

مقارنة بين دراسة التسرب في السدود الترابية والركامية باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية وبرنامج seep/w

طالبة الماجستير: هيا ديب كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث

إشراف: د. م. شعبان حديد

ملخص :

يُعد التحكم بالتسرب ومنع ارتشاح المياه في المنشآت المائية مهماً للغاية، حيث بينت الدراسات الحديثة أن 30% من حوادث انهيار السدود تحدث بسبب التسرب عبر جسم السد أو عبر الأساس [8].

تم في هذا البحث التحقق من التسرب عبر جسم السد الترابي باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية، حيث تم بناء نموذج شبكة عصبية اصطناعية ذات تغذية أمامية تستخدم تابع sigmoid كتابع تنشيط لحساب تدفق التسرب عبر جسم السد، بالإضافة لحساب مناسب خط الإشباع phreatic line، حيث تم تحقيق هذا الهدف من خلال استخدام صندوق الشبكات العصبية في برنامج MATLAB 6. تمت دراسة التسرب أيضاً باستخدام برنامج seep/w، وتم إجراء مقارنة بين نتائج الطريقتين.

أثبتت نتائج الدراسة أن الشبكة العصبية الاصطناعية (ANN) تعطي نتائج جيدة في تقدير التسرب في السدود الترابية والركامية.

الكلمات المفتاحية: الشبكات العصبية الاصطناعية، خط الإشباع، طريقة العناصر المحدودة، السدود الترابية.

Comparison Between the Study of seepage in Earth-fill and Rock-fill Dams Using Artificial Neural Networks and Seep/w

ABSTRACT

Preventing water penetration and seepage control is of prime importance in hydraulic structures projects. Recent studies show that 30% of dam failures are due to the seepage from dam's body or foundation[8].

This paper concerns to investigate the amount of seepage through the earth dam with core using an artificial neural network model. For this purpose, MATLAB 6.0 Neural Network Toolbox is used. The ANN model was a feedforward neural network employing a sigmoid function as activator to estimation the seepage discharge in earthfill dam's body and the level of phreatic line.

Also ,In this study, seepage through an earthfill dam's body is investigated by finite elements software SEEP/W.

The results of the research verify that Artificial Neural Networks (ANN) gives a good result in estimating seepage in earthfill and rockfill dams.

Keywords: Artificial Neural Network(ANN), line phreatic , finite element method, earthfill dam's .

1. المقدمة Introduction :

يمكن أن يؤدي تدفق المياه عبر التربة إلى حركة حبيبات التربة، واستمرار هذه الحركة يسبب التآكل. هناك كثير من العوامل التي يمكن أن تؤثر في حركة حبيبات التربة بما في ذلك التدرج الهيدروليكي، لدونة التربة، حجم الحبيبات، التوتر الشعري، وأسباب أخرى [14]. يؤدي حدوث التسرب في السدود الترابية إلى حدوث بعض المشاكل والتي قد تصبح خطرة على استقرار وتوازن السد [7]. حيث يعتبر التسرب المتدفق عبر السدود الترابية هو السبب الرئيسي الذي يؤدي إلى الانهيار [1]. من هنا تأتي أهمية التحكم بالتسرب حيث تبين الدراسات الحديثة أن (25-30%) من حوادث انهيار السدود تحدث بسبب التسرب عبر جسم السد أو عبر الأساس [6,12].

دفعت إخفاقات السدود المسجلة في القرنين الثامن عشر والتاسع عشر إلى البحث عن طرق علمية أكثر لتصميم وبناء السدود، و اعتمدت الدراسات على علاقة Henri Darcy في عام 1856. في بدايات القرن التاسع عشر تم تطوير طريقة تخطيطية بواسطة Forchhiemer للحصول على حلول تقريبية لمعادلة لابلاس، وجرى استخدام هذه الطريقة على نطاق واسع للسدود الترابية. منذ ذلك الحين أصبح حل معادلة لابلاس عن طريق الحل التخطيطي أو باستخدام نماذج التشابه الكهربائية إجراءً قياسياً لتحليل التسرب [3].

قام (Rezk&Senoon,2011) بدراسة مشكلة التسرب في سد ترابي مع نواة مستند على أساس كتيم بشكل تجريبي، حيث تم تعيين موضع نقطة خروج خط التسرب في كل مقطع (بشكل خاص في النواة). أكدت النتائج على وجود توافق وثيق بين الحل المقترح و الحلول الأخرى [13].

تتلخص مسألة حساب التسرب في السدود الترابية في تحديد موضع خط الإشباع وتحديد تصريف الماء المتسرب وسرعة تدرج الضغط في أي نقطة من نقاط منطقة التسرب وللحصول على منحنى خط الإشباع يتم رسم شبكة الجريان [8]. قدم كاساغراندي (casagrande) مناقشة كاملة لهذه الطريقة كما قدم بافلوفسكي مقارنة للحل بالطريقة

التخطيطية مع الحل التحليلي من خلال مناقشته للتسرب في السدود الترابية [11]. ولكن الطريقة التخطيطية تستغرق وقتاً طويلاً ، وتعتمد على المهارات الشخصية [3].

تم إجراء العديد من دراسات التسرب باستخدام النماذج الفيزيائية والتي تعطي صورة عامة لسلوك التسرب من خلالها السدود الترابية، ومع ذلك بما أن النمذجة الفيزيائية لها العديد من القيود ، فإن النمذجة العددية التي تعتمد على الحل الرياضي هي الطريقة الأخرى المستخدمة في العديد من دراسات التسرب ذات الحل الأكثر تعقيداً [2,3].

و في دراسة أخرى تمت دراسة التسرب عبر جسم سد ترابي (مع / بدون نواة داخلية) عددياً باستخدام برنامج (2012) GEOSTUDIO ، وجرى التحقق من التحليل العددي باستخدام نموذج تجريبي ، و قد لوحظ أن الفرق الأقصى بين النتائج لا يتجاوز (18%) ، [14].

وأجريت دراسة لحساب التسرب عبر السدود الترابية باستخدام النماذج الفيزيائية والرياضية والعددية ، وقد أظهرت نتائج الحسابات الرياضية باستخدام حلول كاساغراندي ونموذج seep/w العددي خط تسرب متوافق مع خط التسرب الملحوظ في النموذج الفيزيائي [3].

في إحدى الدراسات تم إجراء ما يقارب 600 نموذج هندسي لسد مع نواة تم حله عددياً، ثم استخدمت نتائج التحليل لتطوير معادلات تقريبية جديدة لحساب تدفق التسرب عبر جسم السد، وجرى مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من المعادلات التقريبية مع نتائج المحاكاة العددية والمعادلات المقترحة من قبل باحثين آخرين، وبينت المقارنة أن المعادلات المقترحة قادرة على التنبؤ بحجم التسرب عبر جسم السد و بدقة عالية. كما أنها أفضل نسبة إلى النتائج التي تم الحصول عليها من البرنامج [7] .

تناولت دراسة أخرى التسرب باستخدام برنامج seep/w و برنامج FLAC2D وقد تبين أن النتائج التي تم الحصول عليها من برنامج FLAC 2D أكثر دقة من برنامج seep [15] 2D.

تم في الآونة الأخيرة استخدام الشبكة العصبية الاصطناعية (ANN) كنموذج الصندوق الأسود طريقة بديلة جيدة و يمكن أن توفر تنبؤات مفيدة بدون وقت المعايرة المكلف وتستخدم على نطاق واسع للتنبؤ في العديد من دراسات الموارد المائية والهيدرولوجيا [12]. جرى استخدام نموذج الشبكة العصبية الاصطناعية للتحقق من التسرب عبر جسم سد ترابي، وفي هذه الدراسة مستويات المياه أمام و خلف السد هي المدخلات ومستويات المياه في أجهزة قياس الضغط (البيرومتري) هي المخرجات المستهدفة في نموذج الشبكة العصبية الاصطناعية. وكانت النتائج التي تم الحصول من الشبكات جيدة مقارنة بالبيانات المقاسة [6].

تطرت دراسة أخرى إلى إيجاد معادلة جديدة لحساب كمية التسرب خلال السدود الترابية المتجانسة التي لها منظومة تصريف أفقية و تم استخدام البرنامج الحاسوبي $seep/w$ وجرى تحليل النتائج المستحصلة باستخدام نظرية الشبكات العصبية . كانت متغيرات الإدخال هي الأبعاد الهندسية مثل : ميل المنحدر الأمامي ، ميل المنحدر الخلفي ، ارتفاع السد ، الارتفاع الحر ، طول المصرف الأفقي و عرض قمة السد و نفاذية تربة السد. أما متغير الإخراج فهو معدل كمية التسرب. وقد أظهرت المقارنة وجود تطابق جيد جداً بين نتائج البرنامج والمعادلة، [9].

تم في دراسة مماثلة استخدام برنامج $seep/w$ للتحقق من كمية التسرب خلال سد ترابي متجانس مع نواة. و قدم معادلة أولية من أجل تقدير كمية التسرب خلال سد ترابي مع نواة يستند على أساس كتيمة، كذلك استخدم الشبكة العصبية بينت النتائج توافقاً كبيراً بين النتائج [10].

2. هدف البحث Aim of the search :

يؤدي التسرب في السدود الترابية إلى حدوث بعض المشاكل والتي قد تصبح خطرة في حال حدوث التعرية للحوز السفلي، أو بسبب التسرب وتشكل أنابيب عبر جسم السد مما قد يؤثر على استقرار وتوازن السد [10]. يهدف البحث إلى دراسة التسرب في السدود

الترابية والركامية باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية وبطريقة العناصر المحدودة ومقارنة نتائج الطريقتين .

