



## Modeling of $\text{NO}_3^-$ transport in gypsiferous soil under unsaturated flow

Ramzi M. Shihab

Ahmed A. Fattah

Noor Aldeen M. Muawish

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

### Article Info.

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

### Keywords

$\text{NO}_3^-$   
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  $\text{kg}^{-1}$  of gypsum were prepared. 200 mg  $\text{L}^{-1}$  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  $\text{m}^2 \text{ h}^{-1}$ . 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](mailto:ramzishihab@tu.edu.iq)) Al- Muthanna University All rights reserved

نمدجنة انتقال النترات في تربة جبصية 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

### مستخلاص

اجري هذا البحث لدراسة تأثير محتوى التربة من الجبس وارتفاع عمود ماء الغسل في ازاحة وانتقال النترات تحت ظروف جريان غير مشبع في تربة جبصية، وكذلك التنبؤ بتراكيزها باستعمال انموذج الحمل - التشتت (CDE). حضرت أعمدة تربة ذات محتوى جبسي 63 و 97 و 142 و 180 و 236 غم كغم $^{-1}$ . أضيف 200 ملغم لتر $^{-1}$  من النترات بشكل نترات البوتاسيوم على سطح كل عمود، وغسلت الأعمدة بالماء بشكل متقطع وذلك بإمرار 2 حجم مسامي خلال عمود التربة. أضيف عمود ماء ثابت بإعماق 0.015، 0.01، 0.005 م فوق سطح كل عمود تربة، وجمع الراسح من أسفل العمود وقياس فيه تراكيز النترات. حل الانموذج الحمل - التشتت لإيجاد أفضل تطابق بين تراكيز النترات المقاسة والمقدرة، وحساب معامل التشتت (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 رواش اعمدة التربة الجبصية. أزداد D بازدياد محتوى الجبس وقل بزيادة عمود الماء، إذ بلغ 6.48-8.76  $\text{m}^2 \text{ ساعة}^{-1}$  في حين انخفض P وسرعة الماء المسمامي (v) بزيادة محتوى الجبس. وان قيم عامل الإعاقة كانت أقل من 1 لجميع المعاملات.

14% أو أكثر من الجبس في الأفق تحت السطحي. تتأثر الخصائص الفيزيائية والمائية للتربة الجبصية كثيراً بوجود الجبس إذ تنخفض قابلية الترب الجبصية على الاحتفاظ بالماء اعتماداً على نسجة التربة والبناء وحجم بلورات الجبس ووجود طبقات جبصية صلبة، ومحتوها من الطين وفي أغلب الترب الجبصية تكون حركة الماء معتدلة إلى سريعة،

### المقدمة

عرفت دائرة مسح التربة الأمريكية (Soil survey staff, 1999) الترب الجبصية على أنها الترب التي يكون محتواها أكثر من 2 % من الجبس في الأفق السطحي الذي يكون على هيئة جبس حقيقي ( $\text{CaSO}_4$ ) (True gypsum) أو الجبس المتميء ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (Anhydrite) وعلى

متبوع من خلال تحديد معايير الانتقال باستعمال موديل الحمل التشتت (CDE) فضلاً عن إمكانية التنبؤ بتركيز النترات في راشغ الغسل والمتبقي منه في أعمدة تربة جبسية.

### 1.1. الأساس النظري

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

اذ ان:

$C =$  معدل تركيز المذاب،  $t =$  الزمن،  $D =$  معامل التشتت،  $R =$  عامل الاتraction،  $v =$  معدل سرعة الماء المسامي ( $v = q/\theta$ )،  
اذ ان  $q =$  كثافة التدفق الحجمي للمائع ( $L/T^1$ ) وان  $\theta$  الرطوبة الجسمية للتربة،  $X =$  المسافة.

يمكن حل المعادلة (1) وفقاً للظروف الحدوية 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 يتاثر بحدود الجريان الخارج من السطح الأسفل للعمود لذلك يمكن اعتبار عمود التربة جزءاً من نظام نصف غير منته، وايضاً بافتراض ان التركيز مستمر عند  $L = x$  (طول التربة)  $(\leq L \leq x \leq L_0 \leq 0 \leq x \leq L)$  عندها يصبح الانموذج كالآتي (Skaggs and Leij, 2002

إذ ان  $C_e$  هو التركيز النسيي و  $erfc$  هي دالة الخطأ المكملة  $(erfc = 1 - erf)$

ولتبييض عن التركيز النسيي للراشح بصيغة حجم مسامي (Pore volume, v) لعمود التربة، ورقم بكلت P (Pecklet No.) فان المعادلة (3) يصبح كالآتي:

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

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

ونتيجة لعمليات الري أو الأمطار يغسل الجبس للأعماق السفلي، وأحياناً تكون طبقة جبسية صلبة تؤدي إلى تقليل الإيصالية المائية للتربة مما يجعل حركة الماء أشهه بحركته في التربة ذات الطبقات Shihab and Abdulwahhab, (Shihab, 1997 و 2013). النترات ( $NO_3^-$ ) أيون سالب الشحنة لذا يصعب امتصاصه (Adsorption) على سطح معادن الطين وذلك لتناقض الشحنة كونها تحمل نفس الشحنة مما يسهل من عملية غسله وحركته إلى الماء الأرضي، ويحدث امتصاص لهذا الأيون في الترب الحامضية على أسطح الأكسيد والغرويات موجبة الشحنة، وعند غياب الغرويات والأكسيد الموجبة ينعد أيضاً إلى الطبقات تحت 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 مزيجية رملية و مزيجية غربالية ومزيجية طينية إذ وجد (Allred and Brown (2007 و Allred (2015 و Allred (2008 و (Allred (2007 و Allred (2015 أن إضافة 50 و 200 و 1000 و 2690 ملغم لتر<sup>-1</sup> من النترات، عند مستوىين 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 تأثيرها بتركيز النترات، وأن زيادة تركيز النترات يزيد من التداخلات في الشحنات الحاصلة بين النترات والسطوح الصلبة في التربة المؤثرة في حركة النترات. وتبيين لهم أيضاً أن عملية الاستبعاد الانيوني 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  $Vt$  مزيجية ورملية بإضافة 200 ملغم لتر<sup>-1</sup> من نترات  $Ca(NO_3)_2$  و كلوريدي الكالسيوم وقد  $Ca^{2+} + NO_3^- \rightarrow CaNO_3$  ينعد إلى تركيز كمته في حركة النترات في أعمدة التربة تحت سطح الترب  $0.1 \text{ cm}$  مسامية بـ  $0.5 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  و  $1.5 \text{ cm}$  ساعة<sup>-1</sup>. إذ وجد هذان الباحثان أن حركة النترات كانت أسرع في التربة المزيجية بسبب تجانس المسامات على عكس التربة الرملية. كما توصلوا إلى ان لسرعة الماء المسامي تأثير في إزاحة النترات، إذ انخفض زمن إزاحة النترات بازدياد سرعة الماء المسامي. ولوحظ أيضاً أن معامل التشتت D يزداد بازدياد سرعة الماء المسامي. أن ازدياد الفرق حول تلوث المياه الجوفية والجاجة الملحاء 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 لمنطقة عمليات الانتقال والمحاكاة والتنبؤ بمصير انتقال المذاب في التربة، ومن أشهر هذه النماذج تلك التي تعتمد على الانموذج (الحمل - التشتت). لم تدرس حركة النترات في الترب الجبسية وعلاقة تلك الحركة بمحتوى الجبس تحت ظروف الجريان غير المسبوق لذلك فإن التنبؤ بحركة انتقال النترات وتحديد معايير هذا الانتقال باستعمال نماذج رياضية يساعد في فهم أفضل للمشكلة ويساعد في حلها، وبناءً على ما ذكر أجريت هذه البحث لدراسة تأثير محتوى الجبس في إزاحة وانتقال النترات في مقد التربة تحت ظروف جريان غير

بـ  $\text{Rox} = \frac{\text{رو}(\text{X})}{\text{رو}(\text{t})}$  ووضع في أسفل كل عمود طبقة من الصوف  
الزجاجي  $\text{DRt} = \frac{\text{رو}(\text{X}) - \text{رو}(\text{t})}{\text{رو}(\text{t})}$  طبقة من الحصى المغسول الذي تتراوح اقطاره من  
0.02-0.04 مم كمرشح، ووضعت عند نهاية العمود قاعدة  
قطر ما لا يقل يقل من القطب الخارجي للعمود وثبت بداخلها أنبوب  
صغير قطر  $\text{DRt}$  مل الغرض جمع جراء الراشح أثناء عملية  
الغسل. حضرت الأعمدة التربة وذلك بتعبئة الأعمدة بعينات التربة  
المختبرية الجبسية 63 و 97 و 142 و 180 و 236 غم كغم<sup>-1</sup>.

$$2.2 \quad \text{أضافة نترات البوتاسيوم } \text{KNO}_3 \quad \text{ومتابعة انتقال النترات} \\ + \frac{V^X}{DRt} \exp\left(\frac{V^X}{D}\right) \text{erfc}\left(\frac{V^X + Vt}{2(DRt)^{0.5}}\right)$$

