

تأثير ميل سطح المياه الجوفية على حركتها باتجاه المصارف المغطاة المتوضعة في الأراضي المائية المعرضة لضغط بيزومتري مرتفع

الملخص

يهدف البحث إلى دراسة تأثير ميل سطح المياه الجوفية على حركتها باتجاه المصارف المغطاة المنفذة في الأراضي ذات الميول الخفيفة والمعرضة لضغط بيزومتري مرتفع (يؤدي إلى تسرب الماء من الطبقات السفلية إلى الطبقات العلوية) بتباعدات مختلفة وذلك من خلال إيجاد نموذج رياضي يعتمد على نظرية التحويل المتطابق (تحويل شوارتز_كريستوفل) والنظرية الانعكاسية. تم في هذه الدراسة استنتاج المعادلات الرياضية العامة لتابع الجهد المركب (W) ، ودالة جهد السرعة (ϕ) ، ودالة الجريان (ψ) ، وتم دراسة تأثير ميل سطح المياه الجوفية في خواص الصرف المتمثلة في التدفق الكلي للمصارف المغطاة (Q_t) ، وتدفق المصرف الرئيسي المكشوف (Q_0) ، والتدفق الأعظمي للمصارف المغطاة (Q_{max}) ، و التدفق الأصغري للمصارف المغطاة (Q_{min}) ، والضغوط الأعظمي بين مصرفين مغطيين (h_{max}) ، وتحليلها ووضعها على شكل منحنيات لا بعدية.

وتم التوصل نتيجة البحث إلى أن الضغوط الأعظمي بين مصرفين مغطيين يتغير بنسبة 209.17% عند تغير الميل من 0.002 إلى 0.008.

الكلمات المفتاحية

مصارف مغطاة - ضاغط بيزومتري - المياه الجوفية - تحويل شوارتز_كريستوفل -
الجهد المركب - جهد السرعة

The Effect of the Groundwater Surface Slope on its Movement Towards Covered Drains Located in Sloping Lands Subjected to High Piezometric Pressure

Abstract

The research aims to study the effect of the groundwater surface slope on its movement towards covered drains implemented in lands with slight slopes and subjected to high piezometric head (The high piezometric head can lead to water seepage from the lower layers to the upper layers) at different spacings by finding a mathematical model based on the identical transformation theory (Schwartz–Christoffel transformation) and the reflection theory .

In this study, the general mathematical equations for the complex voltage function (w), the velocity voltage function (ϕ), and the flow function (ψ) were derived.

The effect of the groundwater surface slope on drainage properties represented by the total flow of covered drains (Q_t), flow of open main drain (q_0), maximum flow of covered drains (Q_{max}), minimum

flow of covered drains(Q_{min}), and the maximum head between two covered drains(h_{max}) was studied for different cases of spacing between covered drains, and these properties were analyzed and formulated in the form of non-dimensional curves.

The research results showed that the maximum pressure between two covered drains changes by 209.17% when the slope changes from 0.002 to 0.008.

key words

Covered drains – Piezometric head – Groundwater – Schwarz_Christoffel transformation – Complex potential – Velocity potential

١ - مقدمة

إن الزيادة المستمرة في عدد سكان العالم تزيد من حاجة الإنسان للمحاصيل الزراعية لذلك فإن الاهتمام بالزراعة أمر ضروري، ولن يكون الاهتمام بهذا الموضوع ممكناً إذا لم يكن هناك طريقة صرف جيدة للترب.

يعد تصريف الترب عامل أساسي لصحة النبات ونموه وذلك لأنه يؤثر على كمية الماء والهواء المتوفرة لجذور النباتات.

يسمح التصريف الجيد للتربة بتصريف المياه الزائدة بعيداً عن جذور النباتات، مما يساعد على منع حالات التشبع بالمياه التي يمكن أن تؤدي إلى تعفن الجذور والأمراض الفطرية الأخرى. كما أنه يسمح للهواء بالدوران حول جذور النباتات، وهو أمر ضروري لتنفس الجذور وامتصاص العناصر الغذائية.

عندما يكون هناك تربة ذات ناقلية هيدروليكية ضعيفة متوضعة فوق طبقة مياه جوفية أو طبقة عالية النفوذية فإن احتمالية حدوث ضغط ارتوازي تزداد وذلك بسبب حدوث تدفق تسرب تصاعدي في التربة، في بعض الحالات قد يكون التدفق التصاعدي كبيراً بما يكفي للتسبب في حدوث تشبع مائي للتربة، أو حدوث ما يسمى بالبرك السطحية، أو حدوث تملح للتربة، في مثل هذه الظروف فإن استخدام نظام الصرف المغطى هو الأنسب، وذلك لأنه يؤمن أقصى فائدة وبأقل تكلفة إجمالية، بالإضافة إلى أنه يوفر مساحة كبيرة من الأرض التي يمكن أن تستهلك في النظام التقليدي للمصارف المكشوفة.

ومن أجل دراسة نظام الصرف المغطى وحالات استخدامه كان لا بد من الاطلاع على أهم الأبحاث التي عنت بدراسته حيث قدم الباحث Hammad, H. Y. عام 1957 النظرية الهيدروديناميكية لحركة المياه باتجاه المصارف في الأراضي الأفقية، حيث تم إيضاح الشروط الطرفية وخطوط الجريان والسطح الحر للمياه، وأوجد باستخدام نظرية الدوال المركبة

معادلة لحساب التدفق في واحدة الطول لحالة المصارف الممتلئة تماماً، كما أعطى معادلات لإيجاد السطح الحر للمياه والضاغط الأعظمي، وذلك وفقاً للحالات الثلاث الآتية:

- المصارف مغمورة تماماً.
- المصارف ممتلئة تماماً.
- المصارف ممتلئة جزئياً. [4]

وضح Harr. M. E عام 1962 أن جهد السرعة في نقطة معينة من منطقة جريان المياه الجوفية يتعلق بنفاذية التربة k ، والضغط المطبق عند تلك النقطة p ، وكثافة الماء ρ ، وتسارع الجاذبية الأرضية g ، وموقع النقطة بالنسبة لمستوي مرجعي y . أعطى معادلة جهد السرعة بالشكل التالي:

$$\phi = k \left(\frac{p}{\rho g} + y \right) \quad (1)$$

وكذلك أعطى معادلة الجهد المركب بالشكل التالي

$$W = \phi + i\psi \quad (2)$$

حيث ϕ هي دالة جهد السرعة واعتبرها الجزء الحقيقي من معادلة الجهد المركب.

ψ هي دالة الجريان وهي الجزء التخيلي من معادلة الجهد المركب. [5]

وقدم الباحثون Mohammad Najamii, Don Kirkham, and Merwin Dougal

عام 1978 حلاً لمسألة الصرف للتربة المتطبقة التي يتسرب الماء إليها من الأعلى ومن الأسفل عن طريق استخدام مصارف أنبوبية توضع في الطبقة العليا من التربة.

توصلوا بالاعتماد على معادلة لابلاس وقانون دارسي وعلى تحويل فورييه إلى معادلة تدفق المصرف الأنبوبي و معادلة التباعد بين المصارف بالإضافة إلى رسم شبكة الجريان.

تأثير ميل سطح المياه الجوفية على حركتها باتجاه المصارف المغطاة المتوضعة في الأراضي المائلة
المعرضة لضغط بيزومتري مرتفع

أعطوا أمثلة عددية أوجدوا من خلالها أنه إذا كانت الطبقة السفلية ذات ناقلية هيدروليكية أصغر من الناقلية الهيدروليكية للطبقة العليا يمكن عندها أن تكون المصارف الأنبوبية على تباعدات أوسع. [6]

من أجل حالة الترب موحدة الخواص والمعرضة لضغط بيزومتري مرتفع قدم الباحث H.M. Hathoot عام 1986 حلا لمسألة صرف الأراضي الزراعية المرتكزة على طبقة نفوذة ذات ضاغط بيزومتري مرتفع باستخدام نظام المصارف النفقية المزدوجة استخدم نظرية التحليل المركب و النظرية التخيلية لإيجاد دالة الجهد المركب w ودالة جهد السرعة ϕ ودالة الجريان ψ و تدفق المصرف النقي Q و التباعد بين المصارف النفقية [7].L

وقدم الباحث Mohamed M. Sobeih عام 1988 دراسة لنظام صرف الأراضي التي تعاني من ضاغط بيزومتري مرتفع وذلك باستخدام المصارف الأنبوبية كمصارف مساعدة للمصارف النفقية الموجودة مسبقا في الأرض، وذلك للتحكم في مستوى المياه الأرضية فوق منسوب المصارف النفقية .