3. طرائق البحث ومواده **Materials and methods**:

تم في هذا البحث تحليل تأثير كل من نفاذية تربة موشور جسم السد و نفاذية تربة النواة وميول النواة وميول جسم السد على التسرب عبر جسم السد ومناسيب خط الإشباع . كما تم بناء شبكة عصبية اصطناعية ذات تغذية أمامية باستخدام برنامج 6 MATLAB لحساب قيم تدفق التسرب عبر جسم السد ومناسيب خط التسرب . تعرف الشبكات العصبية بأنها شبكات ذات ترابط (تواصل) كثيف فيما بينها تضم عناصر بسيطة ومتوازية (وعادة ما تكون قابلة للتكيف) وذات تنظيم هرمي ، و تتفاعل مع كائنات العالم الحقيقي بنفس الطريقة التي يتفاعل بها النظام العصبي الطبيعي (البيولوجي) مع العالم الحقيقي [4] . تتكون الشبكات العصبية ذات التغذية الأمامية من نظام خلايا عصبية يتم ترتيبها في طبقات ، حيث تتكون هذه الشبكات من طبقة خفية واحدة على الأقل Hidden Layer ، فضلاً عن طبقة الإدخال وطبقة الإخراج ، إذ يرتبط كل عصبون في كل طبقة مع كل عصبون في الطبقة التالية بوزن معين w الذي يتم ضبطه أثناء التدريب [5].

إن الشبكة العصبية الأكثر انتشاراً في مجال الموارد المائية هي الشبكة العصبية الصناعية ذات التغذية الأمامية و يقصد بالتغذية الأمامية أنها تنقل العمليات الحسابية في اتجاه واحد للأمام من طبقة المدخلات إلى طبقة المخرجات عبر الطبقة الخفية . ومن الأمثلة على هذا النوع من الشبكات نذكر الشبكة العصبية ذات الانتشار العكسي للخطأ Feed Forward Back Propagation Artificial Neural Network ، وسميت بالشبكات ذات الانتشار العكسي للخطأ لأن المخرجات الحسابية للشبكة تقارن مع المخرجات الفعلية ، والفرق في قيمهما يدعى بالخطأ ، حيث تقوم هذه الشبكة بنشر الخطأ من طبقة المخرجات مروراً بالطبقات الخفية إلى طبقة المدخلات أي بآلية معكوسة لعملية حساب المخرجات [1].

أيضا جرى دراسة التسرب باستخدام برنامج seep/w إحدى الحزم البرمجية من برنامج (2012) GEO_STUDIO وهو منتج برمجيات العناصر المحدودة لتحليل تسرب المياه الجوفية ومشاكل تبدد ضغط المياه داخل المواد المسامية مثل التربة والصخور. تسمح صياغته الشاملة بالتحليلات التي تتراوح من مشاكل الحالة المستقرة البسيطة والمشعبة إلى المشكلات المعقدة (حالة مشعبة وغير مشعبة) والتي تعتمد على الوقت. يمكن تطبيق Seep/w على تحليل وتصميم مشاريع الهندسة الجيوتكنية والمدنية و الهيدروجيولوجية والتعدين و صيغته البرمجية المطورة تجعل من الممكن تحليل صيغة تسرب المياه المعقدة للغاية [3,9,14,15].

4- النتائج والمناقشة :

4-1- دراسة تأثير العوامل المختلفة:

قبل البدء ببناء الشبكة العصبية سنقوم بدراسة تأثير كل من (نفاذية تربة موشور جسم السد ،نفاذية تربة النواة ،ميول السد ،ميول النواة) على قيم تدفق التسرب عبر جسم السد ومناسيب خط التسرب، ومن أجل ذلك تم تثبيت كل العوامل واعتبار المتغير التي تتم دراسة تأثيره هو المتغير الوحيد .

سيتم تحديد قيمة تدفق التسرب عبر جسم السد باستخدام علاقة بافلوفسكي لحساب التسرب في سد ترابي مع نواة مركزية وموشور صرف يستند على أساس كتيم، و تعطى العلاقة بالشكل الآتي [8] :

$$qt = K_T \cdot \frac{H_1^2 - H_2^2}{2(L_p + L_d)} \quad (1)$$

باعتبار $L_d = 0$ ، تصبح العلاقة كما يلي :

$$qt = K_T \cdot \frac{H_1^2 - H_2^2}{2(L_p)} \quad (2)$$

سنقوم باعتبار قيم ارتفاع الماء أمام السد وخلف السد ثوابت.

$$L_p = \Delta L + m_1 \cdot d + B_1 + m_2(H_1 + d - h_d) - m_3 \cdot h_d \quad (3)$$

$$\Delta L = \beta \cdot H_1 \quad (4)$$

حيث: qt : قيمة التسرب عبر جسم السد (m^3/day)، K_T : نفاذية تربة جسم السد (m/day)، H_1, H_2 : ارتفاع الماء أمام وخلف السد (m)، m_1, m_2 : الميل الأمامي والخلفي لمنحدرات جسم السد، m_3 : ميل موشور الصرف، d : الارتفاع الإضافي

$$\beta: \text{معامل يحدد بالعلاقة التالية: } \beta = \frac{m_1}{2m_1+1}$$

عندما $m_1 \geq 2$ فإن $\beta = 0.4$

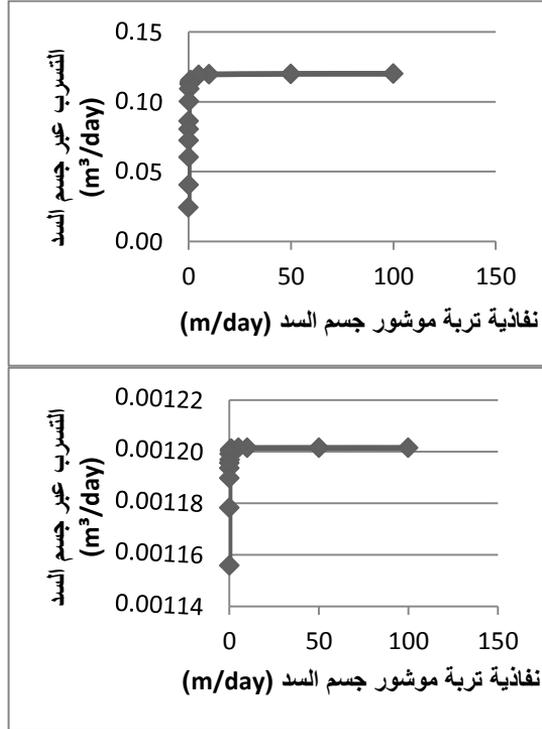
و تستخدم علاقة ديبيويه لحساب قيم مناسب خط الإشباع والتي تعطى بالشكل:

$$y = \sqrt{H_1^2 - \frac{2 \cdot qt \cdot x}{K_t}} \quad (5)$$

أولاً: تأثير نفاذية تربة موشور جسم السد:

تم تغيير نفاذية تربة موشور جسم السد و جرى دراسة 15 حالة تتراوح بين (- 0.01 m/day 100)، باعتبار بقية المتغيرات في علاقة بافلوفسكي ثوابت وهي: (ميل المنحدر الأمامي لجسم السد $m_1=2.5$ ، ميل المنحدر الخلفي لجسم السد $m_2=2.5$ ، ميول النواة $m_3=0.2$ ، نفاذية تربة النواة $k_c = 0.00008 m/day$ ، ارتفاع الماء أمام السد $H_1=14.5 m$ ، ارتفاع الماء خلف السد $H_2=0m$ ، عرض قمة السد $B=5m$ ، الارتفاع الإضافي للسد $d=2.5 m$ ، ارتفاع موشور الصرف $(h_d = 4 m)$.

تم حساب قيمة تدفق التسرب وفق علاقة بافلوفسكي لحساب التسرب في جسم سد ترابي مع نواة مركزية وموشور صرف لسد يستند على أساس كتيم (العلاقة: 1)، كما تم حساب مناسيب التسرب باستخدام علاقة ديبيويه (العلاقة:5). يوضح الشكل (1) العلاقة بين نفاذية تربة موشور جسم السد والتسرب عبر جسم السد المحسوبة وفق (العلاقة:1).



ب- حالة سد ترابي

أ- حالة سد ركامي

الشكل (1):علاقة نفاذية جسم السد مع قيمة التسرب عبر جسم السد

تؤدي زيادة نفاذية جسم السد إلى زيادة التسرب عبر جسم السد حتى قيمة معينة يصبح بعدها تأثير الزيادة ضئيلاً كما يتضح من الشكل (1). يوضح الشكل(2) تأثير نفاذية تربة موشور جسم السد مع مناسيب المياه في خط الإشباع، حيث تم حساب مناسيب خط الإشباع في خمس نقاط وهي :

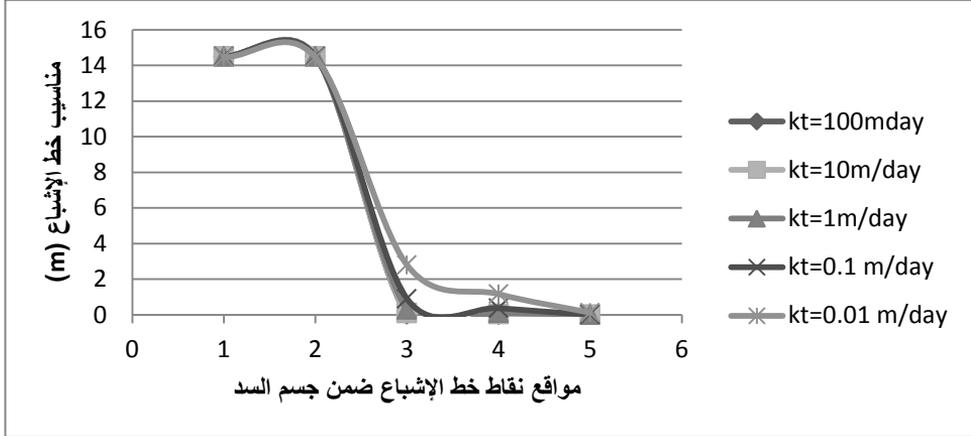
النقطة الأولى :نقطة دخول خط الإشباع لجسم السد(بداية خط الإشباع).

