دورالجبس الفوسفاتي في حركة وتوزيع الأملاح في الترب الكلسية

أكرم عبد اللطيف ألحديثي موسى فتيخان ياسين عبد الستار زين الحياني
كلية الزراعة/ جامعة الانبار

المستخلص

لدراسة تأثير إضافة الجبس الفوسفاتي في حركة وتوزيع الأملاح في الترب الكلسية أجريت تجربة استخدمت فيها أعمدة من الزجاج العضوي (plexiglass) , عبئت الاعمدة بتربتين: الأولى مزيجه طينيه غرينية والثانية مزيجه رمليه، أضيف الجبس الفوسفاتي بالمستويات 0 و5 و 10 و 15 و 20 طن هكتار$^{-1}$ وذلك بخلطها مع 5 سم الأولى من العمود . أضيف الماء المقطر يوميا لكل عمود ولكافة المعاملات وبعمق ثابت من خلال تقنية قنينة ماريت (Marriott Bottle Technique). جمع الراشح يوميا, وبعد التوقف من إضافة الماء, تم فصل التربة عن الأعمدة ثم قطعت تربة كل عمود إلى أربعة طبقات 0 – 10 و 10 – 20 و 20 – 30 و 30 – 40 سم. قيست مؤشرات التوصيل الكهربائي والأيونات الذائبة (Na^+ و Ca^{+2} و Mg^{+2}) في الرواشح وحسبت نسبة امتزاز الصوديوم(SAR). أظهرت النتائج أن إضافة الجبس الفوسفاتي إلى التربة المزيجة الطينية الغرينية لم تؤثر في غسل الاملاح من التربة في مراحل الغسل المختلفة. أما في التربة المزيجة الرملية فتختلف العلاقة بين التوصيل الكهربائي وعمق الراشح إذ يكون الانخفاض كبير بعد مرحلة الغسل الأولى في معاملة المحايد وبفرق واضح عن رواشح الغسل للمعاملات التي أضيف لها الجبس الفوسفاتي. هذه النتائج انعكست على ارتفاع قيم نسبة الصوديوم الممتز في المعاملة التي لم يضاف لها جبس فوسفاتي بالمقارنة مع المعاملات التي أضيف لها الجبس الفوسفاتي. إما تقطيع أعمدة التربة بعد عملية الغسل فقد أظهرت النتائج زيادة في قيم التوصيل الكهربائي مع زيادة مستوى الإضافة من الجبس الفوسفاتي.

The Iraqi Journal of Agricultural Sciences 40 (6):108-117 (2009) Al- Hadethi et al.

ROLE OF PHOSPHGYPSUM IN MOVEMENT AND DISTRIBUTION OF SALTS IN CALCAREOUS SOILS

Akram A. Al-Hadethi Mosa F. Al-Aluani Abdul-Sattar J. Al-Hayani
College of Agriculture / Al-Anbar Univ.

Abstract

To study the effect of phosphogypsum addition in the movement and distribution of salts in the calcareous soils, a columns experiment were conducted using the plexiglass columns. Two calcareous soils were used, the first silty clay loam and the second sandy loam. phosphogypsum levels were 0, 5, 10, 15 and 20 tons ha^{-1} with the first of 5 cm. Distilled water Add daily to the all columns transactions with a fixed depth through Marriott Bottle Technique. The filtrates were collection daily, after stopping the addition of water, the soil was separated from the soil columns and then cut each column into four layers. Electric conductivity and dissolved ions (Na^+ and Ca^{+2} and Mg^{+2}) in filtrates were measured and then sodium adsorption ratio were calculated (SAR). Results showed that the addition of phosphogypsum to the sandy loam soil did not affect salt distribution at various stages of leaching. While in silty clay soil the relationship between EC and the depth of filtrates was significant decline after the first stage of leaching in the control treatment about the difference filtrates of leaching, which have been added phosphate gypsum. These results were reflected in the high values of the sodium adsorption ratio in the control treatment. Either by cutting the soil columns after the leaching process, the results indicate an increase in the values of electrical conductivity with the increase in the level of addition of phosphogypsum.