توصل إلى استنتاج معادلات رياضية عامة جديدة لإيجاد دالة الجهد المركب w ودالة جهد السرعة ϕ ودالة الجريان ψ كما استنتج معادلات لحساب تدفق المصارف الأنبوبية المساعدة وتدفق المصارف النفقية الموجودة مسبقا في الأرض. [8]

ومن أجل الحالة غير المستقرة لحركة المياه الجوفية استنتج الباحثون T. Hartani, D. Zimmer, and B. Lesaffre عام 2001 حلولا شبه تحليلية للحالة غير المستقرة لوصف سلوك سطوح المياه الجوفية لأنظمة الصرف المغطى المثبتة في الأراضي المائلة المستندة على طبقة كتيمة.

أوجدوا من خلال الدراسة معدلات تدفق المصرف وارتفاعات سطح المياه الجوفية ومعدلات التغذية.

تم إدخال المعادلات في نموذج الصرف الحقلي SIDRA الذي يحاكي القيم بالساعة لارتفاعات منسوب المياه الجوفية ومعدلات تدفق المصرف.

لإثبات تنبؤات النموذج استخدمت طريقتان:

– تستخدم الطريقة الأولى معادلة الحالة المستقرة المقترحة من قبل Lesaffre (1987)، والمشتقة من معادلة Boussinesq.

– تستخدم الطريقة الثانية النموذج العددي SLOP، الذي يحل معادلة Boussinesq باستخدام طريقة الفروق المنتهية لحساب ارتفاعات سطح المياه الجوفية عند مواضع مختلفة بوصفها تابعاً للتغذية والزمن.

وبالمقارنة بين الطريقتين توصلوا إلى النتائج التالية:

- أشكال سطح المياه الجوفية الناتجة بكلتا الطريقتين متشابهة.
- الارتفاعات الأعظمية لسطح المياه الجوفية متماثلة.
- العلاقة بين الارتفاعات الأعظمية لسطح المياه الجوفية ومعدلات تدفق المصارف متماثلة.
- يمكن استخدام النموذج والمعادلة بدقة مقبولة لتصميم أنظمة الصرف المغطى في الأراضي المائلة. [9]

في حالة الأراضي مختلفة الميول قدمت الباحثة ماريا يوسف عباس عام 2011 دراسة تحليلية لحركة المياه الجوفية باتجاه المصارف المغطاة المنفذة بمسافات غير متساوية في الأراضي مختلفة الميول، وتوصلت بالاعتماد على نظرية التحويل المتطابق بمساعدة تحويل شوارتز كريستوفل والنظرية الانعكاسية إلى دالة الجهد المركب w و دالة جهد السرعة \emptyset

ودالة الجريان ψ . كما أعدت برنامج للحاسب الآلي باستخدام تقنية MATLAB5.3 لحساب
خواص الصرف والمتمثلة في :

1. التصريف المار من كل مصرف q_n
2. تدفق التسرب الداخل إلى المصرف الرئيسي المكشوف q .
3. التدفق الكلي للمصارف الأنبوبية Q_t .
4. الضغوط الأعظمي لسطح المياه الأرضية بين مصرفين أنبوبيين متتاليين H_f . [1]

كما تم دراسة حركة المياه باتجاه المصارف المغطاة في الأراضي الواقعة بين منسوبين
مختلفين للمياه السطحية والتي درسها الباحث غريب الصالح عام 2018، مستخدماً

برنامج SEEP2D ضمن بيئة برنامج Groundwater Modeling System (GMS).

أوجد التدفق الوارد باتجاه كل صف من المصارف بالإضافة إلى دراسة تأثير المتغيرات
على تدفق كل مصرف والسطح الحر للمياه الجوفية.

وتوصل نتيجة الدراسة إلى تعديل معادلة رومانوف Romanov لحساب التدفقات باتجاه
المصارف من أجل حالة المصارف الشاطئية المتوضعة على منسوب واحد، بحيث تصبح
العلاقة الجديدة قابلة للتطبيق في حالة الصرف الشاطئي باستخدام صفيين من المصارف
المغطاة المتوضعة على مناسيب مختلفة. [2]

كما درس الباحثون Germán F. Camussi a, Silvia Imhoff a, Diogenes L. Antille b, Roberto P. Marano
عام 2022 الأداء الهيدروليكي للمصارف النفقية
والتحقق من معادلات تباعد المصارف في حالة الاستقرار للتربة المائيسولية (هذه التربة
تُعرف أيضاً بالتربة السوداء أو تربة البراري، وهي تتميز بخصوبتها العالية وتواجدها في

مناطق البراري الطبيعية) ، تم اختبار ثلاث معالجات تمثل ظروف هيدرولوجية مختلفة؛ وهي (T1) :هطول الأمطار لمدة 360 دقيقة و كثافة 23 ملم/ساعة.

(T2): تجمع المياه السطحية الناتج عن كثافة هطول الأمطار بمعدل 50 ملم/ساعة وعمق المياه بين 50 و 100 ملم.

و (T3): ظروف تجمع المياه السطحية المشابهة للمعالجة T2 ، ولكن تم تحقيقها من خلال كثافة هطول الأمطار بمعدل 65 ملم/ساعة إما بحدث مطري واحد (T3A) أو بحدثين متتاليين (T3B) .

أوجدوا من خلال الدراسة أن نظام الصرف النفقي بتباعدات 4 أمتار مناسباً لإدارة المياه الزائدة في نوع التربة المدروسة، و إذا أمكن حساب مساهمة تشققات التربة في التوصيل الهيدروليكي الحقلي يمكن استخدام معادلة هوكهوت المطبقة على التربة ذات الطبقتين بثقة للمساعدة في تحسين تصميم أنظمة الصرف النفقي للتربة المائيسولية، ويمكن زيادة المسافة بين المصارف النفقية بحوالي % (40 - 30) ، سيساعد هذا في تقليل تكاليف التركيب دون التأثير على الكفاءة الهيدروليكية لنظام الصرف.[10]

٢- هدف البحث

أ- دراسة تأثير ميل سطح المياه الجوفية (s) على خواص الصرف المتمثلة في التدفق الكلي للمصارف المغطاة (Q_t) ، وتدفق المصرف الرئيسي المكشوف (Q_0)، والتدفق الأعظمي للمصارف المغطاة (Q_{max})، والتدفق الأصغري للمصارف المغطاة (Q_{min})، والضاغط الأعظمي بين مصرفين مغطَّيين (h_{max}) من أجل حالات مختلفة للتباعد بين المصارف وذلك من خلال إيجاد نموذج رياضي يدرس حركة المياه الجوفية باتجاه المصارف

المغطاة المنفذة في الأراضي ذات الميول الخفيفة والمعرضة لضغوط
بيزومتري مرتفع بتباعدات مختلفة، بالاعتماد على نظرية التحويل المتطابق
(تحويل شوارتز - كريستوفل) والنظرية الانعكاسية.

٣- أهمية البحث

تتدفق المياه الجوفية باتجاه المناطق المنخفضة وذلك بسبب فروق الضغوط المائية، وهذا
يؤدي إلى زيادة كمية المياه الواجب صرفها في المناطق المنخفضة، وبالتالي ستتناقص قيم
تدفقات المصارف المغطاة من المصرف المغطى المتوضع بجوار المصرف المكشوف
الموجود في المنطقة المنخفضة من منطقة الدراسة باتجاه المصرف المغطى المتوضع أعلى
منطقة الدراسة، وبمعرفة أن تدفقات المصارف ستتناقص باتجاه المنطقة العليا من منطقة
الدراسة سيؤدي إلى ذلك إمكانية تقليل أقطار المصارف المستخدمة في المنطقة العليا
وبالتالي تقليل التكلفة الاقتصادية.

و يبين الشكل (1) المقطع الهندسي للمسألة المدروسة.

تأثير ميل سطح المياه الجوفية على حركتها باتجاه المصارف المغطاة المتوضعة في الأراضي المائلة
المعرضة لضغوط بيزومترية مرتفع

على استقامة واحدة من $\xi = -\infty$ إلى $\xi = +\infty$ وتتوضع على المحور الحقيقي للمستوي ξ .