النقطة الثانية وهي نقطة دخول خط الإشباع للنواة .

النقطة الثالثة : نقطة خروج خط الإشباع من النواة .

النقطة الخامسة وهي نقطة التقاء خط الإشباع مع منحدر موشور الصرف.

النقطة الرابعة: تم اختيار نقطة إضافية بين النقطة الثالثة (نقطة خروج خط الإشباع من النواة) وبين النقطة الخامسة (نقطة التقاء خط الإشباع مع منحدر موشور الصرف). وقد تم اعتبار هذه النقطة بداية المصطبة الثانية .



الشكل (2): تأثير نفاذية جسم السد على مناسيب خط الإشباع

يبين الشكل (2) أن زيادة نفاذية تربة موشور جسم السد K_T تؤدي إلى انخفاض مناسيب خط الإشباع، نلاحظ أن تأثير نفاذية تربة موشور جسم السد يكون واضحاً عندما تكون نفاذية جسم السد أصغر من القيمة (0.1 m/day)، بينما يكون تأثير تغير نفاذية جسم السد ضئيلاً على تغير قيم مناسيب خط الإشباع عندما تكون قيمة النفاذية أكبر من 0.1 (m/day).

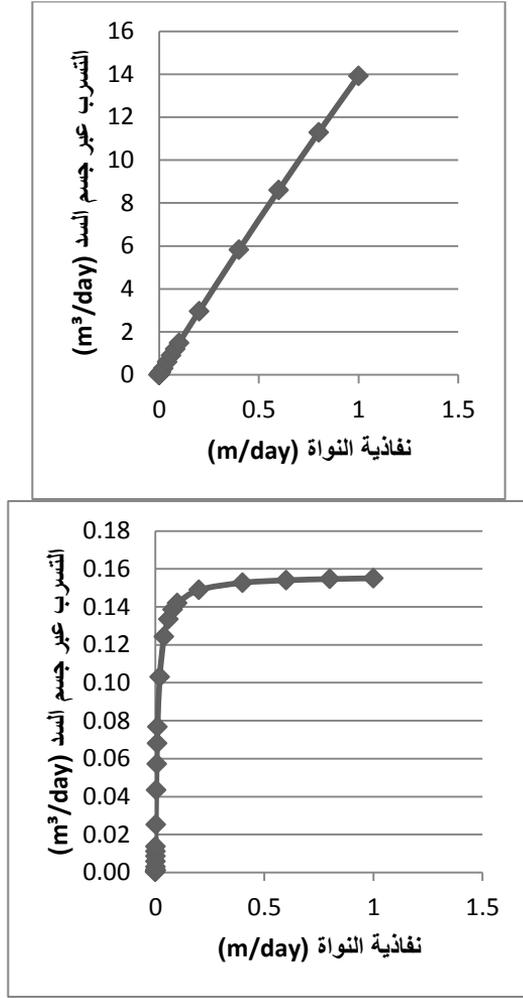
نلاحظ من الشكل (2) أنه كلما انخفضت نفاذية تربة موشور جسم السد ارتفعت مناسيب خط الإشباع، ولكن عندما تكون نفاذية تربة موشور جسم السد أكبر من 0.1 (m/day) يمكننا إهمال تأثير نفاذية جسم السد على قيمة تدفق التسرب عبر جسم السد وكذلك على مناسيب خط الإشباع، كما أن تأثير نفاذية جسم السد على تدفق التسرب ومناسيب خط الإشباع يتعلق بقيمة نفاذية النواة .

تم التمييز بين حالتين الحالة الأولى هي حالة سد ركامي حيث تتراوح معامل نفاذية تربة موشور جسم السد بين القيم (0.1-100 m/day) ، والحالة الثانية عندما تكون قيمة نفاذية تربة موشور جسم السد أصغر من القيمة 0.1 m/day فإن السد يكون ترابي.

ثانياً: تأثير نفاذية تربة النواة:

بنفس الطريقة تم تغيير نفاذية تربة النواة وجرى دراسة 25 حالة تتراوح بين $(\div 2.10^{-5})$ (1 m/day) ، باعتبار بقية المتغيرات في علاقة بافلوفسكي ثوابت . أما نفاذية تربة موشور جسم السد فتم التمييز بين حالتين: الأولى عندما تكون نفاذية تربة موشور جسم السد (60 m/day) و الثانية عندما تكون نفاذية تربة موشور جسم السد (0.05 m/day) .

تم حساب قيمة تدفق التسرب وفق المعادلة (1) ، وجرى تحديد مناسب خط الإشباع باستخدام المعادلة (5) . يوضح الشكل (3) دراسة تأثير تغير نفاذية تربة النواة على قيم تدفق التسرب بينما يوضح الشكل (4) تأثير تغير نفاذية تربة موشور جسم السد على مناسب خط الإشباع .



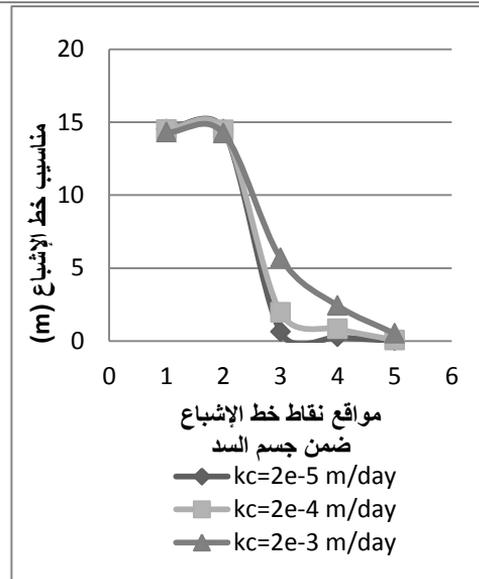
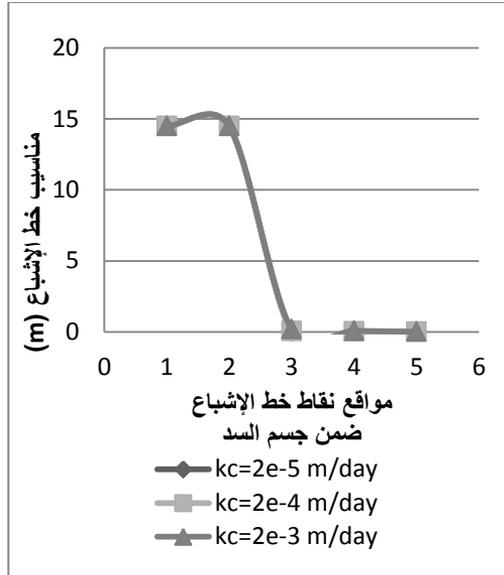
ب- حالة سد ركامي

أ- حالة سد ترابي

الشكل (3): تأثير نفاذية النواة على قيم التسرب عبر جسم السد: (أ- حالة سد ترابي. ب- حالة سد ركامي)

يبين **الشكل (3)** أن زيادة نفاذية النواة تؤدي إلى زيادة التسرب عبر جسم السد و تكون العلاقة طردية بين نفاذية النواة وتدفق التسرب في حالة سد ركامي، حيث نلاحظ أنه كلما ازدادت نفاذية النواة تستمر قيم تدفق التسرب في الزيادة، بينما تأخذ العلاقة شكلاً لوغاريتمياً في حالة سد ترابي، حيث يزداد التسرب مع زيادة نفاذية تربة النواة حتى قيمة

معينة لنفاذية النواة (في الحالة المدروسة هي القيمة 0.5 m/day) يصبح بعدها تأثير الزيادة على قيمة التسرب ضئيل للغاية و يصبح المنحني مستقيم .ويوضح الشكل (4) تأثير تغير نفاذية تربة النواة على مناسيب خط الإشباع .



ب- حالة سد ركامي

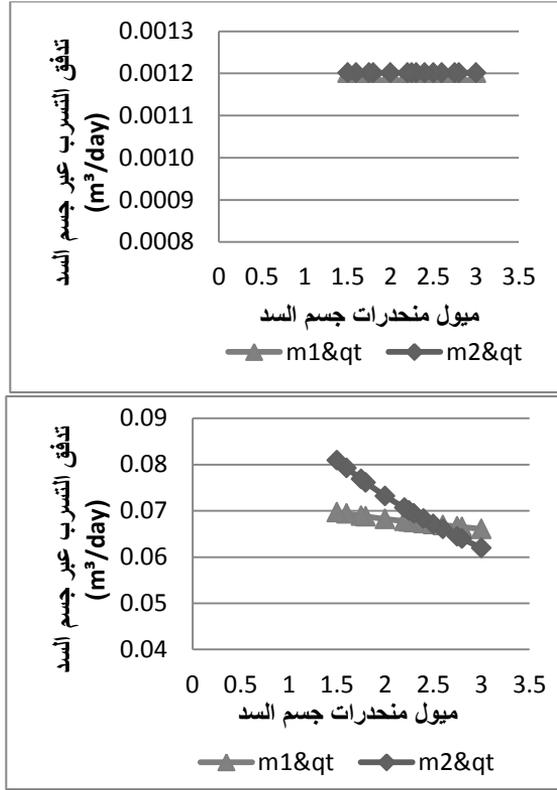
أ- حالة سد ترابي

الشكل (4): تأثير نفاذية تربة النواة على مناسيب خط الإشباع (أ- حالة سد ترابي، ب- حالة سد ركامي)

نلاحظ من الشكل (4) أن انخفاض نفاذية تربة النواة يؤدي إلى ارتفاع مناسيب خط الإشباع في النقاط بعد النواة، إلا أن منسوب خط التسرب (الإشباع) ينخفض عند نقطة الدخول للنواة بانخفاض نفاذية النواة (حالة سد ترابي). بينما يكون تأثير تغيير قيمة نفاذية النواة ضئيل على مناسيب خط الإشباع (حالة سد ركامي) حيث تكاد تكون الخطوط منطبقة على بعضها البعض .

