

مساهمة في تحديد النموذج الرياضي لحركية تحرر البوتاسيوم في ترب حوض العاصي الأوسط

الدكتور أحمد نعناع*

الدكتور محمد ترت*

الدكتورة فاطمة جاسم المحمود**

(تاريخ الإيداع 12 / 12 / 2006 . قبل للنشر في 2007/3/19)

□ الملخص □

أجريت الدراسة المخبرية على بعض ترب السهول البازلتية والفيضية المستثمرة زراعياً بمحاذاة مسيل نهر العاصي ضمن حوضه الأوسط بدءاً من بحيرة الرستن وحتى سد محردة. أما الروافد من المياه المغذية لنهر العاصي والمستخدم في الزراعة فقد أخذت العينات منها لاستخدامها في دراسة الاستخلاص المتعاقب للبوتاسيوم. وتم كذلك استخدام HNO_3 (1 N) لتحرر البوتاسيوم في تجارب منفصلة أخرى. تم إخضاع البوتاسيوم المتحرر إلى النماذج الرياضية والموديلات الحركية، حيث لوحظ اختلاف في قابلية الترب على تحرر البوتاسيوم وبمعدل يتراوح بين 68.31 - 145.08 ميلي مول / كغ في معاملة حامض النتريك. أظهرت معادلة الانتشار وجود مرحلتين رئيسيتين لعملية تحرر البوتاسيوم. كما لوحظت سرعتان مختلفتان للتحرر. كذلك اختلفت الترب في سعة وسرعة تحرر البوتاسيوم، حيث تراوحت سعة تحرر البوتاسيوم المتبادل بين 1558 - 2784 ملغ / كغ وغير المتبادل بين 218-490 ملغ/ كغ وبسرعة منخفضة، حيث تراوح معدل سرعة تحرر البوتاسيوم بين 173.90 - 323.04 ملغ / كغ / دقيقة. أعلى قيمة تحرر للبوتاسيوم 54.70 ميلي مول / كغ من تربة غور العاصي المعاملة بمياه سد قسطون، وأقل قيمة سجلت 4.18 ميلي مول / كغ من تربة الرستن والمعاملة بمياه سد محردة. أفضل المعادلات الحركية كانت معادلة الانتشار والرتبة الأولى أما معامل سرعة تحرر البوتاسيوم K_h فقد تراوح بين 0.0353 - 0.0390 ميلي مول / كغ / دقيقة بالمعاملة بحامض النتريك، كذلك معامل سرعة التحرر باستخدام المياه تراوحت ما بين 0.0012 - 0.0041 ساعة.

كلمات مفتاحية: نموذج رياضي . تحرر البوتاسيوم . ترب حوض العاصي الأوسط.

* أستاذ مساعد في قسم التربة واستصلاح الأراضي بكلية الزراعة - جامعة حلب. سوريا.

** مدرس في قسم التربة واستصلاح الأراضي بكلية الزراعة - جامعة حلب. سوريا.

A Contribution in Defining a Mathematical Model for the Minetic Melease of Potassium from Soils in the Middle Basin of El Assey

Dr.Ahmad Nanaa*

Dr. Mohamed Tert*

Dr. Fatima Jasem Elmahmoud**

(Received 12 / 12 / 2006. Accepted 19/3/2007)

□ ABSTRACT □

Laboratory studies were conducted on some basaltic and flooded soils (6 soils) that were used for agricultural production along the El-Assey River in the middle basin area from Al-Rastan Lake through Maharda dam. Water samples were taken from four different streams feeding into El-Assey River which were used for sequential extraction of soil potassium. A different set of soils were also extracted in 1N HNO₃.

Values of potassium released from the soils were fitted to mathematical and dynamic models which however showed differences in the ability of soils to release potassium, which ranged from 68.31 to 145.08 mmol K/kg soil in the nitric acid extractant.

The diffusion equation showed two different stages and speeds for the rate release of potassium from the soils used in this study. The capacity of soils to release K was also different among soils ranging between (1558-2784 mg K/kg soil) for exchangeable-K and between (218-490 mg K/kg soil) for non-exchangeable-K. The speed release of K was low ranging between (173.90-323.04 mg K/kg soil/min). The highest value for the release of potassium was (54.70 mmol K/kg soil) for El-Assey basin soil extracted with water taken from Qastoon dam, and the lowest value was (4.18 mmol K/kg soil) for Al-Rastan soil and extracted with water sample taken from Maharda dam.