يتم التعبير عن تحويل شوارتز_كريستوفل بالمعادلة الآتية [9] :

$$\frac{dz}{d\xi} = m_1 (\xi - a_1)^{\frac{A_1}{\pi}-1} \times (\xi - b_1)^{\frac{B_1}{\pi}-1} \times (\xi - c_1)^{\frac{C_1}{\pi}-1} \times (\xi - d_1)^{\frac{D_1}{\pi}-1} \times (\xi - e_1)^{\frac{E_1}{\pi}-1} \quad (3)$$

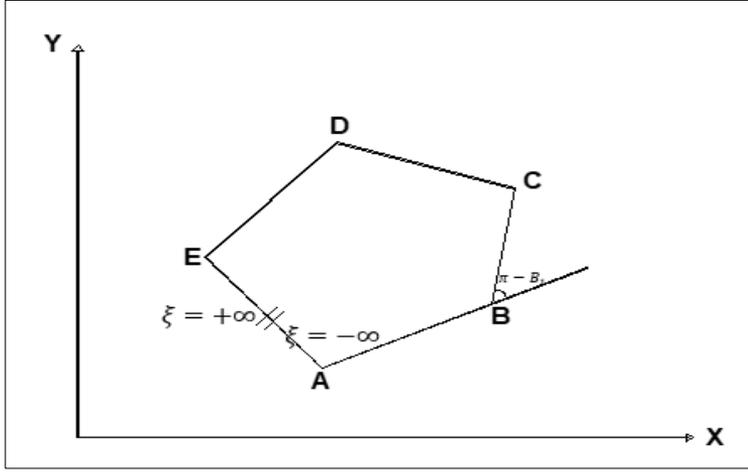
إذ إن:

m_1 : ثابت مركب (عقدي).

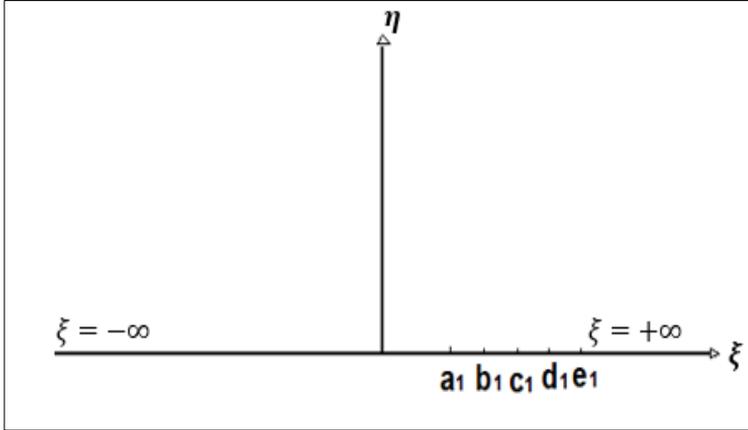
A_1, B_1, C_1, D_1, E_1 : الزوايا الداخلية للمضلع في المستوي z (بالراديان)، الشكل (2-a)

a_1, b_1, c_1, d_1, e_1 : نقاط على المحور الحقيقي للمستوي ξ الشكل (2-b)

إن الزاوية الداخلية عند نقطة فتح المضلع في المستوي z تتعلق بـ π كما يُلاحظ في المعادلة (3) .



الشكل (2-a) المستوي z



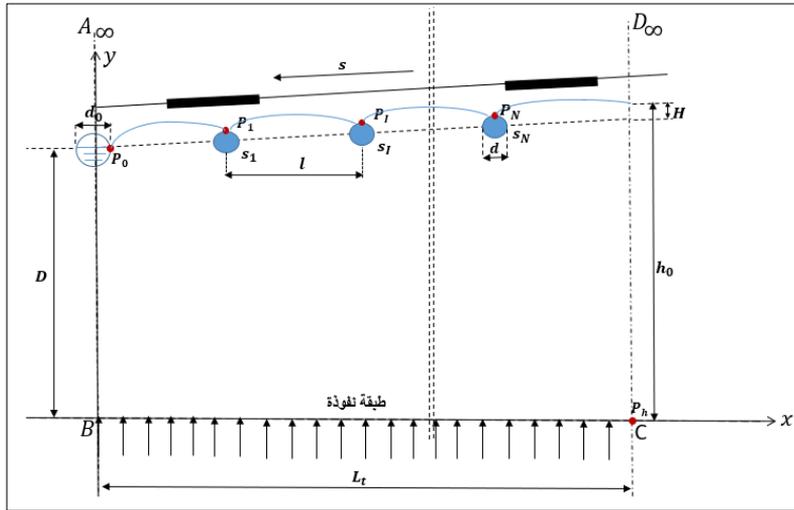
الشكل
(2-b)
المستوي ξ
الشكل
(2) تحويل
شوارتز -
كريستوفل

٥- إيجاد النموذج الرياضي:

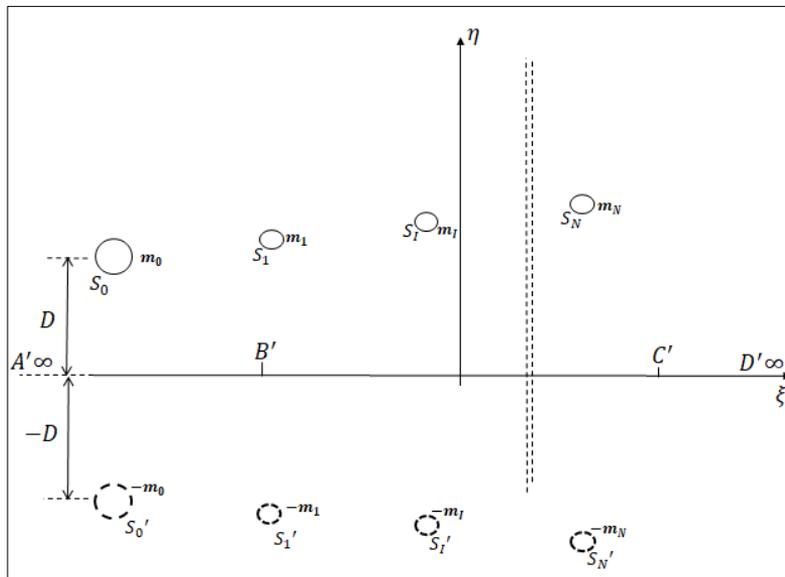
في هذه الدراسة تم إيجاد نموذج رياضي لحركة المياه الجوفية باتجاه المصارف المغطاة المتوضعة في الأراضي المائلة والمعرضة لضغط بيزومتري مرتفع وذلك باستخدام نظرية شوارتز كريستوفل والنظرية الانعكاسية، حيث تم إسقاط المساحة المحصورة ضمن المضلع $A_{\infty}BCD_{\infty}$ في المستوي Z كما في الشكل (3-a) إلى مستوي نصف علوي ξ كما في

الشكل (3-b)

تأثير ميل سطح المياه الجوية على حركتها باتجاه المصارف المغطاة المتوضعة في الأراضي المائلة
المعرضة لضغوط بيزومترية مرتفع



الشكل (3-a) النموذج الرياضي في المستوي Z



الشكل (3-b) النموذج الرياضي في المستوي xi

الشكل (3) النموذج الرياضي

تتوضع المصارف المغطاة بحيث تكون المسافة بينها (l) ، وتمثل ب S_1, S_I, \dots, S_N ،

وقدرة هذه المصارف هي m_1, m_I, \dots, m_N ، وتصريفها Q_1, Q_I, \dots, Q_N

وتعرف قدرة المصرف بأنها التدفق الداخل إلى المصرف في وحدة الزاوية المحيطة وتعطى بالعلاقة التالية:

$$1- \text{ إذا كان المصرف ممتلئ بشكل كامل } m = \frac{Q}{2\pi}$$

$$2- \text{ إذا كان المصرف نصف ممتلئ } m = \frac{Q}{\pi}$$

أما المصرف الرئيسي المكشوف فيتم تمثيله بمصرف مغطى S_0 نصف ممتلئ، قدرة تصريفه m_0 ، وتصريفه $(Q_0 = \pi \times m_0)$.

