

حركة المياه الجوفية إلى المصارف المغطاة المنفذة بمسافات غير متساوية في الأراضي المختلفة الميول

الدكتور أسعد الكنج*

الدكتور مازن سلوم**

ماريا يوسف عباس***

(تاريخ الإيداع 25 / 11 / 2010. قُبِلَ للنشر في 22 / 3 / 2011)

□ ملخص □

إن إنشاء شبكات الصرف في الأراضي الزراعية، يؤدي إلى تحسين النظام المائي والهوائي للتربة، ومن ثمّ زيادة خصوبتها، وزيادة الإنتاج الزراعي. تهدف هذه الدراسة العلمية إلى دراسة صرف الأراضي الزراعية المختلفة الميول، باستخدام مصارف مغطاة منفذة بمسافات غير متساوية. في هذه الدراسة تم إيجاد المعادلة العامة لكل من الجهد المركب (w)، وجهد السرعة (ϕ)، ودالة الجريان (ψ)، لنظام الصرف المدروس، وذلك بالاعتماد على نظرية التحويل المتطابق (تحويل شوارتز-كريستوفل) والنظرية الانعكاسية. وقد تم إيجاد كل من التصريف المار في كل مصرف مغطى، والمصرف الرئيسي المكشوف، وشكل السطح الحر للمياه الجوفية بين المصارف المغطاة. وبنتيجه البحث تم استنتاج، أنه عند استخدام نظام المصارف المغطاة بمسافات غير متساوية، بدلاً من نظام المصارف المغطاة بمسافات متساوية، يؤدي إلى توفير في عدد المصارف المغطاة الواجب استخدامها في شبكة الصرف الزراعية، ومن ثمّ توفير في الكلفة الإجمالية لإنشاء شبكة الصرف.

الكلمات المفتاحية: صرف الأراضي المائلة، تحويل شوارتز-كريستوفل، الصرف تحت السطحي.

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

** مدرس - قسم هندسة وإدارة الموارد المائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث - حمص - سورية.

*** طالبة دراسات عليا (ماجستير) - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Groundwater Movement towards Unequal Distance of Subsurface Drains of Different Sloping Lands

Dr. Asaad Alking*
Dr. Mazen Saloom**
Maria Yousef Abbass***

(Received 25 / 11 / 2010. Accepted 22 / 3 / 2011)

□ ABSTRACT □

The main aim of the construction of drainage networks of agricultural lands is the improvement and regulation of the soil water system, to increase soil productivity and ensure the scientific management for crops. The objective of this paper is studying the drainage of agricultural, sloping lands, using unequal distance of subsurface drains. The complex potential (w), the velocity potential (ϕ) and stream function (ψ) are established and put in general forms, depending on conformal mapping (Schwarz-Christoffel Transformation) and the theory of image. Each pipe drain-discharge, seepage discharge into the main open drain, and the phreatic surface are found. The results show that the requirement number of the subsurface drains can be reduced, when using the unequal distance of subsurface drains system, thus decreasing the total cost.

Keywords: drainage of sloping lands, Schwarz-Christoffel Transformation, Subsurface drainage.

* Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

** Assistant Professor, Water Resources Management and Engineering Department-Civil Engineering Faculty- Al-Baath University- Homs.

*** Postgraduate Student, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

مقدمة:

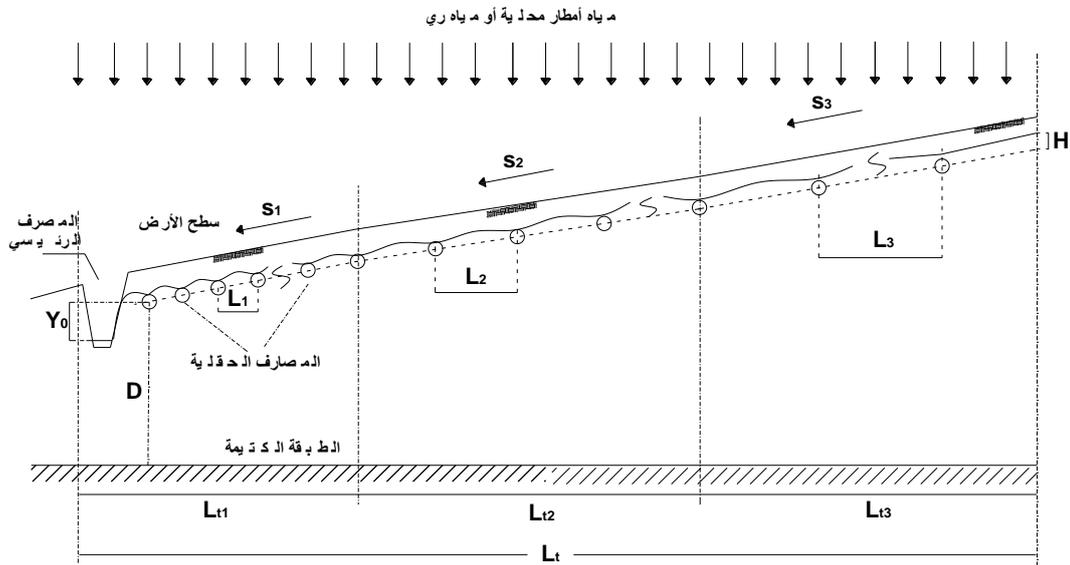
أصبح الأمن الغذائي حاجة ملحة يسعى كل مجتمع إلى تحقيقه، ويسبب محدودية الأراضي الزراعية، لآبد من الاستخدام الأمثل لهذه الأراضي، والحفاظ على خصوبتها والعمل على زيادة إنتاجيتها. يُعدُّ استخدام نظام الصرف الأمثل، من أهم عوامل المحافظة على خصوبة التربة الزراعية وزيادة إنتاجيتها، وذلك عن طريق تحسين ظروف عمل التربة الزراعية وتنظيم النظام المائي لها (أي تأمين النظام المائي الأمثل وما يتعلق به من نظام ملحي وهوائي ودفئي وغذائي)، والقضاء على مشاكل ارتفاع مناسيب المياه الأرضية والتملح. إن ضعف نظام الصرف الزراعي يؤدي إلى ارتفاع مناسيب المياه الجوفية إلى مستوى منطقة جذور النباتات، مما يشكل ضرراً على النشاط الحيوي لها، والذي يؤدي بدوره إلى تعفن جذورها ومن ثم ذبولها وموتها، لذلك كان لآبد من الاهتمام بمشاريع الصرف الزراعي.

