900	6.0	18	0.02100
38.0	40	0.38800	6.4	19	0.04200
45.0	41	0.48800	6.6	20	0.04200
53.0	42	0.46200	7.0	21	0.07600
66.0	43	0.42900	7.5	22	0.08500
90.0	44	0.40200	8.0	23	0.08400
100.0	44	0.00000	8.5	24	0.08200

تحديد منحنى الشد الرطوبي للتربة (water retention curve)

وتسمى أحياناً منحنيات الاحتفاظ بالماء التي توضح العلاقة بين الشد الرطوبي (أي قوة مسك الماء) و الرطوبة الحجمية. من الصعب التنبؤ بهذه العلاقة نظراً لكون تأثيرات الادمصاص والشكل الهندسي للمسام شديدة التعقيد، وقد اقترحت عدة معادلات تجريبية لوصف منحنى الشد الرطوبي ضمن مجالات محددة للرطوبة ومن هذه العلاقات علاقة (Brooks and Corey 1964) [10] التالية:

$$(17) \quad \left(\frac{\psi_e}{\psi}\right)^z = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_m - \theta_r}$$

ψ_e : الشد الرطوبي الذي يحدث عند التدفق، ψ : الشد الرطوبي المطبق، Z: دليل التوزيع الحجمي، θ : الرطوبة كتابع لـ ψ ، θ_s : الرطوبة عند الإشباع، θ_r : الرطوبة المتبقية.

كما اقترح (Van Genuchten 1980) [10] العلاقة التالية لتعيين منحنى الشد الرطوبي للتربة:

$$(18) \quad \theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha \cdot \psi)^n\right]^m}$$

حيث أن: ψ : المحتوى الرطوبي (سم³/سم³) المقابل لجهد الماء ψ (hpa)، θ_s : رطوبة التربة عند الإشباع، θ_r : الماء المتبقي عند الحد الأعلى لجهد الماء ضمن حدود صلاحية المعادلة فتستخدم قيمة $\alpha = 4.2$ أو أكثر.

α, n, m : عوامل تجريبية تؤثر على شكل المنحنى.

كما اقترح (Gardner et.al. 1970) [10] العلاقة التالية:

$$(19) \quad \theta = a \times \psi^b$$

حيث: a, b ثوابت متعلقة بنوع التربة.

إن منحنى الشد الرطوبي بقيم شد رطوبي تتراوح بين 0 و 1 بار يعتمد بشكل أساسي على التأثير الشعري والتوزيع الحجمي للمسام، وبالتالي فإنه يعتمد ويتأثر بشكل كبير بالحالة البنائية للتربة، وفي مجال شد رطوبي عالي يكون الاحتفاظ بالماء ناتج عن عملية الادمصاص، ولهذا فإن المنحنى يتأثر بشكل أقل بالبناء، وبشكل أكبر بالقوام وبالسطح النوعي للتربة.

حسب (Gardner 1958) [10] فإن المحتوى المائي عند 15 bar يكون مرتبطاً بمساحة السطح للتربة، وكلما

زاد المحتوى الطيني للتربة كلما زاد الاحتفاظ بالماء وكلما كان ميل المنحنى أكثر تدرجاً، وذلك بعكس التربة الرملية

التي يكون فيها المنحنى شديد الانحدار في مجال شد رطوبي منخفض، وأن منحنيات التربة المنضغطة وغير