في هذه الدراسة تم اعتماد الفرضيات الأساسية الآتية:

- ١- التربة متجانسة ومتماثلة الخواص.
- ٢- التربة معرضة لضغوط بيزومترية مرتفعة.
- ٣- لكل مصرف قدرة تصريف مختلفة (حسب موقعه بالنسبة للطبقة النفوذة).
- ٤- نعتبر أن المصارف المغطاة ممثلة بسطح الماء في المصرف معرض للضغط الجوي.
- ٥- تمثيل المصرف المكشوف بمصرف مغطى نصف ممتلئ.
- ٦- المصارف المغطاة موزعة على خط ميله يساوي ميل سطح المياه الجوفية ويتباعدات متساوية.

المتغيرات الأساسية التي تم الاعتماد عليها في هذه الدراسة هي على الشكل التالي:

l : التباعد بين المصارف (m) .

D : عمق الطبقة النفوذة أسفل سطح المياه في المصرف الرئيسي المكشوف (m) .

d : قطر المصرف المغطى (m) .

d_0 : القطر المكافئ للمصرف الرئيسي المكشوف (m) .

تأثير ميل سطح المياه الجوفية على حركتها باتجاه المصارف المغطاة المتوضعة في الأراضي المائلة
المعرضة لضغط بيزومتري مرتفع

k : الناقلية الهيدروليكية للتربة (m/day).

L_t : الطول الكلي لمنطقة الدراسة (m).

N : عدد المصارف المغطاة .

H : فرق الضغوط المؤثر أعلى منطقة الدراسة (m).

s : ميل سطح المياه الجوفية.

١-٥ تابع الجهد المركب:

لإيجاد تابع الجهد المركب تم استخدام تحويل شوارتز_كريستوفل والنظرية
الانعكاسية (التخليية)، وباستخدام المعادلة (3) تم التوصل إلى معادلة التحويل
التالية:

$$\xi = \sin \frac{\pi Z}{L_t} \quad (4)$$

- إحداثيات المصرف الرئيسي S_0 في المستوي Z تعطى كما يلي:

$$z_0 = iD \quad (5)$$

بتعويض المعادلة (5) في المعادلة (4) ينتج ξ_0 للمصرف S_0 :

$$\xi_0 = \sin \frac{\pi(iD)}{L_t} \quad (6)$$

اعتمادا على النظرية الانعكاسية (التخليية)، يتم اعتبار الطبقة النفوذة كمرآة، كما في
الشكل (3-b)، فإن إحداثيات المصرف التخليي S_0' في المستوي Z :

$$z_0' = -iD \quad (7)$$

بتعويض المعادلة (7) في المعادلة (4) ينتج ξ_0' للمصرف s_0' :

$$\xi_0' = \sin \frac{\pi(-iD)}{L_t} \quad (8)$$

إن تابع الجهد المركب للمصرف ونظيره التخيلي يمكن كتابته بالشكل العام [1]:

$$w = m[\ln(\xi - \xi_a) + \ln(\xi - \xi_a')] \quad (9)$$

حيث أن:

m : قدرة المصرف.

ξ_a : تمثل كلا من $\xi_0, \xi_1, \dots, \xi_I, \dots, \xi_N$ للمصارف الحقيقية.

ξ_a' : تمثل كلا من $\xi_0', \xi_1', \dots, \xi_I', \dots, \xi_N'$ للمصارف التخيلية.

بتعويض ξ_0 و ξ_0' في المعادلة (9) يتم استنتاج دالة الجهد المركب للمصرف الرئيسي المكشوف:

$$w_0 = m_0 \left\{ \ln \left[\sin \frac{\pi}{L_t} (z - iD) \right] - \ln \left[\sin \frac{\pi}{L_t} (z + iD) \right] \right\} \quad (10)$$

حيث: m_0 : قدرة المصرف s_0 .

بتعويض $z = x + iy$ في المعادلة (10):

$$w_0 = m_0 \left\{ \ln \left[\sin \frac{\pi}{L_t} (x + i(y - D)) \right] - \ln \left[\sin \frac{\pi}{L_t} (x + i(y + D)) \right] \right\} \quad (11)$$

و بإصلاح المعادلة (11) حيث

$$\sin(x + iy) = \sin(x) \cosh(y) + i \cos(x) \sinh(y) \quad (12)$$

تصبح المعادلة (11) بالشكل التالي:

$$w_0 = m_0 \left\{ \begin{array}{l} \ln \left[\sin \frac{\pi x}{L_t} \cosh \frac{\pi(y-D)}{L_t} + i \cos \frac{\pi x}{L_t} \sinh \frac{\pi(y-D)}{L_t} \right] \\ - \ln \left[\sin \frac{\pi x}{L_t} \cosh \frac{\pi(y+D)}{L_t} + i \cos \frac{\pi x}{L_t} \sinh \frac{\pi(y+D)}{L_t} \right] \end{array} \right\} \quad (13)$$

- إحداثيات المصرف المغطى S_1 في المستوي z :

$$z_1 = l + i(D + sl) \quad (14)$$

بتعويض المعادلة (14) في المعادلة (4) ينتج ξ_1 للمصرف المغطى s_1 :

$$\xi_1 = \sin \frac{\pi(l + i(D + sl))}{L_t} \quad (15)$$

- إحداثيات المصرف المغطى التخيلي S_1' في المستوي z :

$$z_1' = l - i(D + sl) \quad (16)$$

بتعويض المعادلة (16) في المعادلة (4) ينتج ξ_1' للمصرف S_1' :

$$\xi_1' = \sin \frac{\pi(l - i(D + sl))}{L_t} \quad (17)$$

- تابع الجهد المركب للمصرف المغطى الحقيقي S_1 والمصرف المغطى التخيلي S_1' :

$$w_1 = m_1 \left\{ \begin{array}{l} \ln \left[\sin \frac{\pi}{L_t} (z - l - i(D + sl)) \right] \\ - \ln \left[\sin \frac{\pi}{L_t} (z - l + i(D + sl)) \right] \end{array} \right\} \quad (18)$$

بتعويض $z = x + iy$ في المعادلة (18)

$$w_1 = m_1 \left\{ \begin{array}{l} \ln \left[\sin \frac{\pi}{L_t} ((x - l) + i(y - D - sl)) \right] \\ - \ln \left[\sin \frac{\pi}{L_t} ((x - l) + i(y + D + sl)) \right] \end{array} \right\} \quad (19)$$

بالاعتماد على المعادلة (12) يتم كتابة المعادلة (19) بالشكل التالي:

$$\begin{aligned} w_1 &= m_1 \left\{ \begin{array}{l} \ln \left[\sin \left(\frac{\pi(x - l)}{L_t} \right) \cosh \left(\frac{\pi(y - D - sl)}{L_t} \right) \right. \\ \left. + i \cos \left(\frac{\pi(x - l)}{L_t} \right) \sinh \left(\frac{\pi(y - D - sl)}{L_t} \right) \right] \\ - \ln \left[\sin \left(\frac{\pi(x - l)}{L_t} \right) \cosh \left(\frac{\pi(y + D + sl)}{L_t} \right) \right. \\ \left. + i \cos \left(\frac{\pi(x - l)}{L_t} \right) \sinh \left(\frac{\pi(y + D + sl)}{L_t} \right) \right] \end{array} \right\} \quad (20) \end{aligned}$$

باتباع الأسلوب نفسه يتم إيجاد تابع الجهد المركب لبقية المصارف، ومن ثم فإن معادلة الجهد المركب لكامل منطقة الدراسة تعطى بالمعادلة التالية:

$$\begin{aligned}
 w &= m_0 \left\{ \ln \left[\sin \frac{\pi x}{L_t} \cosh \frac{\pi(y-D)}{L_t} + i \cos \frac{\pi x}{L_t} \sinh \frac{\pi(y-D)}{L_t} \right] \right. \\
 &- \ln \left[\sin \frac{\pi x}{L_t} \cosh \frac{\pi(y+D)}{L_t} + i \cos \frac{\pi x}{L_t} \sinh \frac{\pi(y+D)}{L_t} \right] \left. \right\} \\
 &+ \sum_{l=1}^N m_l \left\{ \ln \left[\sin \frac{\pi(x-l)}{L_t} \cosh \frac{\pi(y-D-l)}{L_t} \right. \right. \\
 &+ i \cos \frac{\pi(x-l)}{L_t} \sinh \frac{\pi(y-D-l)}{L_t} \left. \right] \\
 &- \ln \left[\sin \frac{\pi(x-l)}{L_t} \cosh \frac{\pi(y+D+l)}{L_t} \right. \\
 &+ i \cos \frac{\pi(x-l)}{L_t} \sinh \frac{\pi(y+D+l)}{L_t} \left. \right] \left. \right\} \quad (21)
 \end{aligned}$$

حيث I : رقم المصرف المغطى

٢-٥ إيجاد دالة جهد السرعة ودالة الجريان:

إن تابع الجهد المركب لحركة المياه الجوفية عبارة عن جزئين جزء حقيقي يمثل دالة جهد السرعة ϕ وجزء تخيلي يمثل دالة الجريان ψ ، وكلاهما تابعان لموقع المصرف (x, y) ، ويعطى بالمعادلة التالية [5]:

$$w = \phi + i\psi \quad (22)$$

حيث

ϕ : دالة جهد السرعة وتعطى بالمعادلة [5]:

$$\phi = \ln\sqrt{r^2 + i^2} \quad (23)$$

حيث r : الجزء الحقيقي للمعادلة (21).

i : الجزء التخيلي للمعادلة (21).