The best dynamic equation was first degree diffusion equation which showed a rate for the speed release of K (K_d) between (0.0353-0.0390 mmol K/kg soil/min) nitric acid extraction compared to water extraction (0.0012-0.0041 mmol K/kg soil/h).

Key Words: Mathematical Model, Potassium Release, Soils, Middle El-Assey Basin.

* Associate Professor, Department of soil & Land Reclamation Faculty of Agriculture, University of Aleppo, Syria.

** Assistant professor, Department of soil & Land Reclamation Faculty of Agriculture, University of Aleppo, Syria.

المقدمة:

يلعب البوتاسيوم دوراً كبيراً في الإنتاج الزراعي كماً ونوعاً، ويعد ضرورياً لمعظم المحاصيل الزراعية، على الرغم من المخزون المرتفع لهذا العنصر في ترب المناطق الجافة ونصف الجافة، والتي تعتبر سوريا واحدة منها. ومع ذلك لوحظ استجابة المحاصيل الزراعية للتسميد بالبوتاسيوم تحت ظروف استثمار التربة بالدورات الزراعية المتعاقبة والمكثفة، الأمر الذي طرح تساؤلات عديدة أمام الباحثين حول مدى جاهزية هذا العنصر في التربة وقدرتها على تحريره. فالمعايير التقليدية للدراسات الأولية كانت السمة الظاهرة كمؤشر لشدة تجهيز التربة بالبوتاسيوم، لكن متابعة سلوك البوتاسيوم بدءاً من تحرره من مواقع التبادل وصولاً إلى محلول التربة، وبإدخال عامل الزمن بحثاً عن الحلقة المفقودة، وكدلالة مؤثرة على النتيجة المتوقعة من التجربة. لذلك فإن فكرة البحث اعتمدت أساساً على دراسة الحركية بغية الكشف عن تفاعلات وسلوك البوتاسيوم في التربة.

هدف البحث:

يهدف البحث إلى

- 1- تحديد مخزون ترب حوض العاصي الأوسط وقدرتها على جهوزية البوتاسيوم وسرعة تحرره باستخدام النمذجة الرياضية.
- 2- تحديد المعادلة الرياضية المناسبة لمعرفة كمية البوتاسيوم المتحرر.

الدراسات المرجعية:

أشار (Sparks and Huang, 1985) إلى دور المستخلصات الحامضية في استخلاص البوتاسيوم، إذ يكمن في إمداد المحلول بأيون الهيدروجين الذي يكون فعالاً في تحرير البوتاسيوم من مواقع التبادل بالإضافة إلى دور الحموض في إذابة وتحلل المعادن الأولية والثانوية. وقد تراوحت كمية البوتاسيوم المستخلصة التي حصل عليها (Sing et al., 1983) لترب بريطانيا بين 986 - 1050 ملغ / K / كغ تربة خلال سبعة استخلاصات متعاقبة باستخدام حمض الهيدروكلويك مع الغلي. بينما بلغت 520 - 1000 ملغ / K / كغ تربة باستخدام حمض النتريك IN مع الغلي. ويتفق كل من (Jardine, et al., 1992) و (Sparks, 2000) و (Keren et al., 1994) و (Mengel et al., 1998) على استخدام مدخل علم الحركة لدراسة تحرر أو امتزاز الأيونات من التربة استجابة لدعوة عدد من الباحثين بضرورة التحول من المعايير التقليدية إلى المعايير الحركية عند قياس البوتاسيوم لوضع التوصيات السماوية، وإدارة هذا الأيون في التربة. لذلك كانت هناك محاولات لاختبار الموديلات والمعادلات الحركية سواء ما بني منها على أساس الكيمياء الحركية مثل معادلة الرتبة صفر ومعادلة الرتبة الأولى، ومعادلة الانتشار، ومعادلة دالة القوى، ومعادلة إيلوفج لوصف التفاعلات الحركية لعدد من الأيونات مثل البوتاسيوم والنترجين والفسفور في التربة ومعادن الطين. ولم تحقق معادلة الرتبة صفر نجاحاً في وصف حركية تحرر البوتاسيوم عند مقارنتها بالمعادلات الحركية الأخرى، وهذا ما أكدته (Hundal and Pasrichal, 1993) معتمدين في هذه المقارنة على حساب معامل الارتباط (r) والخطأ القياسي (Standard Error) SE بحسب معادلة (Simard et al., 1992) كمقياس للمقارنة والتفضيل بين المعادلات. وقد أشار (Bunnett, 1986) و (Sparks, 1992) إلى أن جميع