اهتم العديد من الباحثين بدراسة صرف الأراضي المائلة. حيث تم إجراء مقارنة بين نظام الصرف العرضي (خطوط المصارف موازية لخطوط التسوية)، ونظام الصرف الطولي (خطوط المصارف متعامدة مع خطوط التسوية)، من ناحية سعة التصريف، وتم التوصل إلى أنه لا يوجد فرق بين نظامي التصريف الطولي والعرضي من حيث سعة التصريف [1]. كما تمت دراسة مشكلة صرف الأراضي المائلة باستخدام المصارف المكشوفة تجريبياً، وذلك بالاعتماد على نموذج الجريان اللزج (Hele-Shaw) [2,3]. وقد تم استنتاج أن النقطة العليا لمنحني سطح المياه الجوفية لا تتوضع في منتصف المسافة بين المصارف، بل تكون دائماً أقرب إلى المصرف من الجهة المنخفضة، ويزداد اقتراب هذه النقطة بزيادة ميل سطح التربة [3]. تم إجراء دراسة تحليلية لهبوط سطح المياه الجوفية بين المصارف المكشوفة المتوازية والمتوضعة بشكل متعامد مع ميل سطح التربة، والمستندة على الطبقة الكتيمة، وذلك بالاعتماد على معادلة Boussinesq التفاضلية. كما تمت مقارنة النتائج التحليلية مع النتائج التجريبية المستنتجة من نموذج الجريان اللزج [4]. أُجريت دراسة صرف المياه الجوفية، في الأراضي المائلة، بوجود تغذية سطحية بمعدل ثابت باستخدام مصارف متوازية متوضعة عرضياً تستند على الطبقة الكتيمة [5,6]. وقد تم التوصل إلى معادلات لحساب الارتفاع الأعظمي لسطح المياه الجوفية، وموضع ذلك الارتفاع وشكل سطح المياه الجوفية [6]. أما في حال وجود تغذية متغيرة مع الزمن ذات معدلات متزايدة خطياً أو متناقصة أسياً، فقد تمت دراسة سطح المياه الجوفية باستخدام الحل التحليلي ومقارنته مع نتائج نموذج (Hele-Shaw)، وتم استنتاج أن هناك توافقاً بين سطوح المياه المحسوبة والملاحظة من النموذج، خاصةً قرب نقطة المنتصف بين المصارف [7]. تمت دراسة مشكلة صرف الأراضي المائلة، باستخدام مصارف مكشوفة متوازية مستندة على سطح الطبقة الكتيمة، وذلك باستخدام طريقة الفروق المنتهية [8]. قارن بعض الباحثين بين نموذج نصف تحليلي يدعى SIDRA، والذي يفترض أن شكل سطح المياه الجوفية ثابت خلال فترة تخفيض سطح المياه الجوفية، ونموذج SLOP، والذي يعتمد على حل عددي لمعادلة Boussinesq؛ وأوجدوا أن نتائج النموذجين متقاربة من أجل الحالة المستقرة والمتغيرة في حالة الأراضي الأفقية. وأيضاً الحلول الضمنية للنموذج SIDRA كانت متوافقة بشكل جيد مع نموذج SLOP في حالة الأراضي المنحدرة [9]. أوجد بعض الباحثين حلاً تحليلياً لمعادلة Boussinesq الخطية، وحلواً عددية (مركزة على طرائق الفروق المنتهية، العناصر المحدودة والتحليل المنتهي المختلط) لمعادلة Boussinesq غير الخطية، لوصف هبوط سطح المياه الجوفية بين مصرفين في الأراضي الأفقية والمائلة. وقد استنتجوا أن الحل بطريقة التحليل المنتهي المختلط هو الأفضل، ثم العناصر المحدودة، ومن ثم الفروق المنتهية وبعدها الطرق التحليلية. واستنتجوا أنه يمكن استخدام أي حل عددي لحساب هبوط سطح المياه

الجوفية وأن هذه الحلول تُعدُّ أفضل من الحلول التحليلية التقريبية [10]. راقب بعض الباحثين الفرنسيين ارتفاعات سطح المياه الجوفية، ومعدلات تدفق المصارف لست سنوات، في جبال الألب الفرنسية، على أرضٍ ميلها 8% للتحقق من النموذج شبه التحليلي (SIDRA). وأوجدوا أن هناك توافقاً مقبولاً لمعدلات تدفق المصارف، وأشكال سطح المياه الجوفية بين نتائج نموذج (SIDRA)، وموقع تجربة الصرف [11]. تمت دراسة صرف الأراضي المائلة باستخدام مصارف مغطاة متساوية المسافة فيما بينها، باستخدام النظرية الهيدروديناميكية. وقد تم التوصل إلى معادلة الجهد المركب w ، جهد السرعة ϕ ، ودالة الجريان ψ ، وذلك بالاعتماد على نظرية التحويل المتطابق بمساعدة تحويل شوارتز-كرستوفل (Schwarz-Christoffel) والنظرية الانعكاسية. كما تم الاعتماد على نموذج الجريان اللزج (Hele-Shaw) لإثبات الحل الرياضي [12].

