



Modeling of NO₃ transport in gypsiferous soil under unsaturated flow

Ramzi M. Shihab

Ahmed A. Fattah

Noor Aldeen M. Muhawish

Soil Sci. & Water Resources. Dept.-College of Agriculture- Tikrit University, Iraq

Article Info.

Received
2021 / 4 / 1
Accepted date
2021 / 5 / 3

Keywords

NO₃
transport,
gypsiferous
soil

Abstract

This study was conducted to determine the effect of gypsum content and depth of water head on displacement and transport of nitrate in gypsiferous soil under unsaturated flow conditions. Also, to predict the concentration of nitrate using convection dispersion model (CDE). Soil columns with 63, 97, 142, 180, and 236 g kg⁻¹ of gypsum were prepared. 200 mg L⁻¹ of potassium nitrate were added to the surface of each soil column. The soil columns were leached by intermittent ponding in 2 pore volumes of water. A constant head depth of 0.005, 0.01, and 0.015 m of water was kept on the top of soil column. Samples of effluent were collected for measuring nitrate concentration. The CDE model was analyzed to estimate the best fitting between measured and predicted nitrate concentration, and to calculate dispersion coefficient (D), the retardation factor (R), and Peclet number (P). Results showed that CDE can be used to predict nitrate concentration in soil. Good fit was observed to describe breakthrough curves (BTC's), and predict the transport of nitrates in the leachate of gypsum soil columns. D values increased with the increase in the content of soil gypsum and decrease with increase the water head. Its values ranged between 6.48-8.76 m² h⁻¹. P and pore water velocity (v) decreased with the increase in soil gypsum content. The R values were less than 1 for all treatments.

Corresponding author: E-mail(ramzishihab@tu.edu.iq) Al- Muthanna University All rights reserved

نموذج انتقال النترات في تربة جبسية تحت ظروف جريان غير مشبع

رمزي محمد شهاب احمد عبد الله فتاح نور الدين محمد مهاوش
*قسم علوم التربة والموارد المائية- كلية الزراعة- جامعة تكريت -العراق

مستخلص

اجري هذا البحث لدراسة تأثير محتوى التربة من الجبس وارتفاع عمود ماء الغسل في اراحة وانتقال النترات تحت ظروف جريان غير مشبع في تربة جبسية، وكذلك التنبؤ بتركيزها باستعمال انموذج الحمل- التشبث (CDE). حضرت اعمدة تربة ذات محتوى جبسي 63 و 97 و 142 و 180 و 236 غم كغم⁻¹. اضيف 200 ملغم لتر⁻¹ من النترات بشكل نترات البوتاسيوم على سطح كل عمود، وغسلت الاعمدة بالماء بشكل متقطع وذلك بإمرار 2 حجم مسامي خلال عمود التربة. اضيف عمود ماء ثابت بإعماق 0.005، 0.01، 0.015 م فوق سطح كل عمود تربة، وجمع الراشح من أسفل العمود وقيس فيه تركيز النترات. حل انموذج الحمل- التشبث لإيجاد أفضل تطابق بين تركيز النترات المقاسة والمقدرة، وحساب معامل التشبث (D) وعامل الإعاقة (R) ورقم بكلت (P). اظهرت النتائج كفاءة الانموذج في وصف انتقال النترات في التربة، اذ بين حل الانموذج تطابقاً جيداً لوصف منحنيات الاختراق وبالتالي امكانية التنبؤ بانتقال النترات في رواشح اعمدة التربة الجبسية. ازداد D بازدياد محتوى الجبس وقل بزيادة عمود الماء، إذ بلغ 6.48-8.76 م² ساعة⁻¹ في حين انخفض P وسرعة الماء المسامي (v) بزيادة محتوى الجبس. وان قيم عامل الإعاقة كانت أقل من 1 لجميع المعاملات.

المقدمة

أو الجبس المتمي (CaSO₄.2H₂O (Anhydrite) وعلى 14% أو أكثر من الجبس في الأفق تحت السطحي. تتأثر الخصائص الفيزيائية والمائية للتربة الجبسية كثيراً بوجود الجبس إذ تنخفض قابلية التربة الجبسية على الاحتفاظ بالماء اعتماداً على نسبة التربة والبناء وحجم بلورات الجبس

عرفت دائرة مسح التربة الأمريكية (Soil survey staff, 1999) التربة الجبسية على أنها الترب التي يكون محتواها أكثر من 2 % من الجبس في الأفق السطحي الذي يكون على هيئة جبس حقيقي (True gypsum) CaSO₄

اجري هذا البحث لدراسة تأثير محتوى الجبس في ازاحة وانتقال النترات في مقد التربة تحت ظروف جريان غير مشبع من خلال تحديد معايير الانتقال باستعمال موديل الحمل التشبث (CDE) فضلاً عن إمكانية التنبؤ بتركيز النترات في راشح الغسل والمتبقي منه في اعمدة تربة جبسية.

1.1. الأساس النظري

اعتمد الانموذج المستخدم في الدراسة على الحل العددي لأنموذج (الحمل- التشبث) (CDE)

اذ ان: C = معدل تركيز المذاب، t = الزمن، D = معامل التشبث، R = عامل الاعاقة، v = معدل سرعة الماء المسامي ($v = q/\theta$)، اذ ان q كثافة التدفق الحجمي للمائع (L/T^{-1}) وان θ الرطوبة الحجمية للتربة، X = المسافة.

يمكن حل المعادلة (1) وفقاً للظروف الحدودية الآتية:

$$C(0,t) = C_0 \text{ and } \partial C / \partial x (\infty, t) = 0 \quad (2)$$

وعلى افتراض ان توزيع المادة المذابة داخل عمود التربة لا يتأثر بحدود الجريان الخارج من السطح الأسفل للعمود لذلك يمكن اعتبار عمود التربة جزءاً من نظام نصف غير منته، وايضاً بافتراض ان التركيز مستمر عند $L=x$ ($L=x$ = طول عمود التربة) $(0 \leq x \leq L)$ عندها يصبح الانموذج كالاتي (Skaggs and Leij, 2002):

اذ ان C_e هو التركيز النسبي و $erfc$ هي دالة الخطأ المكملية ($erfc = 1 - erf$)

وللتعبير عن التركيز النسبي للراشح بصيغة حجم مسامي (Pore volume, v) لعمود التربة، ورقم بكلت (P) (Peclt No.) فان المعادلة (3) يصبح كالاتي:

$$C_e(V) = \frac{1}{2} erfc \left[\left(\frac{P}{4RV} \right)^{0.5} (R - V) \right] + \frac{1}{2} erfc(P) erfc \left[\left(\frac{P}{4RV} \right)^{0.5} (R + V) \right] \quad (4)$$

ولأجل التنبؤ بتركيز المادة المذابة في عمود التربة (volume averaged resident concentration) فان المعادلة (4) تصبح كالاتي (Skaggs and Leij, 2002):

