

تحديد تدفق آبار الصرف ومسافة النضح بالعلاقة مع تغيرات معامل النفوذية ومقارنتها بنتائج معادلة Dupuit

مروان الحاج حسين* (1)

(1). قسم الهندسة الريفية، كلية الزراعة، جامعة حلب، حلب، سورية.
(للمراسلة: د. مروان الحاج حسين. البريد الإلكتروني: marwanhaj1958@yahoo.com).

تاريخ القبول: 2020/06/09

تاريخ الاستلام: 2020/05/11

الملخص

تم تنفيذ البحث في مخبر أبحاث الري والصرف بقسم الهندسة الريفية، كلية الزراعة، جامعة حلب، وذلك بهدف مقارنة التدفق المقاس مع المحسوب للآبار الماصة من خلال تصميم نموذج صندوقي يحقق الأهداف المطلوبة. بينت النتائج بأن استخدام معامل النفوذية تبعاً لدارسي في علاقة Dupuit غير مناسبة، حيث كان التدفق المحسوب أقل من المقاس وتراوح الاختلاف من 24.0 – 29.3% من كمية التدفق المقاس، لذلك تم دراسة تغيرات معامل النفوذية حسب حركة الماء نحو الآبار من خلال تتبع منسوب الماء الأرضي في أنابيب المراقبة والبيزومتري، وأكدت الدراسة أن قيم النفوذية الناتجة عن مسافة النضح أكثر تطابقاً مع الدراسات النظرية مقارنة مع النتائج التي تعتمد على منسوب الماء في البئر، وتراوحت النفوذية بالمتوسط لحالة منسوب الماء في البئر K_{ber1} من 0.018 – 0.015 سم/د في حين كانت النفوذية اعتماداً على مسافة النضح K_{ber2} في المواقع البعيدة عن محور البئر بحدود 0.029 سم/د أما في الموقع القريب منه فكانت 0.047 سم/د، كما بينت الدراسة تقارب جيد بين التدفق المقاس مع المحسوب حسب القيم المتوسطة لمعامل النفوذية K_{ber1} وبنسب اختلاف بسيطة إذا ما قورنت مع K_{ber2} ، ومنه يمكن الاعتماد على النتائج التي تم التوصل إليها لتقدير تدفق الآبار الماصة لمثل هذه الترب.

الكلمات المفتاحية: الصرف الزراعي، منسوب الماء الأرضي، آبار الصرف، النفوذية.

المقدمة:

يخضع الماء في التربة والذي يعتبر أحد المكونات الأساسية للتربة إلى جانب الجزء الصلب والغازي لقوى الترابط والتجاذب بين جزيئاته من جهة وقوى الجذب مع الجزء الصلب من جهة أخرى عند ظروف السعة الحقلية، وهذه القوى هي التي تحدد قدرة التربة بالاحتفاظ بالماء وقدرة الماء على الحركة ضمن التربة من خلال مساماتها، ونادراً ما يوجد الماء في التربة بحالة اتزان واستقرار وإنما في حالة ديناميكية مستمرة نتيجة عوامل الإضافة والفقد، مما يؤدي إلى حركة للماء الأرضي من منطقة إلى أخرى تحت تأثير قوى مختلفة من أهمها تأثير الجاذبية الأرضية والجهد الشعري (Dörter, 1986 ; Katzenbach, 2013)، وعلى الرغم من أهمية المياه الجوفية في

تحسين الموارد الاقتصادية المختلفة، إلا أنها يمكن أن تلعب دوراً سلبياً عليها وخاصة عندما يرتفع منسوب الماء الأرضي ليصبح قريب من سطح التربة في منطقة انتشار الجذور مما يؤدي إلى تغدق التربة (Widmoser, 1976). يعتبر غدق التربة أو ارتفاع منسوب الماء الأرضي فيها مشكلة كبيرة في المناطق الرطبة والجافة، لما له من آثار سلبية وخاصة على التربة والنبات، حيث أن ارتفاعه في المنطقة القريبة من سطح التربة في المناطق الجافة سوف يؤدي إلى تملح التربة، نتيجة حركة الماء الأرضي من خلال مسام التربة تحت تأثير الخاصة الشعرية نحو سطح الترب، مما يؤثر سلباً في التربة وخصائصها وفي نمو النبات وخاصة تلك الحساسة منها للأملاح (Raine *et al.*, 2005 ; Jasinski.,2010 ; الشيخ، 2012)، كما أن غدق التربة يلعب دوراً سلبياً في خصوبة التربة، مما يجعل خصوبتها منخفضة مقارنةً مع الترب ذات الصرف الجيد، نتيجة نشاط البكتريا اللاهوائية التي تعمل على اختزال العناصر السمادية مما يجعلها غير مفيدة للنبات، كما يؤثر الغدق على حرارة التربة ونسبة هواء فيها والتي يفضل أن تصل هذه النسبة إلى 25% من فراغات التربة ومساميتها لتأمين الظروف المناسبة لنمو النبات وتحسين بناء التربة (Patzel *et al.*, 1999).

للصرف دوراً هاماً وفعالاً ليس فقط في خفض مستوى الماء الأرضي إلى العمق المناسب لنمو الجذور وإنما في تحقيق مزايا عديدة أخرى من أهمها تحقيق التوازن الملحي في قطاع التربة وتحسين خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية، وبالتالي تأمين البيئة المناسبة لنمو جذور النبات وانتشاره أفقياً وعمودياً ضمن قطاع التربة (Feddes, 1988)، ومن أهم وسائل الصرف المستخدمة على المستوى العالمي لتحقيق الأغراض المنشودة هي الصرف المكشوف باستخدام الأقنية والمغطى باستخدام الأنابيب البلاستيكية والفخارية بالإضافة إلى الأنفاق الدهليزية، كما تم استخدام الصرف العمودي (الشاقولي) باستخدام الآبار، إلا أن استخدامه كان على نطاق ضيق لأنه اعتمد في تصريف المياه الزائدة في قطاع التربة على المضخات، والتي تحتاج إلى مصدر للطاقة (الكهرباء أو النفط) وهذا ما جعل التكاليف مرتفعة إن توفرت، مما أدى إلى قلة الاهتمام بهذه الطريقة من الصرف، كما أن استخدام أي طريقة للصرف تتطلب دراسة مستفيضة للموقع لمعرفة أسباب زيادة المحتوى الرطوبي في التربة وارتفاع منسوب الماء الأرضي فيها، وخاصة عند استخدام الصرف العمودي حيث يحتاج إلى دراسة جيولوجية للمنطقة وتتبع أفاق التربة.