أهمية البحث وأهدافه:

يؤثر ميل سطح التربة في حركة المياه الجوفية باتجاه المصارف المغطاة، حيث تتحرك المياه الجوفية من الجهة المرتفعة لسطح التربة باتجاه الجهة المنخفضة، وهذا يؤدي إلى زيادة كمية المياه الواجب صرفها في الجهة المنخفضة لسطح التربة، وتناقص كمية المياه الواجب صرفها في الجهة المرتفعة من سطح التربة، وهذا يتطلب أن تكون المسافة بين المصارف المغطاة في الجهة المنخفضة لسطح التربة صغيرة، أما في الجهة المرتفعة من سطح التربة فتكون المسافة بين المصارف أكبر. إن الهدف الأساسي من الدراسة هو إيجاد المعادلات التي تصف حركة المياه الجوفية باتجاه المصارف المغطاة المنفذة بمسافات غير متساوية في الأراضي المختلفة الميول، وإيجاد التصريف المار من كل مصرف مغطى، وشكل السطح الحر للمياه الجوفية بين المصارف، (الشكل 1).



الشكل 1. المقطع الهندسي

طرائق البحث ومواده:

تم الاعتماد في هذه الدراسة على نظرية التحويل المتطابق (تحويل شوارتز_كريستوفل)، والنظرية الانعكاسية، حيث تم إيجاد تابع الجهد المركب (w)، جهد السرعة (ϕ)، ودالة الجريان (ψ). كما تم حساب التدفق المار في كل مصرف، ورسم السطح الحر للمياه الجوفية بين المصارف، ورسم خطوط الجريان.

النتائج والمناقشة:

1- النموذج الرياضي

تم تقسيم منطقة الدراسة إلى ثلاث مناطق كما في (الشكل 2)، المسافة بين المصارف ($S_{11}, S_{21}, \dots, S_{N1}$) في المنطقة الأولى L_1 ، وقوة تصريفها ($m_{11}, m_{21}, \dots, m_{N1}$)، وتصريفها ($q_{11}, q_{21}, \dots, q_{N1}$). المسافة بين المصارف ($S_{12}, S_{22}, \dots, S_{N2}$) في المنطقة الثانية L_2 وقوة تصريفها ($m_{12}, m_{22}, \dots, m_{N2}$)، وتصريفها ($q_{12}, q_{22}, \dots, q_{N2}$). أما في المنطقة الثالثة فالمسافة بين المصارف ($S_{13}, S_{23}, \dots, S_{N3}$) تساوي L_3 ، وقوة تصريفها ($m_{13}, m_{23}, \dots, m_{N3}$)، وتصريفها ($q_{13}, q_{23}, \dots, q_{N3}$). أما المصرف الرئيسي المكشوف فقد تم تمثيله بمصرف مغطى نصف ممثلي S_0 ، قوة تصريفه m_0 ، وتصريفه ($q = \pi m_0$). يتوضع المصرف الأول S_{11} على مسافة أفقية L_0 عن الحد الصلب BA_∞ ، وعلى مسافة شاقولية D من سطح الطبقة الكتيمة، (الشكل 2). أما السطح الحر للمياه في المصرف الرئيسي فيقع على ارتفاع D_0 من الطبقة الكتيمة.

إن أهم الفرضيات التي اعتمدت عليها هذه الدراسة يمكن تلخيصها كالآتي:

1- التربة متجانسة ومتماثلة الخواص.

2- لكل مصرف قوة تصريف مختلفة (قوة التصريف هي التدفق الداخل إلى المصرف في وحدة الزاوية المحيطة). فمثلاً من أجل مصرف يتلقى المياه من كامل محيطه ($m = q/2\pi$).

3- الضغط المطبق على سطح المياه الجوفية هو الضغط الجوي، وإهمال تأثير الصعود الشعري.

4- نفترض أن الخطوط الشاقولية BA_∞ و CD_∞ ، (الشكل 2)، هي حدود صلابة أي أن السرعة الأفقية

$$\left(u = \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0 \right) \text{ إضافة إلى اعتبار الطبقة الكتيمة حداً صلباً ومن ثم لا يوجد تدفق للمياه من خلاله، أي أن السرعة الشاقولية } \left(v = \frac{\partial \phi}{\partial y} = 0 \right)$$

5- نعتبر أن المصارف ممثلثة، ومن ثم سيكون الضغط عبارة عن ضغط جوي عند النقاط

$$(B_0, B_{11}, B_{21}, \dots, B_{N1}, B_{12}, B_{22}, \dots, B_{N2}, B_{13}, B_{23}, \dots, B_{N3}, B_H)$$

المنطقة الأولى، N_2 عدد المصارف في المنطقة الثانية، N_3 عدد المصارف في المنطقة الثالثة، (الشكل 2).

6- المسافة بين المصرف الأخير في المنطقة الثالثة والحد الصلب CD_∞ تساوي L_3 .

7- اعتبار المصرف المكشوف المجمع هو مصرف مغطى نصف ممثلي.

8- المصارف المغطاة موزعة على خط له ميل سطح التربة نفسه.

إن إحداثيات المصرف S_0 في المستوي z تعطى كما يلي:

$$z_0 = \frac{d_0}{2} + iD_0 \quad (6)$$

حيث: D_0 : عمق الطبقة الكتيمة أسفل المصرف الرئيسي المكشوف، d_0 : قطر المصرف المغطى.