مستل من رسالة ماجستير للباحث الثالث Part of M.Sc. thesis of the third author

المقدمة

تنتج كميات هائلة من الجبس الفوسفاتي في صناعة الأسمدة الفوسفاتية في كثير من بلدان العالم وعملية التخلص منه تشكل صعوبة كبيرة, كما أن تكاليف خزنها عالية جدا. تشكل كبريتات الكالسيوم ($CaSO_4.2H_2O$) المكون الرئيسي للجبس الفوسفاتي, ويتراوح تفاعل الجبس الفوسفاتي بين 3.1- 5.5 (5) أما التوصيل الكهربائي (EC) فيتراوح بين 1.0-2.1 ديسيسمنز م$^{-1}$ (4). يضاف الجبس كمصلح في استصلاح الترب الصودية التي تمتاز بسيادة أيون الصوديوم على معقد التبادل لتوفير أيون الكالسيوم (10، 11، 13). أهمية إضافة الجبس هو إحلال أيونات الكالسيوم محل أيونات الصوديوم على معقد التبادل. وحديثا ركزت عدد من الدراسات حول التأثيرات الكيميائية الناجمة عن إضافة الجبس الفوسفاتي إلى التربة إذ توصل 5 و 6و 7 إلى أن إضافة الجبس الفوسفاتي كمصلح للتربة اثر في منع التصلب السطحي والسيطرة على التعرية. أما(6) فقد وجدوا أن لإضافة الجبس الفوسفاتي أهمية كبيرة في تحسين التربة واستصلاح الترب الصودية وغير الصودية الكلسية وتخفيض مستوى الأملاح والصوديوم في محلول الغسل بسرعة كبيرة بالمقارنة مع عدم الإضافة. وفي تجربة حقلية وعند إضافة الجبس الفوسفاتي وبمستوى 15 طن هكتار$^{-1}$ وجد أن نسبة الصوديوم والمغنسيوم المتبادلين انخفاضا معنويا ولعمق 10 سم, أما (15) فقد توصل إلى أن الجبس الفوسفاتي أكثر كفاءة من الجبس الطبيعي في استصلاح الترب الصودية وعزا ذلك إلى أن ذوبان الجبس الفوسفاتي اكبر من الجبس الطبيعي. كما وجد (12) أن الجبس الفوسفاتي له نتائج مشجعة في زيادة كفاءة استصلاح تربة صودية في مواقع مختلفة من الهند وبمستوى إضافة وصل إلى 12.5 طن هكتار$^{-1}$. ولأن كميات الجبس الفوسفاتي المنتجة عالميا هي حوالي 220-280 مليون طن في عام 2000 (7), أما في العراق فيقدر إنتاجه بحوالي 1.5-2.5 مليون طن في عام 1986 (3) لذا فان الحاجة ماسة للتخلص من هذه الكميات الكبيرة بدون اية إضرار للبيئة. لذا هدفت هذه الدراسة إلى معرفة تأثير إضافة الجبس الفوسفاتي في حركة وتوزيع الأملاح في تربتين كلسيتين تحت تأثير الغسل.

مواد وطرائق العمل

لدراسة تأثير إضافة الجبس الفوسفاتي في حركة وتوزيع الاملاح في التربة الكلسية. استعملت أعمدة من الزجاج العضوي (Plexiglass) بطول 60 سم وقطر داخلي 5 سم, عبئت الاعمده بتربتين: الأولى ذات نسجة مزيجه طينيه والثانية مزيجه رمليه، جلبتا من موقعين في محافظة الانبار, صنفت التربتين في كلا الموقعين إلى مستوى تحت المجموعة العظمى وهما **Typic Torrifluvent**. يوضح جدول 1 بعض الخصائص الكيميائية والنسجة للتربتين كما يوضح جدول 2 بعض الخصائص الكيميائية للجبس الفوسفاتي. عبئت الأعمدة لعمق 40 سم للحصول على كثافة متجانسة 1.35 ميكاغرام م$^{-3}$ بعد وضع طبقة رقيقة من الصوف الزجاجي أسفل كل عمود. خلط الجبس الفوسفاتي بكميات 0 و 1.25 و 2.50 و 3.75 و 5 غم لكل عمود لتمثيل المستويات 0 و 5 و 10 و 15 و 20 طن هكتار$^{-1}$ وذلك بخلطها مع 5 سم الأولى من الع مود بحيث أصبح عدد الأعمدة 10 أعمدة (2 تربة x 5 مستويات). وضعت ورقة ترشيح فوق سطح التربة لكل عمود لمنع تهدم سطح عمود التربة. أضيف الماء المقطر يوميا لكل عمود ولكافة المعاملات وبعمق ثابت من خلال تقنية قنينة ماريت (Marriott Bottle Technique) وكما ورد في (13). جمع الراشح يوميا, وأوقفت عملية إضافة الماء لكافة المعاملات عند الوصول إلى الاستقرار النسبي للتوصيل الكهربائي للرواشح. بعد التوقف من إضافة الماء, تم فصل التربة عن الأعمدة ثم قطعت تربة كل عمود إلى أربعة طبقات 0 – 10 و 10 – 20 و 20 – 30 و 30 – 40 سم. جففت نماذج التربة هوائيا ومررت عبر منخل قطر فتحاته 2 ملم. المؤشرات التي تم قياسها في الرواشح هي: التوصيل الكهربائي والأس الهيدروجيني والأيونات الذائبة (Na^+ و Ca^{+2}و Mg^{+2}).

جدول 1.بعض الخصائص الكيميائية والنسجة لتربتي الدراسة.