عند دراسة أسباب ارتفاع منسوب الماء الأرضي نجد من أهم الأسباب هو تشكل طبقة كتيمة قريبة من سطح التربة نتيجة لعوامل عديدة من أهمها حركة عناصر التربة وخاصة الطين مع تيار الماء الأرضي نتيجة الري الزائد في المناطق الجافة وتشكيل الأفق الطيني، أو نتيجة ترسب كربونات الكالسيوم وأكاسيد الحديد والألمنيوم على أعماق ليست بعيدة من سطح التربة، مما يجعل نفاذية التربة في مكان الترسيب منخفضة جداً إلى معدومة (الضرير والحاج حسين، 2008)، وبالتالي فإن معرفة أسباب تشكلها وأماكن تموضعها ذات أهمية في التخلص من الماء الزائد في التربة وخفض منسوب الماء الأرضي، حيث يمكن بوسائل بسيطة استبعاد أثر هذه الآفاق المتشكلة، من خلال ثقبها أو كسرها بطرق ميكانيكية ذات كلفة مقبولة تؤمن استمرارية حركة الماء نحو أعماق التربة، شريطة توفر أفق أو عمق يمكن أن يستوعب هذه المياه (وهذا ما يسمى بالآبار الماصة).

تعتبر دراسة حركة الماء في المنطقة المشبعة ضمن الطبقات المائية الحرة، والذي هو محور هذا البحث، ذات أهمية كبيرة في مجالات عديدة من أهمها الري والصرف واستصلاح الأراضي (الضرير والحاج حسين، 2008)، وقد أهتم الباحثون في هذه الحركة لتحقيق

فعالية جيدة لطرق الصرف المختلفة واستصلاح الأراضي ولمعرفة تزويد الآبار بالماء عند استخدام عملية الضخ لتأمين ماء الري للمحاصيل (Dörter, 1986).

تتم حركة الماء الأرضي في الطبقة الحاوية على الماء الأرضي والحررة نتيجة لاختلاف الضغط والذي يتم نتيجة لأسباب متعددة إما لوجود تصدع في الطبقة الكتيمة في نقطة ما، أو من خلال حركته نتيجة لوجود المصارف بكافة أنواعها أو عملية الضخ من الآبار، مما تؤدي إلى انخفاض مستوى الماء فيها وتوليد تغييراً في الضغط، حيث يصبح الضغط منخفضاً عندها مما يؤدي إلى حركة الماء الأرضي من المناطق المحيطة باتجاه الآبار أو وسائل الصرف المختلفة، وهذا ينعكس على مستوى الماء الأرضي فيها وعلى انحداره. كان الاهتمام في حركة الماء الأرضي كبيراً لدى العديد من الباحثين (Elhakmi, 2016) ومنهم العالم Darcy الذي أوضح من خلال دراساته بأن الذي يتحكم في حركة الماء ضمن التربة المشبعة هو نفاذيتها (K)، وتتعلق قيمها بخصائص التربة ومنها عدد وحجم وشكل مسام التربة وكذلك استمراريته، وبالتالي فإن قوام التربة وبنائها يلعب دوراً كبيراً في مقدارها، واستطاع دارسي عام 1856 من خلال تجربته أن يعطي علاقة بسيطة حول حركة الماء في التربة المشبعة (المعادلة رقم 3) معتمداً على العلاقة (1 و 2) التالية (Dörter, 1986 ; الضرير والحاج حسين، 2008 ; Grubinger, 1967):

$$Q = V \cdot A \quad (1)$$

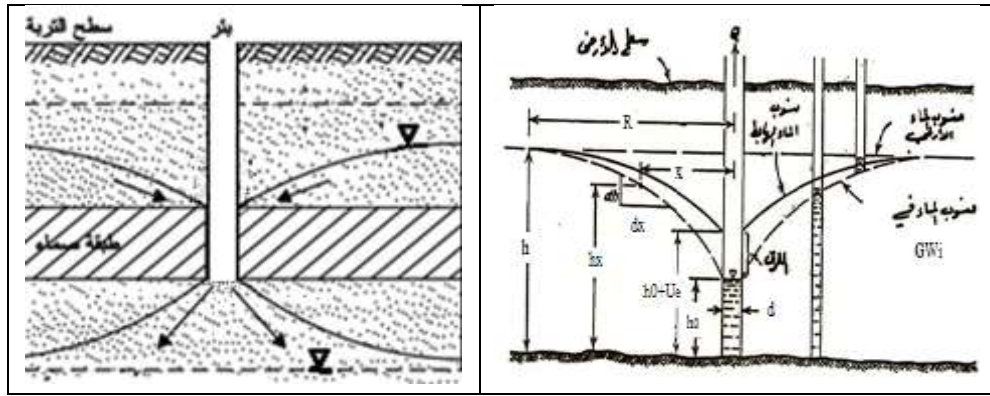
$$Q = V \cdot A = K \cdot I \cdot A \quad (2)$$

$$K = \frac{Q}{I \cdot A} = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h} \quad (3)$$

حيث:

التدفق	Q:	m ³ /s
سرعة الجريان	V:	m/s
مساحة المقطع الذي يتحرك فيه الماء	A:	m ²
التدرج الهيدروليكي	I:	m
معامل النفاذية	K:	m/s
فرق الضغط	h:	m
طول المقطع الذي يتحرك فيه الماء	L:	m

اعتماداً على قانون دارسي لحركة الماء الأرضي في التربة المشبعة (المعادلة رقم 3)، وضع العالم Dupuit علاقة لتدفق الماء في البئر حسب الفرق الهيدروليكي لمنحني مستوى الماء الأرضي المتجه نحو بئر في تربة متجانسة وذات سرعة تدفق ثابتة، حيث توصل إلى علاقة رياضية، أمكنه من خلالها تحديد التدفق لبئر تام في طبقة حاضنة حرة، ولكن هذه العلاقة أخذت بعين الاعتبار أن منسوب الماء الأرضي على اتصال مباشر مع منسوب الماء في البئر (Harpreet, ; Phoolendra and Kristopher, 2013).
(Guerin et al., 2014 ; Morgenstern and Börner, 2008 ; Jianchao, 2019) كما في الشكل (1).