ψ : دالة الجريان وتعطى بالمعادلة [5]:

$$\psi = \tan^{-1} \frac{i}{r} \quad (24)$$

٥-٢-١ دالة جهد السرعة :

تعطى دالة جهد السرعة لكامل منطقة الدراسة بالمعادلة التالية:

$$\phi = \phi_0 + \phi_1 + \phi_I + \dots + \phi_N + C \quad (25)$$

بتطبيق المعادلة (23) يتم إيجاد دالة جهد السرعة ϕ لمنطقة الدراسة :

$$\begin{aligned}
 & \phi \\
 &= \frac{m_0}{2} \left\{ \ln \left[\left(\sin \frac{\pi x}{L_t} \cosh \frac{\pi(y-D)}{L_t} \right)^2 + \left(\cos \frac{\pi x}{L_t} \sinh \frac{\pi(y-D)}{L_t} \right)^2 \right] \right. \\
 & \left. - \ln \left[\left(\sin \frac{\pi x}{L_t} \cosh \frac{\pi(y+D)}{L_t} \right)^2 + \left(\cos \frac{\pi x}{L_t} \sinh \frac{\pi(y+D)}{L_t} \right)^2 \right] \right\} \\
 & + \sum_{I=1}^N \frac{m_I}{2} \left\{ \ln \left[\left(\sin \frac{\pi(x-Il)}{L_t} \cosh \frac{\pi(y-D-IsI)}{L_t} \right)^2 \right. \right. \\
 & \left. \left. + \left(\cos \frac{\pi(x-Il)}{L_t} \sinh \frac{\pi(y-D-IsI)}{L_t} \right)^2 \right] \right. \\
 & \left. - \ln \left[\left(\sin \frac{\pi(x-Il)}{L_t} \cosh \frac{\pi(y+D+IsI)}{L_t} \right)^2 \right. \right. \\
 & \left. \left. + \left(\cos \frac{\pi(x-Il)}{L_t} \sinh \frac{\pi(y+D+IsI)}{L_t} \right)^2 \right] \right\} \\
 & + C
 \end{aligned} \tag{26}$$

٥-٢-٢ دالة الجريان:

تعطى دالة الجريان لكامل منطقة الدراسة بالمعادلة التالية:

$$\psi = \psi_0 + \psi_1 + \psi_I + \dots + \psi_N \tag{27}$$

بتطبيق المعادلة (24) يتم إيجاد دالة الجريان ψ لمنطقة الدراسة:

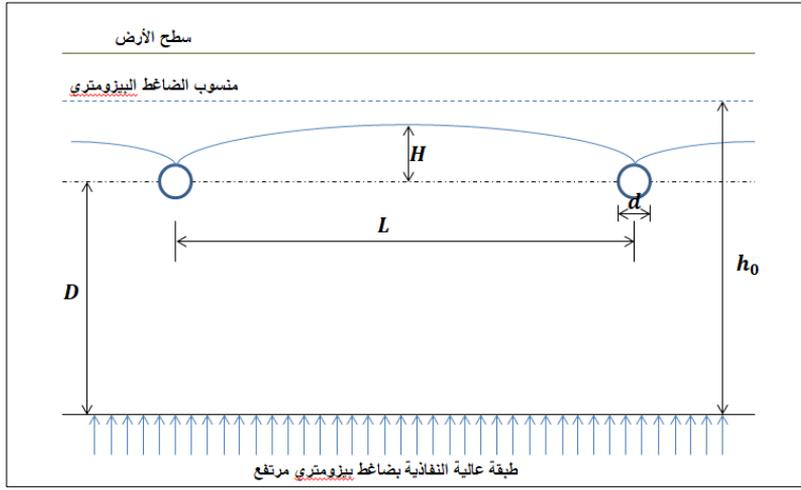
$$\begin{aligned}
 \psi &= m_0 \left\{ \tan^{-1} \left[\frac{\cos \frac{\pi x}{L_t} \sinh \frac{\pi(y-D)}{L_t}}{\sin \frac{\pi x}{L_t} \cosh \frac{\pi(y-D)}{L_t}} \right] \right. \\
 &\quad \left. - \tan^{-1} \left[\frac{\cos \frac{\pi x}{L_t} \sinh \frac{\pi(y+D)}{L_t}}{\sin \frac{\pi x}{L_t} \cosh \frac{\pi(y+D)}{L_t}} \right] \right\} \\
 &+ \sum_{l=1}^N m_l \left\{ \tan^{-1} \left[\frac{\cos \frac{\pi(x-l)}{L_t} \sinh \frac{\pi(y-D-l)}{L_t}}{\sin \frac{\pi(x-l)}{L_t} \cosh \frac{\pi(y-D-l)}{L_t}} \right] \right. \\
 &\quad \left. - \tan^{-1} \left[\frac{\cos \frac{\pi(x-l)}{L_t} \sinh \frac{\pi(y+D+l)}{L_t}}{\sin \frac{\pi(x-l)}{L_t} \cosh \frac{\pi(y+D+l)}{L_t}} \right] \right\} \quad (28)
 \end{aligned}$$

٦- التحقق من النموذج الرياضي:

٦-١ التحقق عن طريق المقارنة مع علاقة حتوت Hathoot

تم التحقق من النموذج بمقارنته مع الحل الرياضي المقدم من حتوت Hathoot [7] ، حيث يمكن تعويض قيمة ميل سطح المياه الجوفية في النموذج بأي قيمة وباقي الشروط مطابقة تماما لشروط علاقة حتوت Hathoot [7] ، تم اعتبار أن سطح المياه الجوفية الأولي أفقي ($s = 0$) كما في الشكل (4).

تأثير ميل سطح المياه الجوفية على حركتها باتجاه المصارف المغطاة المتوضعة في الأراضي المائلة
المعرضة لضغوط بيزومترية مرتفع



الشكل (4) مقطع التربة الخاص بتحقيق النموذج

أعطى حثوت Hathoot العلاقة التالية لحساب التدفق باتجاه المصارف المغطاة المتوضعة في الأراضي الأفقية والمعرضة لضغوط بيزومترية مرتفع:

$$\frac{Q}{2\pi k} = \frac{h_0 - D - H}{\ln \left(\frac{\cosh \left(\frac{\pi}{L} (H + 2D) \right)}{\cosh \left(\frac{\pi H}{L} \right)} \right)} \quad (29)$$

حيث:

h_0 : ارتفاع الضغوط البيزومترية للطبقة السفلية عالية النفاذية (m).

H : ارتفاع السطح الحر للمياه الجوفية في منتصف المسافة بين المصارف (m).

L : المسافة بين المصارف (m).

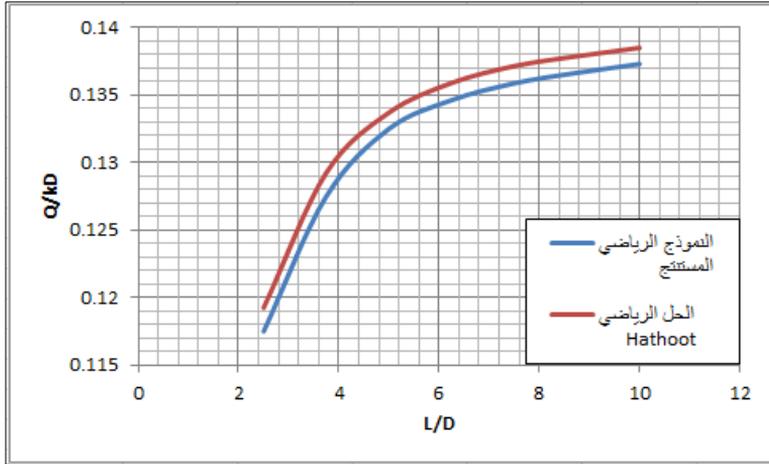
D : عمق سطح الطبقة السفلية عالية النفاذية أسفل منسوب سطح الماء في

المصرف (m).

k : معامل النفاذية لطبقة التربة العلوية (m/day).

d : قطر المصرف (m).