الصفة		مزيجه طينية غرينية	مزيجه رملية
التوصيل الكهربائي(ديسيسمنز م$^{-1}$) 1:1 (EC)		2.32	2.31
الأس الهيدروجيني في مستخلص 1:1 (pH)		7.39	7.40
معادن الكاربونات (غم كغم$^{-1}$)		239.5	311.7
الجبس (غم كغم$^{-1}$)		166.8	61.7
السعة التبادلية للايونات الموجبة (سنتمول كغم$^{-1}$)		22.2	13.0
التوزيع ألحجمي لمفصولات التربة (غم كغم$^{-1}$)	الرمل	90.4	595.2
	الغرين	520.0	230.0
	الطين	389.6	174.8
صنف النسجة		Si.C.L	S.L
المادة العضوية(غم كغم$^{-1}$)		11.2	9.10
الايونات الذائبة في مستخلص (1:1)(مليمول لتر$^{-1}$)	Na^{+}	9.30	7.64
	K^{++}	1.27	1.20
	Ca^{++}	4.88	3.89
	Mg^{++}	3.92	3.52
	Cl^{-}	9.33	10.40
	$SO4^{--}$	5.91	4.52
	$CO3^{-}$	N.D	N.D
	$HCO3^{-}$	3.84	1.22
الفلوريد الذائب(ملغم كغم$^{-1}$ تربة)		3.23	0.72
الفسفور المستخلص بNaHCO3(ملغم كغم$^{-1}$)		19.6	16.1
البوتاسيوم الجاهز (ملغم كغم$^{-1}$)		159.4	140.0

جدول 2. بعض الخصائص الكيميائية للجبس الفوسفاتي المستعمل في الدراسة.

الصفة		الجبس الفوسفاتي
التوصيل الكهربائي(ديسيسمنز م$^{-1}$) (EC)		2.26
الأس الهيدروجيني في مستخلص 5:1 (pH)		5.77
معادن الكاربونات (غم كغم$^{-1}$)		145.0
الجبس (غم كغم$^{-1}$)		800.0
الايونات الذائبة في مستخلص (5:1) (مليمول لتر$^{-1}$)	Na^+	10.28
	K^+	0.13
	Ca^{++}	66.16
	Mg^{++}	1.02
	Cl^-	4.10
	$SO4^{--}$	60.21
	$HCO3^-$	8.35
	$CO3^-$	N.D
الفلورايد الذائب (%)		0.23
المحتوى الكلي من العناصر (غم كغم$^{-1}$)	Na	1.07
	K	0.12
	Ca	197.1
	Mg	32.19
	P	4.22