الشكل (1) حركة الماء نحو الآبار حسب علاقة Dupuit، والآبار الماصة

حسب العلاقة رقم (1) فإن تحديد التدفق يتطلب تحديد مساحة المقطع (A) والميل الهيدروليكي (I) لأي نقطة من سطح الماء الأرضي المنحني باتجاه البئر، وبما إن الماء يتدفق من كافة الاتجاهات إلى البئر فان مساحة هذا المقطع (A) هو عبارة مساحة جدار أسطوانة نصف قطرها X وارتفاعها Y حيث أن (X,Y) إحداثيات أي نقطة من سطح الماء الأرضي، حيث تختلف Y كلما ابتعدنا أو اقتربنا من محور البئر (محور الإحداثيات) إلى النقطة التي يبدأ عندها مستوى الماء الأرضي بالانحناء (نقطة تأثير الضخ، أو الصرف)، وبالتالي يمكن تحديد المساحة من العلاقة التالية (4):

$$A = 2\pi \cdot X \cdot Y \quad (4)$$

$$Q = K \cdot I \cdot A$$

$$Q = K \cdot I \cdot 2\pi \cdot X \cdot Y$$

$$I = \frac{dY}{dX} \quad \text{وبما أن الميل لأي نقطة تعطى بالعلاقة:}$$

$$Q = K * \frac{\partial Y}{\partial X} * 2\pi * X * Y$$

وبالتالي تصبح علاقة التدفق:

$$2Y * dy = \frac{Q}{\pi * K * X} * dx \quad (5)$$

وينكامل المعادلة التفاضلية (5)

$$\int_1^2 2 * y * \partial Y = \int_1^2 \frac{Q}{\pi * K * X} * \partial x \quad (6)$$

يتم الحصول على العلاقة التالية:

$$Y_1^2 - Y_2^2 = \frac{Q}{\pi * K} \ln\left(\frac{X_2}{X_1}\right) \quad (7)$$

وبفرض:

X_1 : إحداثيات نقطة لمنسوب الماء الأرضي قريبة من محور البئر. m

$Y_1 = h_0$: ترتيب النقطة القريبة من محور البئر (أو منسوب الماء في البئر). m

$X_2 = R$: إحداثيات نقطة لمنسوب الماء الأرضي بعيدة عن محور البئر. m

$Y_2=h$ ترتيب نقطة لمنسوب الماء الأرضي بعيدة عن محور البئر. m
:r نصف قطر البئر m

$$h^2 - h_0^2 = \frac{Q}{\pi * K} \ln\left(\frac{R}{r}\right) \quad (8) \quad \text{فتصبح المعادلة:}$$

ومنه معادلة التدفق (9) التي تسمى باسم الباحث Dupuit لتقدير تدفق الآبار في الطبقة الحاضنة (الحاوية على الماء الأرضي) الحرة:

$$Q = \frac{\pi * K * (h^2 - h_0^2)}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} \quad (9)$$

دلت التجارب الحقلية بأنه من الصعوبة تحديد النقطة التي يلتقي فيها منسوب الماء الأرضي مع جدار البئر على الرغم من أهميتها في تتبع منسوب الماء الأرضي. كما بينت الدراسات بأنه لا يمكن الاعتماد على أنابيب المراقبة القريبة من جدار البئر لتقديرها (Katzenbach, 2013)، لذا لابد من إجراء التجارب المخبرية والحقلية لتحديد حركتها حسب الشروط الطبيعية للموقع. إن إمكانية استخدام الآبار الماصة كإحدى طرق الصرف بهدف التخلص من الماء الزائد عن السعة الحقلية وتأمين عمق صرف مناسب للمحاصيل، تعتبر ذات أهمية وخاصة في بعض المناطق المتأثرة بارتفاع منسوب الماء الأرضي نتيجة تواجد طبقة كثيفة قريبة من سطح التربة، ولتحقيق ذلك لابد من دراسة العوامل المؤثرة في حركة الماء الأرضي نحو الآبار وتحديد منسوب الماء الأرضي الحقيقي بالقرب أو عند جدار الآبار، وكذلك تقدير تدفق هذه الآبار بشكل صحيح وإمكانية تطبيق هذه الطريقة في خفض منسوب الماء الأرضي دون استخدام المضخات وتحقيق حركة للماء الأرضي نحو أعماق التربة وبتكاليف منخفضة. يهدف البحث إلى:

- 1) تحديد التدفق حسب تغيرات منسوب الماء الأرضي في أنابيب المراقبة.
- 2) تحديد التدفق حسب مسافة النضح المقاسة تبعاً لمعطيات البيزومتريات.
- 3) دراسة تغيرات معامل النفوذ تبعاً لمنسوب الماء في البئر ومسافة النضح.
- 4) تحديد مدى إمكانية تطبيق علاقة Dupuit.

مواد البحث وطرائقه:

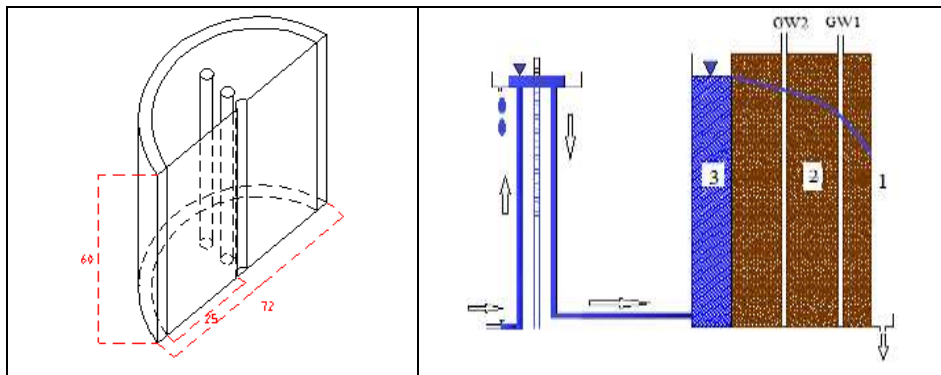
نتيجة لصعوبة التحكم حقلياً بالعوامل المؤثرة على حركة الماء في التربة وخاصة في تحديد تدفق الآبار الماصة وتتبع منسوب الماء الأرضي، لجأ الباحث إلى الدراسة المخبرية لتحقيق أهداف البحث المذكورة، تم تنفيذ هذا البحث في مختبر أبحاث الري والصرف (قسم الهندسة الريفية في كلية الزراعة، جامعة حلب) من خلال استخدام نموذج من التوتياء، والنموذج يمثل مقطع من التربة يحوي على