المعادلات الرياضية المستخدمة في حساب معامل سرعة التحرر مبنية على أساس قوانين السرعة، وبعتماد عامل الزمن لأن قوانين السرعة تعمل على التنبؤ بسرعة التفاعل، وذلك لكشف كيفية وصول التفاعلات السريعة إلى حالة الاتزان وشبه الاتزان والتنبؤ بآلية التفاعل. كما خلص (Sparks, 1992) إلى اعتماد معادلة الانتشار على القوة الدافعة لعملية الانتشار والتي تنشأ من الفرق بين تركيز البوتاسيوم المتحرر آنياً وتركيزه في المحلول الخارجي. وأوضح (El-Khatib & Hern, 1988) أن معادلة الرتبة الأولى تصف تحرر البوتاسيوم في المعادن بشكل جيد لأنها تفترض أن سرعة التحرر تتناسب مع عدد المواقع المشغولة بالبوتاسيوم على سطوح المعادن، وأن سرعة التحرر تتناسب مع كمية البوتاسيوم المتبقية في الجزء الصلب، بينما لاحظ (Abdel-Hamid & Shahin, 1993) نجاح معادلة الرتبة الأولى ومعادلة الانتشار في وصف تحرر البوتاسيوم من الترب الكلسية في مصر. أما (Havline et al; 1985) فقد أشار إلى أن معادلة الانتشار قد وصفت تحرر البوتاسيوم من التربة بشكل جيد أكثر من معادلة الرتبة الأولى خلال فترة استخلاص طويلة، وباستخدام مستخلص مشبع بالكالسيوم. وهذا تقريباً ما توصل إليه Mengel & (Rahmatullah, 1998). وكذلك أشار (Hundal & Pasrichal, 1993) إلى أن معادلة الرتبة الأولى وصفت عملية تحرر البوتاسيوم بنجاح. وتمكن الباحثان من تمييز مرحلتين من التحرر اعتماداً على منحنيات التحرر حيث تمتاز المرحلة الأولى بسرعة تحرر عالية، أي أنها تمثل تحرر البوتاسيوم المتبادل. بينما المرحلة الثانية كانت سرعة التحرر فيها أقل حيث تمثل تحرر البوتاسيوم غير المتبادل. كذلك بين (Xiaonan et al; 2002) أنه يمكن استخدام معدل تحرر البوتاسيوم من التربة لمعرفة قدرتها على تزويد محصول الذرة الحولي بالبوتاسيوم، وكذلك لتبيان الحاجة لتسميد التربة به.

طريقة البحث ومواده:

أخذت عينات الترب من ستة أماكن مختلفة تمثل ترب حوض العاصي الأوسط وبثلاث مكررات ولعمق 50 سم. حيث اتبع أسلوب الانتقائية في اختيار العينات لعدم وجود خارطة بدولوجية للمنطقة، وحسب اختلاف مصادر المياه المستخدمة في الزراعة: منطقة الرستن، وغور العاصي، والجنان، والضاهرية، وخطاب، ومحدرة. أخذت عينات المياه من المناطق المأخوذة منها عينات التربة بعبوات زجاجية سعة 1.5 ليتر. وأضيف لها عدة نقاط من مادة التولوين أثناء نقلها للمختبر لإعاقة العمليات الميكروبيولوجية فيها: مياه سد الرستن W_1 ، مياه سد أقاميا W_2 ، مياه سد قسطون W_3 ، مياه سد محدرة W_4 . تم إجراء التحاليل الكيميائية والفيزيائية للتربة والمياه وفق الطرق المعتمدة في (Page et al; 1982) و (Rowell, 1997) وعرضت نتائج هذه التحاليل في الجدولين 1 و 2.