ثالثاً: تأثير الميل الأمامي والخلفي لمنحدرات جسم السد m_1 :

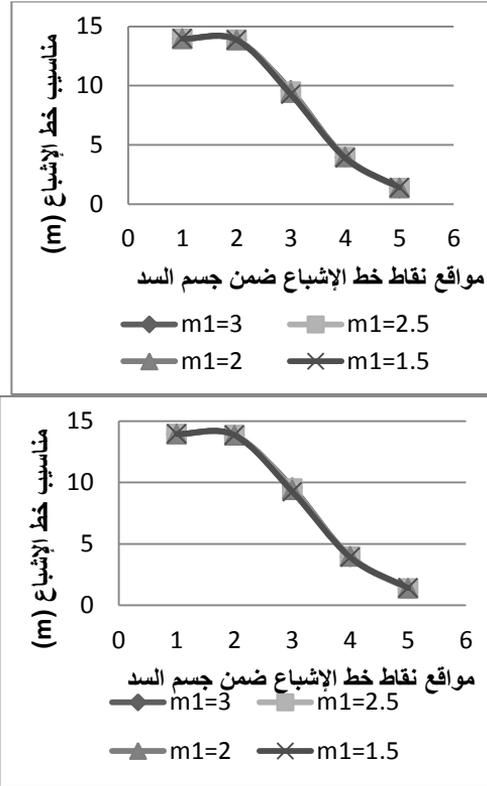
تم تغيير قيمة الميل الأمامي لجسم السد وتم دراسة 14 حالة لكل من ميل المنحدر الأمامي والخلفي لجسم السد وتراوحت قيم الميول المدروسة بين (1.5 ÷ 3)، باعتبار بقية المتغيرات في علاقة بافلوفسكي ثوابت . جرى حساب قيمة تدفق التسرب ومناسيب خط الإشباع بالعلاقات (1)، (5) على الترتيب . يوضح الشكل (5) تأثير الميل الأمامي والخلفي لمنحدرات جسم السد على قيم تدفق التسرب عبر جسم السد .



ب- حالة سد ركامي

أ- حالة سد ترابي

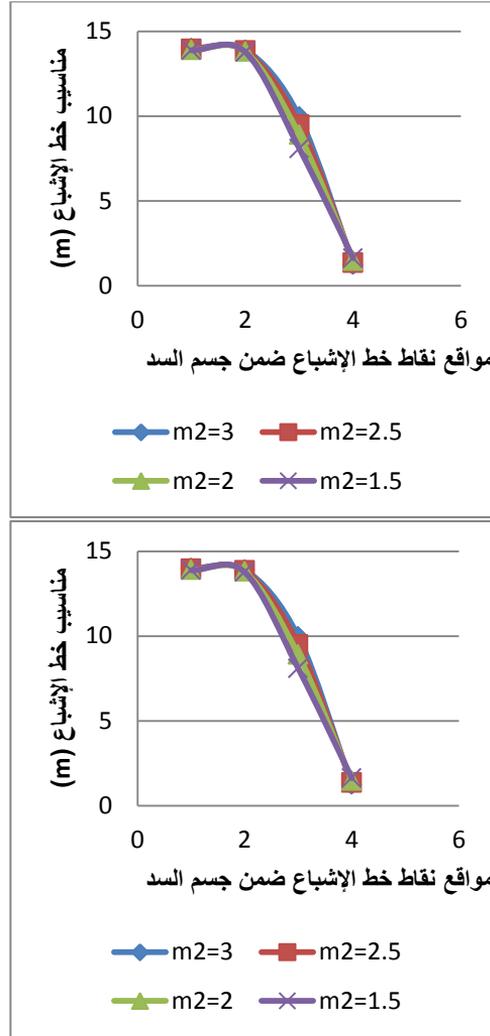
الشكل (5): تأثير ميوول السد على التسرب عبر جسم السد (أ-سد ترابي، ب- سد ركامي) نلاحظ من الشكل (5) أن زيادة ميوول منحدرات جسم السد تؤدي إلى انخفاض قيم تدفق التسرب عبر جسم السد، ويكون هذا التغيير واضحاً في حالة سد ترابي، بينما يكون تأثير تغير الميوول على قيمة التسرب ضئيلاً في حالة سد ركامي بحيث يكاد يكون المنحني مستقيماً، ولذلك فإنه بإمكاننا إهمال تأثير ميوول السد عند دراسة التسرب عبر السدود الركامية . يبين الشكل (6) تأثير تغير الميل الأمامي لجسم السد على مناسيب خط الإشباع



ب- حالة سد ركامي

أ- حالة سد ترابي

الشكل (6): تأثير الميل الأمامي السد على مناسيب خط التسرب (أ-ترابي، ب-ركامي) نلاحظ من الشكل (6) أن تأثير ميول جسم السد على منسوب خط التسرب ضئيل للغاية بحيث تكاد تكون الخطوط منطبقة على بعضها البعض وذلك في كلا الحالتين (سد ترابي ،سد ركامي) ،حيث رغم وجود تأثير للميل الأمامي للسد في حالة السدود الترابية إلا أن هذا التأثير ضئيل للغاية. أما تأثير تغير الميل الخلفي لجسم السد على مناسيب خط الإشباع فهو موضح في **الشكل (7).**



أ- حالة سد ترابي

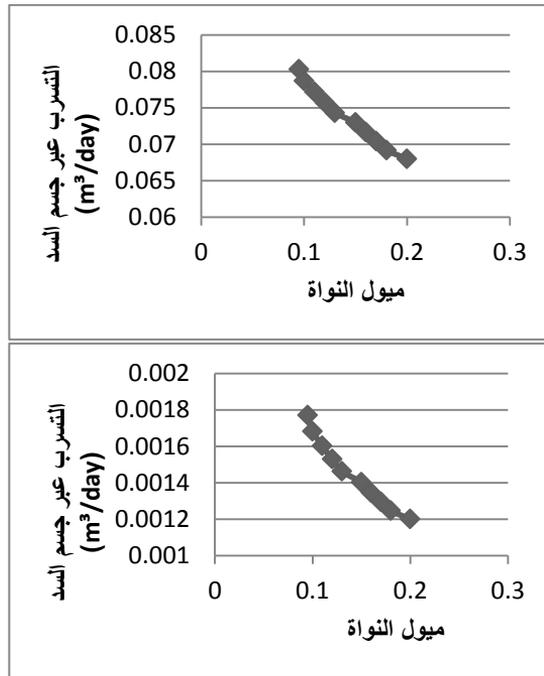
ب- حالة سد ركامي

الشكل (7): تأثير ميل الوجه الخلفي للسد على مناسيب خط التسرب (أ-ترابي ، ب- ركامي)

يوضح الشكل (7) أن زيادة ميل المنحدر الخلفي لجسم السد يؤدي إلى ارتفاع منسوب خط الإشباع عند نقطة الخروج من النواة وأن هذا التأثير يكون قليلاً ، ويكون تأثير تغير ميل الوجه الخلفي في حالة سد ركامي أقل منه في حالة سد ترابي .

رابعاً: تأثير ميول النواة m_3 :

قمنا بتغيير ميول النواة باعتبارها نواة مركزية ،حيث ميل الوجه الأمامي للنواة يساوي ميل الوجه الخلفي ،وتم دراسة عشر حالات تتراوح بين (0.095-0.2) ، باعتبار بقية المتغيرات في علاقة بافلوفسكي ثابت . وتم حساب التسرب بالعلاقات (1)،(5) على الترتيب . يوضح الشكل (8) تأثير الميل الأمامي للنواة على التسرب عبر جسم السد ومناسيب خط الإشباع.

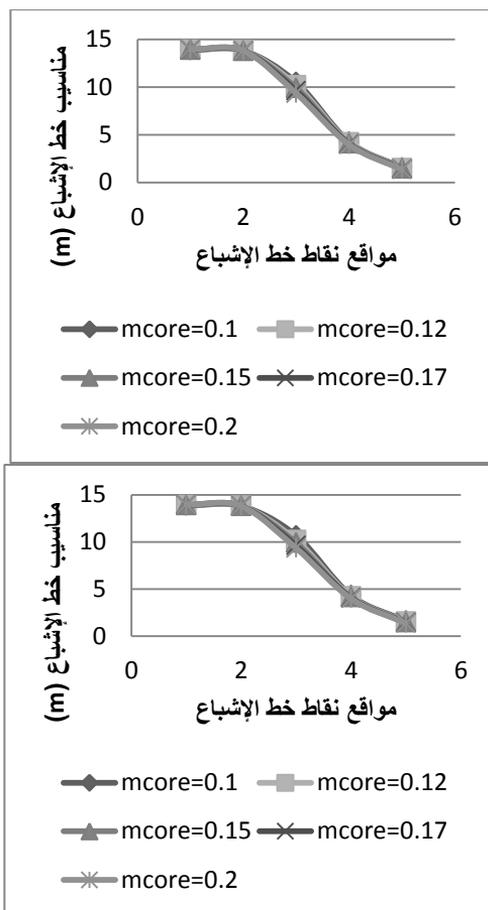


ب- حالة سد ركامي

أ- حالة سد ترابي

الشكل (8): تأثير ميول النواة على قيمة التسرب عبر جسم السد (أ-ركامي ،ب-ترابي)

نلاحظ من الشكل (8) أن زيادة ميول النواة يؤدي إلى انخفاض قيمة تدفق التسرب عبر جسم السد ،كما نلاحظ أن تغير قيمة ميول النواة(المركزية) ذو تأثير هام على قيمة التسرب سواء كان السد ترابي أم ركامي .يوضح الشكل (9) تأثير ميول النواة على مناسيب خط الإشباع .