نصف أنبوب صرف مزود بسلاسل من الثقوب (يمثل نصف مقطع البئر)، ولتحديد مسافة النضح تم استخدام مجموعة من البيزومترات، حيث من خلالها تم تحديد النقطة الفاصلة ما بين المنطقة المشبعة وغير المشبعة بدقة جيدة على جدار البئر، ولمتابعة تغيرات منسوب الماء الأرضي في التربة استخدمت أنابيب المراقبة.

1- النموذج الصندوقي:

استخدام النموذج الصندوقي الذي يوضحه الرسم التخطيطي في الشكل (2) والشكل (3)، والذي هو عبارة عن نصف أسطوانة قطرها 72cm وارتفاعها 60 cm وتتكون من ثلاثة أجزاء وهي كالتالي:

- الجزء الأول: عبارة عن نصف أسطوانة (نصف أنبوب) قطرها 8 cm عليها أربع سلاسل شاقوليه من الثقوب قطر الثقب الواحد 2 mm عددها 90 ثقب في كل سلسلة. وقد ثبت عليها مأخذ خاصة وعددها 21 مأخذ على خط شاقولي واحد لثبيت البيزومترات التي تتصل بدورها مع لوحة ملليمترية لأخذ قراءات منسوب الماء فيها، يبعد كل بيومتر عن الآخر مسافة 2.5cm وارتفاع الأول عن القاعدة 5.0 cm، وهذا الجزء يمثل نصف البئر المدروس ويوجد أسفله مخرج لقياس التدفق.



الشكل 2. مخطط النموذج الصندوقي المستخدم في التجربة

- الجزء الثاني: عبارة عن نصف أسطوانة أخرى يزيد قطرها عن السابقة 25 cm تستخدم لوضع التربة المدروسة داخلها.
 - الجزء الثالث (حجرة التحكم بمستوى الماء): عبارة عن نصف أسطوانة ثالثة تزيد على سابقتها 7 cm تستخدم لتغذية التربة بالمياه، الجدار الفاصل بين الجزء الثاني والثالث مثقب يسمح بحرية حركة الماء من خلاله إلى التربة.
- 2- أنابيب المراقبة: استخدام أنبوبي مراقبة ضمن التربة لتحديد منسوب الماء الأرضي وهي أنابيب أقطارها (1.5 سم) ومثقبة بثقوب ذات أقطار (1.5 مم)، يبعد الأنبوب الأول مسافة 5 cm عن جدار البئر، والأنبوب الأول يبعد عن الثاني مسافة 10 cm والأخير يبعد عن جدار الجزء الثاني مسافة 10 cm.
- 3- التربة: استخدمت في الدراسة تربة طينية لوميه ذات خواص هيدروفيزيائية، الجدول (1).
- 4- مأخذ مائي: تم تزويد حجرة التحكم بالماء من خلال خزان مائي سعة 200 L.



الشكل 3. صورة للنموذج الصندوقي المستخدم في التجربة (مسقط علوي وأمامي)
الجدول 1. الخواص الفيزيائية والهيدروفيزيائية للتربة

الكثافة الظاهرية	الكثافة الحقيقية	المسامية	معامل نفاذية التربة	الرمل	السلت	الطين
غ/سم ³	%	سم/د	%	%	%	%
1.33	2.58	51.6	0.005	13	25	62

5- جهاز تحديد منسوب الماء ومسار حركتها: زودت التربة بالماء عن طريق جهاز تحديد منسوب الماء الذي يحدد منسوب الماء في الجزء الثالث والذي يدعى حجرة التحكم بمنسوب الماء (H)، علماً بأن الجهاز مزود بفضال لتأمين تدفق ثابت، وأن الجهاز قابل للحركة صعوداً وهبوطاً لتحديد منسوب الماء في حجرة التحكم بمنسوب الماء (H)، وتتم حركة الماء من الخزان المائي إلى جهاز تحديد منسوب الماء ومنه إلى حجرة التحكم (الجزء 3)، ومن الأخيرة من خلال الحاجز المثقب الذي يفصل بين حجرة التحكم (3) وحجرة التربة (الجزء 2) إلى التربة، ومن خلال التربة يتحرك الماء نتيجة لاختلاف الجهد إلى البئر (الجزء الأول) كما يوضحه الشكل (2)، كما تم استخدام سلندر وميقاتيه لقياس تدفق الماء للبئر، ودارة كهربائية لتحديد ارتفاع منسوب الماء في أنابيب المراقبة ولوحة ميليمترية لتحديد ارتفاع الماء في البيزومترا.

طريقة إجراء الدراسة المخبرية:

- ✓ تم وصل مأخذ تزويد النموذج بالماء مع جهاز تحديد منسوب الماء ووصل الأخير مع الخزان المائي سعة (200 L).
- ✓ تم التأكد من عدم تسرب الماء من كافة جوانب النموذج وقاعدته، بحيث أن الماء يتحرك باتجاه البئر فقط.
- ✓ وضع التربة في الصندوق وبشكل متجانس بعد تجهيزها للاستخدام من خلال تفتيتها يدويا وغربلتها وإزالة الحصى.
- ✓ رفع تدريجي لمنسوب الماء في الجزء (3) لطرد الهواء من مسام التربة حتى الوصول إلى أعلى نقطة لمنسوب الماء فيها والتي تمثل القيمة (H) في حجرة التحكم، ثم تركت التربة على هذا المنسوب لمدة ثلاثة أيام متواصلة للوصول إلى حالة الاستقرار للتربة ولكل من أنابيب المراقبة والبيزومترا والتدفق (التجارب التحضيرية)، ثم البدء في أخذ القراءات المطلوبة لكلاً من التدفق (Q) وارتفاع منسوب الماء الأرضي في أنابيب المراقبة (GW1, GW2)، بالإضافة إلى قراءات أنابيب البيزومتر، بعدها تم تخفيض منسوب الماء من خلال زلق حوض جهاز التحكم على المحور الحامل له، وعند الوصول للنقطة التالية تم تثبيت الجهاز وتتبع كلاً من أنابيب المراقبة والتدفق للوصول إلى حالة الاستقرار لهذه النقطة، عندها أخذت القراءات للمنسوب الجديد وتكرر هذه الخطوات على جميع الحالات المدروسة.