الجدول (1): بعض الخصائص الكيميائية والفيزيائية لنماذج ترب حوض العاصي

المنطقة	EC ds m 1:1	pH 1:1	CEC Cmol/kg	CaCO ₃ %	O.M %	الطين %	السلت %	الرمل %
الرستن	0.72	7.7	46	1.10	1.67	43	23	34
غور العاصي	1.25	8.1	42	1.81	1.51	53	25	22
الجنان	0.50	8.0	45	3.00	1.82	45	23	32

26	32	42	1.74	1.00	38	8.4	0.48	الضاهرية
25	20	55	1.63	4.10	24	7.2	0.49	خطاب
60	15	25	1.72	3.00	18	7.1	0.55	محددة

الجدول (2): التركيب الأيوني والتوصيل الكهربائي ودرجة التفاعل لنماذج مياه من روافد نهر العاصي

SA R	EC دسي، سمنز/م	pH	SO ₄ ²⁻ Cl ⁻ K ⁺ Na ⁺ Mg ²⁺ Ca ²⁺ HCO ₃ ³⁻ ميلي مول / ليتر						معاملة المياه	
			0.46	0.73	8.1	1.01	2.30	2.30		0.08
0.61	0.92	7.9	1.41	4.31	2.10	0.11	1.50	2.30	3.70	W ₂ افاميا
0.80	0.82	7.3	1.80	5.40	1.10	0.15	1.70	1.10	3.40	W ₃ قسطون
0.71	0.40	7.8	0.82	1.97	1.11	0.03	1.30	1.40	2.00	W ₄ محددة

التجارب الحركية:

أجريت سلسلة من التجارب المخبرية لدراسة قابلية التربة على تحرر البوتاسيوم باعتماد الطريقة التي اقترحها (Sanz-Scovino et al., 1992)، وذلك باستخلاص الترب بحمض النتريك IN مع الغلي استخلاصاً متعاقباً عشر مرات مدة كل منها 15 دقيقة بنسبة 10:1 (تربة : حمض). وتم حساب كمية البوتاسيوم في عينة التربة المشبعة بالحمض عند كل استخلاص ثم أضيفت إلى كمية البوتاسيوم المستخلصة قبلها.

التجربة الأولى: تحرر البوتاسيوم من الترب المعاملة بكلوريد البوتاسيوم 0.005 N ثم تم استخلاص البوتاسيوم بطريقة الاستخلاص المتعاقب، وباستعمال المياه W₁، W₂، W₃، W₄ بالرج لمدة ثلاث ساعات. يتم تركها لمدة 24 ساعة عند درجة حرارة 20 °م بغية تحقيق حالة الاتزان. يتم فصل الراشح بالطرد المركزي ويعشر مكررات حيث كان عدد مرات الاستخلاص 10 استخلاصات لمدة 240 ساعة ليتم تقدير البوتاسيوم لاحقاً ولكل مرحلة منها. أما التجربة الثانية: تحرر البوتاسيوم من الترب غير المعاملة، حيث تم استخلاص البوتاسيوم بطريقة الاستخلاص المتعاقب لعينات التربة غير المعاملة بكلوريد البوتاسيوم وباستخدام المياه W₁، W₂، W₃، W₄. وكانت نسبة التربة إلى الماء 1:10 باعتماد التحليل الإحصائي كتجربة عاملية بالتصميم العشوائي الكامل لإيجاد قيمة أقل فرق إحصائي L.S.D بين الترب ومعاملات المياه.

- تحديد سعة وسرعة تحرر البوتاسيوم باستخدام معادلة الانتشار

حدد إسهام كل من طور البوتاسيوم المتبادل وطور البوتاسيوم غير المتبادل في عملية تحرر البوتاسيوم حسب (Goulding, 1984)، وذلك بأخذ قيمة القاطع لكل جزء مستقيم من العلاقة بين الكمية التجميعية المتحررة للبوتاسيوم والجذر التربيعي للزمن ليعبر عن كمية الطور الذي يمكن أن يتحرر منه البوتاسيوم عند الزمن صفر. أما انحدار الخط المستقيم فيعبر عن سرعة تحرر البوتاسيوم من ذلك الطور، حيث استخدمت الرموز التالية للتعبير عن مؤشرات التحرر:

E_1 : كمية البوتاسيوم المتحررة من الطور المتبادل.
 E_2 : كمية البوتاسيوم المتحررة من الطور غير المتبادل.
 E_2+E_1 : مجموع كمية البوتاسيوم المتحررة من الطورين المتبادل وغير المتبادل والتي تعبر عن كمية البوتاسيوم المتحررة من التربة (Goulding, 1986).
 R_1 : سرعة تحرر البوتاسيوم من الطور المتبادل.
 R_2 : سرعة تحرر البوتاسيوم من الطور غير المتبادل.
 (R_1+R_2) : معدل سرعة تحرر البوتاسيوم من الطورين المتبادل وغير المتبادل والتي تعبر عن سرعة تحرر البوتاسيوم من التربة.