بتعويض المعادلة (6) في المعادلة (5) ينتج ξ_0 للمصرف S_0 :

$$\xi_0 = -a \left[\cos \frac{\pi d_0}{2L_t} \cosh \frac{\pi D_0}{L_t} - i \sin \frac{\pi d_0}{2L_t} \sinh \frac{\pi D_0}{L_t} \right] \quad (7)$$

اعتماداً على النظرية الانعكاسية (التخليية)، حيث تم اعتبار الطبقة الكتيمة كمرآة، كما في (الشكل II-3)، فإن

إحداثيات المصرف التخليي S'_0 في المستوي z :

$$z'_0 = \frac{d_0}{2} - iD_0 \quad (8)$$

بتعويض المعادلة (8) في المعادلة (5) ينتج ξ'_0 للمصرف S'_0 :

$$\xi'_0 = -a \left[\cos \frac{\pi d_0}{2L_t} \cosh \frac{\pi D_0}{L_t} + i \sin \frac{\pi d_0}{2L_t} \sinh \frac{\pi D_0}{L_t} \right] \quad (9)$$

إن تابع الجهد المركب للمصرف، والمصرف التخليي يمكن كتابته بالشكل العام:

$$w = m \left[\ln(\xi - \xi_d) + \ln(\xi - \xi'_d) \right] \quad (10)$$

حيث:

m : قوة التصريف.

ξ_d : تمثل كلاً من $\xi_{01}, \xi_{11}, \xi_{21}, \dots, \xi_{N3}$ للمصارف.

ξ'_d : تمثل كلاً من $\xi'_{01}, \xi'_{11}, \xi'_{21}, \dots, \xi'_{N3}$ للمصارف.

إن تابع الجهد المركب للمصرف S_0 والمصرف التخليي S'_0 يعطى بالمعادلة الآتية:

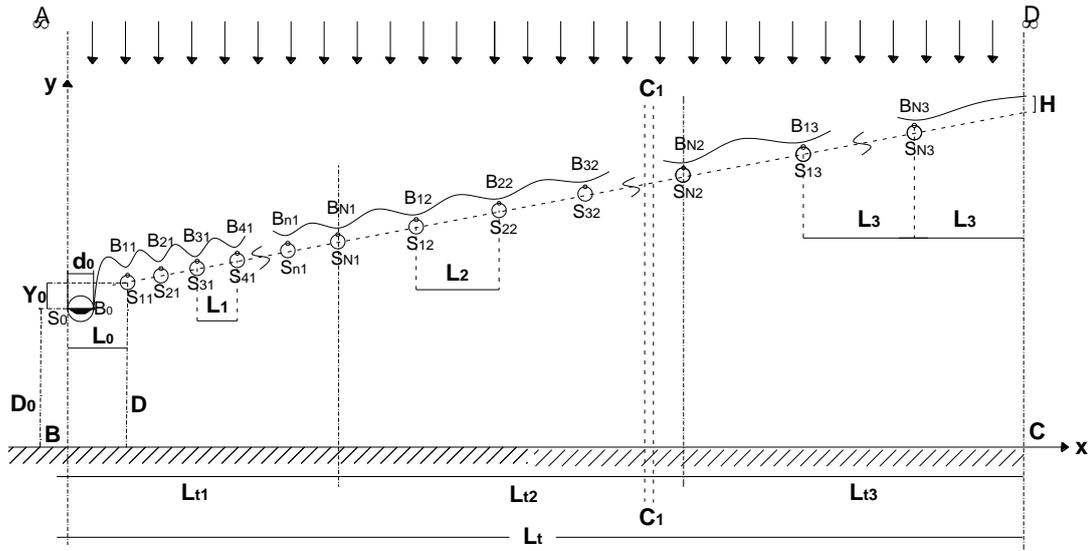
$$w_0 = m_0 \left[\ln(\xi - \xi_0) + \ln(\xi - \xi'_0) \right] \quad (11)$$

$$w_0 = m_0 \left[\ln \left(-a \cos \frac{\pi z}{L_t} + a \cos \frac{\pi(d_0/2 + iD_0)}{L_t} \right) + \ln \left(-a \cos \frac{\pi z}{L_t} + a \cos \frac{\pi(d_0/2 - iD_0)}{L_t} \right) \right] \quad (12)$$

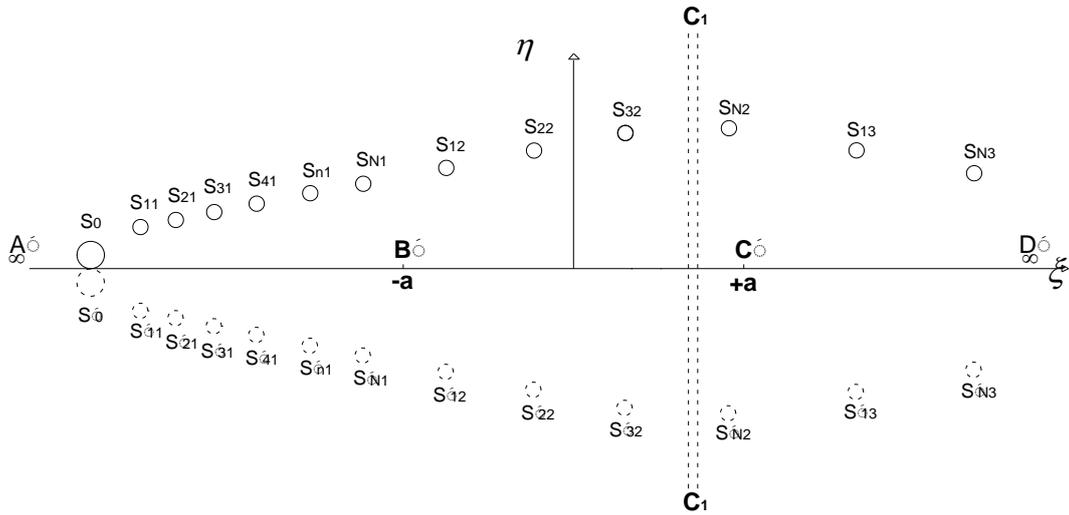
حيث:

m_0 : قوة التصريف للمصرف S_0 .