ب- حالة سد ركامي

أ- حالة سد ترابي

الشكل (9): تأثير ميول النواة على مناسيب خط التسرب (أ-ترابي ،ب-ركامي)

يبين الشكل (9) أن زيادة ميول النواة في كل من حالة سد ترابي أو ركامي تأثيرها ضعيف جداً على مناسيب خط الإشباع، إلا أن هذه الزيادة تؤدي إلى انخفاض منسوب خط الإشباع عند نقطة الخروج من النواة . وتملك ميول النواة تأثيراً أكبر من تأثير ميول السد على مناسيب خط الإشباع في كلا الحالتين .

2-4- تحليل العوامل :

إذا كانت النسبة (نفاذية جسم السد/ نفاذية النواة) أو (kt/kc) صغيرة فإن تأثير كل من ميول النواة وميل جسم السد يكون أوضح . وهذا ما يفسر تأثير ميول السد في حالة السد

ترابي، وانعدام تأثيرها عندما يكون السد ركامياً كون النسبة (kt/kc) تكون كبيرة في السدود الركامية. وبالتالي يمكننا أن نميز بين حالتين :

- أ- الحالة الأولى :حالة سد ترابي عندما تكون نفاذية جسم السد أصغر من 0.1 m/day عندها نلاحظ أن ميول جسم السد يكون لها تأثير على قيمة التسرب .
- ب- الحالة الثانية: حالة سد ركامي في هذه الحالة يمكن إهمال تأثير تغير كل من ميول جسم السد ونفاذية جسم السد وتكون العوامل المؤثرة على قيمة التسرب هي نفاذية النواة وميولها فقط.

3-4- بيانات الشبكة العصبونية :

نستنتج من التحليل السابق للبيانات أن العوامل المؤثرة في حال السد الترابي تختلف عما هي عليه في حالة سد ركامي ، حيث تدخل جميع العوامل في حالة السد الترابي ،بينما العاملان المؤثران في حالة سد ركامي هما نفاذية تربة النواة وميول النواة .وفي دراستنا سيتم بناء شبكة عصبية لحالة سد ترابي وأخرى لحالة سد ركامي .

آ- الحالة الأولى (سد ترابي):

سنقوم عند دراسة هذه الحالة بإدخال العوامل الآتية :نفاذية تربة موشور جسم السد (k_t) مقدرة ب (m/day)، نفاذية تربة النواة (k_c) مقدرة ب (m/day)، ميل المنحدر الأمامي لجسم السد (m_1)، ميل المنحدر الخلفي لجسم السد (m_2)، ميول النواة (m_3) .وسندرس حالة نواة مركزية فقط لحساب تدفق التسرب عبر جسم السد ومناسيب خط الإشباع.

تم دراسة مجموعة مختلفة من الحالات ،ومن أجل الوصول إلى أفضل أداء للشبكة العصبية ،جرى اختيار العوامل بحيث تتراوح ضمن مجال يغطي أغلب الحالات التي يمكن أن نصادفها في تصميم السد ،وقد تراوحت قيم الميل الأمامي والخلفي لمنحدرات جسم السد بين القيمتين (1.5-3.5) ، أما قيم ميول النواة (دراسة حالة النواة المركزية فقط) وقمنا باختيار قيم ميول النواة وفق معايير التصميم [12]، و تحصر سماكة النواة المركزية من الأسفل بالقيمة $(0.3-0.5)H_D$ ،حيث H_D : ارتفاع جسم السد .

وبالتالي كانت سماكة النواة المركزية بين (7.5-12.25 m). وتم اختيار مجموعة من القيم بحيث تتراوح السماكة السفلية ضمن هذا المجال، بينما كانت سماكة النواة من الأعلى (2m). وعليه حددت قيم الميول الموافقة والتي تتراوح بين (0.1-2). وتم اختيار نفاذية تربة موشور جسم السد والنواة اعتماداً على الجدول (1).

الجدول (1): قيم معامل النفاذية تبعاً لنوع التربة مقدرة (cm/sec)

نوع التربة	النفاذية (cm/s)	نوع التربة	النفاذية (cm/s)
غضار عادي	$10^{-9} - 10^{-7}$	رمل ناعم	$10^{-5} - 10^{-2}$
غضار رملي	$10^{-9} - 10^{-7}$	رمل خشن	$10^{-2} - 10^{-1}$
سيلت رملي	$10^{-7} - 10^{-4}$	تربة حصوية	$10^{-1} - 1$
		فتات صخري	1-10

اختيرت قيم النفاذية وفقاً لمعطيات الجدول (1)، و تم فرض القيم ميول جسم السد (-1.5- 3.5-2.5)، و ميول النواة (0.1-0.15-0.2)، نفاذية تربة موشور جسم السد (-0.8- 0.008-0.002-0.005-0.008-0.02-0.05-0.08-0.2-0.5) m/day، نفاذية تربة النواة (0.08-0.008-0.0008) لبناء الشبكة العصبونية لسد ترابي.

ولكن من غير المنطقي أن تكون قيم نفاذية تربة موشور جسم السد أكبر من نفاذية تربة النواة لذلك قمنا بحذف الحالات التي تكون فيها نفاذية تربة النواة أصغر من نفاذية تربة موشور جسم السد، وكان عدد الحالات الكلية: 567 حالة.

تم بناء الشبكة العصبية، وتغيير عدد العصبونات في كل مرة بالإضافة إلى عدد الطبقات الخفية وبالتدريب تم الوصول إلى أفضل نتائج. في النهاية تم بناء شبكة عصبية لحساب قيمة تدفق التسرب وأخرى لحساب قيمة المناسيب خط الإشباع

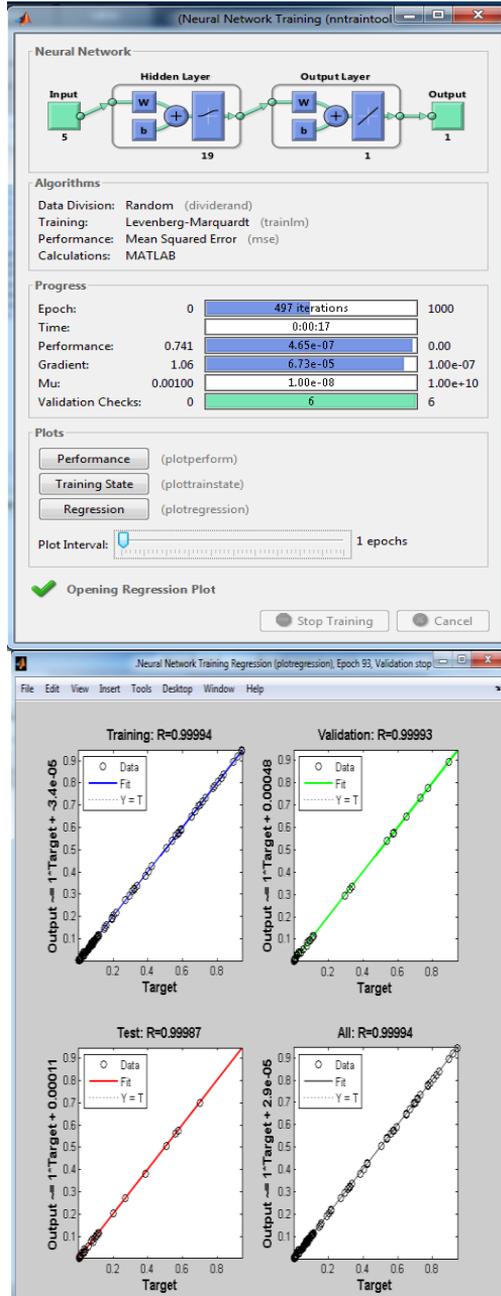
1- بنية الشبكة العصبية لدراسة (التسرب فقط):

عناصر طبقة الدخل في هذه الشبكة هي: الميل الأمامي والخلفي لمنحدرات جسم السد، ميول النواة، نفاذية تربة النواة، نفاذية تربة موشور جسم السد. عناصر طبقة الخرج: قيمة التسرب. بنية الشبكة: تتألف الشبكة من 19 عصبوناً، تابع التدريب trainlm، تابع التفعيل logsig.

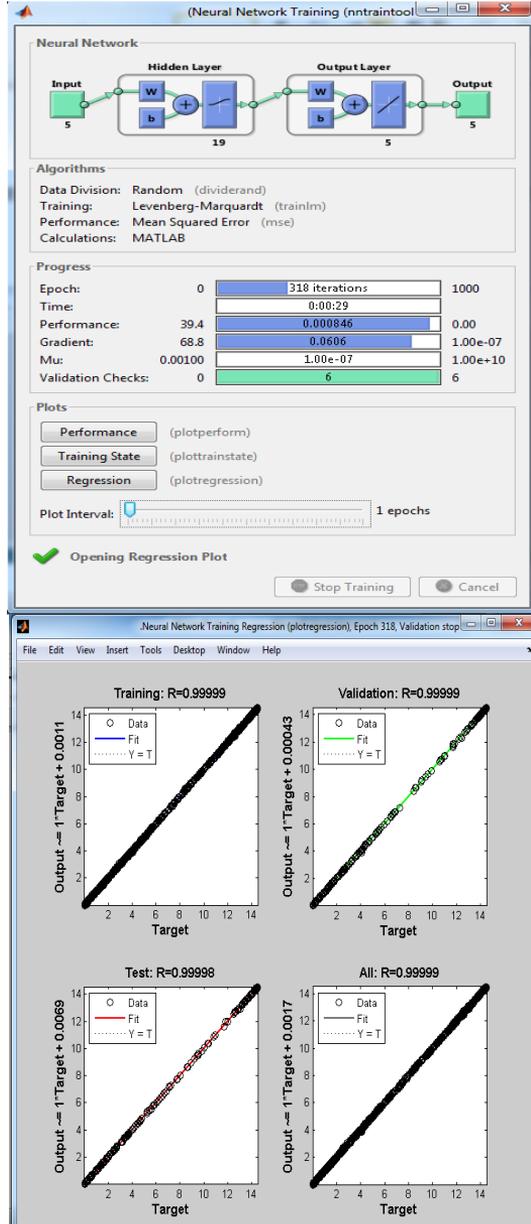
```
net=newff(p,t,19,{'logsig'},'trainlm');
net.trainparam.epochs=1000;
net.trainparam.goal=0;
net.trainparam.lr=0.01;
net.divideparam.trainratio=0.8;
net.divideparam.testratio=0.1;
net.divideparam.valratio=0.1;
net=train(net,p,t);
```

تم تدريب الشبكة وكانت نتائج التدريب جيدة وقيمة الخطأ في عملية التحقق () 0.99993، وفي عملية الاختبار (0.99997)، وكانت قيمة متوسط الخطأ التربيعي (4.65e-7)، ويوضح الشكل (10) عملية التدريب ضمن برنامج MATLAB 6.