النتائج والمناقشة

كمية الأملاح المزالة

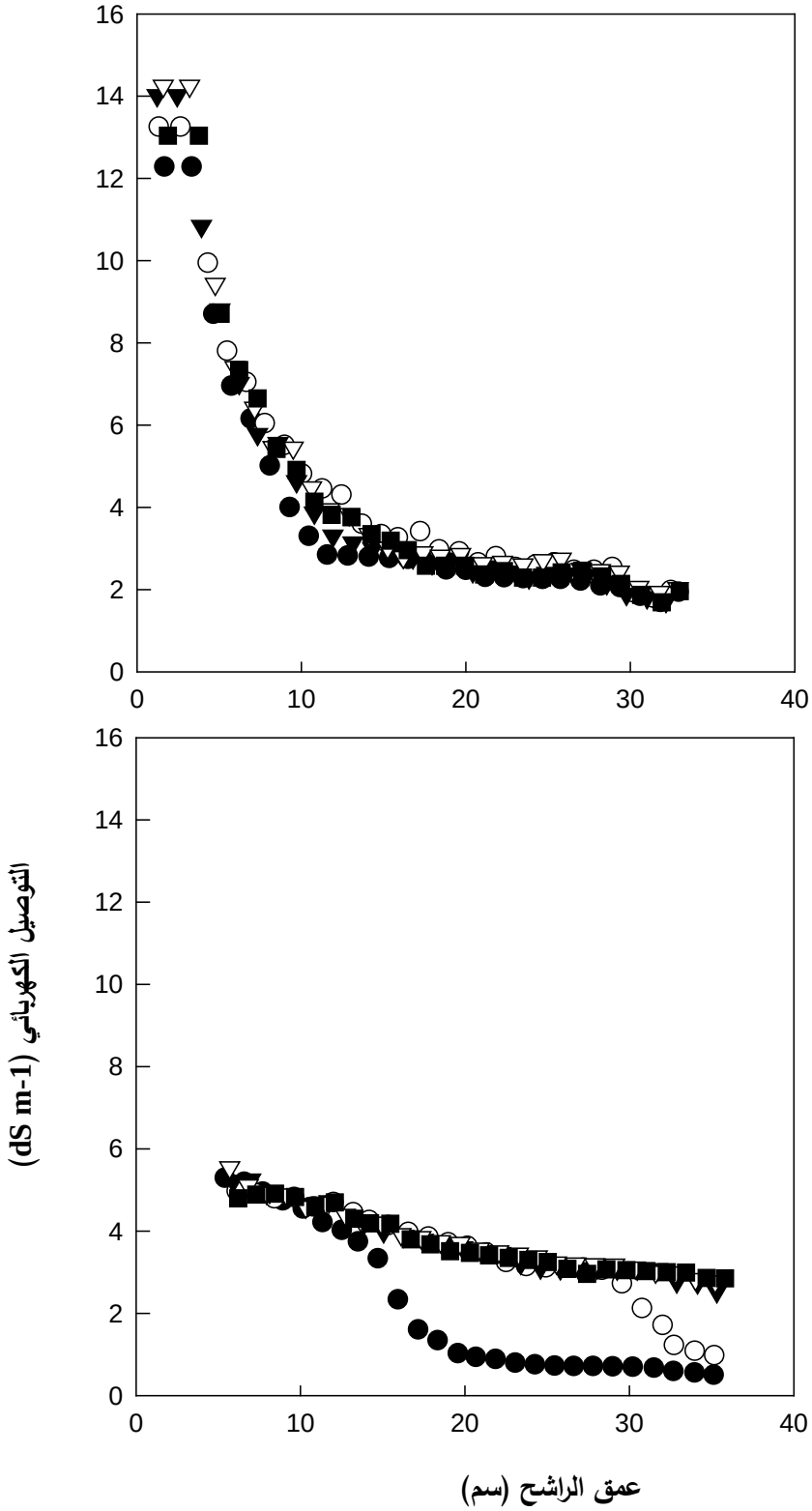
يلاحظ من شكل 1 أن إزالة الأملاح نتيجة الغسل في التربة المزيجة الطينية الغرينية كان سريعا في مراحل الغسل الأولى والى عمق راشح بحدود 10 سم ثم بدأ بالاستقرار بعد هذا العمق. ويمكن تفسير ذلك على أساس أن عملية الغسل تتضمن إزالة وتخفيف الأملاح الموجودة في المسامات الكبيرة وغسل الأملاح سريعة الذوبان لذا يكون الانخفاض كبير في هذا العمق يستمر التوصيل الكهربائي بالاستقرار عمق الراشح بحدود 30 سم مع عدم ظهور فرو التوصيل الكهربائي نتيجة لإضافة الجبس الفوس النتائج تتفق مع ما وجدته (1) في تربة طينيه عريبيه عند دراسة إضافة الجبس الفوسفاتي في غسل تربة ملحية حيث

كانت الفروق قليلة بين مستويات الجبس الفوسفاتي في التأثير في غسل التربة في مراحل الغسل الأولى. أما في التربة المزيجة الرملية فان العلاقة بين التوصيل الكهربائي وعمق الراشح فتختلف عما هي علية في التربة المزيجة الطينية الغرينة. حيث يلاحظ أنة عندما يكون عمق الراشح بحدود 10 سم يزداد التوصيل الكهربائي بشكل ملحوظ عندها انخفاض كبير في قيم التوصيل الكهربائي ويفرق واضح عن رواشح الغسل ة التي أضيف لها الجبس الف ب في ذلك ى إزالة الأملاح الذائبة منها مصدر ح الذائبة فيها في حين تستمر التوصيل ي وعمق الراشح بالاستقرار 10 سم وحتى نهايه

مزيجة طينية غرينية

● **0 طن هكتار$^{-1}$**
○ **5 طن هكتار$^{-1}$**
▼ **10 طن هكتار$^{-1}$**
Δ **15 طن هكتار$^{-1}$**
■ **20 طن هكتار$^{-1}$**

التوصيل الكهربائي (dS m-1)



شكل 1. تأثير إضافة الجبس الفوسفاتي في التوصيل الكهربائي (EC) في روا شح أعمدة غسل التربتين.

الغسل . إلا إنه بعد إضافة المستوى 5 طن هكتار $^{-1}$ بدأ الانخفاض في التوصيل الكهربائي عند العمق 28 سم تقريبا وهذا دليل على إذابة معظم الكمية المضافة من الجبس الفوسفاتي وعدم وجود مصدر أخر للإذابة. وذلك لان الجبس الفوسفاتي يؤدي إلى زيادة التركيز الالكتروليتي لمحلول التربة (9) مما يؤدي إلى عدم انخفاض قيم التوصيل الكهربائي عن حد معين بحدود 3 ديسيمنز$^{-1}$.