قسمت الأعمدة إلى ثلاثة مكررات إذ اختير منها  
مكرران متقاربان وأهلل 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  
بامرار 2 حجم مسامي في عمود التربة مقسمة على ست دفعات إذ  
أضيفت كل دفعه ماء بعد نزول كامل الماء المضاف في الدفعه  
السابقه على سطح العمود وكانت المدة الزمنيه بين كل دفعه  
وآخر يومين. أضيف الماء إلى سطح التربة بثلاثه ارتقاعات  
0.005، 0.01، 0.015، 0.02 م، وجمع الراشح من أسفل العمود وبشكل  
دفعات وقيس فيه تركيز النترات باستعمال جهاز المطياف  
الضوئي(Spectrophotometer)، حسبت الإيصالية المائية  
وسرعة الماء المسامي (v). قطعت الأعمدة بعد الانتهاء من  
عملية الغسل إلى أربعة اجزاء 0 - 0.05 - 0.1 - 0.15 - 0.2 م. جفت عيانت التربة هوائيا ثم  
مررت عبر منخل قطر فتحاته 2 مم وقيس محتوى النترات في  
العينات.

اذا تمثل X المسافة لاعمق مختلفة من طول عمود التربة L.

## 1. المواد وطرق العمل

### 1.2 تحضير اعمدة التربة

اختير موقع في محطة كلية الزراعة - جامعة تكريت  
ودرس فيه مقد تربة بعمق 1 م وقيس محتوى الجبس لاعمق 0-15 (G<sub>1</sub>) و 15-40 (G<sub>2</sub>) و 40-60 (G<sub>3</sub>) و 60-80 (G<sub>4</sub>) و 80-100 (G<sub>5</sub>) اعتمادا على الوصف المورفولوجي لهذا المقد. اذ  
بلغت قيم الجبس 63 و 97 و 142 و 180 و 236 غم كغم<sup>-1</sup> على  
التابع. اخذت عيانت تربة من هذه الاعماق وجفت هوائيا ثم  
طحنت ومررت بمنخل قطر فتحاته 2 مم. قدرت بعض  
الخصائص الفيزيائية والكيميائية لموقع الدراسة كما مبين في  
جدول 1. استعملت اعمدة اسطوانية لدائنه طولها 0.30 م وقطرها  
الداخلي 0.044 م عبئت بعيانت التربة للحصول على اعمدة تربة

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

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

0.0927. ان ارتفاع قيمة  $r$  وانخفاض قيمة RMSE دليل على التطابق العالي بين القيم المقاومة و تلك المقدرة من الانموذج. اظهر الشكل 1 بشكل عام توزيعاً طبيعياً لمنحنى اختراق والمذى يعني ان المساحة تحت المنحنى تساوي تقريباً المساحة على المنحنى (تقاطع الخط العمودي الواصل بين 1 حجم مسامي مع الخط الأفقي الواصل من  $C/C_0 = 0.5$ ) ويأخذ المنحنى شكل حرف (S) Sigmoid shape, S ( وهذا يحدث عندما لا تحصل أعاقة لحركة الماء والمذاب في التربة والذي يمثل الإزاحة المكبسية ) Piston Gonzalez and (Gonzalez and 2011) على منحنى اختراق للنترات مشابهة لما تم الحصول عليه في الدراسة الحالية اذ يبين ان سبب وقوع منحنى الاختراق الى (6)  $D = \frac{vL}{P}$  حجم مسامي تابع عن التناقض بين النترات سالبة الشحنة مع أسطح الدفانق 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 جم 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 شحنتان سالبة أكثر ادت الى استبعاد النترات بشكل أسرع وقد انعكس ذلك في قيم  $R$  لهاتين المعاملتين التي كانت هي الأقل من بين المعاملات الأخرى (جدول 4)، فضلاً عن وجود بناء تربة بدرجة ما أفضل من بقية المعاملات مما حافظ على تماسك التربة داخل العمود وقل الخلط وانسداد المسامات نتيجة لذوبان وحركة الجبس. تبين نتائج جدول 2 ان الكمية اللازمة لإزاحة نصف تركيز النترات  $C/C_0 = 0.5$  قد ازدادت بزيادة الجبس اذ بلغت قيم الحجوم المسامية اللازمة لإزاحة 50% من النترات كمتوسط القيم للمعاملة G1 هو 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 الذوبان والخلط. ونلاحظ من الجدول نفسه ايضاً أن جميع المعاملات احتاجت الى أقل من نصف حجم مسامي واحد لخروج 50% من النترات مع الراش. وقد يعزى سبب ذلك الى ان إضافة النترات الى سطح التربة الجافة مباشرة أدى الى خروج النترات بسرعة في الراش خاصة في المراحل الأولى من الإزاحة، وكذلك فإن أقصى تركيز للمذاب يحصل عند جبهة الابتلام مما يؤدي الى تحرك المذاب مع الماء لذلك تطلب حجم مسامي واحد لإزاحة معظم النترات من العمود (Gonzalez and Wang, et al. 2011) و (Shukla, Kovacova, 2017) و (Bahia and Naser. 2014) و (2017). وهذا يوضح دور الجبس الذي قد طغى بشكل أكبر في المراحل الأخرى من الإزاحة مقارنة بالمراحل الأولى مما سبب في الغاء دور كل من سرعة الماء المسامي والتندق.