بتعويض $z = x + iy$ في المعادلة (12) يعطى:



الشكل 3-I. المستوى z



الشكل 3-II. المستوى ζ

$$w_0 = m_0 \ln \left\{ a \left[\begin{aligned} & \left(\cos \frac{\pi d_0}{2L_t} \cosh \frac{\pi D_0}{L_t} - \cos \frac{\pi x}{L_t} \cosh \frac{\pi y}{L_t} \right) \\ & + i \left(\sin \frac{\pi x}{L_t} \sinh \frac{\pi y}{L_t} - \sin \frac{\pi d_0}{2L_t} \sinh \frac{\pi D_0}{L_t} \right) \end{aligned} \right] \right\} \quad (13)$$

$$+ m_0 \ln \left\{ a \left[\begin{aligned} & \left(\cos \frac{\pi d_0}{2L_t} \cosh \frac{\pi D_0}{L_t} - \cos \frac{\pi x}{L_t} \cosh \frac{\pi y}{L_t} \right) \\ & + i \left(\sin \frac{\pi x}{L_t} \sinh \frac{\pi y}{L_t} + \sin \frac{\pi d_0}{2L_t} \sinh \frac{\pi D_0}{L_t} \right) \end{aligned} \right] \right\}$$

بإتباع الأسلوب نفسه يتم إيجاد تابع الجهد المركب لبقية المصارف، ومن ثمَّ فإنَّ معادلة الجهد المركب لكامل المنطقة تعطى بالمعادلة الآتية:

$$w = w_0 + w_{11} + w_{21} + \dots + w_{N1} + w_{12} + w_{22} + \dots + w_{N2} + w_{13} + w_{23} + \dots + w_{N3} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} w = & m_0 \{ \ln \{ a[(A-U) + i(V-B)] \} + \ln \{ a[(A-U) + i(V+B)] \} \} \\ & + \sum_{I=1}^{N_1} m_I \{ \ln \{ a[(E-U) + i(V-F)] \} + \ln \{ a[(E-U) + i(V+F)] \} \} \\ & + \sum_{J=1}^{N_2} m_J \{ \ln \{ a[(G-U) + i(V-P)] \} + \ln \{ a[(G-U) + i(V+P)] \} \} \\ & + \sum_{K=1}^{N_3} m_K \{ \ln \{ a[(R-U) + i(V-Z)] \} + \ln \{ a[(R-U) + i(V+Z)] \} \} \end{aligned} \quad (15)$$

حيث:

$$\begin{aligned} A = & \left[\cos \frac{\pi d_0}{2L_t} \cosh \frac{\pi D_0}{L_t} \right], \quad B = \left[\sin \frac{\pi d_0}{2L_t} \sinh \frac{\pi D_0}{L_t} \right], \quad U = \cos \frac{\pi x}{L_t} \cosh \frac{\pi y}{L_t}, \quad V = \sin \frac{\pi x}{L_t} \sinh \frac{\pi y}{L_t} \\ E = & \left[\cos \frac{\pi(L_0 + (I-1)L_1)}{L_t} \cosh \frac{\pi(D + (I-1)s_1 L_1)}{L_t} \right] \\ F = & \left[\sin \frac{\pi(L_0 + (I-1)L_1)}{L_t} \sinh \frac{\pi(D + (I-1)s_1 L_1)}{L_t} \right] \\ G = & \left[\cos \frac{\pi(L_{11} + JL_2)}{L_t} \cosh \frac{\pi(D + (N_1 - 1)s_1 L_1 + Js_2 L_2)}{L_t} \right] \\ P = & \left[\sin \frac{\pi(L_{11} + JL_2)}{L_t} \sinh \frac{\pi(D + (N_1 - 1)s_1 L_1 + Js_2 L_2)}{L_t} \right] \\ R = & \left[\cos \frac{\pi(L_{11} + L_{12} + KL_3)}{L_t} \cosh \frac{\pi(D + (N_1 - 1)s_1 L_1 + s_2 L_{12} + Ks_3 L_3)}{L_t} \right] \\ Z = & \left[\sin \frac{\pi(L_{11} + L_{12} + KL_3)}{L_t} \sinh \frac{\pi(D + (N_1 - 1)s_1 L_1 + s_2 L_{12} + Ks_3 L_3)}{L_t} \right] \end{aligned}$$

حيث: I : تعبر عن رقم المصرف في المنطقة الأولى ($I=1,2,3,\dots,N_1$). J : تعبر عن رقم المصرف في المنطقة الثانية ($J=1,2,3,\dots,N_2$). K : تعبر عن رقم المصرف في المنطقة الثالثة ($K=1,2,3,\dots,N_3$). L_{11} : طول المنطقة الأولى ($L_{11} = L_0 + (N_1 - 1) * L_1$). L_{12} : طول المنطقة الثانية ($L_{12} = L_0 + (N_1 - 1) * L_1 + N_2 * L_2$). L_{13} : طول المنطقة الثالثة ($L_{13} = L_0 + (N_1 - 1) * L_1 + N_2 * L_2 + N_3 * L_3$). s_1 : ميل الأرض في المنطقة الأولى. s_2 : ميل الأرض في المنطقة الثانية. s_3 : ميل الأرض في المنطقة الثالثة.