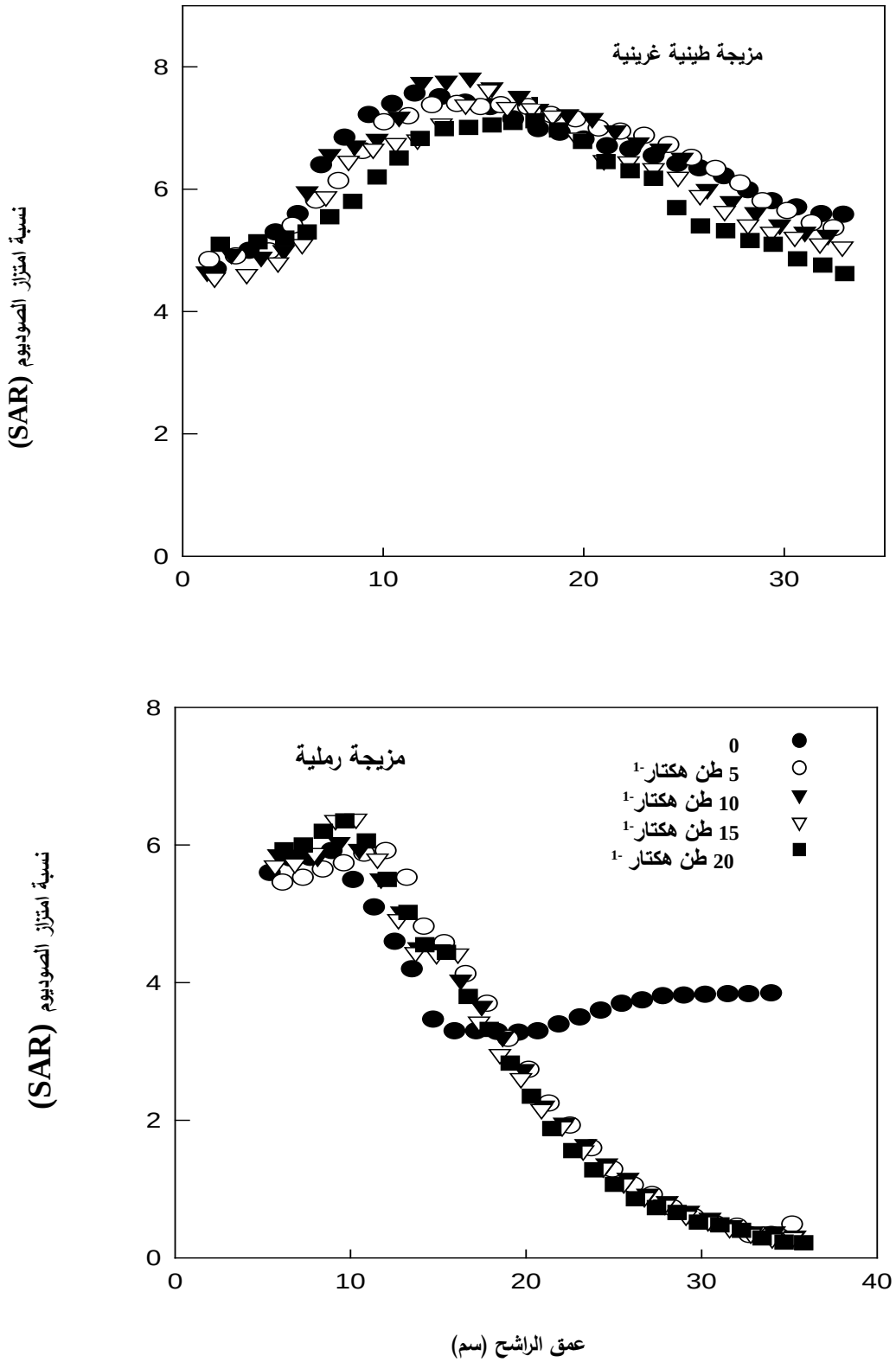
تم وصف العلاقة بين التوصيل الكهربائي وعمق الراشح لأعمدة التربة عند إضافة الجبس الفوسفاتي بمعادلات رياضية وكما في جدول 3 إذ يلاحظ أن هذه المعادلات من نوع (exponential decay) أي أن إزالة الأملاح كان بعلاقة آسية مع العمق راشح الغسل وان الثوابت a و b تعتمد على خصائص التربة.