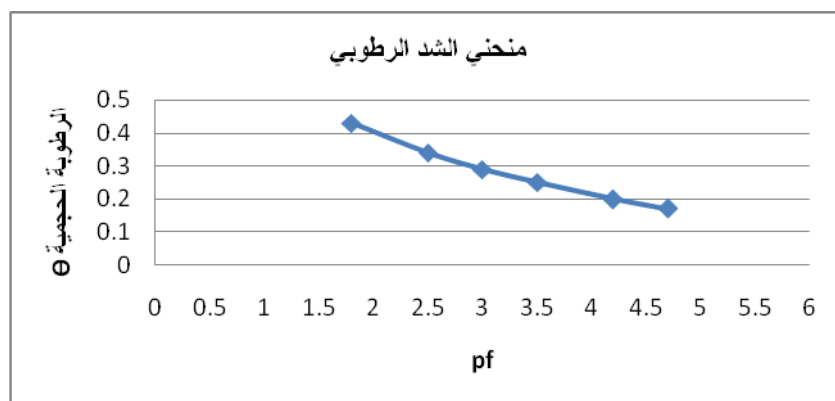
المنضغطة تكون عادة متماثلة تقريباً في مجال شد رطوبي عالي وتختلف في مجال شد رطوبي منخفض، وأن منحنى الشد الرطوبي يعتبر من أهم الخواص الفيزيائية للتربة، إذ يمكن عن طريقه تحديد المحتوى الرطوبي للتربة عند أي مستوى شد رطوبي، وعن طريقه يمكن تحديد الثوابت المائية وتوزيع النظام المسامي في التربة، ويمكن أن يستخدم لتحديد معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع اعتماداً على الإنتشارية الهيدروليكية للتربة، ويمكن من خلاله أيضاً التنبؤ بنوع التربة، ويمكن تحديد هذا المنحنى باعتماد علاقات تجريبية كالعلاقات السابقة بعد تحديد الثوابت التجريبية لها. يمكن تحديده أيضاً بطريقة جهاز الضغط العشائي عند تطبيق ضغوط متزايدة بدءاً من الضغط عند $pF_{1.8}$ و $pF_{2.5}$ و $pF_{3.5}$ و $pF_{4.2}$.

هذه الطريقة هي طريقة مجهددة وتحتاج لوقت طويل (عدة أشهر) وذلك عند استخدام اسطوانات تربة ارتفاعها 4cm، مع الإشارة إلى أن هذه الطريقة تعتبر من أكثر الطرق دقة لتحديد منحنى الشد الرطوبي لذلك تم اعتمادها في دراستنا، حيث تم حساب المحتوى الرطوبي عند مستويات شد رطوبي مختلفة، ثم أدخلت هذه الأرقام إلى جهاز الحاسب فتوصلنا إلى علاقة أسية من الشكل: $\Psi = a \times \theta^b$

إنها تمثل الشكل الأكثر استخداماً من قبل العديد من الباحثين مثل (Gardner et.al 1970) [10]، وكانت نتائج التجربة كما هي منظمة بالجدول (9) وتم رسم العلاقة بين قيم لوغاريتم الجهد مع قيم الرطوبة والتي تمثل منحنى الشد الرطوبي لتربة المنحدر الخلفي لسد الحويز كما هو موضح بالشكل (9).

الجدول(9): نتائج تجربة الشد الرطوبي

4.7	4.2	3.5	3	2.5	1.8	pf
0.17	0.199	0.25	0.29	0.34	0.43	θ



الشكل (9): منحنى الشد الرطوبي لتربة السد

$$\Psi = 0.104 \cdot \theta^{-7.530} \quad (20) \quad \text{من منحنى الشد الرطوبي توصلنا للعلاقة:}$$

أي أن ثوابت التربة هي: $a = 0.104$ ، $b = -7.530$

تحديد معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع

بعد تحديد قيم الإنتشارية المقابلة لقيم المحتوى الرطوبي المختلفة ابتداءً من قيم الرطوبة عندما التربة جافة تماماً وصولاً لقيم الرطوبة عندما التربة مشبعة تماماً، يمكننا حساب قيم معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع اعتماداً على

$$K_u(\theta) = D(\theta) \cdot \frac{d\theta}{d\Psi} \quad \text{قيم الإنتشارية الهيدروليكية من المعادلة (9) وفق العلاقة:}$$

حيث أن K_u : معامل التوصيل الهيدروليكي للتربة غير المشبعة، D : الإنتشارية الهيدروليكية (mm^2/sec).
 $\frac{d\theta}{d\psi}$: تغير المحتوى الرطوبي مع تغير الجهد وتؤخذ من منحنى الشد الرطوبي للتربة.

الجدول (10): حساب تغير الرطوبة مع تغير الجهد.

% θ	$d\theta/D\psi$	% θ	$d\theta/D\psi$
42	0.072	29	0.003
42	0.063	28	0.0021
41	0.054	27	0.0017
40	0.045	26	0.0015
39	0.038	25	0.0013
38	0.025	24	0.00077
37	0.024	23	0.00056
36	0.016	22	0.00039
35	0.014	21	0.0003
34	0.013	20	0.00022
33	0.0085	19	0.00015
32	0.0082	18	0.000076
31	0.0062	17	0.00006
30	0.0041	16	0.000048