### 3.2 حساب مدلولات الانتقال

بنيت منحنىات الاختراق للنترات استعمل انموذج (الحمل - التشتت) (معادلة 4) لإيجاد أفضل تطابق بين القيم المقاومة في الراش و القيم المقدرة للنترات وذلك باستخدام برنامج MATHCAD إذ تم ايجاد قيم عامل الإعاقة (R) ورقم بكلت (P) وذلك بتغيير قيم كل منها عن طريق المحاولة والخطأ (trial and error) في المعادلة لحين الحصول على أفضل تطابق بين القيم المقاومة والمقدرة بالاعتماد على اعلى قيمة لمعامل الارتباط  $r$  وأقل قيمة للجزر التربيعي لمتوسط الخطأ RMSE ثم حسب معامل التشتت (Dispersion Coefficient, D) من المعادلة الآتية:

استعملت معادلة 5 للتتبؤ بتركيز النترات في اعمدة التربة لزمبدين 1 و 2 ساعة من بدء عملية الغسل باستعمال برنامج Excel وتمت مقارنة تركيز النترات المقاس في الراش 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 كالتالي:

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

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

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

اذ ان  $\rho_b$  الكثافة الظاهرية لعمود التربة (ميagram م<sup>-3</sup>)

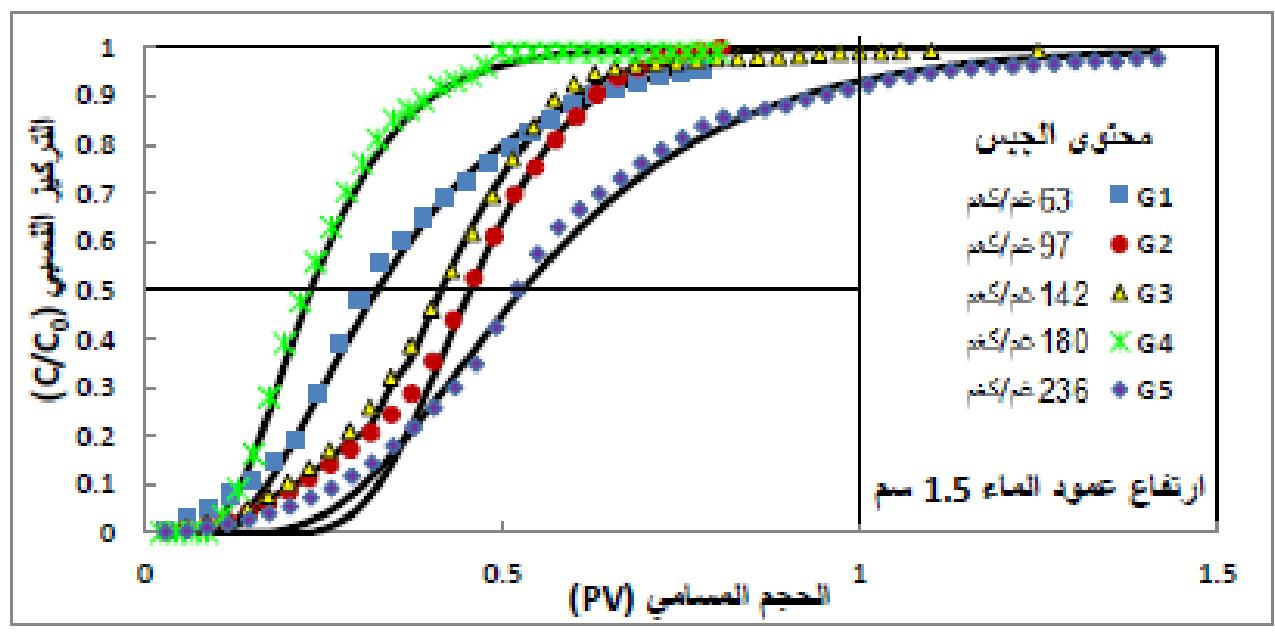
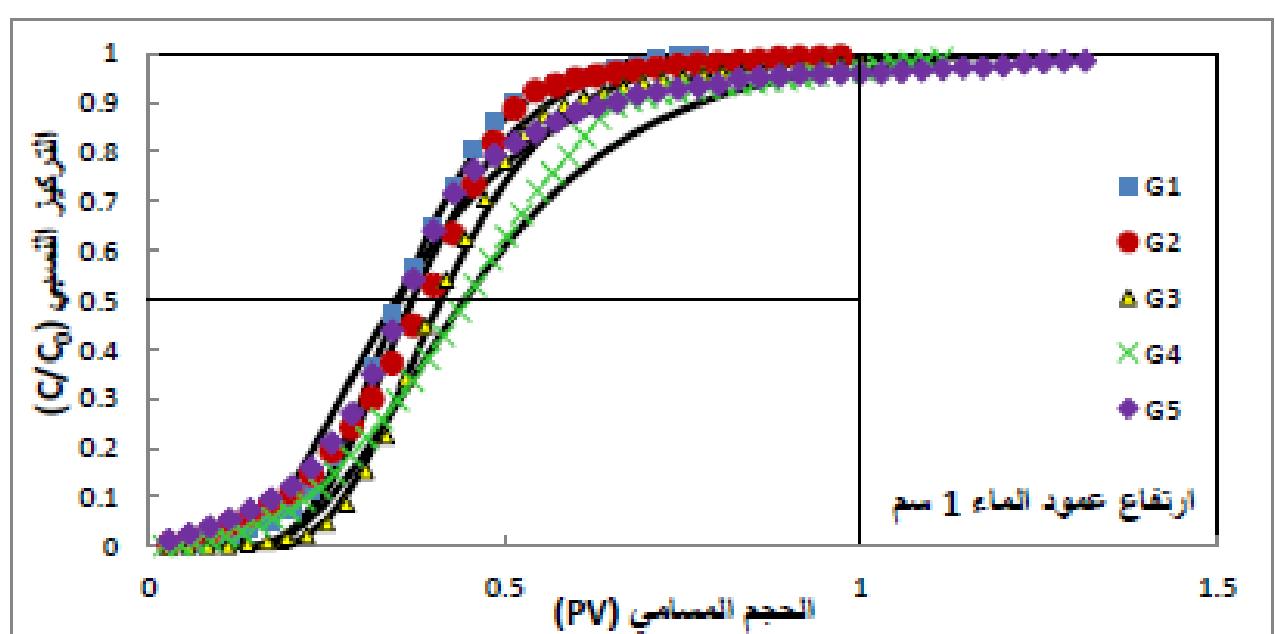
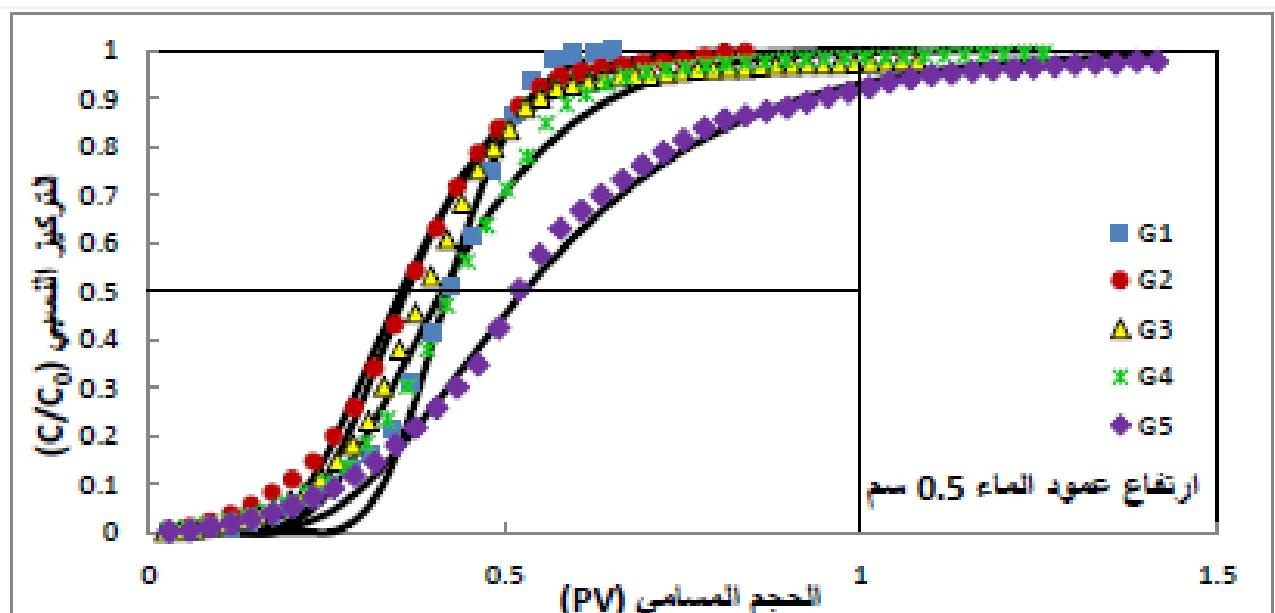
### 3. النتائج والمناقشة

#### 1.3 منحنىات الاختراق

يوضح شكل 1 منحنىات اختراق النترات كدالة للحجم المسامي (Pore volume) لمعاملات ارتفاع عمود الماء الثلاث اذ يلاحظ وجود تطابق علي بين القيم المقاومة والقيم المقدرة من معادلة 4 (التشتت - الحمل، CDE). لقد اخضع الانموذج المبين في المعادلة 4 لاختبار جودة المطابقة (goodness of fit) وفقاً لبعض المعايير الاحصائية كمعامل الارتباط  $r$  والجزر التربيعي لمتوسط الخطأ RMSE. اعطي الانموذج المستخدم أفضل تطابق للبيانات المقاومة اذ تراوحت قيم  $r$  بين 0.96 - 0.99 في حين كانت قيم الجذر التربيعي لمتوسط الخطأ تتراوح بين 0.0259 -

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 اخراوات السرات دالة للحجم المسمامي لرب دات محتوى جبسي مختلف.