النتائج والمناقشة:

يتحرك الماء في التربة المشبعة بالثقالة نتيجة فرق الجهد بين منسوب الماء في الجزء الثالث ومنسوب الماء في البئر، وبالتالي فإن اتجاه تيار الماء الأرضي يأخذ مساره من حجرة التحكم (H) عبر التربة بشكل قطري باتجاه البئر، وبينت النتائج بأن أي تغير لمنسوب الماء في حجرة التحكم (H) ينعكس بشكل مباشر على ارتفاع الماء في أنابيب المراقبة (GW2, GW1) ومسافة النضح (Ue)، ويأخذ منحني منسوب الماء الأرضي شكل انحدار تدريجي باتجاه البئر، إلا أن هذا الانحدار يزداد تدريجياً بالقرب من البئر ويبقى هذا الانحدار ثابتاً طالما أن منسوب الماء في (H) ثابتاً خلال فترة القياس، وبما أن قيم البيزومتريات تعبر عن الجهد عند قاعدته، لذا تم الاستعانة بها لتحديد طول مسافة النضح Ue (المسافة بين منسوب الماء الأرضي عند جدار البئر ومستوى الماء في البئر) على جدار البئر، وكما هو معلوم فإن أنابيب المراقبة لا تعطي القيم الحقيقية لمنسوب الماء الأرضي عند جدار الآبار أو المصارف (جمعة المحيميد، 2017 ; Dyck and Peschke, 1983)، وإن البيزومتريات ذات دقة جيدة في تحديد المنطقة المشبعة عن غير المشبعة، ولهذا ينصح في الدراسات المخبرية استخدام الأدوات معاً للحصول على دقة جيدة في القياسات.

تجارب البحث:

تم إجراء عشرة تجارب (حالات) في هذه المعاملة (الفترة الفاصلة بين كل حالة والتي تليها كانت ساعتان، بعد التأكد من ثبات منسوب الماء الأرضي في أنابيب المراقبة والتدفق) والنتائج التي تم التوصل إليها هي متوسطات لثلاث مكررات لمنسوب الماء الأرضي ولأنابيب المراقبة ومسافة النضح باستخدام البيزومتريات. يبين الجدول (2) بأن قيم التدفق للبئر تتخفف مع انخفاض منسوب الماء في حجرة التحكم (H) نتيجة لانخفاض الضغط، وإن هناك انخفاض تدريجي أيضاً لمنسوب كل من (GW2, GW1) عند كل حالة لمنسوب الماء (H)، أما مسافة النضح المقاسة بدلالة البيزومتريات فقد انخفضت أيضاً مع انخفاض منسوب الماء الأرضي، وعند مقارنتها مع القيم أنبوب المراقبة القريب من جدار البئر نجد فروق واضحة، حيث كانت مسافة النضح المقاسة أخفض من منسوب الماء في (GW1) على الرغم من المسافة القريبة بينه وبين جدار البئر.

الجدول 2. التدفق ومنسوب الماء في أنابيب المراقبة ومسافة النضح المقاسة

H(cm)	GW2(cm)	GW1(cm)	Ue (cm)	Q _{vor} (ml/min)	N ₀
54.0	51.5	43.0	38.5	96.0	1
51.0	48.0	40.5	36.0	85.0	2
48.0	45.5	38.0	33.5	72.0	3
45.0	42.5	35.0	30.5	59.0	4
42.0	38.5	30.5	26.0	50.0	5
39.0	37.0	27.0	22.0	41.0	6
36.0	33.5	25.0	20.0	35.0	7
33.0	31.0	22.0	16.0	28.0	8
30.0	26.0	18.0	8.0	24.0	9
27.0	23.0	15.0	6.0	18.0	10

إن تحديد التدفق اعتماداً على علاقة Dupuit ذات أهمية كبيرة من الناحية العملية، لأن التدفق في حالة الآبار الماصة لا يمكن تحديده على عكس الآبار التي تعتمد على المضخات، وبالتالي فإنه من الضروري تحديد جميع العوامل المحددة لهذا التدفق من خلال معادلة Dupuit، وبما أن معظم هذه العوامل يمكن تقديرها من خلال أنابيب المراقبة والبيزومتريات وفقاً لبعدها عن محور الإحداثيات، يبقى تحديد معامل نفوذية التربة والذي يعتبر العامل الهام الذي لا يمكن تقديره بشكل صحيح ومباشر حسب الحالة المدروسة، ولتحديد

هذا المعامل تم الاعتماد على جهاز Darcy لحالة الضغط الثابت وكانت نتيجة اختبار نفوذية التربة المستخدمة ($K_{dar}=0.005$ cm/min). وعند تطبيق هذه النتيجة مع علاقة Dupuit كانت النتائج مغايرة بشكل كبير مقارنة مع التدفق الحقيقي، كما يبينه الجدول (3)، حيث نجد أن نسبة الاختلاف عالية وتتراوح ما بين (24.0 إلى 33.3%) فعند أعلى مستوى لمنسوب الماء في حجرة التحكم (الحالة الأولى) كان التدفق المقاس ($Q_{vor} = 96.0$ ml/min) بينما كمية التدفق المحسوبة من علاقة Dupuit باستخدام معامل نفوذية Darcy كانت ($Q_{darcy} = 23.0$ ml/min) وهذا ينطبق على جميع الحالات المدروسة، وهذه النتائج كانت متوقعة لأن قيم النفوذية تتعلق بعدة عوامل من أهمها اختلاف الجهد (H) والمساحة (A) التي يمر بها الماء حسب معادلة Darcy والمعتمدة في تحديد معامل النفوذية (Guerin *et al.*, 2014 ; Morgenstern and Börner, 2008 ; Harpreet, Jianchao, 2019)، حيث تبين معادلة دارسي بأن الجهد والمساحة ثابتين.