نسبة امتزازالصوديوم

يبين شكل 2 أن سلوك نسبة امتزاز الصوديوم ظهرت بإشكال قمة التركيز (Maximum peak concentration) وان قمة المنحنى في التربة المزيجة الطينية الغرينية كانت عند عمق راشح بحدود 12 سم. أما في التربة المزيجة الرملية فكانت بحدود 10 سم . وفي نهاية مرحلة الغسل فان نسبة امتزاز الصوديوم كانت في العمود الذي أضيف له أعلى مستوى من الجبس الفوسفاتي وأعلى قيم كانت في معاملة المحايد (عدم إضافة الجبس الفوسفاتي) أما في التربة المزيجة الرملية فاستمرت قيم نسبة امتزاز الصوديوم بالانخفاض مع استمرار الغسل لجميع مستويات الإضافة من الجبس الفوسفاتي بعد أن وصلت أعلى ازدياد لها عند عمق الراشح 10 سم. ويلاحظ في عمود تربة الم قارنة (عدم إضافة الجبس الفوسفاتي) أن نسبة امتزاز الصوديوم بدأت بالارتفاع بعد العمق 15 سم وهي نفس النقطة تقريبا التي بدا التوصيل الكهربائي بالانخفاض الكبير فيها كما في الشكل 1 لتصل إلى حالة الاستقرارية عند العمق 28 سم تقريبا. هذا السلوك في عمود معاملة المحايد يرجع إلى ثبات تركيز الصوديوم مع انخفاض كبير في تركيز الكالسيوم نتيجة لإزالة معظم الكالسيوم الذائب من الجبس الفوسفاتي وعدم وجود مصدر أخر في التربة مما أدى إلى ارتفاع في قيم أل SAR إلا إن هذه القيم لم تصل بالتربة إلى مرحلة القلوية حيث أشار عدد من الباحثين إلى عدم تطور القلوية أثناء غسل الترب الملحية القلوية في العراق (1، 2، 8). كذلك الحال بالنسبة لقيم نسبة امتزاز الصوديوم في العمود الذي أضيف له 5 طن هكتار $^{-1}$ من الجبس الفوسفاتي حيث يلاحظ أن هناك بداية لارتفاع قيم نسبة امتزاز الصوديوم مما يعطي دلالة على إزالة معظم الجبس الفوسفاتي المضاف بعد عمق راشح بحدود 30 سم. وقد وصفت العلاقة بين SARوعمق الراشح في أعمدة التربة نتيجة لإضافة الجبس الفوسفاتي بمعادلات رياضية وكما في جدول 4 وهي معادلات من الدرجة الثالثة حيث أن قيمة القاطع(y) تعتمد على مستوى الجبس الفوسفاتي في حين تعتمد قيم a و b وc على بعض خصائص التربة. نستنتج من ذلك إن إضافة الجبس الفوسفاتي لة اثر كبير في خفض نسبة امتزاز الصوديوم في رواشح الغسل مع إمكانية المحافظة على عدم تطور التربة إلى القلوية وزياد نفاذيتها وذلك لزيادة سرعة عملية الغسل.

جدول 3. الوصف الرياضي لهرجة التوصيل الكهربائي في رواشح أعمدة غسل التربتين المزيجة الطينية الغرينية والمزيجة الرملية.

مستويات الجبس الفوسفاتي المضافة (طن هكتار$^{-1}$)	التربة المزيجة الطينية الغرينية	R^2
0	Y=13.5707 exp (-0.0978x)	0.86
5	Y=13.9085 exp (-0.0846x)	0.92
10	Y=15.4499 exp (-10.37x)	0.91
15	Y=15.4611 exp (-0.0957x)	0.87
20	Y=14.7356 exp (-0.0939x)	0.89
التربة المزيجة الرملية		
0	Y=10.079 exp (-0.0916x)	0.93
5	Y=6.8053 exp (-0.0353x)	0.88
10	Y=5.9841 exp (-0.0242x)	0.97
15	Y=5.9190 exp (-0.0226x)	0.97
20	Y=5.6900 exp (-0.0215x)	0.95



شكل 2. تأثير إضافة الجبس الفوسفاتي في نسبة امتزاز الصوديوم (SAR) لرواشح أعمدة غسل التربتين.