ووجود طبقات جبسية صلبة، ومحتواها من الطين وفي أغلب الترب الجبسية تكون حركة الماء معتدلة إلى سريعة، ونتيجة لعمليات الري أو الأمطار يغسل الجبس للأعماق السفلى، وأحياناً تتكون طبقة جبسية صلبة تؤدي إلى تقليل الإيصالية المائية للتربة مما يجعل حركة الماء أشبه بحركته في التربة ذات الطبقات (Shihab and Abdulwahhab, 2013 و Shihab, 1997). النترات (NO_3^-) أيون سالب الشحنة لذا يصعب امتزازه (Adsorption) على سطح معادن الطين وذلك لتنافر الشحنة كونها تحمل نفس الشحنة مما يسهل من عملية غسله وحركته إلى الماء الأرضي، ويحدث امتزاج لهذا الأيون في الترب الحامضية على أسطح الأكاسيد والغرويات موجبة الشحنة، وعند غياب الغرويات والأكاسيد الموجبة ينفذ أيضاً إلى الطبقات السطحية حيث يتجمع في تلك الطبقات وعند غياب الأوكسجين يختزل إلى صور غازية (Gold et al., 2004). درس العديد من الباحثين حركة النترات في أعمدة تربة غير مشبعة أفقية ذات نسجة مزيجة رملية و مزيجة غرينية ومزيجة طينية إذ وجد (Allred 2007) و (Allred and Brown 2007) و (Allred 2008) و (Allred 2015) أن إضافة 50 و 200 و 1000 و 2690 ملغم لتر⁻¹ من النترات، عند مستويين من رطوبة التربة ابتدائية ونهائية إلى تلك الأعمدة، أن حركة النترات في هذه الترب لم تتأثر بسرعة الماء المسامي ولكنها تأثرت بمحتوى الماء الكلي، ووجد هؤلاء الباحثون أن حركة النترات تتأثر برطوبة التربة الابتدائية أكثر من تأثرها بتركيز النترات، وأن زيادة تركيز النترات يزيد من التداخلات في الشحانات الحاصلة بين النترات والسطوح الصلبة في التربة المؤثرة في حركة النترات. وتبين لهم أيضاً أن عملية الاستبعاد الأنيوني تؤثر بشكل أساس في حركة النترات في الترب. إن لنسجة التربة دوراً هاماً في حركة النترات إذ درس (Gonzalez and Shukla 2011) انتقال النترات في أعمدة تربة ذات نسجة رملية ورملية بإضافة 200 ملغم لتر⁻¹ من نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ وكلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ وقد أضيف إلى كل من النترات في أعمدة التربة تحت سرعة ماء مسامية بلغت 0.1 و 0.5 و 1 و 1.5 سم ساعة⁻¹. اذ وجد هذان الباحثان أن حركة النترات كانت أسرع في التربة المزيجة بسبب تجانس المسامات على عكس التربة الرملية. كما توصلوا إلى ان لسرعة الماء المسامية تأثير في إزاحة النترات، إذ انخفض زمن إزاحة النترات بازدياد سرعة الماء المسامية. ولوحظ أيضاً أن معامل التشبث D يزداد بازدياد سرعة الماء المسامية. أن ازدياد القلق حول تلوث المياه الجوفية والحاجة الملحة لتطوير طرائق موثوقة وفعالة للتنبؤ بانتقال الملوثات من مواقع الاستغلال الزراعي إلى المياه الجوفية قد أعطى دافعاً لتطوير نماذج رياضية لوصف هذه العملية إذ طورت اعداد كبيرة من هذه النماذج خلال السنوات الأخيرة لنمذجة عمليات الانتقال والمحاكاة والتنبؤ بمصير انتقال المذاب في التربة، ومن أشهر هذه النماذج تلك التي تعتمد على انموذج (الحمل- التشبث). لم تدرس حركة النترات في الترب الجبسية وعلاقة تلك الحركة بمحتوى الجبس تحت ظروف الجريان غير المشبع لذلك فإن التنبؤ بحركة وانتقال النترات وتحديد معايير هذا الانتقال باستعمال نماذج رياضية يساعد في فهم أفضل للمشكلة ويساعد في حلها، وبناءً على ما ذكر

التي تم وضعها في أسفل كل عمود طبقة من الصوف
 $\left[\frac{C}{2(DRt)^{0.5}} \right] \operatorname{erfc} \left[\frac{R_x - v_x t}{2(DRt)^{0.5}} \right]$ من المحصول المغسول الذي تتراوح أقطاره من
 0.02 م كمرشح، وضعت عند نهاية العمود قاعدة
 قطرها أكبر بقليل من القطر الخارجي للعمود، بحيث يتدفق الماء بداخلها أنبوب
 صغير قطر 0.04 م. الغرض من هذا التركيب هو إجراء الرشح أثناء عملية
 الغسل. حضرت اعمدة التربة وذلك بتعبئة الأعمدة بعينات التربة
 $\frac{V_x}{D}$ المحتوي الجبسي 63 و 97 و 142 و 180 و 236 غم كغم⁻¹.

2.2 إضافة نترات البوتاسيوم KNO_3 ومتابعة انتقال النترات
 في اعمدة التربة ... $\left[\frac{C}{2(DRt)^{0.5}} \right] \operatorname{erfc} \left[\frac{R_x - v_x t}{2(DRt)^{0.5}} \right]$

قسمت الاعمدة الى ثلاث مكررات اذ اختير منها
 مكرران متقاربان وأهمل المكرر الثالث، أضيف 200 جزء لكل
 جزء بالمليون من نترات البوتاسيوم إلى سطح تلك الأعمدة وهي
 بحالتها الجافة هوائياً ثم أضيف الماء بعد ذلك بشكل متقطع وذلك
 بإمرار 2 حجم مسامي في عمود التربة مقسمة على ست دفعات إذ
 أضيفت كل دفعة ماء بعد نزول كامل الماء المضاف في الدفعة
 السابقة على سطح العمود وكانت المدة الزمنية بين كل دفعة
 وأخرى يومين. أضيف الماء إلى سطح التربة بثلاثة ارتفاعات
 0.005 ، 0.01 ، 0.015 م، وجمع الراشح من أسفل العمود وبشكل
 دفعات وقيس فيه تركيز النترات باستعمال جهاز المطياف
 الضوئي (Spectrophotometer)، حسبت الايصالية المائية
 وسرعة الماء المسامي (v). قطعت الاعمدة بعد الانتهاء من
 عملية الغسل الى اربعة اجزاء 0 - 0.05 م و $0.05 - 0.1$ م
 و $0.1 - 0.15$ م و $0.15 - 0.2$ م. جفت عينات التربة هوائياً ثم
 مررت عبر منخل قطر فتحاته 2 مم وقيس محتوى النترات في
 العينات.

إذ تمثل X المسافة لإعماق مختلفة من طول عمود التربة L.