يبين الشكل (5) العلاقة بين التباعد النسبي بين المصارف المغطاة l/D والتدفق النسبي للمصارف المغطاة Q/kD وذلك من أجل النموذج الرياضي المستنتج ومعادلة تحتوت، ونلاحظ من الشكل (5) أن نسبة الخطأ بين النموذج الرياضي المستنتج ومعادلة تحتوت حوالي 2% وذلك من أجل حالة سطح المياه الجوفية الأولي أفقي.

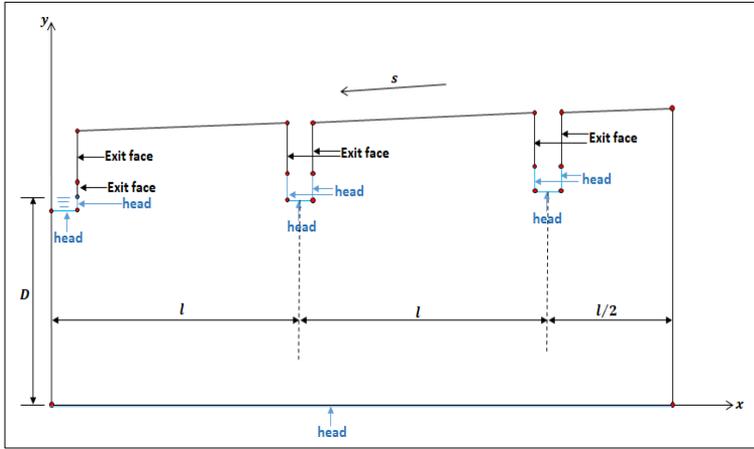


الشكل(5)التحقق من النموذج الرياضي

٢-٦ التحقق باستخدام برنامج SEEP-2D ضمن بيئة برنامج GMS(Groundwater Modeling System)

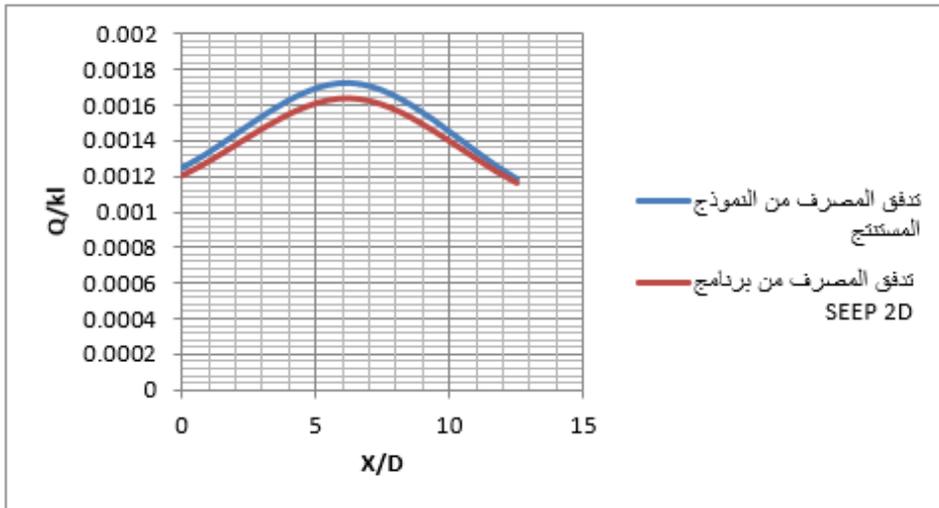
تم التحقق من النموذج عن طريق أخذ جزء من منطقة الدراسة كما في الشكل (6) واستبدال إحداثيات النقاط P_0, P_{11}, P_{12}, P_h المبينة في الشكل (6) والموضحة إحداثياتها في الجدول (1)، والشروط الحدية عند النقاط $(P_0, P_{11}, P_{12}, P_N)$ هي $(\frac{P}{\rho g} = 0)$ ، أما عند النقطة (P_h) فالشرط الحدي هو $(\frac{P}{\rho g} = h_0)$ ، و موقع النقطة

للمصرف، حيث يتم تمثيل المصرف في البرنامج كما هو موضح في الشكل (7)، و تم أيضاً توضيح الشروط الحدية المدخلة في البرنامج في الشكل (7)



الشكل (7) الشروط الحدية في برنامج GMS

يبين الشكل (8) العلاقة بين البعد النسبي للمصرف عن مبدأ الإحداثيات (X/D) والتدفق النسبي للمصرف (Q/kl) وذلك من أجل النموذج الرياضي المستنتج وبرنامج SEEP 2D، ونلاحظ من الشكل (8) أن نسبة الخطأ بين النموذج الرياضي المستنتج وبرنامج SEEP 2D حوالي 7%.



الشكل (8) التحقق من النموذج الرياضي المستنتج مع برنامج SEEP 2D

٧- تصميم نظام الصرف:

يمكن كتابة معادلة جهد السرعة بالعلاقة التالية:

$$\phi = K \left(\frac{P}{\rho g} + y \right) \quad (30)$$

حيث:

P : شدة الضغط ($kg/m.sec^2$)

K : الناقلية الهيدروليكية (m/sec).

ρ : كثافة الماء (kg/m^3).

g : تسارع الجاذبية (m/sec^2).

بذلك يصبح لدينا :

$$K \left(\frac{P}{\rho g} + y \right) = \phi_0 + \phi_1 + \phi_I + \dots + \phi_N + C \quad (31)$$

لإيجاد قيم قوة المصارف (m_0, \dots, m_N) وبالتالي قيم التدفقات الواردة إلى كل مصرف يتم التعويض بقيم إحداثيات النقاط P_0, P_1, P_I, P_N, P_h المبينة في الشكل (3- a) والموضحة إحداثياتها في الجدول (2)، الشروط الحدية عند النقاط (P_0, P_1, P_I, P_N) هي ($\frac{P}{\rho g} = 0$)، أما عند النقطة (P_h) فالشرط الحدي هو ($\frac{P}{\rho g} = h_0$)، و موقع النقطة (y) لكل النقاط يساوي إلى ارتفاع النقطة عن سطح الطبقة النفوذة، بتعويض هذه الشروط الحدية وإحداثيات هذه النقاط (x, y) في معادلة جهد السرعة (26) يتم الحصول على

مجموعة من المعادلات بحلها يمكن الحصول على قدرة كل مصرف، والثابت الحقيقي C ، وإيجاد تدفق كل مصرف من المصارف المغطاة (Q_1, Q_I, \dots, Q_N) ، و تدفق المصرف الرئيسي المكشوف (Q_0) ، و إيجاد الضاغط الأعظمي للسطح الحر للمياه الجوفية (h_{max}) تم برمجة المعادلات على برنامج MATLAB 2018.

الجدول (2) إحداثيات النقاط المحددة في الشكل (3-a)

النقطة	x	y	$P/\rho g$
P_0	$d_0/2$	D	0
P_1	l	$D + sl + d/2$	0
P_I	Il	$D + Isl + d/2$	0
P_h	L_t	0	h_0

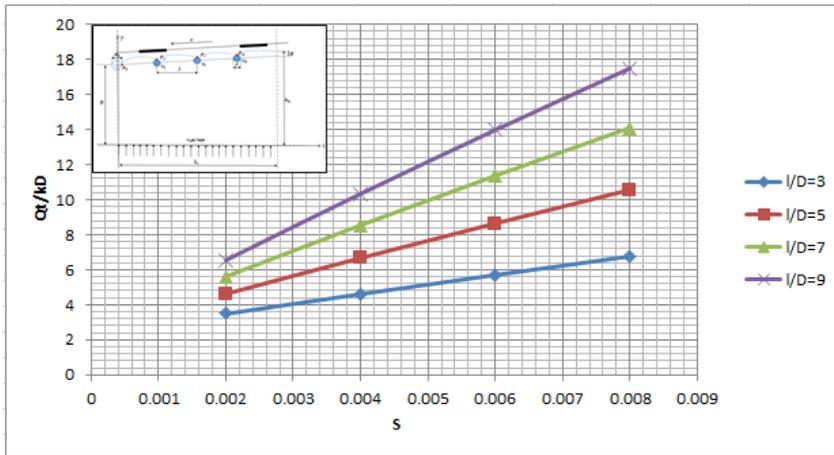
٨- تأثير ميل سطح المياه الجوفية (s)