تم أيضاً بناء نفس بنية الشبكة، وكانت عناصر طبقة الدخل ذاتها (الميل الأمامي والخلفي لمنحدرات جسم السد، ميول النواة، نفاذية تربة النواة، نفاذية تربة موشور جسم السد). بينما عصبونات طبقة الخرج فهي مناسبة لخط التسرب (الإشباع). تم تدريب الشبكة وكانت نتائج التدريب جيدة حيث كان الخطأ في عملية التحقق (0.99999) وفي عملية الاختبار (0.99998)، وكانت قيمة متوسط الخطأ التربيعي (0.000146)، ويوضح الشكل (11) عملية التدريب.



الشكل (10): تدريب الشبكة العصبونية لحساب التسرب عبر سد ترابي

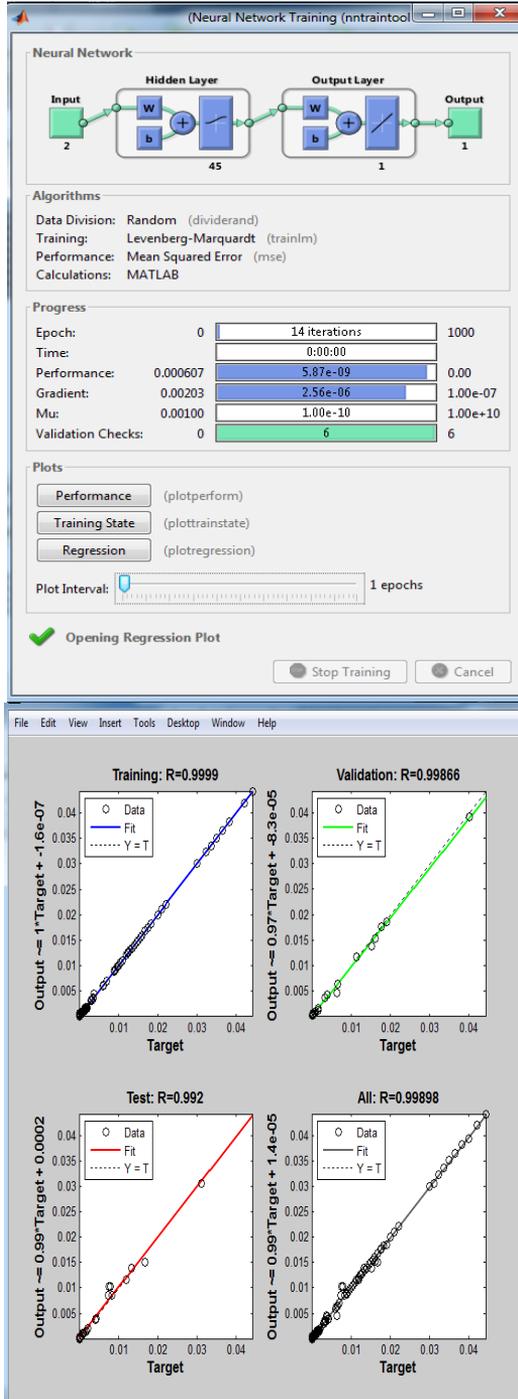


الشكل (11): تدريب الشبكة العصبونية لحساب مناسيب خط التسرب عبر سد ترابي

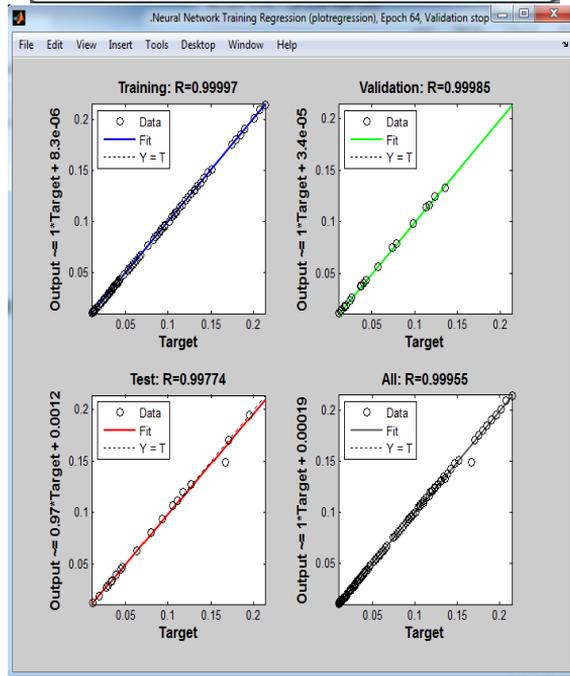
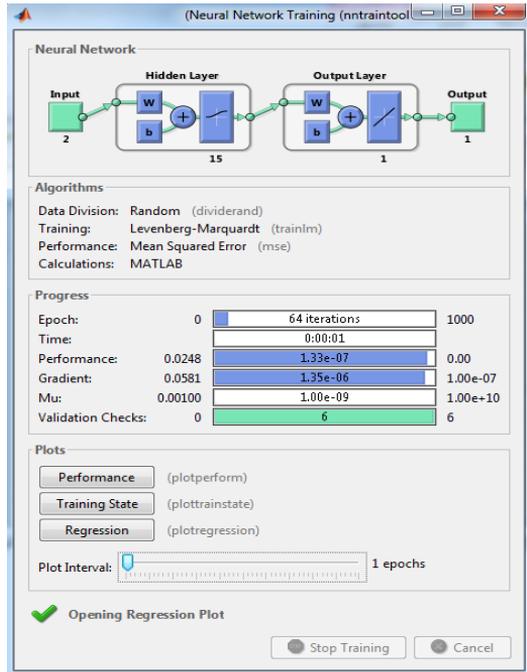
ب- الحالة الثانية (حالة سد ركامي) :

كما ذكرنا سابقاً فإن العوامل المؤثرة في قيم التسرب في حالة السد الركامي هي نفاذية تربة النواة وميول النواة ، لذلك فعند القيام ببناء شبكة لحساب قيمة التسرب عبر جسم السد سندخل هذه العوامل فقط وستكون الشبكة كما يلي :

عصبونات طبقة الدخل : نفاذية تربة النواة وميول النواة ، أما عصبونات طبقة الخرج كما في الحالة السابقة فالشبكة الأولى ستكون لحساب التسرب والثانية لحساب مناسب خط التسرب ، وفي هذه الحالة نلاحظ أن خط التسرب أمام النواة يكون أفقي وكذلك في الجزء خلف النواة يكون أفقياً أيضاً وبالتالي فإن القيم الرئيسية لمنسوب خط التسرب هي نقطة الدخول والخروج من النواة .بالنظر إلى قيم منسوب خط الإشباع عند نقطة الدخول للنواة نلاحظ أن هذه القيمة تتغير بشكل ضئيل جداً وهي تساوي تقريباً منسوب الماء أمام السد ، لذلك ففي هذه الحالة تكون عصبونات طبقة الخرج هي قيمة منسوب خط التسرب عند نقطة الخروج من النواة فقط . وكان تدريب الشبكة لحساب التسرب كما يبين الشكل (12)، أما تدريب الشبكة من أجل قيمة h_c موضح في الشكل (13).



الشكل (12): تدريب الشبكة العصبونية لحساب قيم التسرب عبر سد ركامي

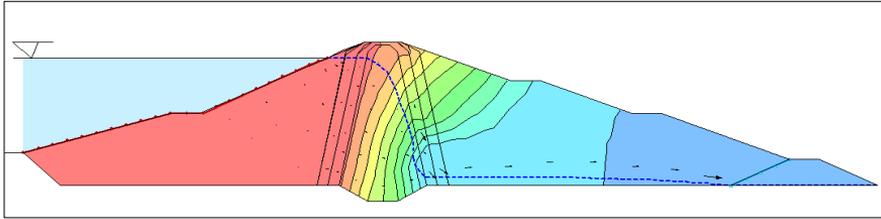


الشكل (13): تدريب الشبكة العصبونية لحساب منسوب خط الإشباع عند نقطة الخروج

من النواة

4-4- دراسة التسرب باستخدام برنامج Geo-studio2012:

تم دراسة التسرب باستخدام برنامج seep/w إحدى الحزم البرمجية في برنامج Geo-studio2012، حيث فرضت أبعاد شبكة ال mesh هي 2، بينما تم تكثيف الشبكة في النواة و كانت أبعاد الشبكة ضمن النواة 1، وهي عبارة عن شبكة من المستطيلات والمثلثات. تم حساب التسرب عبر جسم السد لكل حالة من الحالات في حالة سد ركامي، وجرى مقارنة مجموعة من القيم في حالة سد ترابي .