حساب K_u :

$$K_u(\theta) = D(\theta) \cdot \frac{d\theta}{d\psi}$$

$$K_u(43) = \frac{0.429}{100} * 0.072 * 864 = 0.26 \text{ mld}$$

العلاقة بين معامل التوصيل غير المشبع والجهد

وتوصلنا للعلاقة بين معامل التوصيل غير المشبع والجهد وذلك بعد حساب $\log(K_u)$

$$K_u = 80.77 \cdot \log\Psi^{-1.4509} \quad (21)$$

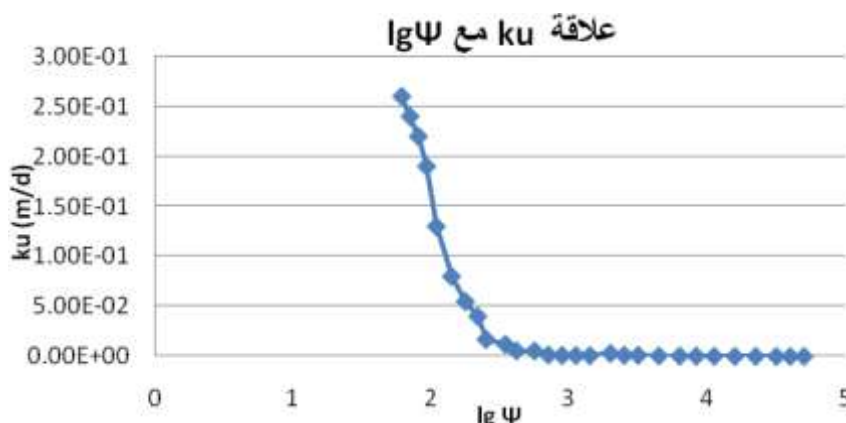
أي أن الثابت c و d هي: $c=80.77$ ، $d=-1.4509$

الجدول(11): يوضح قيم الرطوبة مع قيم معامل التوصيل لوغاريتم الجهد.

θ	K_u	$\lg\Psi$	θ	K_u	$\lg\Psi$
43	2.60E-01	1.77	29	9.10E-04	3.05
42	2.10E-01	1.85	28	9.00E-04	3.15
41	2.20E-01	1.9	27	3.00E-03	3.3
40	1.90E-01	1.97	26	1.20E-03	3.4
39	1.30E-01	2.04	25	1.10E-03	3.5
38	8.00E-02	2.15	24	5.50E-04	3.65
37	7.50E-02	2.25	23	4.00E-04	3.8
36	4.70E-02	2.34	22	2.80E-04	3.92

35	1.70E-02	2.4	21	1.90E-04	4.05
34	1.60E-02	2.54	20	7.90E-05	4.2
33	5.60E-03	2.62	19	5.40E-05	4.35
32	5.50E-03	2.75	18	1.30E-05	4.5
31	1.60E-03	2.85	17	8.80E-06	4.6
30	1.00E-03	2.95	16	9.00E-06	4.7

نرسم العلاقة بين معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع ولوغاريتم الجهد من خلال تنزيل القيم المحسوبة:



الشكل(10): العلاقة بين معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع ولوغاريتم الجهد.

محاكاة توزيع المحتوى المائي ضمن جسم سد الحويز

سنستعرض في هذه الفقرة مراحل بناء النموذج الرياضي باختصار لأنها ليست موضوع بحثنا الحالي، وإنما لتوضيح كيفية استخدام البارامترات المحسوبة بالفقرات السابقة ضمن البرنامج، بغية استكمال الدراسة الشاملة لسد الحويز فيما يتعلق بتوزيع المحتوى المائي ضمن جسم السد وتأثيره على استقرار المنحدر الخلفي بحساب عوامل الأمان [2].

- بدايةً عند تشغيل البرنامج لبناء النموذج: نحدد وحدات القياس للبارامترات المختلفة، على سبيل المثال نختار واحدة قياس الزمن (ثانية، دقيقة، يوم... الخ)، واحدة قياس الطول (سم، م... الخ)، كما حددنا خيار النمذجة الموافق لدراسة سد الحويز **والمتمثل بالجريان المستقر** بمستوي شاقولي ثنائي البعد، إذ أن البرنامج يتيح خيارات متعددة كدراسة (انتقال الملوثات، انتقال الحرارة... الخ) كذلك الأمر بالنسبة للجريان (مستوي أفقي، شاقولي) وحيد البعد أو ثنائي البعد، لذا يجب تفعيل الخيارات الموافقة للحالة المدروسة.