3- جهد السرعة ودالة الجريان

إن تابع الجهد المركب هو عبارة عن جزئين، الجزء الأول حقيقي يمثل جهد السرعة ϕ ، والجزء الثاني تخيلي يمثل دالة الجريان ψ ، ويعطى بالمعادلة التالية:

$$w = \phi + i\psi \quad (16)$$

$$\phi = \ln \sqrt{x^2 + y^2} \quad \text{جهد السرعة}$$

$$\psi = \tan^{-1} \frac{y}{x} \quad \text{دالة الجريان}$$

3-1 جهد السرعة (ϕ)

إن جهد السرعة للمسألة المدروسة يعطى بالمعادلة الآتية:

$$\phi = \phi_0 + \phi_{11} + \phi_{21} + \dots + \phi_{N1} + \phi_{12} + \phi_{22} + \dots + \phi_{N2} + \phi_{13} + \phi_{23} + \dots + \phi_{N3} + C \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \phi = & \frac{m_0}{2} \left\{ \ln[(A-U)^2 + (V-B)^2] + \ln[(A-U)^2 + (V+B)^2] \right\} \\ & + \sum_{I=1}^{N_1} \frac{m_I}{2} \left\{ \ln[(E-U)^2 + (V-F)^2] + \ln[(E-U)^2 + (V+F)^2] \right\} \\ & + \sum_{J=1}^{N_2} \frac{m_J}{2} \left\{ \ln[(G-U)^2 + (V-P)^2] + \ln[(G-U)^2 + (V+P)^2] \right\} \\ & + \sum_{K=1}^{N_3} \frac{m_K}{2} \left\{ \ln[(R-U)^2 + (V-Z)^2] + \ln[(R-U)^2 + (V+Z)^2] \right\} + C \end{aligned} \quad (18)$$

C : ثابت حقيقي.

3-2 دالة الجريان (ψ)

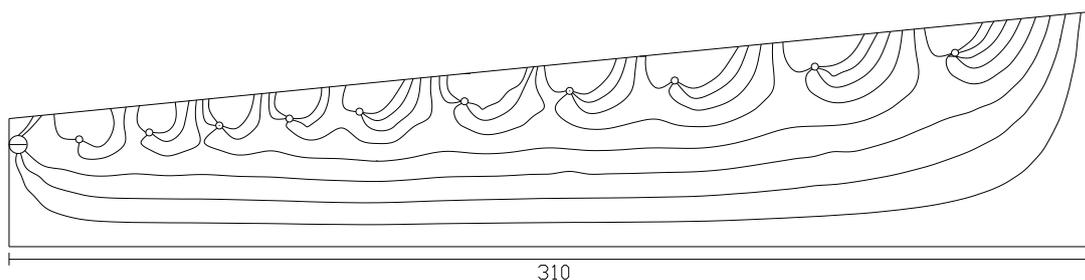
تعطى دالة الجريان (ψ) للمسألة المدروسة بالمعادلة الآتية:

$$\psi = \psi_0 + \psi_{11} + \psi_{21} + \dots + \psi_{N1} + \psi_{12} + \psi_{22} + \dots + \psi_{N2} + \psi_{13} + \psi_{23} + \dots + \psi_{N3} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \psi = & m_0 \left\{ \tan^{-1} \left[\frac{(V-B)}{(A-U)} \right] + \tan^{-1} \left[\frac{(V+B)}{(A-U)} \right] \right\} + \sum_{I=1}^{N_1} m_I \left\{ \tan^{-1} \left[\frac{(V-F)}{(E-U)} \right] + \tan^{-1} \left[\frac{(V+F)}{(E-U)} \right] \right\} \\ & + \sum_{J=1}^{N_2} m_J \left\{ \tan^{-1} \left[\frac{(V-P)}{(G-U)} \right] + \tan^{-1} \left[\frac{(V+P)}{(G-U)} \right] \right\} \\ & + \sum_{K=1}^{N_3} m_K \left\{ \tan^{-1} \left[\frac{(V-Z)}{(R-U)} \right] + \tan^{-1} \left[\frac{(V+Z)}{(R-U)} \right] \right\} \end{aligned} \quad (20)$$

بالاعتماد على معادلة دالة الجريان، تم رسم خطوط الجريان، كما في (الشكل 4)، وفقاً للمعطيات التالي:

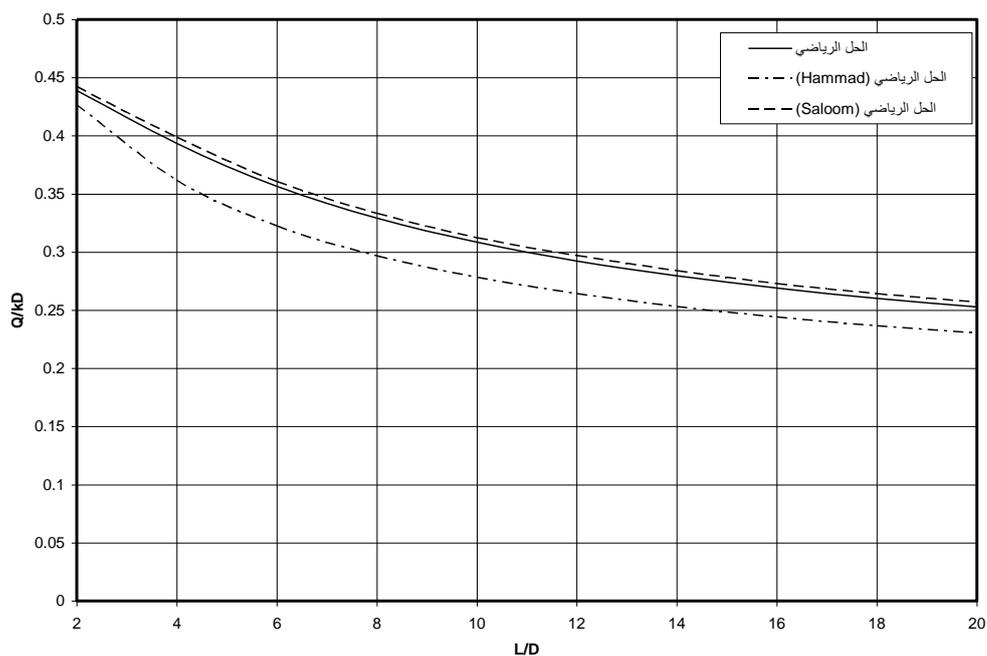
$$\left(s = 0.1, L_1 = 310cm, L_2 = 20cm, L_3 = 30cm, L_4 = 40cm, L_0 = 20cm, N_1 = 5, N_2 = 3, N_3 = 2, \right. \\ \left. H = 4cm, D = 31cm, D_0 = 29.5cm, d = 1cm, d_0 = 5.2cm, Y = 1.5cm, k = 0.476cm/sec \right)$$