### 2.3 الانتقال الكتلي

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

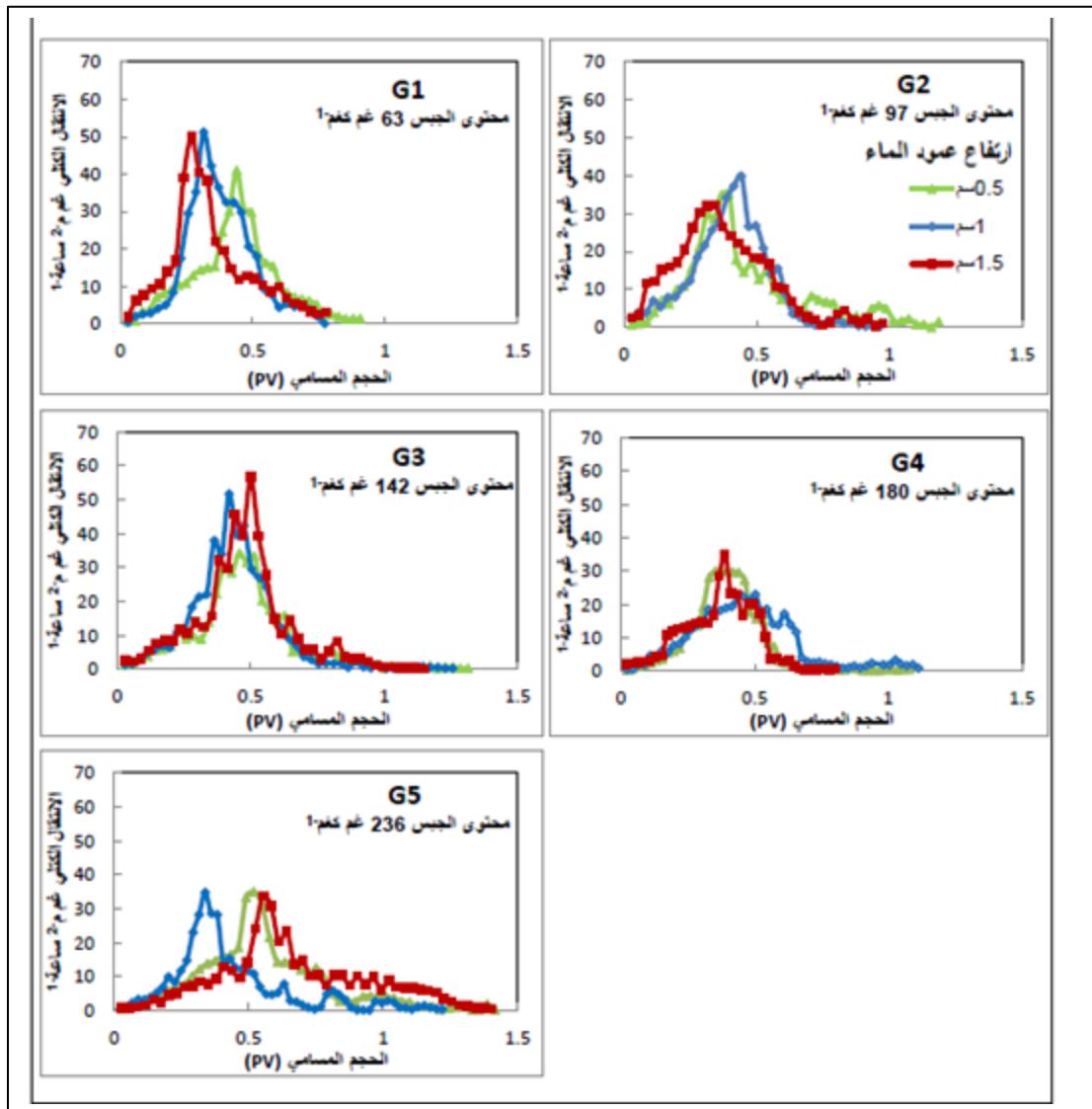
يبين جدول 3 قيم الانتقال الكتلي. إذ كانت أعلى قيمة في المعاملة G1 عند ارتفاع عمود الماء 0.5 سم 16.77 غم<sup>-2</sup> ساعة<sup>-1</sup> وأقل قيمة في المعاملة G5 لارتفاع عمود الماء 1 سم التي بلغت 8.12 غم<sup>-2</sup> ساعة<sup>-1</sup>. يتبيّن مما في أعلاه أن الانتقال الكتلي هو السائد ويقل بزيادة محتوى التربة من الجبس. ويمكن ان يعزى ذلك الى انخفاض سرعة تدفق الماء نتيجة لذوبان جزء من دقائق الجبس الناعمة مما يؤدي إلى غلق ميكانيكي لعدٍ من المسامات ومن ثم إعاقة حركة الماء وبالتالي انخفاض قيم الانتقال الكتلي (Shihab, 1997 وMahdi, 2018). أن قيم الانتقال الكتلي العالية تبيّن أن انتقال