1. المواد وطرائق العمل

1.2 تحضير اعمدة التربة

اختير موقع في محطة كلية الزراعة - جامعة تكريت
 ودرس فيه مقد تربة بعمق 1 م وقيس محتوى الجبس للإعماق 0-
 15 (G_1) و $15-40$ (G_2) و $40-60$ (G_3) و $60-80$ (G_4) و $80-100$ (G_5)
 اعتماداً على الوصف المورفولوجي لهذا المقدر. إذ
 بلغت قيم الجبس 63 و 97 و 142 و 180 و 236 غم كغم⁻¹ على
 التتابع. أخذت عينات تربة من هذه الأعماق وجفت هوائياً ثم
 طحنت ومررت بمنخل قطر فتحاته 2 مم. قدرت بعض
 الخصائص الفيزيائية والكيميائية لموقع الدراسة كما مبين في
 جدول 1. استعملت اعمدة اسطوانية لدائنية طولها 0.30 م وقطرها
 الداخلي 0.044 م عيئت بعينات التربة للحصول على اعمدة تربة

جدول (1). بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لموقع تربة الدراسة

الصفة	G1	G2	G3	G4	G5
النسجة	مزيجة	*	*	*	*
الرمال (غم. كغم ⁻¹)	422	-	-	-	-
الغرين (غم. كغم ⁻¹)	332	-	-	-	-
الطين (غم. كغم ⁻¹)	226	-	-	-	-
الكثافة الظاهرية (ميكا غرام م ³)	1.40	1.36	1.34	1.31	1.28
الكثافة الحقيقية (ميكا غرام م ³)	2.65	2.62	2.60	2.57	2.55
المسامية	0.471	0.486	0.484	0.490	0.498
الايصالية المائية K (م ساعة ⁻¹)	0.0481	0.0217	0.0240	0.0245	0.0257
الرطوبة الحجمية عند الاشباع (م ³ م ⁻³)	0.561	0.567	0.583	0.593	0.628
الرطوبة الحجمية عند 33 كيلو باسكال (م ³ م ⁻³)	0.25	0.25	0.24	0.24	0.23
الرطوبة الحجمية عند 1500 كيلو باسكال (م ³ م ⁻³)	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09
اس الهيدروجين pH	7.26	7.43	7.49	7.82	7.87
التوصيل الكهربائي (ديسي سيمينز م ⁻¹)	1.96	1.92	2.03	2.12	2.41
الجبس (غم. كغم ⁻¹)	63	97	142	180	236
كاربونات الكالسيوم (غم. كغم ⁻¹)	267.3	242.8	220.6	213.0	199.6
المادة العضوية (غم. كغم ⁻¹)	10.0	9.0	9.0	4.4	3.2
السعة التبادلية للأيون الموجب (سنتي مول. كغم ⁻¹)	12.3	11.0	10.7	7.3	5.9

*لم يكن بالإمكان قياس النسجة للمعاملات G2 و 3G و G4 و G5 بسبب حصول الترسيب نتيجة لارتفاع نسبة الجبس

3.2 حساب مدلولات الانتقال

بنيت منحنيات الاختراق للنترات استعمل انموذج (الحمل- التشتت) (معادلة 4) لإيجاد أفضل تطابق بين القيم المقاسة في الراشح والقيم المقدرة للنترات وذلك باستخدام برنامج MATHCAD إذ تم إيجاد قيم عامل الإعاقة (R) ورقم بكتل (P) وذلك بتغيير قيم كل منهما عن طريق المحاولة والخطأ (trial and error) في المعادلة لحين الحصول على أفضل تطابق بين القيم المقاسة والمقدرة بالاعتماد على أعلى قيمة لمعامل الارتباط r وأقل قيمة للجذر التربيعي لمتوسط الخطأ RMSE ثم حسب معامل التشتت (Dispersion Coefficient, D) من المعادلة الآتية:

استعملت معادلة 5 للتنبؤ بتركيز النترات في اعمدة التربة لزمنيين 1 و 2 ساعة من بدء عملية الغسل باستعمال برنامج Excel وتمت مقارنة تركيز النترات المقاس في الراشح مع التركيز المحسوب من معادلة 4 لأجل التأكد من دقة المعادلة.

حسب الجريان الكتلي من المعادلة الآتية:

$$J_m = qC \quad (7)$$

اذ ان J_m الجريان الكتلي ($ML^{-2}T^{-1}$) و C معدل تركيز النترات (ML^{-3}). وبما ان $(v = q/\theta)$ تصبح المعادلة اعلاه كالآتي:

$$J_m = v * \theta * C \quad (8)$$

كما استعملت المعادلة الآتية لحساب معامل التوزيع (distribution coefficient, K_d)

$$R = 1 + \rho_b K_d / \theta \quad (9)$$

اذ ان ρ_b الكثافة الظاهرية لعمود التربة (ميكراغرام م⁻³)