الشكل 4. خطوط الجريان

4- التحقق من النموذج الرياضي

إن النموذج الرياضي المستنتج في هذه الدراسة، يصف حركة المياه الجوفية باتجاه المصارف المغطاة في الأراضي المختلفة الميول. يمكن استخدام هذا النموذج الرياضي لدراسة الصرف في حالة الأرض الأفقية $s_1 = s_2 = s_3 = 0$ والمسافة بين المصارف المغطاة متساوية. للتحقق من النموذج الرياضي، وذلك في حالة الأرض الأفقية، والمسافات بين المصارف متساوية، تم مقارنة النموذج الرياضي المستنتج مع الحل الرياضي من [12] Saloom، والحل الرياضي من [13] Hammad. يبين (الشكل 5) دراسة المقارنة بين نتائج النموذج الرياضي ونتائج Saloom، و Hammad، وذلك من أجل التدفق النسبي للمصرف المغطى Q/kD .



الشكل 5. التحقق من النموذج الرياضي

$$(s = 0, H/D = 0.3, k = 0.2m/day \dots d/D = 0.04)$$

نلاحظ من (الشكل 5) أن الحل الرياضي المستنتج متوافق تماماً مع الحل الرياضي لـ Saloom، في حين نلاحظ اختلافاً بسيطاً مع الحل الرياضي لـ Hammad، حيث بلغت نسبة الاختلاف حوالي 10.95%.

5- تصميم نظام الصرف

بالاعتماد على المعادلة العامة لجهد السرعة (ϕ) لنظام الصرف المغطى في الأراضي المائلة، تم إيجاد التصريف المار في كل مصرف مغطى ($q_{11}, q_{21}, \dots, q_{N3}$)، وتدفق المصرف الرئيسي المكشوف (q_0)، والضغوط الأعظم للسطح الحر للمياه الجوفية بين مصرفين متتاليين (H_f). إن جهد السرعة في نقطة معينة من منطقة جريان المياه الجوفية، له علاقة بنفاذية التربة (k)، والضغط المطبق عند تلك النقطة (p)، وكثافة الماء (ρ)، وتسارع الجاذبية الأرضية (g)، وموقع النقطة بالنسبة لمستوى مرجعي (y). ويُعبر عن معادلة جهد السرعة بالمعادلة الآتية:

$$\phi = k \left(\frac{p}{\rho g} + y \right) \quad (21)$$

إن الشروط الحدية عند النقاط ($B_0, B_{11}, B_{21}, \dots, B_{N1}, B_{12}, B_{22}, \dots, B_{N2}, B_{13}, B_{23}, \dots, B_{N3}, B_H$) هي الضغط المطبق عند هذه النقاط يساوي الصفر ($p=0$)، وموقع النقطة (y) يساوي إلى ارتفاع النقطة عن سطح الطبقة الكتيمة. بتعويض هذه الشروط الحدية وإحداثيات هذه النقاط (x, y) في المعادلة (18)، يتم الحصول على مجموعة من المعادلات، بحل هذه المعادلات يتم الحصول على قوة كل مصرف، والثابت الحقيقي (C). لإيجاد التصريف المار في كل مصرف مغطى ($q_{11}, q_{21}, \dots, q_{N3}$)، وتدفق المصرف الرئيسي المكشوف (q_0)، والضغوط الأعظم للسطح الحر للمياه الجوفية بين مصرفين متتاليين (H_f)، حيث تم إعداد برنامج حاسب آلي باستخدام تقنية MATLAB 5.3 لحل هذه المسألة.

مثال عددي:

بفرض أرض زراعية طولها الكلي $L_t = 480m$ ، ميلها الطولي 0.5%، ومقنن الصرف $q = 0.001m/day$ ، وعمق توضع المصارف $T = 2m$ ، والضغوط المسموح لسطح المياه بين مصرفين متتاليين $H_{fall} = 0.8m$ ، الضغوط في أعلى المنطقة $H = 0.5m$ ، عمق الطبقة الكتيمة أسفل المصرف الأول $D = 10m$ ، فرق الارتفاع بين المصرف المكشوف والمصرف الأول $Y_0 = 0.5m$ ، القطر المكافئ للمصرف المكشوف $d_0 = 1m$ ، قطر المصارف المغطاة $d = 0.1m$ ، معامل نفاذية التربة $K = 0.1m/day$. المطلوب: تصميم شبكة صرف مغطاة.

يجب أن يحقق نظام الصرف الشرطين التاليين: $H_f \leq H_{fa} - 1$ ، $Q_t \geq Q_{ta} - 2$.