ولحساب معامل سرعة التحرر للبوتاسيوم في نظام الاتزان المستقر المستخدم في هذه الدراسة فقد استخدمت نتائج المعادلات الحركية لمعرفة أفضلها في وصف عملية تحرر البوتاسيوم، وتقدير سرعة التحرر بواسطة حمض النتريك، ونوعية مياه العاصي المستخدمة في التجارب الحركية بحسب كل من (Hundal and Pasrichal, 1998 ; Mengel and Ramatullah, 1993).

المعادلات الحركية المستخدمة في حساب معامل سرعة التحرر هي:

الرقم	اسم المعادلة	الصيغة الخطية
1	معادلة الرتبة صفر Zero order equation	$(C_0 - C_t) = C_0 - K_d t$
2	معادلة الرتبة الأولى First order equation	$\ln(C_0 - C_t) = \ln C_0 - K_d t$
3	معادلة الانتشار Parabolic diffusion equation	$C_t/C_0 = C_0 + K_d t^{1/2}$
4	معادلة دالة القوى الأسية Power function	$\ln C_t = \ln C_0 + K_d \ln t$
5	معادلة ايلوفيج Elovich equation	$C_t = C_0 + K_d \ln t$

حيث أن: C_0 = تركيز البوتاسيوم عند الزمن صفر .

C_t = تركيز البوتاسيوم المقاس عند الزمن t (زمن الاستخلاص).

K_d = معامل سرعة التحرر مول / كغ / ساعة.

T = الزمن (ساعة).

- تحديد أفضل معادلة:

لأجل تحديد أفضل معادلة رياضية من المعادلات السابقة لوصف عملية تحرر البوتاسيوم فقد تم اعتماد قيم

الارتباط الخطي البسيط (r)، وقيم الخطأ القياسي SE (Hundal & Pasrichal, 1993; Havlin & Westfall, 1985)، والصيغة العامة لمعادلة الخطأ القياسي SE هي: $SE = [\sum (C_t - C_t^*)^2 / n - 2]^{1/2}$

حيث أن: C_t = تركيز البوتاسيوم المقاس عند الزمن t .

$$C_t^* = \text{تركيز البوتاسيوم المحسوب عند الزمن } t.$$

$$n = \text{عدد مرات القياس.}$$

النتائج والمناقشة:

1. تحرر البوتاسيوم من التربة المعاملة بـ HNO_3 :

تشير النتائج المبينة في الجدول (3) إلى قيم البوتاسيوم المتحرر من تربة الدراسة وذلك عن طريق الاستخلاص المتعاقب باستخدام حمض النتريك مع الغلي. ويلاحظ اختلاف في قابلية هذه التربة على تحرير البوتاسيوم حيث سجلت أدنى قيمة في تربة الجنان، وبلغت 68.31 ميلي مول / كغ، وأعلى قيمة في تربة غور العاصي وبلغت 145.08 ميلي مول / كغ، ويرجع الاختلاف بالدرجة الأولى إلى اختلاف الخصائص الكيميائية للتربة (جدول 1)، وبالتالي فإن التحرر كان أكثر في التربة ذات التوصيل الكهربائي الأعلى وهذا متفق مع ما وجدته Dhillon, et al., (1989) على الرغم من احتواء بعض التربة على كميات عالية من الطين، ويمكن ترتيب التربة حسب قابليتها على تحرير البوتاسيوم إلى:

غور العاصي < الضاهرية < الرستن < خطاب < محردة < الجنان

2. تحرر البوتاسيوم من التربة غير المعاملة بكلوريد البوتاسيوم:

لقد كان هنالك اختلاف في الكمية المتحررة من البوتاسيوم من التربة في معاملات المياه (جدول 3)، والذي ربما يعود إلى نوعية المياه المستخدمة في عملية الاستخلاص حيث كانت أعلى قيمة لتحرر البوتاسيوم من التربة، وفي جميع معاملات المياه في تربة غور العاصي. وبلغت أعلى قيمة لتحرر البوتاسيوم 54.70 ميلي مول / كغ تربة، وأقل قيمة للتحرر في تربة الجنان. وبلغت هذه القيمة 4.18 ميلي مول / كغ تربة. ويرجع ذلك في أغلب الظن للاختلاف في الخصائص الكيميائية والفيزيائية للتربة (جدول 1 و 2 و 3). وقد لوحظ تفوق معاملة المياه (سد قسطون) W_3 على معاملة المياه (سد محردة) W_4 . ويرجع سبب ذلك إلى أن الأيونات الثنائية الموجودة في المياه سوف تحل محل البوتاسيوم على أسطح التبادل مما يؤدي إلى تحرر البوتاسيوم من مواقع التبادل (Sparks, 2000). كما يلاحظ أن التربة المعاملة بالمياه لم تحافظ على الترتيب نفسه في مقدرتها على تحرير البوتاسيوم الذي كان موجودا في معاملة حمض النتريك. وكان ترتيب التربة حسب مقدرتها على تحرير البوتاسيوم وبغض النظر عن نوع معاملات المياه على النحو التالي:

غور العاصي < محردة < الضاهرية < الرستن < خطاب < الجنان

الجدول (3): الكمية التراكمية للبوتاسيوم المتحرر ميلي مول / كغ تربة بعد عشر استخلاصات متعاقبة من التربة غير المعاملة

والمعاملة (A) التربة غير المعاملة (B) التربة المعاملة

العينة	W_1	W_2	W_3	W_4	HNO_3	W_1	W_2	W_3	W_4
منطقة الرستن	19.51	22.02	39.36	20.04	132.81	46.60	45.70	60.32	29.61
غور العاصي	23.24	30.54	54.70	26.25	145.08	49.89	56.03	54.67	36.80
الجنان	5.84	9.84	13.70	4.18	68.31	41.34	45.98	54.59	27.85
الضاهرية	18.81	24.54	40.12	18.00	144.92	39.93	45.86	52.86	27.36
خطاب	14.17	20.95	33.77	13.39	116.14	27.46	32.36	37.72	23.38
محردة	21.58	28.05	38.15	15.91	112.81	25.43	31.99	38.41	22.15

$$LSD_{0.05}=8.08 ; LSD_{0.01}=12.24$$

$$LSD_{0.05}=8.42 ; LSD_{0.01}=12.72$$

3- تحرر البوتاسيوم في الترب المعاملة بكلوريد البوتاسيوم:

يلاحظ من (الجدول 3) أن أعلى كمية تحرر في الترب المعاملة بكلوريد البوتاسيوم كانت في تربة الرستن حيث بلغت 60.32 ميلي مول / كغ، وأقل قيمة في تربة محردة وبمعدل 22.15 ميلي مول / كغ.

ويعزى الاختلاف الملاحظ بين القيم إلى تباين الترب في الخصائص الفيزيائية والكيميائية واختلاف معاملات المياه المستخدمة في الاستخلاص. والملاحظ أن الترب لم تحافظ على الترتيب في كمية البوتاسيوم المتحررة من الترب غير المعاملة، وكذلك معاملات المياه في قابليتها على التحرر، حيث يلاحظ أن مياه (سد أفاميا) W_2 سجلت أعلى قيم للتحرر، وأقل كمية للتحرر في معاملة مياه (سد محردة) W_4 . وعلى العموم يمكن ترتيب الترب حسب قابليتها لتحرر البوتاسيوم بغض النظر عن معاملات المياه المستخدمة في التحرر بالترتيب التالي: غور العاصي < الضاهرية < الرستن < خطاب < محردة < الجنان.

ويبين (جدول 4) تأثير معاملة التربة بكلوريد البوتاسيوم بمدى تحرر البوتاسيوم الموجود في التربة، والمعروف بالبوتاسيوم الأصلي Native-K (المتحرر + المحتجز)، حيث تم حساب النسبة المئوية في الزيادة من الفرق بين البوتاسيوم المتحرر بعد المعاملة والبوتاسيوم المحتجز. والفرق مطروح من البوتاسيوم المتحرر في الترب غير المعاملة مقسوماً على البوتاسيوم المتحرر من الترب غير المعاملة وحسب الصيغة التالية:

$$Z = Y - X / X . 100$$

X: البوتاسيوم الأصلي المتحرر من الترب غير المعاملة.

Y: البوتاسيوم الأصلي المتحرر من الترب المعاملة.