الجدول 3. التدفق المقاس والمحسوب تبعاً لعلاقة Darcy

QA %	Q_{vor} (ml/min)	Q_{dar} (ml/min)	H (cm)	N_0
24.0	96	23.0	54.0	1
24.1	85	20.5	51.0	2
25.7	72	18.5	48.0	3
27.1	59	16.0	45.0	4
28.0	50	14.0	42.0	5
29.3	41	12.0	39.0	6
30.0	35	10.5	36.0	7
30.4	28	8.5	33.0	8
29.2	24	7.0	30.0	9
33.3	18	6.0	27.0	10

Q_{dar} : التدفق حسب علاقة Darcy ، Q_{vor} : التدفق المقاس ، QA% : نسبة انخفاض التدفق

إذا تم تتبع منسوب الماء الأرضي في أي نقطة لمنسوب الماء الأرضي تبعد عن محور البئر مسافة محددة ومنسوب الماء عند جدار البئر، نجد بأن المساحة التي يتحرك بها الماء الأرضي في حالة تناقص تدريجي وصولاً إلى البئر، مما يعني أن النفاذية في حالة تغير تبعاً لتغير الجهد والمساحة رغم ثبات التدفق عند كل حالة، وبالتالي فإن شروط علاقة Darcy غير متطابقة مع حركة الماء الأرضي نحو البئر، لذا لا بد من تقدير النفوذية بشكل صحيح اعتماداً على المساحة المتغيرة وفرق الجهد بين النقاط المدروسة للوصول إلى نتائج صحيحة.

تم دراسة تغيرات النفوذية (سرعة حركة الماء) اعتماداً على منسوب الماء (H) وأنايبب المراقبة (GW2, GW1) بالإضافة إلى تحديد هذا المستوى في البئر (مستوى الماء في البئر اتخذ بأنه يساوي الصفر $h_0=0.00$ ، حيث الماء يتحرك نحو أسفل البئر في النموذج دون تجمع للماء في البئر على اعتبار بأن الماء يتحرك نحو أعماق التربة)، وكذلك اعتماداً على مسافة النضح المقاسة على جدار U_e ، وبينت النتائج أثر هذه المساحة وفرق الجهد في تغير النفوذية، حيث نجد بأن النفوذية المحسوبة تبعاً لمعادلة Dupuit (K_{ber1}) اعتماداً على مستوى الماء في البئر، واعتماداً على مسافة النضح (K_{ber2})، بأن النفوذية تزداد عند اقتراب الماء من محور البئر كما في ($R=29$ cm, $X_2=19$ cm, $X_1=9.0$ cm) كما يبينه الجدول (3).

الجدول 4. تقدير معامل النفوذية حسب علاقة Dupuit لحالة h_0 وحالة Ue

K_{ber2}				K_{ber1}			منسوب الماء			الحالة
KX1Ue	KX2Ue	KRUe	Ue	K X1 h0	K X2 h0	KR h0	h GW1 (cm)	h GW2 (cm)	H (cm)	N0.
(cm/min)	(cm/min)	(cm/min)	(cm)	(cm/min)	(cm/min)	(cm/min)				
0.068	0.041	0.042	38.5	0.013	0.018	0.021	43.0	51.5	54.0	1
0.064	0.042	0.041	36.0	0.013	0.018	0.021	40.5	48.0	51.0	2
0.058	0.038	0.038	33.5	0.013	0.017	0.020	38.0	45.5	48.0	3
0.052	0.033	0.034	30.5	0.012	0.017	0.018	35.0	42.5	45.0	4
0.051	0.031	0.029	26.0	0.014	0.017	0.018	30.5	38.5	42.0	5
0.043	0.023	0.025	22.0	0.015	0.015	0.017	27.0	37.0	39.0	6
0.040	0.024	0.025	20.0	0.014	0.015	0.017	25.0	33.5	36.0	7
0.032	0.020	0.021	16.0	0.015	50.01	0.016	22.0	31.0	33.0	8
0.032	0.019	0.018	8.0	0.019	0.016	0.017	.081	26.0	30.0	9
0.029	0.018	0.016	6.0	0.021	0.016	0.017	.051	22.0	.062	10
0.047	0.029	0.029		0.015	70.01	0.018				المتوسط

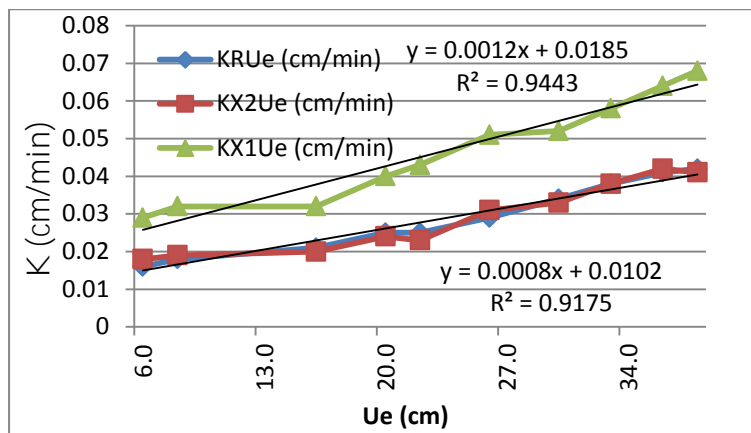
KX1Ue: النفوذية المحسوبة بين (GW1) ومسافة النضح، KRh0: النفوذية المحسوبة بين (H) وقاعدة البئر.