3. النتائج والمناقشة

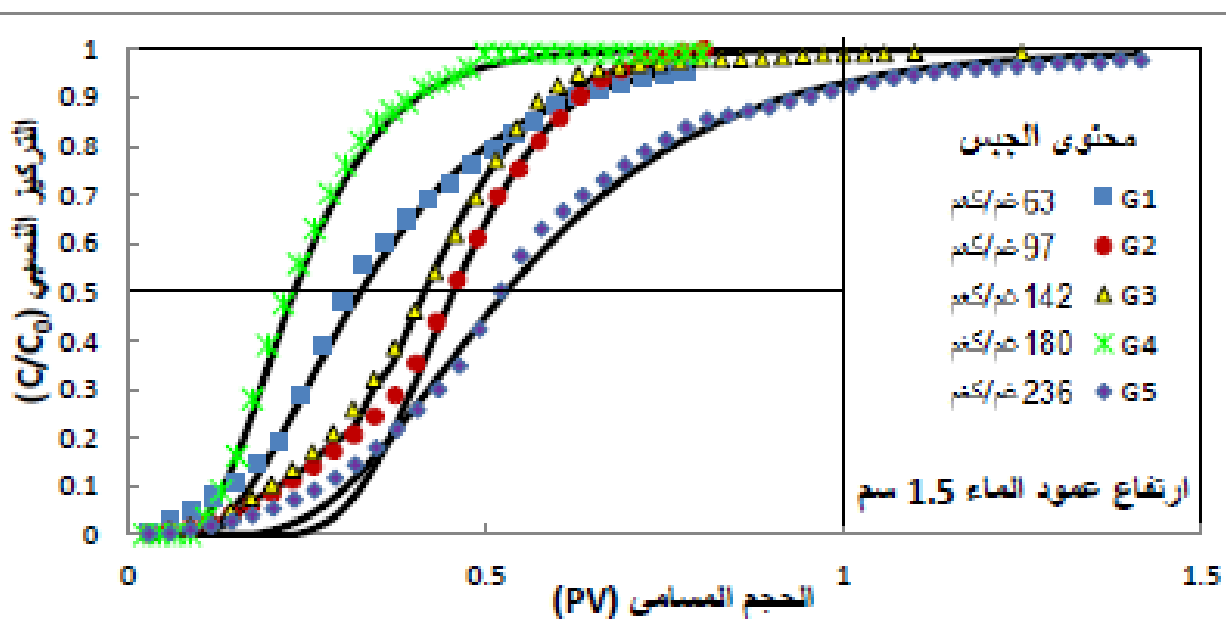
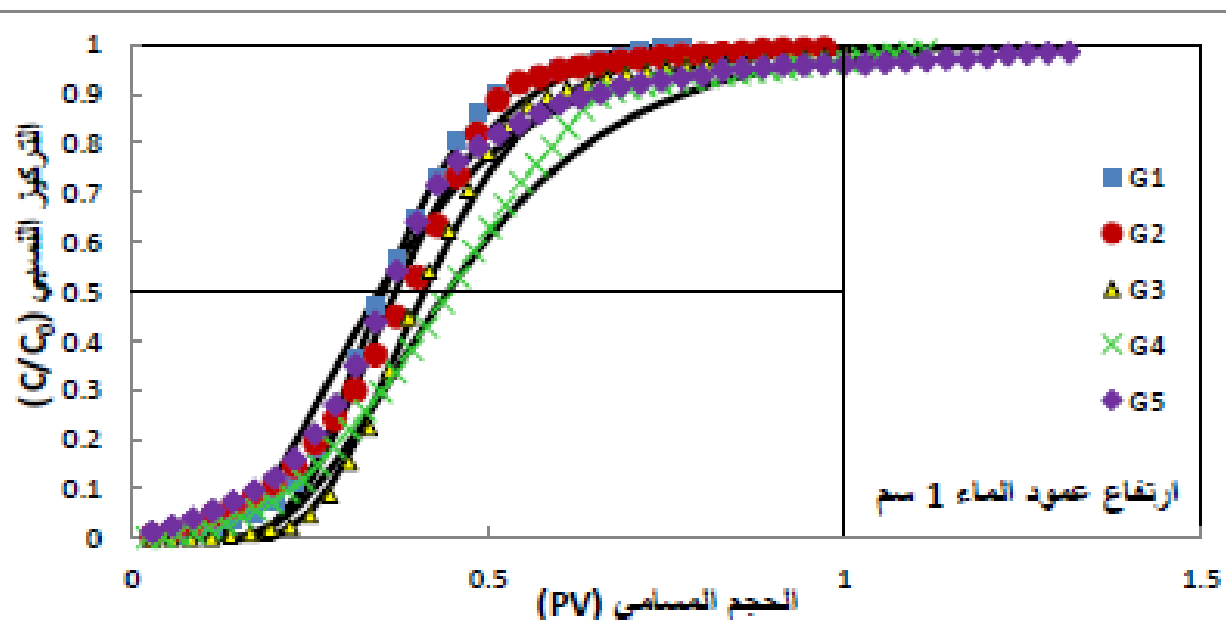
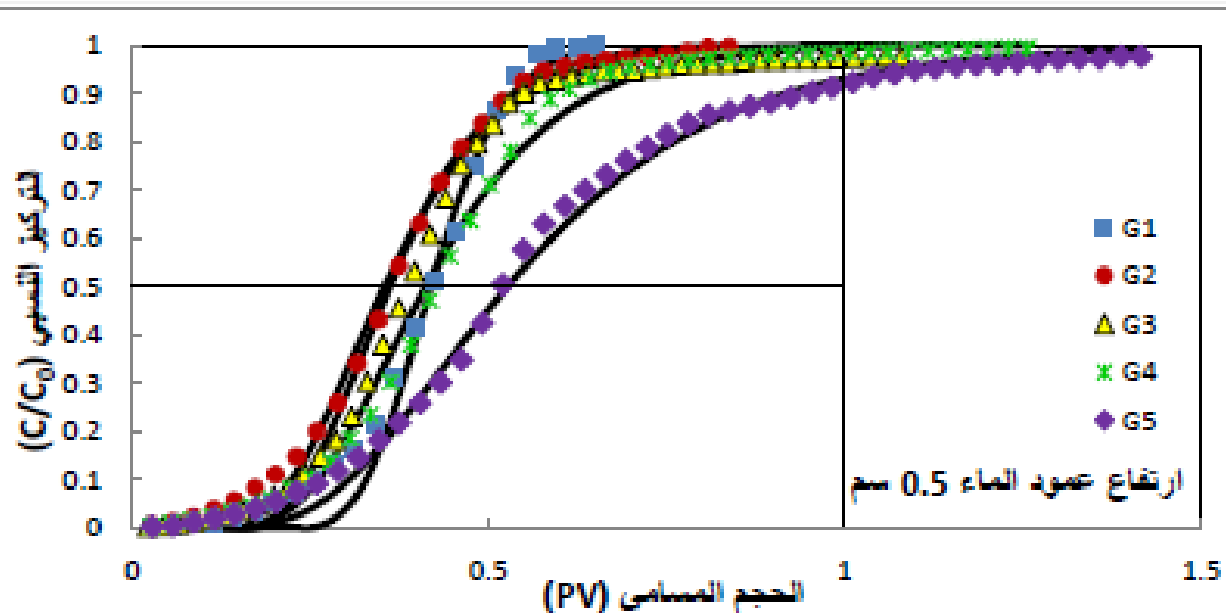
1.1 منحنيات الاختراق

يوضح شكل 1 منحنيات اختراق النترات كدالة للحجم المسامي (Pore volume) لمعاملات ارتفاع عمود الماء الثلاث اذ يلاحظ وجود تطابق عالي بين القيم المقاسة والقيم المقدرة من معادلة 4 (التشتت - الحمل، CDE). لقد اخضع الأنموذج المبين في المعادلة 4 لاختبار جودة المطابقة (goodness of fit) وفقاً لبعض المعايير الاحصائية كمعامل الارتباط r والجذر التربيعي لمتوسط الخطأ RMSE. اعطى الأنموذج المستخدم أفضل تطابق للبيانات المقاسة لمنحنيات الاختراق كدالة لحجم الراشح (شكل 1) مع البيانات المقاسة اذ تراوحت قيم r بين 0.96 - 0.99 في حين كانت قيم الجذر التربيعي لمتوسط الخطأ تتراوح بين 0.0259 -