- نحدد المدة المدروسة ضمن خيار **print time**، وقد أدخلنا السلسلة الزمنية لمدة 90 يوماً وهي تمثل الفترة التي سيدرس خلالها تغيرات المحتوى المائي لسد الحويز، يتبع ذلك إدخال بعض البيانات المتعلقة بالخطوة الزمنية وعدد التكرارات والأخطاء المسموحة (أثناء معالجة البيانات التي سيقوم بها البرنامج).

- الخطوة التالية تمثلت بإدخال عدد وأنواع التربة المكونة لمقطع السد والبيانات الهيدروديناميكية لكل نوع، والمتمثلة بقيم (المسامية، قيمة معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع المقابل لقيمة محتوى رطوبي محدد) من منحنى العلاقة بين معامل التوصيل ولوغاريتم الجهد أو من العلاقة (21) المستنتجة أعلاه))، حيث اعتبرنا أن الرطوبة الابتدائية (شرط ابتدائي للنمذجة) لتربة جسم السد أعلى خط التسرب رطوبة طبيعية قيمتها ضمن مجال (25%- 35% يتبعها نمذجة حالات أعلى لقيمة المحتوى الرطوبي ومترافقة بالهطل المطري لتحديد تأثير هذه العوامل على

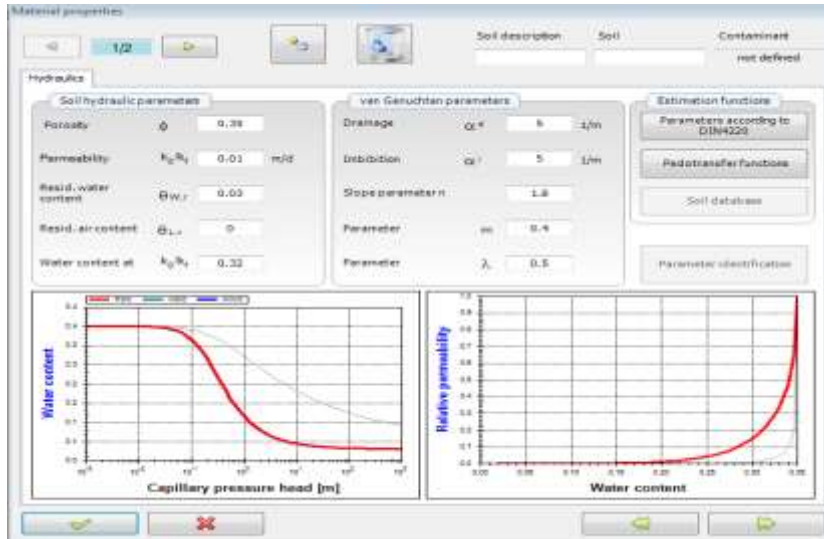
استقرار الوجه الخلفي لسد الحويز . يتم تحديد قيمة الماء المتبقي والهواء المتبقي اعتماداً على منحنيات الشد الرطوبي لترتبة السد المرسومة والموضحة أعلاه .

• أما قيم بارامترات التربة في العلاقة (2) (فان-غينوختن) المبينة بالجدول (12)، فقد تم استخدام الكود الألماني DIN4220 لإيجادها وفقاً لنوع التربة، نذكر أن تجارب التحليل الميكانيكي دلت أن تربة السد لومية LS2 حسب مثلث القوام الألماني الشكل (6)).