Z: النسبة المئوية للزيادة في كمية البوتاسيوم المتحرر بعد معاملة الترب بكلوريد البوتاسيوم.

جدول(4): تأثير معاملة الترب بالبوتاسيوم على تحرير بوتاسيوم الترب الأصلي مول / كغ بواسطة معاملات المياه

W ₄			W ₃			W ₂			W ₁			العينة
Z	Y	X	Z	Y	X	Z	Y	X	Z	Y	X	
47.75	29.61	20.04	53.25	60.32	39.36	107.53	45.70	22.02	138.85	46.60	19.51	الرستن
40.19	36.80	26.25		54.67	54.70	83.46	56.03	30.54	164.78	49.89	23.24	غورالعاصي
566.26	27.85	04.18	298.46	54.59	13.70	367.27	45.98	09.84	607.87	41.34	05.84	الجنان
52.00	27.36	18.00	31.75	52.86	40.12	86.87	45.86	24.54	112.28	39.93	18.81	الضاهرية
74.60	23.38	13.39	11.69	37.72	33.77	54.46	32.36	20.95	93.78	27.46	14.17	خطاب
39.22	22.15	15.91	0.68	38.41	38.15	14.04	31.99	28.05	17.84	25.43	21.58	محردة

حررت أغلب معاملات المياه كميات إضافية من البوتاسيوم إلا أن بعضها لم يحرر كميات إضافية من البوتاسيوم الأصلي. كما ظهر التأثير الواضح لمعاملة بعض الترب بكلوريد البوتاسيوم على زيادة كمية البوتاسيوم المتحررة، وانحصرت الزيادة بين 0.68 و 607.87 %، حيث إن معاملة المياه W_1 سجلت أعلى نسبة زيادة في تحرر البوتاسيوم، حيث حفز البوتاسيوم المضاف البوتاسيوم الأصلي على التحرر. ويفسر ذلك بأن امتزاز البوتاسيوم من قبل الترب أدى لإزالة أو إعادة تنظيم الأغلفة المحيطة بمفصولات التربة من الطين والسلت (Dhillon et al.,1989).

ويلاحظ أن الكميات المتحررة بحامض النتريك كانت أعلى من الكميات المتحررة بواسطة المياه على الرغم من الفارق الكبير في الزمن (جدول 3). ويرجع ذلك إلى قدرة حامض النتريك وبوجود الحرارة على تفكيك التكوين المعدني للترب، وبالتالي تحرر كميات أكبر من البوتاسيوم غير المتبادل، وعلى تزويد المحلول بأيون الهيدروجين، مما يؤدي إلى استبدال البوتاسيوم بالهيدروجين، وبالتالي تحرر كميات أكبر من البوتاسيوم. بعد ذلك تتحرك جبهة التبادل نحو البوتاسيوم المتبقي والموجود في المواقع ذات طاقة الربط العالية "البوتاسيوم الداخلي" Internal-K". وفي معاملات المياه فإن السلوك العام لمنحنيات تحرر البوتاسيوم تتشابه مع المعاملة المذكورة أعلاه، حيث إن البوتاسيوم المتحرر تم بمرحلتين: الأولى ذات سرعة شديدة وفي الفترة الزمنية المحصورة بين 24-96 ساعة. أما المرحلة الثانية فكانت ذات سرعة متوسطة إلى ثابتة في المراحل الأخيرة من التحرر، وتشمل هذه المرحلة الفترة الزمنية من 24 - 120 ساعة.

مما يمكننا من الاستنتاج بأن أغلب البوتاسيوم في معظم المعاملات وفي الترب المعاملة بكلوريد البوتاسيوم وغير المعاملة كان في المرحلة الأولى ويساوي تقريباً 75% من كل البوتاسيوم المتحرر. ويطلق على هذا البوتاسيوم أسم البوتاسيوم السهل الاستخلاص نسبياً أو ما يعبر عنه بالبوتاسيوم الموجود على سطوح معادن التربة، ويطلق عليه اسم بوتاسيوم السطوح (Surface-K). أما المرحلة الثانية فهي تمثل تحرر البوتاسيوم الصعب الاستخلاص أو بطيء التحرر الذي يكون مرتبطاً بالمواقع الخاصة أي البوتاسيوم المثبت. وقد يشمل جزءاً من البوتاسيوم المعدني Mineral Lattice-K، ولا سيما في المراحل النهائية من الاستخلاص (Goulding, 1984)، حيث بلغت النسبة المئوية لهذا البوتاسيوم تقريباً 10-15% تقريباً من البوتاسيوم المتحرر. لقد اختلفت هذه النسبة في الترب بسبب الاختلاف في نوعية المياه المستخدمة في التحرر وخاصة في درجة التوصيل الكهربائي واختلاف الترب في الخصائص الفيزيائية والكيميائية.