0.0927. ان ارتفاع قيمة r وانخفاض قيمة RMSE دليل على التطابق العالي بين القيم المقاسة وتلك المقدرة من الأنموذج. اظهر الشكل 1 بشكل عام توزيعاً طبيعياً لمنحنيات الاختراق والذي يعني ان المساحة تحت المنحنى تساوي تقريباً المساحة اعلى المنحنى (تقاطع الخط العمودي الواصل بين 1 حجم مسامي مع الخط الأفقي الواصل من $C/C_0 = 0.5$) وبأخذ المنحنى شكل حرف (Sigmoid shape, S) وهذا يحدث عندما لا تحصل أعاقلة لحركة الماء والمذاب في التربة والذي يمثل الإزاحة المكسبية (Piston like displacement) عند مرور حجم مسامي واحد من محلول الإزاحة (الماء) ولجميع المعاملات. حصل (Gonzalez and Shukla (2011 على منحنيات اختراق للنترات مشابهة لما تم الحصول عليه في الدراسة الحالية اذ بينا ان سبب وقوع منحني الاختراق الى يسار 1 حجم مسامي ناتج عن التناثر بين النترات سالبة الشحنة مع أسطح الدقائق المشحونة بالشحنة نفسها أو المدى الواسع لسرعة الجريان المسامي للمعاملات المختلفة وخاصة في المراحل الأولى من الإزاحة للنترات. احتاجت المعاملتان G1 و G2 لجميع مستويات ارتفاع عمود الماء الى مرور أقل من 1 حجم مسام لكي تزاح جميع النترات خارج أعمدة التربة (شكل 1). وقد يعود سبب ذلك الى انخفاض محتواها من الجبس مقارنة مع بقية المعاملات مما يعني توفر نسبة طين أكبر ووجود شحنات سالبة أكثر ادت الى استبعاد النترات بشكل أسرع وقد انعكس ذلك في قيم R لهاتين المعاملتين التي كانت هي الأقل من بين المعاملات الاخرى (جدول 4)، فضلاً عن وجود بناء تربة بدرجة ما أفضل من بقية المعاملات مما حافظ على تماسك التربة داخل العمود وقلل الخلط وانسداد المسامات نتيجة لزوبان وحركة الجبس. تبين نتائج جدول 2 ان الكمية اللازمة لإزاحة نصف تركيز النترات ($C/C_0 = 0.5$) قد ازدادت بزيادة الجبس إذ بلغت قيم الحجم المسامية اللازمة لإزاحة 50% من النترات كمتوسط للقيم للمعاملة G1 0.39 في حين كانت قيمة متوسط الحجم المسامي للمعاملة G5 هو 0.47 حجم مسامي لارتفاعات عمود الماء الثلاث، وهذه النتيجة تؤكد ما ذكر سابقاً حول دور الجبس في إعادة الحركة نتيجة الزوبان والخلط. ونلاحظ من الجدول نفسه ايضاً أن جميع المعاملات احتاجت الى أقل من نصف حجم مسامي واحد لخروج 50% من النترات مع الراشح. وقد يعزى سبب ذلك الى ان إضافة النترات الى سطح التربة الجافة مباشرة أدى الى خروج النترات بسرعة في الراشح خاصة في المراحل الأولى من الإزاحة، وكذلك فإن أقصى تركيز للمذاب يحصل عند جبهة الابتلال مما يؤدي الى تحريك المذاب مع الماء لذلك تطلب حجم مسامي واحد لإزاحة معظم النترات من العمود (Gonzalez and Shukla, (2011 و Kovacova, (2017 و Wang, et al. (2014 و Bahia and Naser. (2017). وهذا يوضح دور الجبس الذي قد طغى بشكل أكبر في المراحل الاخرى من الإزاحة مقارنة بالمراحل الاولى مما سبب في الغاء دور كل من سرعة الماء المسامي والتدفق.

جدول (2). تأثير محتوى الجبس في التربة (G) وارتفاع عمود الماء (سم) في الحجم المسامي (pore volume) اللازم لإزاحة 50% من النترات ($C/C_0 = 0.5$)

المتوسط	ارتفاع عمود الماء (سم)			المعاملة
	1.5	1.0	0.5	
0.39	0.38	0.38	0.40	G1
0.40	0.42	0.39	0.38	G2
0.42	0.44	0.41	0.41	G3
0.41	0.40	0.43	0.40	G4
0.47	0.42	0.46	0.52	G5
	0.41	0.41	0.42	المتوسط



شكل (1). منحنيات اختراق الترات كدالة للحجم المسامي للرب ذات محتوى جبسي مختلف.

2.3 الانتقال الكتلي

النترات مع الماء كان سريعاً إذ يكون انتقالها مساو لانتقال الماء أو أسرع منه بسبب شحنتها السالبة مما يؤدي إلى حصول الاستبعاد الأنيوني للنترات وبذلك تزداد حركتها مع محلول التربة (Gonzalez and Shukla, 2011). كما يلاحظ من الجدول أن قيم الانتقال الكتلي كانت متقاربة باختلاف عمود الماء عند المحتوى الجبسي نفسه، وقد يعزى سبب ذلك إلى أن حركة الماء كانت بطيئة بسبب الإضافات المتقطعة للماء أو مرحلة التوقف عن الغسل (يومان) مما أعطى الفرصة لحصول حركة للجبس ربما عن طريق الانتشار وحصول غلق ميكانيكي لعددٍ من المسامات.