جدول (3). تأثير محتوى الجبس في التربة (G) وارتفاع عمود الماء (سم) في قيم الانتقال الكتلي (غم م<sup>-2</sup> ساعة<sup>-1</sup>)

المعاملة	ارتفاع عمود الماء (سم)	المتوسط
G1	16.77	1.5
G2	15.37	14.02
G3	11.15	12.87
G4	8.29	10.29
G5	8.20	9.45
المتوسط	11.96	11.90

ساكنًا، فإن حركة المذاب تحدث بواسطة الانتشار (diffusion) فقط، أمّا إذا كان الماء متحركاً فإنَ الانتقال بالكتلة (mass transfer) أو الحمل (convection) سوف يكون له دور مضاد 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 يبيّن أنَ سلوك التربة 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 التربة ناعمة النسجة وهذا ما توصل إليه (Al-Tawfeeq et al., 1996) و Hassani (2007).

يبين شكل 2 قيم الانتقال الكتلي باختلاف قيم الراشح ممثلة بحجم المسام. إذ يبيّن أنَ 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 يبيّن أنَ 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، أنَ التأثير الهيدروديناميكي لماء الغسل كوسط ساكن أو متحرك يؤثّر في طريقة وسرعة نقل الكتلة، فإذا كان الماء



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

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

ترتبط قيمة D بدرجة رئيسية مع سرعة الجريان المسامي (Mahdi, 2018)، إلا أن ذلك لم يكن واضحًا في هذه الدراسة إذ كانت العلاقة سالبة غير معنوية بين D و v (شكل 3). إن زيادة سرعة الجريان تؤدي إلى حدوث حمل وتنشط المواد المذابة مع الماء في التربة. ومن جهة أخرى فإن قيمة 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 قيمة D مع v. لم يأخذ D اتجاهها ثابتًا، إذ سبب الجبس عدم انتظام حركة الماء نتيجة لذوبانه وانتقاله إلى موقع آخر في العمود وتغير قيمة v نتيجة لذلك.

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

### 3.3 مدلولات الانتقال

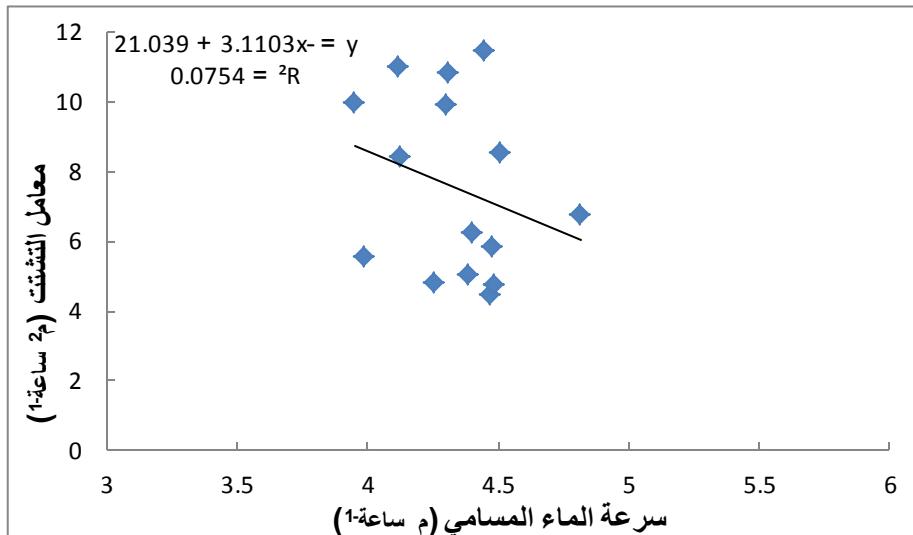
تبين نتائج جدول 4 قيم معامل التشتت D ورقم بكلت P وعامل الإلعاقة R، فقد كانت أعلى قيمة لمعامل التشتت D في المعاملة G1 عند ارتفاع عمود الماء 1.5 سم، إذ بلغت  $11.41 \text{ cm}^2 \text{ ساعة}^{-1}$ ، وأقل قيمة كانت في المعاملة G1 أيضًا عند ارتفاع عمود الماء 0.5 سم وبلغت  $4.41 \text{ cm}^2 \text{ ساعة}^{-1}$ ، كما تبين نتائج الجدول أيضاً وجود علاقة طردية بين معامل التشتت وعامل الإلعاقة إذ تزداد قيمة كل منها بزيادة محتوى الجبس في عمود التربة وتتناقص بانخفاض محتوى الجبس في العمود إذ أن أعلى قيمة لعامل الإلعاقة 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 أن حركة النترات في التربة تكون مصاحبة لحركة الماء أو أسرع منه فقد يعزى ذلك إلى أنه بناء الترب الجبسية غير الثابت مما خلف حركة غير متجانسة للماء بسبب ذوبان الجبس فضلًا عن أن زيادة ذوبان الجبس بزيادة محتواه يؤدي إلى خلط مكونات التربة وحركة