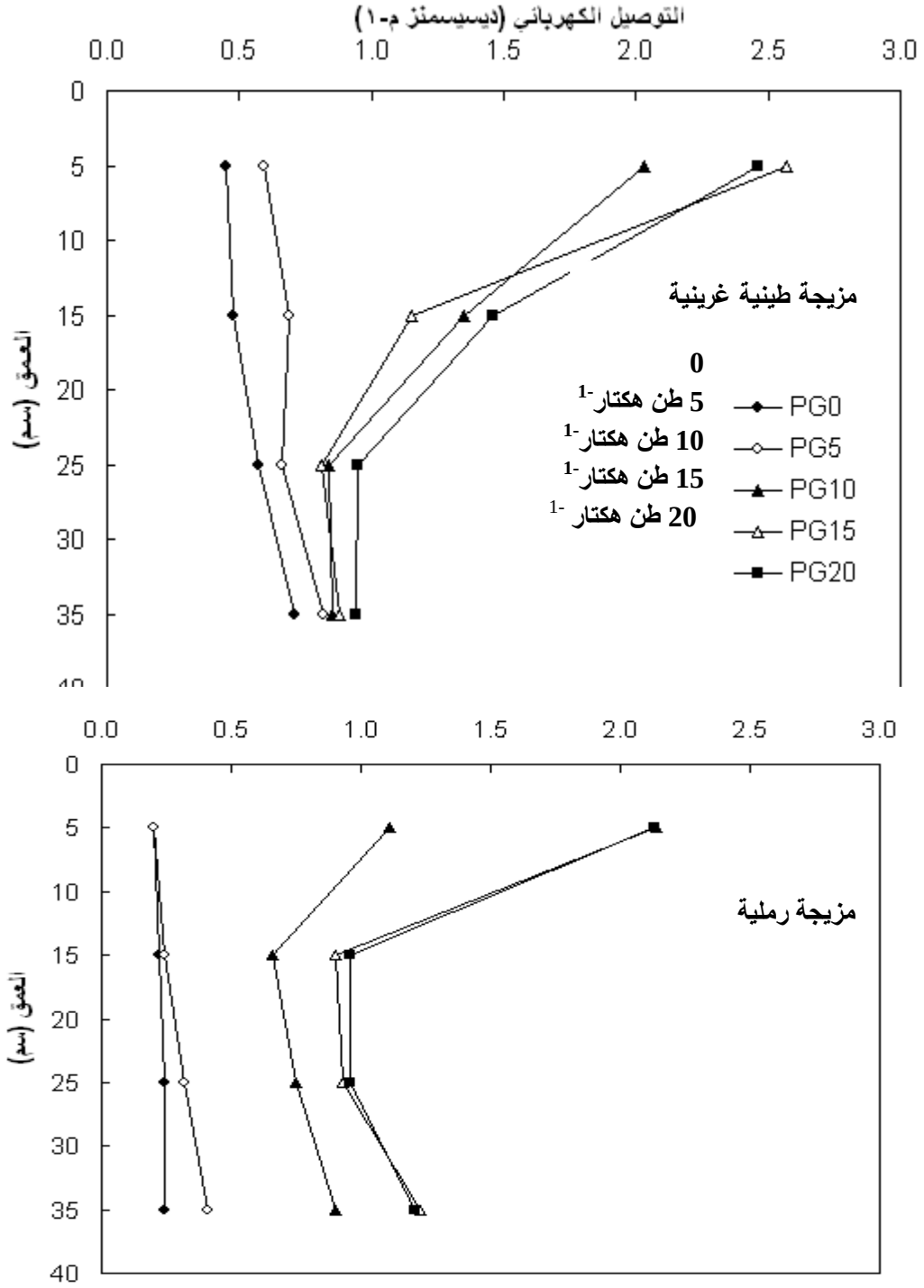
جدول 4. الوصف الرياضي لنسبة امتزاز الصوديوم (SAR) في روا شح أعمدة غسل التربتين نتيجة لإضافة مستويات من الجبس الفوسفاتي.

مستويات الجبس الفوسفاتي المضافة (طن هكتار$^{-1}$)	التربة المزيجة الطينية الغرينية	R^2
0	$Y= 3.2481 + 0.6774x - 0.0341x^2 + 0.0005x^3$	0.94
5	$Y= 3.7326 + 0.4718x - 0.0179x^2 + 0.0001x^3$	0.94
10	$Y= 3.3549 + 0.6077x - 0.0263x^2 + 0.0003x^3$	0.92
15	$Y= 2.9140 + 0.6284x - 0.0281x^2 + 0.0003x^3$	0.91
20	$Y= 3.6693 + 0.4395x - 0.0176x^2 + 0.0001x^3$	0.88
التربة المزيجة الرملية		
0	$Y= 8.8491 - 0.5435x + 0.0165x^2 - 0.0001x^3$	0.85
5	$Y= 2.9595 + 0.7283x - 0.0545x^2 + 0.0009x^3$	0.99
10	$Y= 5.1226 + 0.3451x - 0.0355x^2 + 0.0006x^3$	0.99
15	$Y= 4.0013 + 0.413x - 0.0401x^2 + 0.0007x^3$	0.98
20	$Y= 5.7065 + 0.2981x - 0.0352x^2 + 0.0006x^3$	0.98