الجدول (12): البارامترات المستخدمة في البرنامج PCSiWaPro®

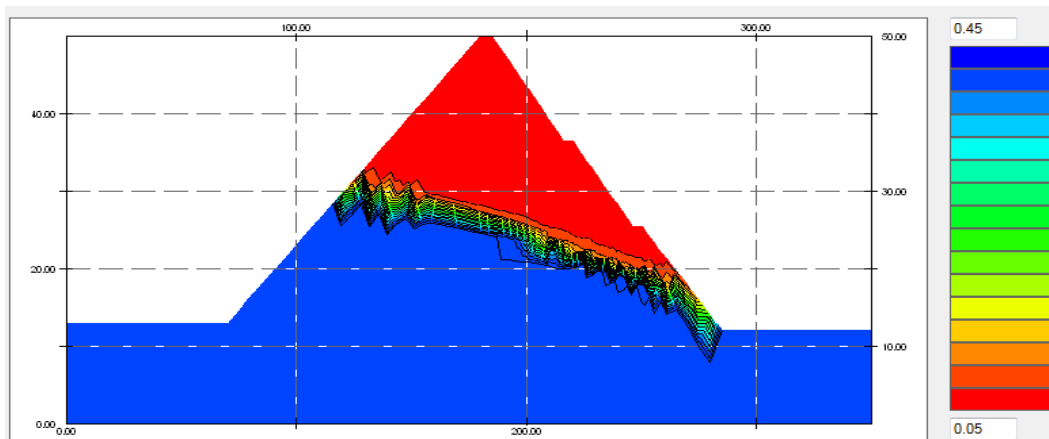
البارامتر	الرمز	الواحدة	البارامتر	الرمز	الواحدة
المسامية	Φ	-	المحتوى المائي الموافق لمعامل التوصيل	θ_w	-
معامل التوصيل غير المشبع	k_u	m/d	معامل ظاهرة هيستريسس عند الترطيب (فان غينوختن)	α^i	-
محتوى الماء المتبقي	$\theta_{r,w}$	-	معامل ظاهرة هيستريسس عند التجفيف (فان غينوختن)	α^d	-
محتوى الهواء المتبقي	$\theta_{r,l}$	-	معامل الانحدار في معادلة فان غينوختن	n	-
λ فان غينوختن		-	$m = 1/n$ فان غينوختن	m	-

والشكل التالي يبين نافذة ادخال هذه البارامترات في البرنامج PCSiWaPro®

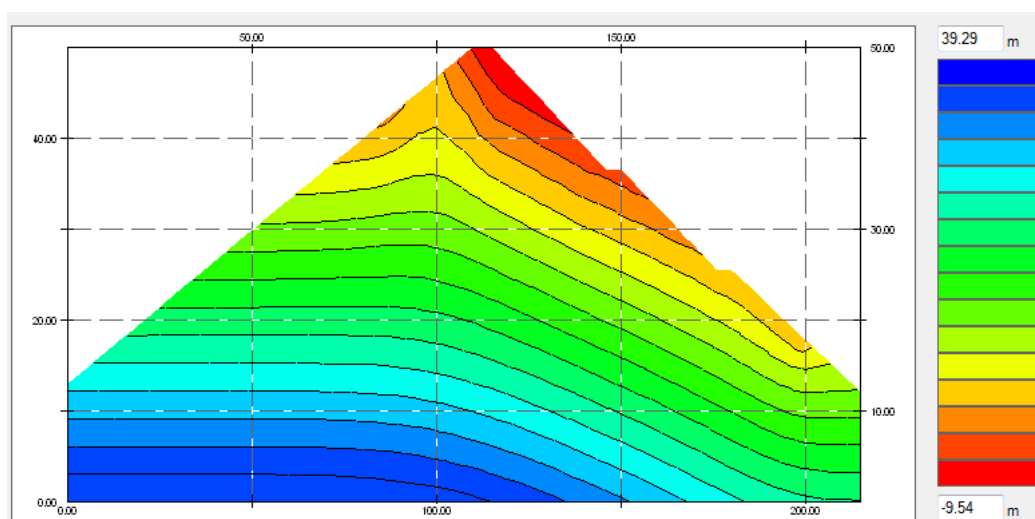


الشكل (11): صورة توضح نافذة ادخال بارامترات التربة

توضح الأشكال (12,13) نتائج محاكاة جسم السد بالشروط العامة دون نمذجة هطل مطري، وسيتم الاعتماد عليها لمقارنة السيناريوهات اللاحقة لمعرفة التغير الذي سيطرأ على توزع الرطوبة ضمن المنطقة غير المشبعة لسد الحويز . يبين الشكل (12) أن المحتوى المائي يتراوح بين 0.45 عند درجة اشباع 100% (أسفل خط التسرب) و يتناقص حتى القيمة (0.05) عند قمة السد وعلى الوجه الخلفي بينما تتراوح قيم الضاغط بين القيم (- 9.52 m حتى 39.28 m) كما يظهر بالشكل (13). يظهر تأثير واضح لظاهرة hysteresis على المحتوى المائي والتي تتمثل بأن المحتوى المائي عند شد رطوبي معين في حالة التجفيف أعلى منه في حالة الترطيب، حيث أن تربة السد الغضارية تملك قوى شعرية أكبر للاحتفاظ بماء المسام.