حيث:

$$Q_{ta} = q_r L_t \quad (22)$$

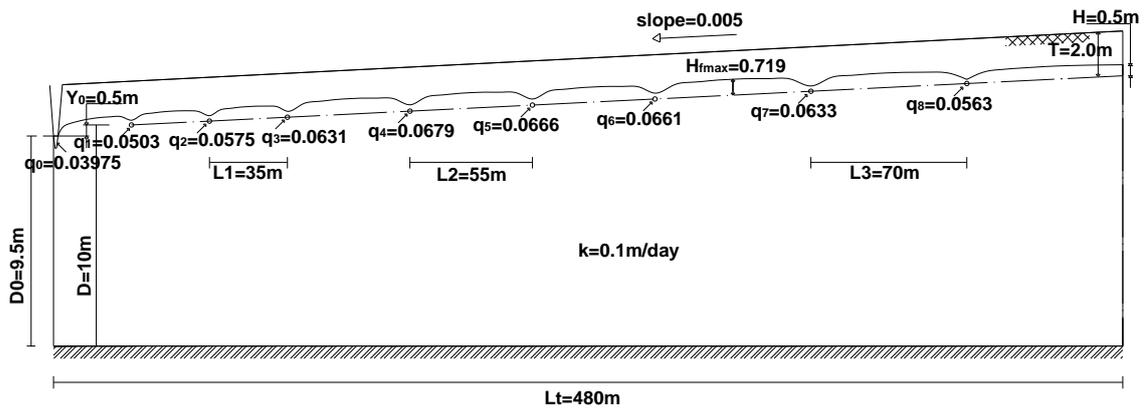
$$Q_t = q_0 + \sum_{I=1}^{N1} q_I + \sum_{J=1}^{N2} q_J + \sum_{K=1}^{N3} q_K \quad (23)$$

حيث q_r : مقنن الصرف، L_t : طول المنطقة المصرفة.

Q_t : التصريف الكلي المار من المصارف المغطاة، والمصرف الرئيسي المكشوف.

- الحالة الأولى: تصميم شبكة من المصارف المغطاة المنفذة بمسافات متساوية:

يتم الحل بفرض قيمة للمسافة بين المصارف (L)، وحساب ($q_{11}, q_{21}, \dots, q_{N3}$)، و (q_0)، و (H_f)، و (Q_t). إذا كانت شروط نظام الصرف غير محققة فإن المسافة بين المصارف المفروضة غير صحيحة، في هذه



الشكل 7. سطح المياه الجوفية بين المصارف وقيم q_n, q_0, H_f من أجل المصارف المنفذة بمسافات غير متساوية

$$Q_i = 0.4911m^3 / d / \bar{m} > Q_{ia} = 0.48m^3 / d / \bar{m}, Hf_{max} = 0.719m < Hf_{all} = 0.8m$$

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- تبين خطوط الجريان أن الشروط الحدية المفروضة في المسألة محققة.
- 2- إن استخدام شبكة مصارف مغطاة منفذة بمسافات غير متساوية في الأراضي المائلة بدلاً من شبكة مصارف مغطاة منفذة بمسافات متساوية يؤدي إلى التقليل من عدد المصارف، ومن ثمّ التوفير في الكلفة الإجمالية لتنفيذ شبكة الصرف.
- 3- نلاحظ من خلال هذه الدراسة، أن إدخال تأثير الميل يؤدي إلى تخفيض عدد المصارف من ثمّ تخفيض كلفة المشروع، لذلك نوصي بعدم إهمال ميل سطح التربة عند تصميم شبكات الصرف المغطى.

المراجع:

- [1] BOUWER, H. *Tile Drainage of Sloping Fields*. Agricultural Engineering. Vol. 36, No. 6, June, 1955, 400-403.
- [2] GUITJENS, J. C.; and LUTHIN, J. N. *Viscous model Study OF Drain Spacing on Sloping Land and Comparison with Mathematical Solution*. Water Resources Research, Vol. 1, No. 4, 1965, 523-530.
- [3] LUTHIN, J. N.; and GUITJENS, J. C. *Transient Solution for Drainage of Sloping Land*. Journal of the Irrigation and Drainage Division, Proc. ASCE, Vol. 93, No. IR3, September, 1967, 43-51.
- [4] CHAUHAN, H. S.; SCHWAB, G. O.; and HAMDY, M. Y. *Analytical and Computer Solution of Transient Water Tables for Drainage of Sloping Land*. Water Resources Research, Vol. 4, No. 3, 1968, 573-579.
- [5] CHILDS, E. C. *Drainage of Groundwater Resting on Sloping Bed*. Water Resources Research, Vol. 7, No. 5, October, 1971, 1256-1263.
- [6] TOWNER, G. D. *Drainage of Groundwater Resting on Sloping Bed with Uniform Rainfall*. Water Resources Research, Vol. 11, No. 1, February, 1975, 144-147.

- [7] SEWA, R.; and CHAUHAN, H. S. *Analytical and Experimental Solution for Drainage of Sloping Lands with Time – Varying Recharge*. Water Resources Research, Vol. 23, No. 6, June, 1987, 1090-1096.
- [8] SHUKLA, K. N.; CHAUHAN, H. S.; and SRIVASTAVA, V. K. *Finite Difference Solution of Bossinesq Unsteady – State Equation for Highly Sloping Lands*. Journal of the Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 1, February, 1990. 107-113.
- [9] LORRE, E.; LESAFFRE, B.; and SKAGGS, R. W. *Comparison of Models for Subsurface Drainage in Flat and Sloping Lands*. Journal of the Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, Vol. 120, No. 2, March/April, 1994, 266-277.
- [10] UPADHYAYA, A.; and CHAUHAN, H. S. *Falling Water Tables in Horizontal / Sloping Aquifer*. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, Vol. 127, No. 6, December, 2001, 378-384.
- [11] HARTANI, T.; ZIMMER, D.; and LESAFFRE, B. *Drainage of Sloping Lands with Variable Recharge Model Validation and Applications*. Journal of the Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, Vol. 129, No. 4, July/August, 2003, 284-290.
- [12] SALOOM, M. S. *Water Movement Towards Pipe Drains in Sloping Lands*, Ph.D. Thesis Presented to Faculty of Engineering, Tanta University, Egypt, 2004, 290.
- [13] HAMMAD, H. Y. *A Hydrodynamic Theory of Water Movement towards Covered Drains with Application to Some Field Problems*. Alexandria University Press, Alexandria, Egypt, 1957, 112.
- [14] HARR, M. E. *Groundwater and Seepage*, McGraw-Hill Book Company, Inc. New Yourk, 1962, 313.