تمت دراسة تأثير ميل سطح المياه الجوفية (s) على خواص الصرف (التدفق الكلي النسبي للمصارف المغطاة $(Q_t/(kD))$ ، وتدفق المصرف الرئيسي المكشوف $(Q_0/(kD))$ ، والتدفق النسبي الأعظمي للمصارف المغطاة $(Q_{max}/(kD))$ ، والتدفق النسبي الأصغري للمصارف المغطاة $(Q_{min}/(kD))$ ، والضاغط النسبي الأعظمي بين مصرفين مغطيين (h_{max}/D)) وذلك من أجل المتغيرات الآتية وهي $d/D = 0.025$ ، $N_2 = 10$ ، $N_1 = 10$ ، $d_0/D = 0.1525$

$$k = 0.5m/day, D = 8 m, H/D = 0.125$$

٧-١ تأثير ميل سطح المياه الجوفية (s) في التدفق الكلي النسبي للمصارف المغطاة
: (Q_t/kD)

يبين الشكل (9) تأثير ميل سطح المياه الجوفية (s) في قيمة التدفق الكلي النسبي للمصارف
المغطاة (Q_t/kD) ، نلاحظ من الشكل أن قيمة (Q_t/kD) تزداد بازدياد قيمة (s) من
0.002 إلى 0.008 حوالي 93.85%، 128.28%، 151.09%، 167.11% من
أجل $l/D = 3$ ، $l/D = 5$ ، $l/D = 7$ ، $l/D = 9$ على التوالي، مما سبق نستنتج
أنه لا يمكن إهمال تأثير ميل سطح المياه الجوفية (s) في قيمة التدفق الكلي النسبي
للمصارف المغطاة (Q_t/kD) .



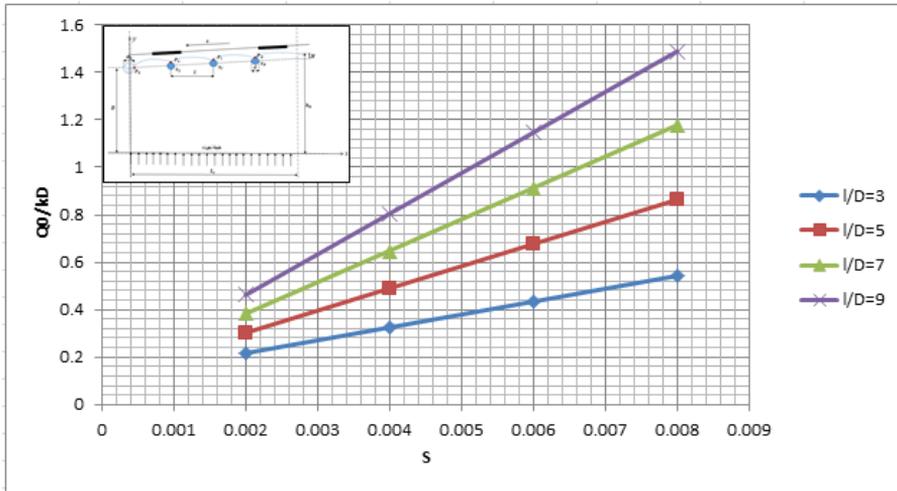
الشكل (9) العلاقة بين ميل سطح المياه الجوفية (s) والتدفق الكلي النسبي للمصارف المغطاة
 (Q_t/kD)

$$N_2 = 10, N_1 = 10, d_0/D = 0.1525, d/D = 0.025,$$

$$k = 0.5m/day, D = 8 m, H/D = 0.125$$

٢-٧ تأثير ميل سطح المياه الجوفية (s) في التدفق النسبي للمصرف الرئيسي المكشوف ($Q_0/(kD)$)

يبين الشكل (10) تأثير ميل سطح المياه الجوفية (s) في التدفق النسبي للمصرف الرئيسي المكشوف ($Q_0/(kD)$) ، نلاحظ من الشكل أن قيمة ($Q_0/(kD)$) تزداد بازدياد قيمة (s) من 0.002 إلى 0.008 حوالي 150.58% ، 185.72% ، 207.75% ، من أجل $l/D = 3$ ، $l/D = 5$ ، $l/D = 7$ ، $l/D = 9$ على التوالي، مما سبق نستنتج أنه لا يمكن إهمال تأثير ميل سطح المياه الجوفية (s) في قيمة التدفق النسبي للمصرف الرئيسي المكشوف ($Q_0/(kD)$).



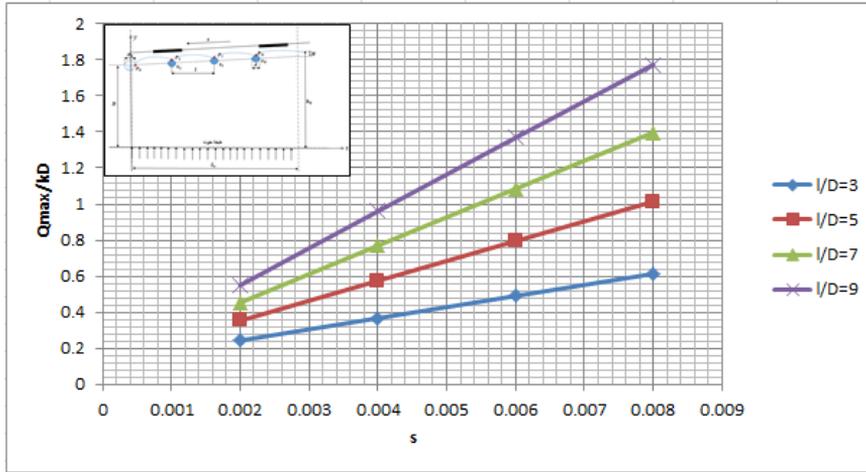
الشكل (10) العلاقة بين ميل سطح المياه الجوفية (s) والتدفق النسبي للمصرف الرئيسي المكشوف ($Q_0/(kD)$)

$$N_2 = 10 \quad , N_1 = 10 \quad , d_0/D = 0.1525 \quad , d/D = 0.025 \quad ,$$

$$k = 0.5m/day \quad , D = 8 m \quad , H/D = 0.125$$

٣-٧ تأثير ميل سطح المياه الجوفية (s) في التدفق النسبي الأعظمي للمصارف المغطاة ($Q_{max}/(kD)$)

يبين الشكل (11) تأثير ميل سطح المياه الجوفية (s) في التدفق النسبي الأعظمي للمصارف المغطاة ($Q_{max}/(kD)$)، نلاحظ من الشكل أن قيمة ($Q_{max}/(kD)$) تزداد بازدياد قيمة (s) من 0.002 إلى 0.008 حوالي 151.51%، 186.77%، 208.03%، 222.12% من أجل $l/D = 3$ ، $l/D = 5$ ، $l/D = 7$ ، $l/D = 9$ على التوالي، مما سبق نستنتج أنه لا يمكن إهمال تأثير ميل سطح المياه الجوفية (s) في قيمة التدفق النسبي الأعظمي للمصارف المغطاة ($Q_{max}/(kD)$).