يبين الجدول (4) للحالات المدروسة في هذه المعاملة أن معامل النفوذية متغيراً تبعاً لاختلاف الجهد عند النقاط المدروسة (h_{GW1}, h_{GW2}, H) واختلاف البعد عن محور البئر (X_1, X_2, R)، حيث تظهر النتائج بأنه عندما يكون ($h_0=0.0$) فإن معامل النفوذية تتناقص قيمه بالاقتراب من محيط البئر وخاصة بين الموقعين ($K X_1 h_0, K X_2 h_0$) للحالات (1-5)، في حين كانت متقاربة للحالات (6-8) أما للحالتين الأخيرتين فإن معامل النفوذية ازداد وبشكل واضح حيث وصل إلى (0.021 cm/min)، ونجد من الجدول (4) بان القيم المتوسطة لمعامل النفوذية للمواقع المدروسة تتناقص باتجاه البئر، وبالتالي فإن هذه النتائج لا تتوافق مع منطق الدراسة النظرية لأن خطوط الضغط للماء الأرضي تتقارب باتجاه البئر مما يؤدي ذلك إلى سرعة متزايدة لحركة الماء الأرضي. أظهرت النتائج أنه عند إدخال قيم مسافة النضح بأنها أكثر منطقية من سابقتها، حيث نجد بأن سرعة حركة الماء في المناطق البعيدة عن البئر كما في البعد (R, GW_2) متقاربة لكل الحالات المدروسة، وعند محيط البئر للبعد (GW_1) نجد أن سرعة الماء الأرضي ارتفعت بشكل واضح، كما نجد من الشكل (4) تقارب جيد بين القيم البعيدة عن محور البئر ($KRUe, KX2Ue$) وأن معامل الارتباط بين النفوذية ومسافة النضح عالية تصل إلى 92%، أما معامل الارتباط بين النفوذية ومسافة النضح عند البعد ($KX1Ue$) كان أكبر حيث وصل إلى 94%، ومنه نجد التغيير الواضح في قيم النفوذية تبعاً لاختلاف الجهد والبعد عن محور البئر.

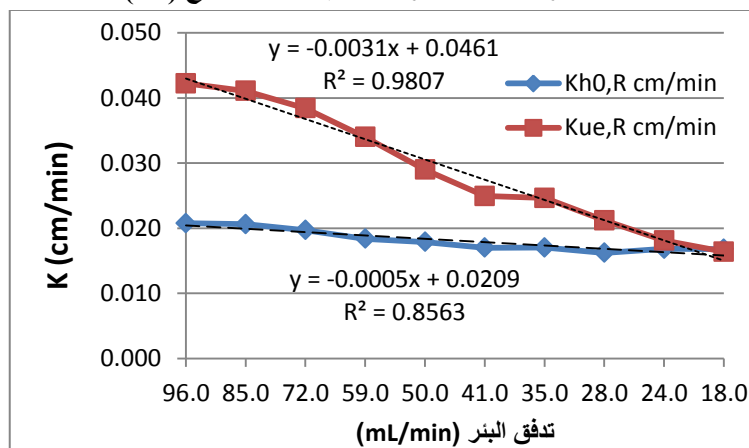
ومما سبق نجد أنه لدينا قيم متباينة لمعامل النفوذية تبعاً لعلاقة Dupuit، وهذا يعود فقط عند استخدام مسافة النضح أما عند عدم أخذها بعين الاعتبار (أي أن مستوى الماء الأرضي متصل مع المنسوب الماء في البئر) فإن النتائج حسب المواقع الثلاث متقاربة كما يوضحه الشكل (5)، والذي يبين درجة الارتباط الجيدة بين التدفق والنفوذية للحالتين المدروستين، وبما أنه من الصعوبة تحديد التدفق في الآبار الماصة، وكذلك مسافة النضح لذلك يمكن الاعتماد على المخطط البياني في الشكل (5) لتحديد التدفق من خلال معرفة معامل النفوذية، ولتقدير النفوذية لتربة ما يجب عدم استخدام معادلة Darcy وإنما تحدد من خلال جهاز يحاكي الجهاز الذي استخدم

في هذا البحث، أو استخدام المعادلة الخاصة في تحديد النفاذية حقلياً باستخدام طريقة البئر، لأن حركة الماء بهذه الطريقة تحاكي حركة الماء في النموذج.

كما هو متبع في تحديد النفاذية حقلياً حيث تجرى عدة قياسات لأعماق مختلفة من قطاع التربة، ويتم أخذ المتوسط لها لتطبيقها في العلاقات المستخدمة، لذا يمكن أخذ متوسط النفاذية المحسوبة لكل من Kber1 و Kber2 للبعد R، حيث كانت 0.018 cm/min و 0.029 على التوالي، وتطبيقها في معادلة Dupuit لمعرفة مدى تطابق قيم التدفق المحسوبة مع القيم المقاسة والتي من خلالها يمكن الحكم على أفضليتها في الاستخدام، ونتيجة التطبيق لهما في المعادلة نجد من الجدول (5) والشكل (6) بأن هناك تطابق جيد بين التدفق المحسوب تبعاً Kber1 مقارنة مع Kber 2 مع التدفق المقاس، ولعدم إمكانية تحديد مسافة النضح حقلياً يفضل استخدام Kber1 لتقدير تدفق البئر.



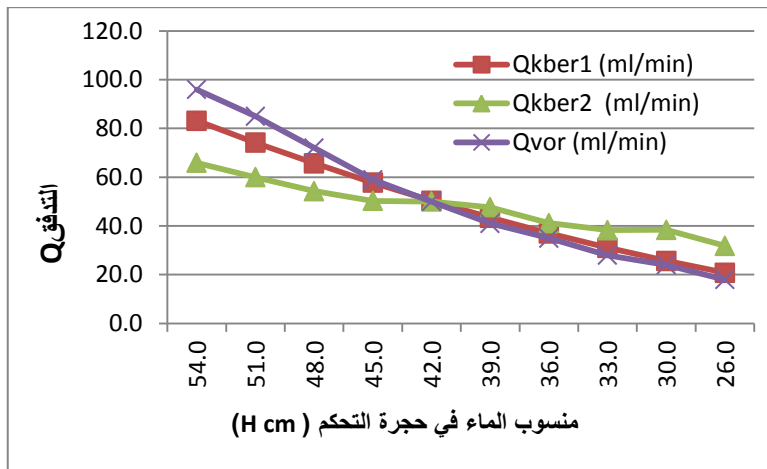
الشكل 4. تغيرات معامل النفاذية حسب مسافة النضح (Ue)



الشكل 5. علاقة التدفق مع تغيرات معامل النفاذية

الجدول 5. التدفق المقاس والمحسوب تبعاً لمتوسط معامل النفاذية للحالة K_{ber2} , K_{ber1}

الحالة	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
H	54.0	51.0	48.0	45.0	42.0	39.0	36.0	33.0	30.0	26.0	(cm)
Qvor	96.0	85.0	72.0	59.0	50.0	41.0	35.0	28.0	24.0	18.0	(ml/min)
Qkber1	83.2	74.2	65.7	57.8	50.3	43.4	37.0	31.1	25.7	20.8	(ml/min)
Qkber2	65.9	60.0	54.3	50.3	50.0	47.7	41.2	38.3	38.4	31.9	(ml/min)