الشكل (12) يبين توزيع المحتوى المائي ضمن جسم سد الحويز وأساسه قبل التغطية لمدة 90 يوم دون هطل مطري.



الشكل (13): يبين توزيع خطوط تساوي الضاغط المائي ضمن جسم سد الحويز وأساسه قبل التغطية لمدة 90 يوم دون هطل مطري.

الاستنتاجات والتوصيات

- تبين نتائج البحث ضرورة أخذ عينات من ترب السدود للحصول على قيم واقعية للبارامترات المختلفة للتحقق من مطابقتها للقيم التصميمية أو تلك الواردة في المذكرة التنفيذية.
- الحصول على البارامترات غير الواردة في المذكرات التصميمية والتنفيذية للتأكد من سلامة وأمان المنشآت الكبيرة (معامل النفاذية غير المشبع، محتوى الماء المتبقي، محتوى الهواء المتبقي).
- إمكانية استخدام البرنامج PCSiWaPro® لمحاكاة دقيقة للمحتوى الرطوبي في السدود والمنحدرات الترابية.
- نوصي باستخدام هذه الطرق المخبرية للحصول على بارامترات تربة السدود والمنحدرات الترابية عند دراسة تأثير هذه البارامترات على حركة المياه و توزيع الرطوبة ضمن جسم السد بما يسمح بالتحقق من استقرارها بدقة كبيرة.

المراجع:

- [1]- Al-sinn Project, *Final Detailed Design Report. Second Phase*.13/95-05-09. Moscow, 1997.
- [2] T. SOULIYAVONG, C. GALLAGE, P. EGODAWATTA and B. MAHER: *Factors affecting the stability analysis of earth dam slopes subjected to reservoir drawdown*. Second International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment, Kuala Lumpur, Malaysia . ISBN: 978-4-9905958-1-4 C3051 (2012)
- [3] TIEN H. WU: *Root reinforcement of soil: Review of analytical models, test results, and applications to design*. NRC Research Press (2013)
- [4] AIGNER, Detlef : *Auswertung von Untersuchungen über den Einsatz einer Gummisp und wandsowie einer Sickerleitung an einem durchströmten Modelldeich*. Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik. Dresden : Technische Universität Dresden (2004)
- [5] GRABER, PETER-WOLFGANG, RENE BLANKENBURG, Oliver KEMMESIES, STEFANIE KRUG: *SiWaPro DSS Beratungssystem zur Simulation von Prozessen der unterirdischen Zonen*. Wittmann Jochen und Müller Mike / Hrsg. Müller Mike - Leipzig: Shaker Verlag. ISBN 3-8322-5132-4 (2006)
- [6] HASAN, I., MEYER, M., GUO, J., GRAEBER, P.-W.: *Simulation of the hydrological regime in earth dams and dikes as a basis for stability analysis using the software PCSiWaPro®*. In: III Ogólnopolska Konferencja naukowa – Techniczna, Zarządzanie Kryzysowe – Nauka i Praktyka" nt. „Retencja Wodna Na Obszarach Wiejskich”, Opole-Jarnoltowek/Poland(2012)
- [7] KEMMESIES, OLIVER: *Prozess modellierung und Parameter identifikation von Mehrphasen strömungsprozessen in porösen Medien*. Dresden: Dresdner Grundwasser forschungszentrum. V., 1995. ISSN 1430-0176 (1995)
- [8] JINXING GUO1, ISSA HASAN2, PETER-WOLFGANG GRAEBER: *Application of the program PCSiWaPro® for the stability analysis in earth dams and dikes considering the influence from vegetation and precipitation-a case study in China*, Institute of Waste Management and Contaminated Site Treatment, Technische Universität Dresden, Pirna, Germany.
- [9] حسن، عز الدين؛ فويتي، فاطمة، الري والصرف، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، جامعة تشرين سوريا، 1996-1997
- [10] ابراهيم، جهاد؛ بركات، منى، فيزياء التربة، مديرية الكتب والمطبوعات، جامعة تشرين، سوريا، 2013-2012.
- [11] حسن، عز الدين، الوجيز في الفيضان، مديرية الكتب والمطبوعات، جامعة تشرين، سوريا،
- [12] فويتي، فاطمة، دراسة تأثير تبديد ضغط الماء المسامي على استقرار السدود الترابية (حالة سد الحويز)، مجلة جامعة تشرين، سوريا، 2013.
- [13] الملفات التعليمية و التعريفية الملحقة ببرنامج PCSiWaPro®.