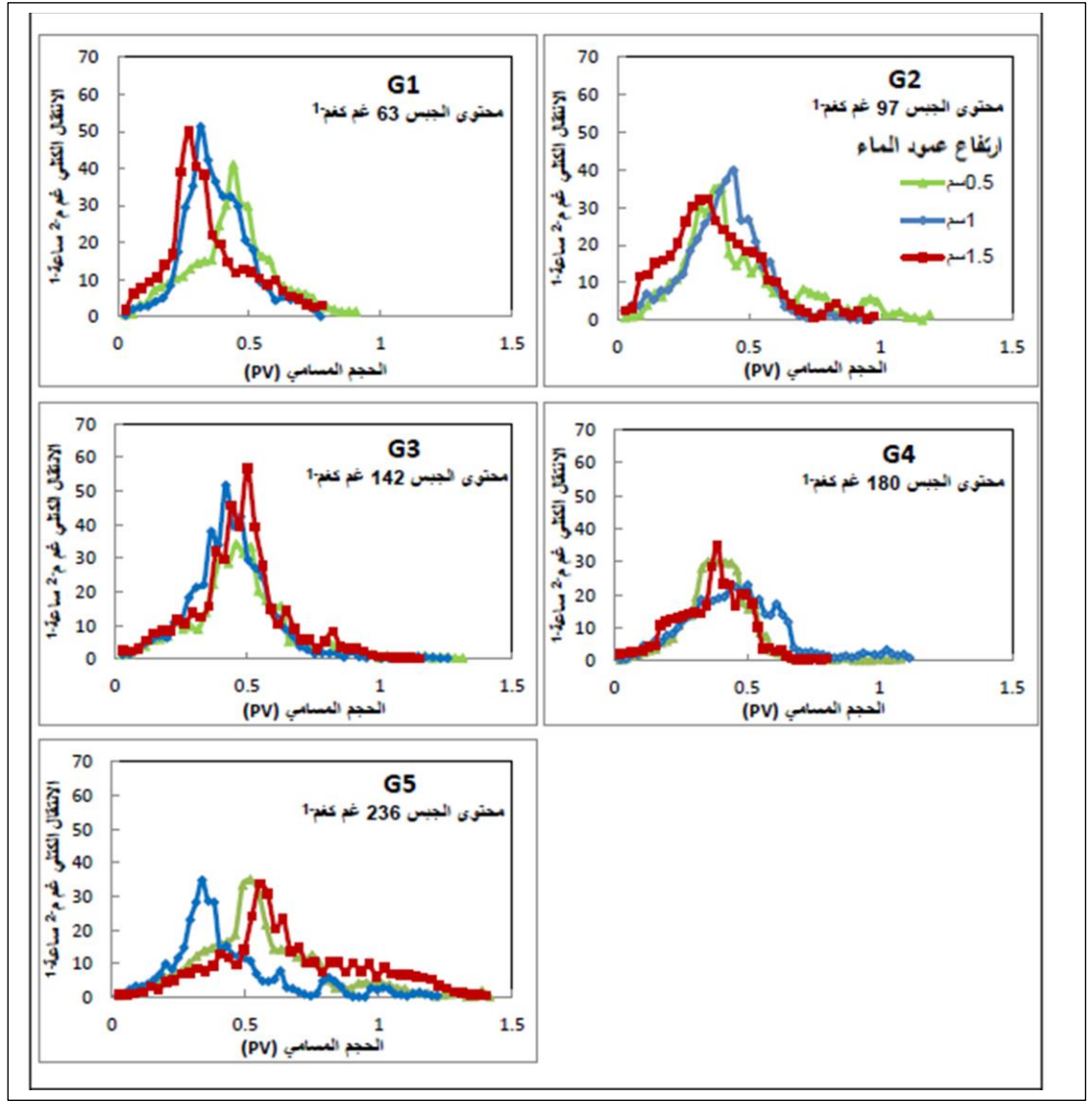
يبين جدول 3 قيم الانتقال الكتلي. إذ كانت أعلى قيمة في المعاملة G1 عند ارتفاع عمود الماء 0.5 سم 16.77 غم م⁻² ساعة⁻¹ وأقل قيمة في المعاملة G5 لارتفاع عمود الماء 1 سم التي بلغت 8.12 غم م⁻² ساعة⁻¹. يتبين مما في أعلاه أن الانتقال الكتلي هو السائد ويقل بزيادة محتوى التربة من الجبس. ويمكن أن يعزى ذلك إلى انخفاض سرعة تدفق الماء نتيجة لزوبان جزء من دقائق الجبس الناعمة مما يؤدي إلى غلق ميكانيكي لعددٍ من المسامات ومن ثم إعاقة لحركة الماء وبالتالي انخفاض قيم الانتقال الكتلي (Shihab, 1997) و (Mahdi, 2018). أن قيم الانتقال الكتلي العالية تبين أن انتقال

جدول (3). تأثير محتوى الجبس في التربة (G) وارتفاع عمود الماء (سم) في قيم الانتقال الكتلي (غم م⁻² ساعة⁻¹)

المعاملة	ارتفاع عمود الماء (سم)	المتوسط
	0.5	1.5
G1	16.77	14.02
G2	15.37	12.87
G3	11.15	12.87
G4	8.29	10.29
G5	8.20	9.45
المتوسط	11.96	10.51

ساكناً، فإن حركة المذاب تحدث بواسطة الانتشار (diffusion) فقط، أما إذا كان الماء متحركاً فإن الانتقال بالكتلة (mass transfer) أو الحمل (convection) سوف يكون له دورٌ مضاف في الحركة والنقل بالانتشار، ولذلك كلما زادت حركة ماء الغسل في أعمدة التربة كلما زادت كمية المذاب في وحدة حجم ماء ووحدة زمن (Trudgill, 1986)، وهذا يبين أن سلوك الترب الجبسية ربما يكون مشابهاً للترب الرملية التي تسود آلية الجريان الكتلي فيها في كافة مراحل حركة المذاب في حين تسود آلية الجريان الكتلي في المراحل الأولى من حركة المذاب في الترب ناعمة النسجة وهذا ما توصل إليه (Tawfeeq (1996) و (Al-Hassani (2007).

يبين شكل 2 قيم الانتقال الكتلي باختلاف قيم الراشح ممثلة بحجم المسام. إذ يبين أن قيم الانتقال الكتلي انخفضت في جميع المعاملات عند تقدم عملية الغسل لجميع مستويات الجبس، مما أدى إلى انخفاض تركيز النترات في محلول التربة بسبب حركة النترات السريعة داخل مقد التربة وخروجها في الراشح (Gold et al., 2004). مما سبق يتبين أن آلية الانتقال الكتلي كانت هي السائدة لجميع مراحل حركة النترات لحين خروج كل النترات من عمود التربة (شكل 2) ويعزى ذلك إلى حركة النترات العالية مع ماء الغسل، أن التأثير الهيدروديناميكي لماء الغسل كوسط ساكن أو متحرك يؤثر في طريقة وسرعة نقل الكتلة، فإذا كان الماء



شكل (2). الجريان الكتلي للنترات وعلاقته بحجم المسام ومحتوى الجبس

3.3 مدلولات الانتقال

هذه المكونات بشكل غير منتظم مما يزيد من معامل التشتت وعامل الإعاقة للنترات المنتقلة مع الماء، كما ان للجبس دور في حصول جريان غير منتظم مشابه للجريان التفضيلي مما تسبب في زيادة التشتت (Shihab, 1997 و Mahdi, 2018).

ترتبط قيم D بدرجة رئيسة مع سرعة الجريان المسامي (Mahdi, 2018)، إلا أن ذلك لم يكن واضحاً في هذه الدراسة إذ كانت العلاقة سالبة غير معنوية بين D و v (شكل 3). إن زيادة سرعة الجريان تؤدي الى حدوث حمل وتشتت المواد المذابة مع الماء في التربة. ومن جهة أخرى فإن قيم D تشمل التشتت والانتشار، وأن زيادة هذه القيم تشير إلى زيادة مساهمة آلية التشتت وانخفاض آلية الانتشار. تبين النتائج أعلاه أن لمحتوى الجبس الأثر الأكبر في عدم وضوح قيم D مع v . لم يأخذ D اتجاهًا ثابتاً، إذ سبب الجبس عدم انتظام حركة الماء نتيجة لزوبانه وانتقاله إلى موقع آخر في العمود وتغير قيمة v نتيجة لذلك.