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 اذ 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 نقل فيها قيم P وهذا ما حصل في هذه الدراسة اذ ازدادت قيم P وانخفضت قيم D. تشير هذه النتائج الى أهمية رقم بكلت كمؤشر يعكس التحسّس 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 ثانية إلى قيم P تقع ضمن المنطقه الثالثة ( $P < 20$ ) 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.

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 وزريادتها في المحلول، وسمى هذا بالامتناز السالب (negative adsorption) أو الاستبعاد الانيوني. أدى ذلك إلى انخفاض قيم R وهذا بدوره انعكس في قيم D، إذ إنَّ هذا الاستبعاد أدى إلى انخفاض تشتت النترات لأنَّ الأيون السالب هذا يستبعد من الحركة في المسامات الصغيرة وأغشية الماء الضيقية 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 والتربة فان  $K_d$  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 انيوني أو وجود مناطق غير متحركة نسبياً. كما أظهرت نتائج جدول 4 رقم بكلت P لمعاملات الدراسة إذ أظهرت النتائج انخفاض رقم بكلت عموماً بزيادة محتوى التربة من الجبس لجميع ارتفاعات عمود الماء،

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

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



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

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

المعاملة	ارتفاع عمود الماء (sm)			المتوسط
	1.5	1.0	0.5	
- G1	- 0.0017	- 0.0017	- 0.0017	- 0.0017
- G2	- 0.0015	- 0.0014	- 0.0015	- 0.0015
- G3	- 0.0013	- 0.0013	- 0.0015	- 0.0013
- G4	- 0.0011	- 0.0011	- 0.0012	- 0.0012
- G5	- 0.0008	- 0.0009	- 0.0008	- 0.0008
المتوسط	- 0.0012	- 0.0013	- 0.0013	- 0.0013

تركيز المذاب في الراشح (flux-averaged concentration)، أظهر توافقاً جيداً عند مقارنة تركيز النترات المقاس في الراشح مع التركيز المتبقى 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 % للمدتتين 1 و 2 ساعة على التتابع. تشير النتائج إلى إمكانية التنبؤ بتوزيع النترات في مقد تربة جبسية تحت ظروف حدود صحيحة مع تحديد قيم  $D$  خلال مراحل متعددة ومقاربة للاحظة دور الجبس بشكل أكبر في عملية التنبؤ.

#### 4.3 التنبؤ بتركيز النترات مع العمق

أظهر التنبؤ بالتغيير في تركيز النترات مع العمق نوعين من التوزيع. ففي النوع الأول كان الانخفاض في التركيز بطيناً 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 لتراب ذات محتوى جبسي مختلف.

المرتفع الى مرور حجم مسامي اعلى و زمن اطول لخروج كل النترات في الراشح مقارنة بالتراب ذات المحتوى الجبسي الاقل، وهذا يقلل من احتمالية انتقال النترات الى المياه الجوفية بزيادة محتوى الجبس.  
-3 ان حل انوذج الحمل - التشتت قد أعطى نطاقي جيداً لوصف منحنيات اختراق النترات وبالتالي امكانية التنبؤ بانتقال وتوزيع النترات في الترب الجبصية باعتماد ظروف حدود صحيحة.

#### 4. الاستنتاجات

- ان الجريان الكتني هو السائد في انتقال النترات في الجريان غير المشبع باختلاف محتوى الجبس اذ ازدادت قيم معامل النشتت بزيادة محتوى الجبس وانخفضت قيم عامل الاعاقة.
- ان انتقال النترات في الترب ذات المحتوى الجبسي المرتفع كانت ابطئ مقارنة بالتراب ذات المحتوى الجبسي الاقل اذ احتاجت الترب ذات المحتوى الجبسي

## 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<sup>ed</sup> 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.