ملوحة طبقات عمود التربة

يوضح شكل 3 تأثير مستويات الجبس الفوسفاتي في ملوحة التربة في كلا التربتين المزيجة الطينية الغرينية والمزيجة الرملية بعد الغسل تشير النتائج إن لإضافة الجبس الفوسفاتي دور كبير في إزالة الأملاح من التربة. حيث إن إضافة الجبس الفوسفاتي أدت إلى خفض درجة التوصيل الكهربائي عند العمق 30–40 سم في التربة المزيجة الطينية الغرينية وهذا يعود إلى إن تركيز الأملاح يقل باتجاه الأسفل مع العمق. كما إن هناك تشابه كبير في منحنى توزيع الأملاح لعمود معاملة الم قارنة (بدون إضافة) وعمود معاملة المستوى 5 طن هكتار $^{-1}$ بالمقارنة مع توزيع الأملاح لمستويات الجبس الفوسفاتي الأخرى وفي كلا التربتين مما يعطي دلالة على إذابة معظم الجبس الفوسفاتي المضاف بالمستوى 5 طن هكتار $^{-1}$ وكما في نتائج نسبة امتزاز الصوديوم. أما في الترب المزيجة الرملية فان إضافة مستويات الجبس الفوسفاتي أدت إلى زيادة درجة التوصيل الكهربائي عند العمق 0–10 سم لكن هذه الزيادات بدأت بالانخفاض مع الأعماق 10–20 و 20–30 ثم بدأت بالازدياد عند العمق 30–40 سم والسبب في ذلك يعود إلى إن مستويات الجبس الفوسفاتي أدت إلى إزالة الأملاح من العمق 0–10 تدريجيا مع إضافة المياه ثم بدأت بالتراكم عند العمق 30 -40 سم. إذ يلاحظ أن درجة التوصيل الكهربائي للتربة المزيجة الطينية

الغرينية كانت أكثر من درجة التوصيل الكهربائي للتربة المزيجة الرملية التي أضيف لها مستويات الجبس الفوسفاتي ويعود السبب في ذلك إلى محتوى التربة المزيجة الطينية الغرينية العالي من الطين والغرين والذي يعمل على مسك وحجز الأملاح.



شكل 4. تأثير إضافة الجبس الفوسفاتي في التوصيل الكهربائي مع العمق لأعمدة التربتين المزيجة الطينية الغرينية والمزيجة الرملية بعد الغسل.

المصادر

1- الجنابي، إيمان عبد المهدي عليوي. 1988. تأثير إضافة الجبس الفوسفاتي في غسل الأملاح ونمو النبات. رسالة ماجستير. كلية الزراعة. جامعة بغداد. 43-45.

2-الحسني، علي عباس محمد. 1984. دراسة خصائص الترب الشورة والسبخة في بعض مناطق العراق. رسالة ماجستير. كلية الزراعة. جامعة بغداد.52-54.

3- حسين، عبد الصمد عماش. 1986. " واقع معالجة المخلفات الصناعية والتخلص من الفوسفوجبسم في مجمع الأسمدة في القائم ندوة الفوسفوجبسم (استخداماتة وأسلوب التخلص منه) للفترة من 15-17 تشرين الثاني 1986 بغداد وزارة الصناعة.19.

4- Alcordo, I.S., and J. E. Rechigl 1992. The use of solubility curves as a methods to characterize phosphogypsum and its constituents.Commun. Soil Sci. Plant Anal. 23, 2595-2611.

5- Al-Hadethi, A. and J. K. Al-Uqaily 1999. Effect of phosphgypsum on plant growth and some chemical properties of the soil. Iraqi J. Agric. 30(1) 239-246.

6- Amezketa, E. R. Aragues, and R. Gazol, 2005. Efficiency of sulfuric acid, mined gypsum, and two gypsum by-products in soil crusting prevention and sodic soil reclamation. Agron. J. 97: 983-989.

7- Ferguson, F. 1988. Phosphogypsum an overview. In proceeding of the Second International Symposium on Phosphogypsum. Miami, FL, FIPR. Pub. No. 01-037-055 Vol. pp. 117-130.

8- Hardan, A. 1969. Removal of salts from undisturbed saline-alkaline soil columns by different leaching waters. Amer. Univ.Beirut Symposium. Man, Food and Agric. in middle east, pp. 409-431.

9- Kasman, Z.,I. Sheinberg and M. Gal. 1983. Effect of low levels of exchangeable sodium and applied phosphogypsum on the infiltration rate of various soils. Soil Sci. 135: 184-192.

10- Mace, J. E., C. Amrhein, and J.D. Oster. 1999. Comparison of gypsum and sulfuric acid for sodic soil reclamation. Arid Soil Res. Rehabil. 13:171-188.

11- Mace, J. E., and C. Amrhein. 2001. Leaching and reclamation of a soil irrigated with moderate SAR waters. Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 199-204.

12- Metha, K. K. and J. S. P. Yadav. 1977. Phosphogypsum for reclamation of alkali soils. Indian Farming 27: 6-7.

13- Power, J.F. and W. A. Dick. 2000. Land application of agriculture, industrial, and municipal by products. SSSA Book Ser. 6. SSSA, Madison, WI.

14- Shainberg, I., and R. Keren.1981. Effect of dissolution rate on the efficiency of industrial and mined gypsum in improving infiltration of sodic soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 45: 103-107.

15- Zarbina, T. G. 1979. Effect of the rate of the rate of dissolution of phosphor-gypsum, gypsum and calcium carbonate on sodium desorption from the adsorption complex. Soviet Soil Sci. 10: 318-321.