كما إن انخفاض قيم R إلى أقل من واحد سببه ظاهرة استبعاد الأيونات السالبة (anion exclusion)، إذ إن الأيونات

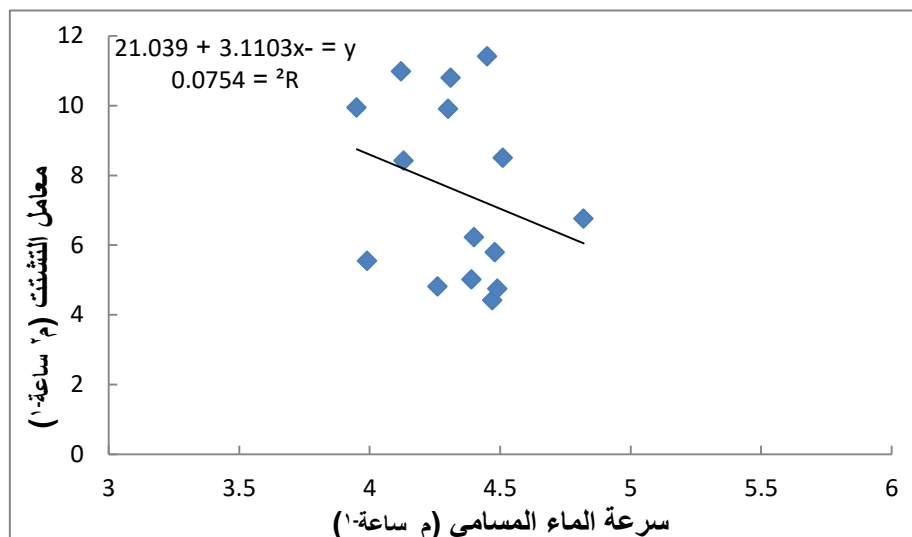
تبين نتائج جدول 4 قيم معامل التشتت D ورقم بكت P وعامل الإعاقة R ، فقد كانت أعلى قيمة لمعامل التشتت D في المعاملة G1 عند ارتفاع عمود الماء 1.5 سم، إذ بلغت 11.41 م²/ساعة⁻¹، وأقل قيمة كانت في المعاملة G1 أيضاً عند ارتفاع عمود الماء 0.5 سم وبلغت 4.41 م²/ساعة⁻¹، كما تبين نتائج الجدول أيضاً وجود علاقة طردية بين معامل التشتت وعامل الإعاقة إذ تزداد قيم كل منهما بزيادة محتوى الجبس في عمود التربة وتنخفض بانخفاض محتوى الجبس في العمود إذ أن أعلى قيمة لعامل الإعاقة كانت في المعاملة G5 عند ارتفاع عمود الماء 1.5 سم وبلغت 0.69 في حين كانت أقل قيمة في المعاملة G2 عند ارتفاع عمود الماء 0.5 سم وبلغت 0.35 (جدول 4). وبما ان حركة النترات في التربة تكون مصاحبة لحركة الماء أو أسرع منه فقد يعزى ذلك الى انه بناء الترب الجبسية غير الثابت مما خلف حركة غير متجانسة للماء بسبب ذوبان الجبس فضلاً عن أن زيادة ذوبان الجبس بزيادة محتواه يؤدي إلى خلط مكونات التربة وحركة

الموجبة تجذب إلى شحنات الطين السالبة بواسطة قوى كهربائية ساكنة، في حين تستبعد الأيونات السالبة الشحنة بنفس القوى، مما يؤدي إلى انخفاض تركيز الأخيرة بالقرب من سطوح المعادن وزيادتها في المحلول، وسمي هذا بالامتزاز السالب (negative adsorption) أو الاستبعاد الانبوني. أدى ذلك إلى انخفاض قيم R وهذا بدوره انعكس في قيم D، إذ إنَّ هذا الاستبعاد أدى إلى انخفاض تشتت النترات لأن الأيون السالب هذا يستبعد من الحركة في المسامات الصغيرة وأغشية الماء الضيقة التي تربط المسامات الكبيرة (Trudgill, 1986). وهذا يتبن بشكل جلي من قيم معامل التوزيع (K_d) التي كانت سالبة لكل المعاملات (جدول 5) ففي حالة عدم وجود تداخل بين المذاب والترربة فإن K_d يصبح 0 وأنَّ قيمة R تساوي 1، وفي عدد من الحالات يمكن أن يكون R أقل من واحد وان K_d سالب، والذي يدل على أنَّ جزءاً من الطور السائل يشارك في عملية الانتقال، وهذا يمكن أن يحصل عندما يتعرض المذاب إلى عملية استبعاد انبوني أو وجود مناطق غير متحركة نسبياً. كما أظهرت نتائج جدول 4 قيم رقم بكلت P لمعاملات الدراسة إذ أظهرت النتائج انخفاض رقم بكلت عموماً بزيادة محتوى التربة من الجبس لجميع ارتفاعات عمود الماء،

وكانت أعلى قيمة للمعاملة G1 عند ارتفاع عمود الماء 0.5 سم وبلغت 33.3 أمّا أقل قيمة فكانت في المعاملة G5 عند ارتفاع عمود الماء 1 سم إذ بلغت 8.7. كما بينت النتائج ان هناك علاقة عكسية بين رقم بكلت P ومعامل التشتت D اي كلما زاد P انخفض D في جميع مستويات الجبس وعند اي ارتفاع عمود ماء وهذه النتائج اتفقت مع نتائج (Mahdi, 2018)). تشير قيم P إلى النسبة بين الانتشار والتشتت، ففي الأعمدة التي يزداد فيها التشتت تقل فيها قيم P وهذا ما حصل في هذه الدراسة إذ ازدادت قيم P وانخفضت قيم D. تشير هذه النتائج الى أهمية رقم بكلت كمؤشر يعكس التحسس للتغيرات التي تحصل في التربة خلال عملية انتقال المذاب، فإذا علمنا أنَّ قيمة P تمثل النسبة بين النقل بالحمل إلى النقل بالتشتت خلال حركة المذاب، فإنَّ النظر ثانياً إلى قيم P تقع ضمن المنطقة الثالثة ($20 < P < 5$) حسب التصنيف الوارد في (Kutilek and Nieslen, 1994). ويؤكد هذا أنَّ آلية التشتت كانت سائدة. وأنَّ تباين قيم P (ارتفاعاً وانخفاضاً) مع استمرار عملية الجريان يعكس تبادل آليات التشتت والانتشار خلال المراحل المختلفة لعملية الجريان.

جدول (4). تأثير محتوى الجبس في التربة (G) وارتفاع عمود الماء (سم) في قيم معامل التشتت D ($\text{م}^2 \text{ساعة}^{-1}$) ورقم بكلت P وعامل الإعاقه R

معامل التشتت (D)				المعاملة
ارتفاع عمود الماء (سم)				
المتوسط	1.5	1.0	0.5	
6.94	11.41	5.01	4.41	G1
6.48	4.74	9.9	4.8	G2
7.01	6.75	8.5	5.79	G3
8.54	10.98	6.22	8.41	G4
8.76	5.54	9.94	10.79	G5
	7.88	7.91	6.84	المتوسط
عامل الإعاقه (R)				
0.39	0.37	0.37	0.43	G1
0.40	0.44	0.41	0.35	G2
0.44	0.46	0.43	0.43	G3
0.53	0.52	0.59	0.48	G4
0.63	0.69	0.59	0.62	G5
	0.50	0.48	0.46	
رقم بكلت (P)				
23.3	14.0	22.7	33.3	G1
19.8	24.0	12.0	23.3	G2
17.6	19.0	13.7	20.0	G3
13.9	19.0	10.0	12.7	G4
12.5	18.7	8.7	10.0	G5
	18.9	13.4	19.9	



شكل (3). علاقة معامل التشتت D للنترات مع سرعة الماء المسامي v

جدول (5). تأثير محتوى الجبس في التربة (G) وارتفاع عمود الماء (سم) في قيم معامل التوزيع (Kd).