الشكل 6. علاقة التدفق المتوسط مع متوسط معامل النفوذية

الاستنتاجات والتوصيات:

- بينت النتائج بأن منسوب الماء الأرضي لا يتصل مع جدار البئر وإنما يأخذ موقعاً أعلى من منسوب الماء في البئر.
- دلت الدراسة بأنه نتيجة تغير مساحة مقطع الجريان التي يتحرك فيها الماء الأرضي خلال عملية الصرف، فإن النفوذية تتغير تبعاً لتغيرات منسوب الماء في النقاط المدروسة.
- لا يمكن استخدام معادلة Darcy في تحديد معامل النفوذية عند تحديد التدفق للآبار حسب Dupuit.
- أثبتت التجارب إمكانية استخدام معادلة Dupuit في تحديد التدفق للآبار الماصة دون الاعتماد على مسافة النضح باستخدام معامل النفوذية المناسب لعلاقة Dupuit.
- توصي الدراسة بضرورة إجراء أبحاث وتجارب مخبرية وحقلية لترتب مختلفة كي يتم التوصل إلى معيار محدد يمكن الاعتماد عليه لتحديد التدفق حسابياً وتحديد مسافة النضح لها.

المراجع:

- الشيخ، محمد (2012). تأثير معاملات تصميم شبكة الصرف المغطى على انغسال الأملاح من التربة تحت أنظمة ري مختلفة بالرداذ. أطروحة ماجستير، قسم الهندسة الريفية، كلية الزراعة، جامعة حلب، حلب، سورية. 109 صفحة.
- الضرير، عبد الناصر ومروان الحاج حسين (2008). الري والصرف الزراعي " القسم النظري"، منشورات مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، جامعة حلب، حلب، سورية. 384 صفحة.
- جمعة المحيميد، حنان (2017). تأثير مساحة الثقوب ونوع الفلتر في كفاءة أنبوب الصرف ومقاومة الدخول في التربة الرملية اللومية. رسالة ماجستير، قسم الهندسة الريفية، كلية الزراعة، جامعة حلب، حلب، سورية. 69 صفحة.
- Dörter, K. (1986). Landwirtschaftliche Melioration. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag. Berlin. 300p.
- Dyck, S.; and G. Peschke (1983). Grundlagen der Hydrologie, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 388p.

- Elhakim, A.F.(2016) . Abschätzung der Bodenpermeabilität, Alexandria Engineering Journal, Band 55, Ausgabe 3, Seiten. 2631-2638.
- Feddes, R.A. (1988). Effects of drainage on crops and farm management. Agricultural Water Management. 14:3-18.
- Grubinger, H. (1967) . Der Boden als poröses Mehrphasensystem und seine Entwässerbarkeit, Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie
- Guerin, A.; O. Devauchelle; and E. Lajeunesse (2014). Response of a laboratory aquifer to rainfall, Institut de Physique du Globe de Paris, Université Paris Diderot, 1 rue Jussieu, 75238 Paris, France, Journal of Fluid Mechanics.
- Harpreet, S.; and C. Jianchao (2019). Permeability of fractured shale and two-phase relative permeability in fractures, Science Direct. ELSEVIER.
- Jasinski, K. (2010). Bodenversalzung und Bewässerung im Indus Einzugsgebiet, Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Bachelorarbeit.
- Katzenbach, R. (2013) . Grundwasserhydraulik, Studienunterlagen Geotechnik Seite III-6, TU Darmstadt.
- Morgenstern, A.; and F. Börner (2008). Bohrlochgeophysikalische Messung der Grundwasserbewegung bei minimaler Störung des natürlichen Strömungsfeldes, Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie. 13:101–113. Springer-Verlag
- Patzel, N.; H. Sticher; and D.L. Karlen (1999) . soil fertility, phenomenon and concept. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 163(2):129 – 142.
- Phoolendra, K.M.; and L.K. Kristopher (2013). Unconfined aquifer flow theory - from dupuit to present. Fortschritte in der Hydrogeologie. S. 185-202. https://arxiv.org/a/kuhlman_k_1.html
- Raine, S.R.; W.S. Meyer; D.W. Rassam; J.L. Hutson; and F.J. Cook (2005) . Soil-water and salt movement associated with precision irrigation systems, research investment opportunities CRCIF technical report 3.13/1.
- Widmoser, P. (1976). Anmerkungen zur Drainhydraulik, Zeitschrift für Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 7-76. S. 180-185. <http://www.e-periodica.ch>

Determination the Flow of Drainage Wells and the Exudation Distance in Relation to the Variability of the Permeability Coefficient, and Compare them with Dupuit's Equation Results

Marwan Alhaj Houssein ^{*(1)}

(1). Department of Rural Engineering, Faculty of Agriculture, University of Aleppo, Aleppo, Syria.

(*Corresponding author: Dr. Marwan Alhaj Houssein. E-Mail: marwanhaj1958@yahoo.com).

Received: 11/05/2020

Accepted: 09/06/2020

Abstract

The present experimental work was carried out at the Irrigation and Drainage Research Laboratory, Rural Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Aleppo. Box model was designed in this study to compare the measured flow with calculated one of absorbent wells. The results showed that the use of Darcy permeability coefficient in Dupuit equation is inappropriate, in which the calculated flow was less than the measured flow by 24.0 to 29.3%. Therefore, the variations of the permeability coefficient were studied according to the movement of water towards the wells by tracing the level of ground water in the observing tubes and piezometers. The results confirmed that the permeability values resulting from the exudation distance are more consistent with theoretical studies comparing with results that depended on the water level in the well. However, the permeability value for the case of the water level in the well Kber1 ranged from 0.015 to 0.018 cm/min, whereas the permeability value based on the distance of the exudation in the locations far from the axis of the well Kber2 was 0.029 cm/min approximately, but in a near location, it was 0.047 cm/min. The study also showed that there was a good agreement between the measured flow and calculated one, therefore the results obtained in the present study can be relied upon to estimate the flow of absorbing wells for such soils.

Key words: Agricultural drainage, Ground water level, Ddrainage wells, Permeability.