الشكل (14): منحنى خط التسرب عبر جسم سدة مريمين محسوب من برنامج seep/w

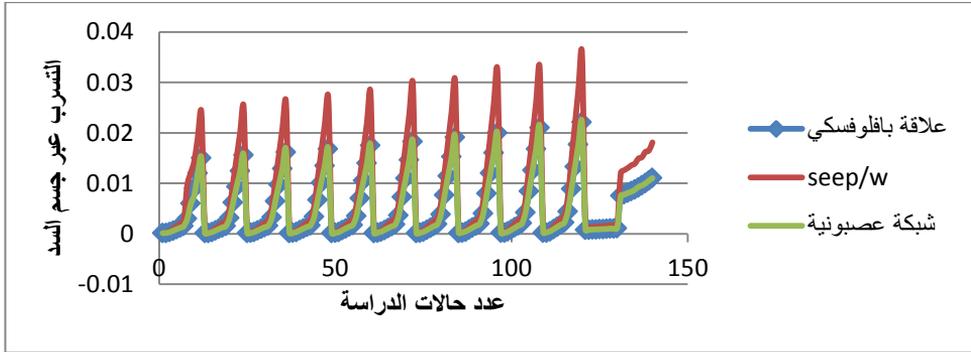
4-5- مقارنة النتائج بين الطريقتين :

بعد أن تم القيام بدراسة التسرب باستخدام برنامج seep/w أحد الحزم البرمجية من برنامج Geo-studio 2012، وحساب التسرب ومناسيب خط الإشباع (التسرب) باستخدام الشبكات العصبونية، سنقوم بإجراء مقارنة بين البرنامجين ، وذلك من خلال مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من كلا البرنامجين مع القيم المحسوبة من علاقات (بافلوفسكي ،ديبويه) الأولى لحساب قيمة تدفق التسرب عبر جسم السد والثانية لمناسيب خط الإشباع .

آ- حالة سد ركامي :

(1) مقارنة قيم التسرب بين الطريقتين:

تم إجراء المقارنة من خلال رسم منحنى بياني يوضح الفرق بين نتائج كل من الطرق (علاقة بافلوفسكي، برنامج seep/w، الشبكة العصبية) ويوضح الشكل (15) قيم التدفق لكل حالة وفق بالطرق الثلاث المستخدمة .



الشكل (15): مقارنة قيم التسرب عبر جسم سد ركامي المحسوبة من علاقة بافلوفسكي والشبكات العصبونية وبرنامج seep/w مع تغير قيم العوامل

يوضح الشكل (15) أن نتائج الحساب قريبة من نتائج حساب قيمة التسرب عبر جسم سد ترابي مع نواة مركزية وموشور صرف لسد يستند على أساس كتيم، إلا أن طريقة الشبكات العصبونية أكثر دقة من برنامج seep/w حيث نلاحظ تطابق بين نتائج طريقة الشبكات العصبونية وقيم التسرب المحسوبة من علاقة بافلوفسكي. ويوضح الجدول (2) القيم الصغرى والأعظمية والمتوسطة للخطأ في كل طريقة .

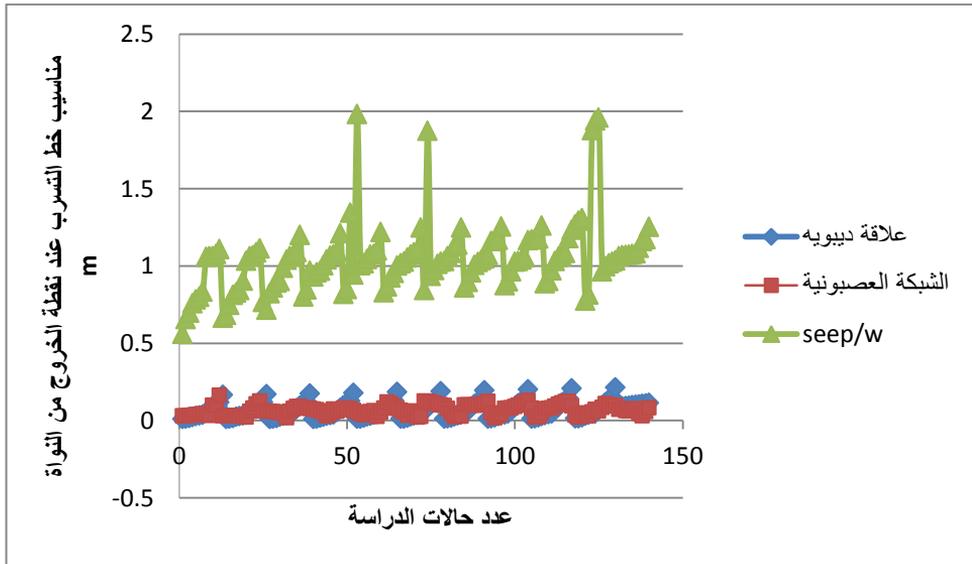
الجدول (2): الخطأ في كل من طريقة الشبكة العصبونية وبرنامج seep/w لحساب قيمة تدفق التسرب عبر جسم السد

	قيمة تدفق التسرب (m ³ /day) محسوبة من			خطأ الشبكة	أ مج
	علاقة بافلوفسكي	الشبكة العصبونية	برنامج seep/w		
الخطأ المطلق الأعظمي للشبكة	0.00901	0.00764	0.01446	0.00136	0.0
الخطأ المطلق الأصغري للشبكة	0.015017	0.01501	0.02400	1E-06	0.0

المتوسط الحسابي للخطأ المطلق للشبكة	0.009344	0.00938	0.01509	4E-05	0.0
الخطأ المطلق الأعظمي لبرنامج seep/w	0.022129	0.02208	0.03578	4.9E-05	0.0
الخطأ المطلق الأصغري لبرنامج seep/w	0.00012	0.00012	0.00020	8E-06	0.0
المتوسط الحسابي للخطأ المطلق لبرنامج seep/w	0.006229	0.00620	0.01010	2E-05	0.0

(2) مقارنة قيم خط الإشباع (التسرب) عند نقطة الخروج من النواة :

تم إجراء المقارنة من خلال رسم منحنى بياني يوضح الفرق بين نتائج كل من الطرق (علاقة ديبويه، برنامج seep/w، الشبكة العصبية) ويوضح الشكل (16) قيم التدفق لكل حالة وذلك بالطرق الثلاث المذكورة.



الشكل (16): مقارنة قيمة ارتفاع خط الإشباع عند نقطة الخروج من النواة (سد ركامي) مع تغير قيم العوامل

نلاحظ من الشكل (16) أن النتائج المحسوبة باستخدام الشبكات العصبونية كانت قريبة جداً وتكاد تكون متطابقة مع نتائج علاقة ديبويه، إلا أنه هناك فرق بين القيم الناتجة عن العلاقة والقيم المحسوبة من برنامج seep/w. ويوضح الجدول (3) القيم الصغرى والأعظمية والمتوسطة للخطأ في كل طريقة.

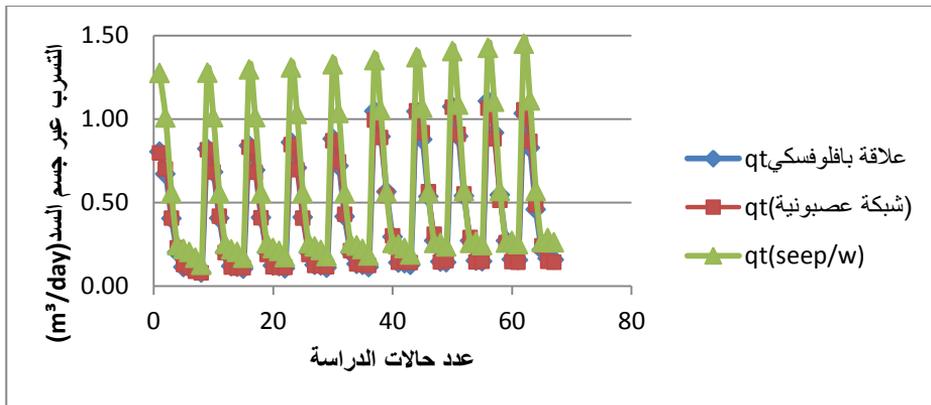
الجدول (3): الخطأ في كل من برنامج seep/w وطريقة الشبكات العصبية لحساب قيمة منسوب نقطة الخروج من النواة

	قيمة منسوب نقطة الخروج من النواة (m) محسوبة من			خطأ الشبكة	خطأ البرنامج
	علاقة ديبويه	الشبكة العصبونية	برنامج seep/w		
الخطأ المطلق الأعظمي للشبكة	0.166669	0.031078	0.66563	0.13559	0.49896
الخطأ المطلق الأصغري للشبكة	0.090051	0.090665	1.02748	0.00061	0.93742
المتوسط الحسابي للخطأ المطلق للشبكة	0.114307	0.083674	1.25265	0.03063	1.13834
الخطأ المطلق الأعظمي لبرنامج seep/w	0.01169	0.056303	1.9839	0.04461	1.97221
الخطأ المطلق الأصغري لبرنامج seep/w	0.166669	0.031078	0.66563	0.13559	0.49896
المتوسط الحسابي للخطأ المطلق لبرنامج seep/w	0.089564	0.072129	1.06285	0.01743	0.97328

ثانياً: مقارنة نتائج حالة سد ترابي :

1) مقارنة قيمة تدفق التسرب:

تم دراسة 66 حالة فقط من الحالات المدروسة باستخدام برنامج seep/w وجرى مقارنة نتائج الطرق الثلاث وكانت نتائج قيم تدفق التسرب كما يبين الشكل (17).



الشكل (17): مقارنة قيم التسرب عبر جسم سد ترابي المحسوبة من علاقة بافلوفسكي والشبكات العصبونية وبرنامج seep/w مع تغير قيم العوامل

نلاحظ من الشكل (17) أن النتائج المحسوبة باستخدام الطريقتين قريبة جداً وتكاد تكون متطابقة مع نتائج علاقة بافلوفسكي . ويوضح الجدول (4) القيم الصغرى والأعظمية والمتوسطة للخطأ في كل طريقة.