المعاملة	0.5	1.0	1.5	المتوسط
G1	- 0.0017	- 0.0017	- 0.0016	- 0.0017
G2	- 0.0015	- 0.0014	- 0.0015	- 0.0015
G3	- 0.0015	- 0.0013	- 0.0012	- 0.0013
G4	- 0.0012	- 0.0011	- 0.0010	- 0.0011
G5	- 0.0008	- 0.0009	- 0.0008	- 0.0008
المتوسط	- 0.0013	- 0.0013	- 0.0012	

4.3 التنبؤ بتركيز النترات مع العمق

تركيز المذاب في الراشح (flux- averaged concentration)، أظهر توافقاً جيداً عند مقارنة تركيز النترات المقاس في الراشح مع التركيز المتبقي في التربة للمدد الزمنية المذكورة أعلاه. إذ تراوحت قيم الخطأ النسبي كمتوسط للقيم بين 5.30 إلى 7.75% وبين 8.72 إلى 10.84% للمدتين 1 و 2 ساعة على التتابع. تشير النتائج إلى إمكانية التنبؤ بتوزيع النترات في مقد تربة جبسية تحت ظروف حدود صحيحة مع تحديد قيم D و v خلال مراحل متعددة ومتقاربة لملاحظة دور الجبس بشكل أكبر في عملية التنبؤ.

أظهر التنبؤ بالتغير في تركيز النترات مع العمق نوعين من التوزيع. ففي النوع الأول كان الانخفاض في التركيز بطيئاً خلال مدة زمنية 1 ساعة، أما في النوع الثاني فوجد انخفاض سريع في تركيز النترات مع العمق خلال فترة زمنية مدتها 2 ساعة (شكل 4).

إنَّ استعمال المعادلة 5 لقياس معدل تركيز المذاب في عمود التربة (volume-averaged concentration) من خلال معدل



شكل (4). تركيز النترات في عمود التربة المقدر من معادلة 5 لترب ذات محتوى جبسي مختلف.

4. الاستنتاجات

- 1- ان الجريان الكتلي هو السائد في انتقال النترات في الجريان غير المشبع باختلاف محتوى الجبس اذ ازدادت قيم معامل التشبث بزيادة محتوى الجبس وانخفضت قيم عامل الاعاقة.
- 2- ان انتقال النترات في التربة ذات المحتوى الجبسي المرتفع كانت ابطئ مقارنة بالتربة ذات المحتوى الجبسي الاقل اذ احتاجت التربة ذات المحتوى الجبسي

المرتفع الى مرور حجم مسامي اعلى وزمن اطول لخروج كل النترات في الراشح مقارنة بالتربة ذات المحتوى الجبسي الاقل، وهذا يقلل من احتمالية انتقال النترات الى المياه الجوفية بزيادة محتوى الجبس.

3- ان حل نموذج الحمل - التشبث قد أعطى تطابق جيداً لوصف منحنيات اختراق النترات وبالتالي إمكانية التنبؤ بانتقال وتوزيع النترات في التربة الجبسية باعتماد ظروف حدود صحيحة.

References

- Al-Hassani, A.A. 2007. Transport and kinetics of chloride during desalinization of two salt affected soils different in texture. Ph.D. Dissertation, Soil Sci. and Water Resources, College of Agriculture, University of Baghdad .
- Allred, B. J. 2007. Effects of nitrate concentration and ionic strength on nitrate anion exclusion under unsaturated flow conditions. *Soil Sci.* 172.11:842-860.
- Allred, B. J. 2008. Cation effects on nitrate mobility in an unsaturated soil. *Soil Sci. ASABE*.51(6):1997-2012.
- Allred, B. J. 2015. Laboratory Investigation of Boundary Condition Impacts on Nitrate Anion Exclusion in an Unsaturated Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 79: 742-756.
- Allred, B. J. and Brown, G. 2007. Nitrate mobility under unsaturated flow conditions in four initially dry soils. *Soil Sci.* 172.1:27-41.
- Bahia, M.H.S., and K.M.Naser. 2017. Determination of transport parameters for solutes in salt-treated soil columns. *Iraqi J. Agric. Sci.* 48(1):202-215.
- Gold, A.J., Oviatt, C.A., Benjamin, N. and Giller, K.E. 2004. Nitrate, Agriculture and The Environment. The Chemistry and Physics of Nitrate. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data: 14-19.
- Gonzalez-Delgado, A. M. and Shukla, M, K. 2011. Coupled transport of nitrate and chloride in soil columns. *Soil Sci.* 176. 7: 346-355.
- Kovacova, V. 2017. Nitrate dispersion-diffusion coefficients in agricultural soil profile of Zitny ostrov locality (Slovakia). *Columella.* 4.1:143-148.
- Kutilek, M and Nieslen, D.R. 1994. *Soil Hydrology: Textbook for students of soil science, agriculture, forestry, geoecology, hydrology, geomorphology and other related disciplines.* Catena Verlag.
- Mahdi, A. S. 2018. Transport of gypsum in gypsiferous-calcareous soil under saturated and unsaturated water conditions. M.Sc. Thesis, Soil Science and Water Resources, College of Agriculture, Tikrit University.
- Shihab, R.M., 1997. Influence of application of fuel oil and Bentonite on some physical properties and transport of water and solute in gypsiferous soil. Ph.D. Dissertation, Soil Sci. and Water Resources, College of Agriculture, University of Baghdad .
- Shihab, R.M., and Abdulwahhab, Q. R. 2013. Estimation of some hydraulic characteristics of gypsiferous soils using Pedotransfer functions. *Iraqi J. Agric. Sci.* 44(4):518-527.
- Skaggs, T.H., and F.J. Leij. 2002. Solute transport: Theoretical background. In J. Dane and C. Topp (eds.) *Methods of Soil Analysis. Part 4.* SSSA, Madison, WI. p. 1353–1380.
- Soil Survey Staff. 1999. *Soil Taxonomy A Basic Method for Making and Interpreting Soil Surveys.* 2^{ed} USDA. NRCS Agric. Handbook 436-U.S. Gov. Print. Office, Washington.
- Tawfeeq, H.A. 1996. Effect of some physical properties on chloride displacement in soil. . M.Sc. Thesis, Soil Science and Water Resources, College of Agriculture, University of Baghdad
- Trudgill, S.T. 1986. Solute processes and landforms: an assessment. In Trudgill, S.T.(ed.), *Solute Processes*, John Wiley and Sons, Chichester. 497-509.
- Wang, Z., Li, J. and Li, Y. 2014. Simulation of nitrate leaching under varying drip system uniformities and precipitation patterns during the growing season of maize in the North China Plain. *Agric. Water Manag.* .142: 19-28.