الشكل (11) العلاقة بين ميل سطح المياه الجوفية (s) والتدفق النسبي الأعظمي للمصارف المغطاة

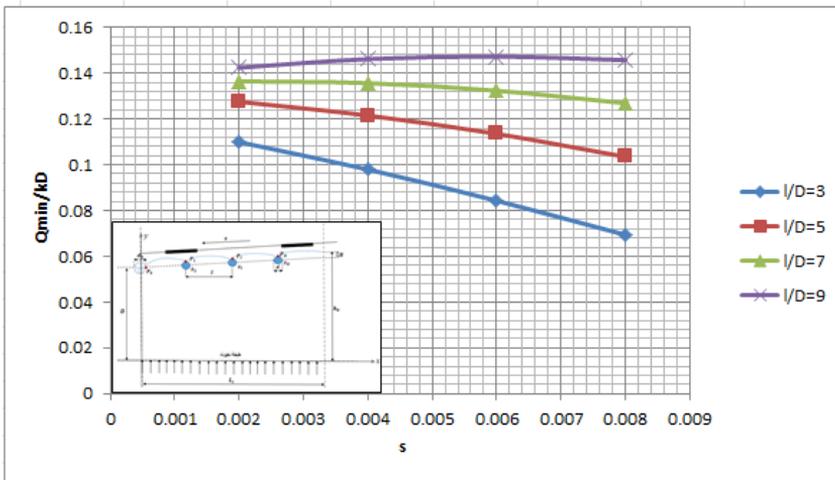
$$(Q_{max}/(kD))$$

$$، N_2 = 10 ، N_1 = 10 ، d_0/D = 0.1525 ، d/D = 0.025 ،$$

$$k = 0.5m/day ، D = 8 m ، H/D = 0.125$$

٧-٤ تأثير ميل سطح المياه الجوفية (s) في التدفق النسبي الأصغري للمصارف المغطاة
($Q_{min}/(kD)$)

يبين الشكل (12) تأثير ميل سطح المياه الجوفية (s) في التدفق النسبي الأصغري للمصارف المغطاة ($Q_{min}/(kD)$) ، نلاحظ من الشكل أن قيمة ($Q_{min}/(kD)$) تتناقص بازدياد قيمة (s) من 0.002 إلى 0.008 حوالي 36.86%، 18.84%، 7.02% من أجل $l/D = 3$ ، $l/D = 5$ ، $l/D = 7$ على التوالي وتزداد بقيمة 2.32% من أجل $l/D = 9$ ، مما سبق نستنتج أنه لا يمكن إهمال تأثير ميل سطح المياه الجوفية (s) في قيمة التدفق النسبي الأصغري للمصارف المغطاة ($Q_{min}/(kD)$) .



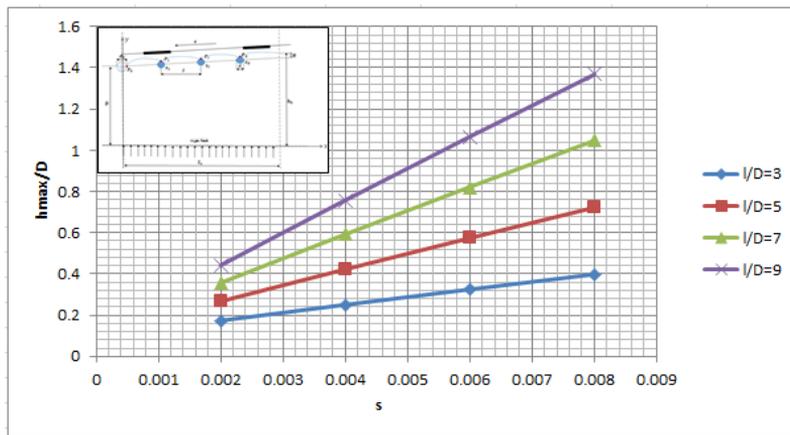
الشكل (12) العلاقة بين ميل سطح المياه الجوفية (s) والتدفق النسبي الأصغري للمصارف المغطاة
($Q_{min}/(k D)$)

$$N_2 = 10 \quad , \quad N_1 = 10 \quad , \quad d_0/D = 0.1525 \quad , \quad d/D = 0.025 \quad ,$$

$$k = 0.5m/day \quad , \quad D = 8 m \quad , \quad H/D = 0.125$$

٧-٥ تأثير ميل سطح المياه الجوفية (s) في الضغوط النسبي الأعظمي بين مصرفين
مغطَّيين (h_{max}/D):

يبين الشكل (13) تأثير ميل سطح المياه الجوفية (s) في الضغوط النسبي الأعظمي بين مصرفين مغطَّيين (h_{max}/D)، نلاحظ من الشكل أن قيمة (h_{max}/D) تزداد بازدياد قيمة (s) من 0.002 إلى 0.008 حوالي 129.22%، 170.45%، 193.17%، 209.17% من أجل $l/D = 3$ ، $l/D = 5$ ، $l/D = 7$ ، $l/D = 9$ على التوالي، مما سبق نستنتج أنه لا يمكن إهمال تأثير ميل سطح المياه الجوفية (s) في قيمة الضغوط النسبي الأعظمي بين مصرفين مغطَّيين (h_{max}/D).



الشكل (13) العلاقة بين ميل سطح المياه الجوفية (s) و الضغوط النسبي الأعظمي بين مصرفين

مغطَّيين (h_{max}/D)

$$، N_2 = 10 ، N_1 = 10 ، d_0/D = 0.1525 ، d/D = 0.025 ،$$

$$k = 0.5m/day ، D = 8 m ، H/D = 0.125$$

٩- الاستنتاجات

- ١- تزداد قيمة التدفق الكلي للمصارف المغطاة (Q_t) عند زيادة ميل سطح المياه الجوفية (s) من 0.002 حتى 0.008 بنسبة 167.11%.
- ٢- تزداد قيمة التدفق الأعظمي للمصارف المغطاة (Q_{max}) عند زيادة ميل سطح المياه الجوفية (s) من 0.002 حتى 0.008 بنسبة 222.12%.
- ٣- تتناقص قيمة التدفق الأصغري للمصارف المغطاة (Q_{min}) عند زيادة ميل سطح المياه الجوفية (s) من 0.002 حتى 0.008 بنسبة 36.86%.
- ٤- تزداد قيمة الضاغط الأعظمي بين مصرفين مغطَّيين (h_{max}) عند زيادة ميل سطح المياه الجوفية (s) من 0.002 حتى 0.008 بنسبة 209.17%.

١٠- التوصيات

- ١- عدم إهمال ميل سطح المياه الجوفية عند تصميم شبكات الصرف المغطى في الأراضي ذات الميول الخفيفة والمعرضة لضغوط بيزومتري مرتفع.
- ٢- عدم إهمال قيمة التباعد بين المصارف المغطاة عند تصميم شبكات الصرف المغطى في حالة وجود ميل لسطح المياه الجوفية في الأراضي ذات الميول الخفيفة والمعرضة لضغوط بيزومتري مرتفع.
- ٣- إيجاد الحل الرياضي للمسألة نفسها ولكن من أجل الترب غير موحدة الخواص.

المراجع

- [1] عباس، مارييا. يوسف، 2011 دراسة تحليلية لحركة المياه الجوفية باتجاه المصارف المغطاة المنفذة بمسافات غير متساوية في الأراضي مختلفة الميول. منشورات جامعة تشرين، اللاذقية، 140.
- [2] صالح، غريب، 2018 دراسة حركة المياه باتجاه المصارف المغطاة في الأراضي الواقعة بين منسوبين مختلفين للمياه السطحية. منشورات جامعة البعث، حمص، 71.
- [3] سلوم، مازن. سعيد و السباعي، محمود. راتب، 2019 الصرف (٢). منشورات جامعة البعث، حمص، 246.
- [4] HAMMAD, H. Y. 1957- A Hydrodynamic Theory of Water Movement towards Covered Drains with Application to Some Field Problems. Alexandria University Press, Alexandria, Egypt, 112.

- [5] HARR, M. E. 1962 - **Groundwater and Seepage**. McGraw-Hill Book Company, Inc. New Yourk, 313.
- [6] NAJAMII, M.; KIRKHAN, D.; and DOUGAL, M. D. 1978 **Tube Drainage in Stratified Soil Above an Aquifer**, Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, Vol. 104, No. IR2. 209–229.
- [7] HATHOOT, H. M. 1986 **Drainage of Soil with an Upward Hydraulic Gradient by Double Mole Drains**, ICID, Bulletin, Vol. 35, No. 2. 28–32.
- [8] SOBEIH, M. M. 1988 **Improvement of Tile Drainage Systems Using Mole Drains Soil Subjected To Artesian Water Table**, Mansoura Engineering Journal (MEJ), Vol. 13, No. 1, June, 1–11.
- [9] HARTANI, T.; ZIMMER, D.; and LESAFFRE, B. 2001 **Drainage of Sloping Lands with Variable Recharge: Analytical and Model Developmen**, Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, Vol. 127, No. 1, 8–15
- [10] Camussi, G.F.; Imhoff, S.; Antille, D.L.; Marano R.P.; and Marano, R.P. 2022 **Hydraulic performance of mole drains and validation of steady-state drainage spacing equations for Mollisols**.

تأثير ميل سطح المياه الجوفية على حركتها باتجاه المصارف المغطاة المتوضعة في الأراضي المائلة
المعرضة لضغط بيزومتري مرتفع

<https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105448>