الجدول (4): أخطاء كل من برنامج seep/w و الشبكات العصبية لحساب قيم تدفق التسرب (حالة سد ركامي)

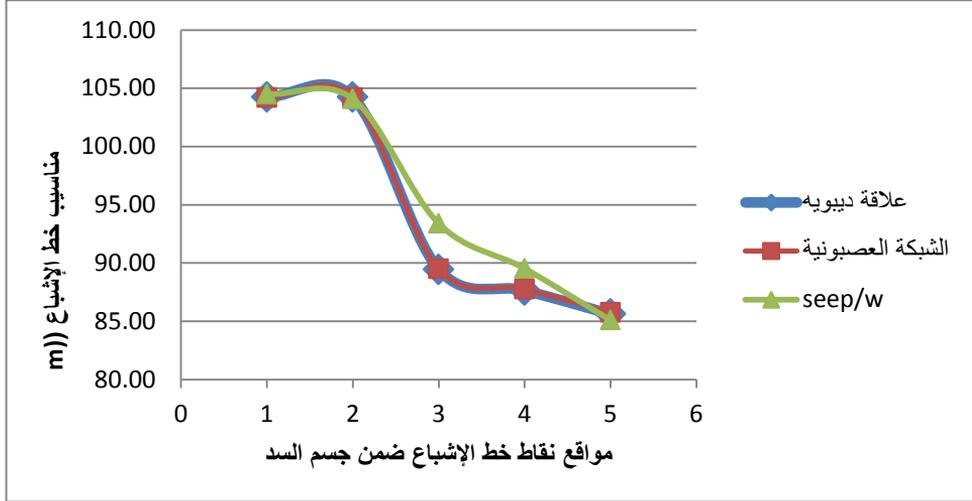
	قيمة تدفق التسرب (m ³ /day) محسوبة من			خطأ الشبكات	خطأ البرنامج
	علاقة بافلوف سكي	الشبكات العصبية نية	برنامج seep /w		
الخطأ المطلق الأعظمي للشبكة	1.04 73	0.99 29	1.35 16	0.05 45	0.304 3
الخطأ المطلق الأصغري للشبكة	0.68 27	0.68 30	1.00 97	0.00 02	0.327 0
المتوسط الحسابي للخطأ المطلق للشبكة	0.20 24	0.18 91	0.25 55	0.01 33	0.053 1
الخطأ المطلق الأعظمي لبرنامج seep/w	0.80 44	0.79 68	1.27 49	0.00 76	0.470 5
الخطأ المطلق الأصغري لبرنامج seep/w	0.56 56	0.54 21	0.56 01	0.02 35	0.005 4
المتوسط الحسابي للخطأ المطلق لبرنامج seep/w	0.40 39	0.40 67	0.55 55	0.00 28	0.151 6

نستنتج من الجدول (4) نجد أن طريقة الشبكات العصبونية أكثر دقة في دراسة التسرب من استخدام برنامج seep/w.

2) مقارنة مناسب خط الإشباع :

تم مقارنة نتائج الطريقتين في أربع نقاط (بداية خط التسرب ،نقطة الدخول للنواة والخروج منها ،نقطة خروج خط الإشباع) وكانت النتائج الأتية
- نلاحظ من الشكل أن النتائج المحسوبة باستخدام الشبكات العصبونية كانت قريبة جداً وتكاد تكون متطابقة مع نتائج علاقة ديبويه ،وتكون قيم برنامج seep/w قريبة من نتائج علاقة ديبويه ،إلا أن نتائج الشبكة العصبية كانت أدق من نتائج برنامج seep/w .

و لتوضيح الاختلاف في خط التسرب بين الطريقتين قمنا برسم منحنى يوضح مقارنة خط التسرب لحالة سد ترابي وقد تم اختيار حالة عشوائية (الحالة رقم 40) حيث (نفاذية جسم السد=نفاذية النواة =0.08 m/day، ميل النواة=0.13) كما يبين الشكل (18).



الشكل (18): مقارنة منسوب خط الإشباع عند نقطة الدخول للنواة المحسوبة من علاقة

ديبيويه والشبكات العصبونية وبرنامج seep/w (سد ترابي-حالة رقم 40)

نلاحظ من الشكل (18) أن هناك تطابقاً بين طريقة الشبكات العصبونية وبين القيم المحسوبة من علاقة ديبيويه ، بينما هناك اختلاف في المناسيب المحسوبة من برنامج seep/w والقيم المحسوبة من العلاقة .أما في حالة السد الركامي (حالة سدة مريمين) ،كما يبين الشكل (19)، فإننا نلاحظ أن هناك تطابقاً بين النتائج في الطرق الثلاث المستخدمة.



الشكل (19): مقارنة منسوب خط الإشباع المحسوبة من علاقة ديبويه والشبكات العصبونية وبرنامج seep/w (سد ركامي - سدة مريمين)

5- الاستنتاجات والتوصيات :

5-1- الاستنتاجات :

1. تتبع زيادة التسرب عبر جسم السد الترابي عوامل عدة (زيادة نفاذية تربة جسم السد، زيادة نفاذية تربة النواة ، انخفاض قيم الميل الأمامي والخلفي لمنحدرات جسم السد، انخفاض ميول النواة) .
2. يخضع ارتفاع منسوب خط الإشباع لعدة عوامل (انخفاض نفاذية تربة جسم السد، انخفاض تربة نفاذية النواة ، زيادة الميل الأمامي لجسم السد ،زيادة الميل الخلفي لجسم السد، نقصان ميول النواة) .
3. تؤثر ميول منحدرات جسم السد و نفاذية تربته على التسرب عبر جسم السد تبعاً للنسبة Kt/Kc ، وكلما زادت هذه النسبة انخفض تأثير هذه العوامل على قيم التسرب.
4. يهمل تأثير كل من (نفاذية تربة موشور جسم السد ، الميل الأمامي والخلفي لمنحدرات جسم السد) على قيمة تدفق التسرب عبر جسم السد وعلى مناسيب خط الإشباع، في حال السدود الركامية.
5. يُعد نموذج الشبكة العصبية الاصطناعية نموذجاً بسيطاً ودقيقاً في دراسة التسرب عبر جسم، و مناسيب خط الإشباع في السدود الترابية والركامية.
6. لا تعطي الشبكة العصبية الاصطناعية أي علاقة صريحة بين متغيرات الدخل والخرج، نظراً لكونها إحدى نماذج الصندوق الأسود.

7. تعد طريقة الشبكات العصبية الاصطناعية لحساب التسرب و مناسب خط الإشباع في السدود الترابية والركامية أكثر دقة من برنامج seep/w في حال كانت ترب جسم السد متماثلة الخواص، إلا أنها تفقد القدرة على الاستقراء في الحالات التي لم يتم تدريبها عليها، وفي هذه الحالة يبقى أداء برنامج seep/w أفضل.

2-5- التوصيات:

1. ينصح باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية في دراسة استقرار وتوازن السدود .
2. ينصح باستخدام أدوات الذكاء الاصطناعي الأخرى مثل الخوارزمية الجينية ،وقد يكون المنطق الضبابي مفيد أيضاً.

المراجع :

- 1) ABAAS.M,2017– Forecasting Of Monthly Evaporation In Hama Using Artificial Neural Network. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies –Engineering Sciences Series, Vol. (39) No. (3),93–107.
- 2) ALABAAN.S,2018–Seepage and Stability Analysis of the Earth Dams under Drawdown Conditions by using the Finite Element Method Drawdown Conditions by using the Finite Element Method .PHD Thesis, University of Central Florida, Florida.
- 3) ALJANABI.A,GHAZALI.A,GHAZAW.Y,AFAN.H,ALANSARI.N,YASSEN.Z, Experimental and Numerical Analysis for Earth–Fill Dam Seepage. . Multidisciplinary digital publishing institute.
- 4) ALMOHSEEN.K,TOWFEEQ.A, Artificial Neural Network for Single Reservoir Operation. Al–Rafidain Engineering, Vol.22 ,No. 2,P.29–37.(28–30)
- 5) AMMAR.GH,HAIDAR.B, 2013– Estimation of Monthly Reference Evapotranspiration in Safita Area by using Artificial Neural Network. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies –Engineering Sciences Series, Vol. (35) No. (4),P.28–43.
- 6) ERSAYIN.D, 2006 – STUDYING SEEPAGE IN A BODY OF EARTH–FILL DAM BY (ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS) ANNs. Master thesis, Izmir Institute of Technology,Turky.
- 7) FAKHARI.A,GHANBARI.A, 2013– A SIMPLE METHOD FOR CALCULATING

- THE SEEPAGE FROM EARTH DAMS WITH CLAY CORE. Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 8, No. 1, p. 27–32.
- 8) HADID .SH,IBRAHIM.B, 2007– Haydraulic Structures –2– DAMS. Al baath university ,Syria.
- 9) IRZOOKI.R, 2016 – Computation of Seepage through Homogenous Earth Dam with Horizontal Toe Drain. Eng. &Tech.Journal, Vol.34, No.3.P 430–440
- 10)JAMEL.A, 2018 – Investigation and Estimation of Seepage Discharge Through Homogenous Earth Dam with Core by Using SEEP/W Model and Artificial Neural Network. Diyala Journal of Engineering Sciences, Vol. 11, No. 3, p. 54–60
- 11)JOHNSON.HP,1950–Seepage through loessal earth dams. Master Thesis, Iowa State University, USA.
- 12)MARTIN.J,GALINDO.R,AREVALO.C,PIDAL.I,KAZANSKAYA.L,SMIRNOV.V, 2020–Optimized Design of Earth Dams: Analysis of Zoning and Heterogeneous Material in Its Core. Multidisciplinary digital publishing institute.
- 13)REZK.M,SENOON.A, 2011– Analytical solution of seepage through earth dam with an internal core .Alexandria Engineering Journal,50,P.111–115.
- 14)SALEM. M, ELDEEB.H, NOFAL. S,2019– Analysis of Seepage through Earth Dam with Internal Core. International Journal of Engineering Research & Technology .Vol 8 (8).
- 15)SORBAGHI.L,BEHESHTI.A,KARBALA.M,KAMANBEDAST.A, 2014 – Evaluation of Seepage and Seepage Analysis of Rock–Fill Dam Subjected to Water Level with Seepage Flac in Gotvand–Olya Dam. Iranica Journal of Energy & Environment, 5 (3) 387–392.