4- منحنيات تحرر البوتاسيوم:

توضح (الأشكال 1، 2، 3) العلاقة البيانية بين الكمية التراكمية للبوتاسيوم المتحرر أثناء الاستخلاص بحمض النتريك والمياه، مع الزمن لعدد من ترب حوض العاصي المستخدمة في الدراسة ويطلق على هذه المنحنيات اسم منحنيات التحرر (Spark s, 1987). ونلاحظ بين منحنيات المعاملات التي استخدمت في هذه الدراسة أنه على الرغم من التشابه في الشكل العام والسلوكية للمنحنيات الممثلة لمختلف المعاملات، إلا أنها اختلفت فيما بينها في المستوى الذي يعكس الكمية التراكمية للبوتاسيوم المتحرر أثناء الاستخلاص. لقد احتلت تربة غور العاصي ومعاملة المياه W_3 المرتبة الأولى، إلا أن مستوى الزيادة في الكمية التراكمية للبوتاسيوم يأخذ في التناقص مع الزمن وخاصة في المراحل الأخيرة، بالإضافة إلى أنه يمكن ملاحظة الاختلاف في شدة انحدار ومستوى المنحنيات، وهذا يتفق مع النتائج التي توصل إليها (Hundal & Pasrichal, 1993). وعند متابعة سلوك المنحنيات وشكلها يمكن الملاحظة بأن تحرر البوتاسيوم من الترب المعاملة بحمض النتريك IN تتضمن فترتين: تتمثل الفترة الأولى بانحدار شديد خلال زمن قليل، أما الفترة الثانية فإن الانحدار يتناقص ليثبت بالمراحل الأخيرة منه. ويعزى ذلك إلى أنه بعد إزاحة معظم البوتاسيوم المتبادل المتمثل في بوتاسيوم السطوح Surface-K يتحرر البوتاسيوم المتبادل من سطوح المعادن (Dhillon et al., 1989).

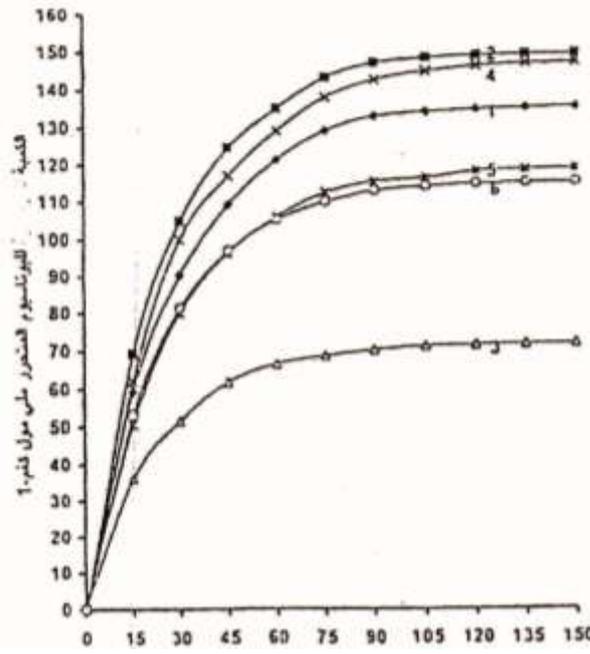
5- سعة تحرر البوتاسيوم وسرعة تحرره أثناء الاستخلاص المتعاقب بحمض النتريك:

بغية التعرف على تقييم ترب الدراسة تقييماً خصوصياً وفق أسس حركية تم حساب المعيارين الأساسيين ذات العلاقة بتحرر البوتاسيوم من ترب حوض العاصي الأوسط. فسعة وسرعة تحرر البوتاسيوم بحسب الطريقة التي اقترحها (Goulding, 1984) وذلك باستخراج قيم سعة وسرعة التحرر من منحنيات التحرر الخاصة بمعادلة الانتشار. من (الشكلين 4 و 5) اللذين يوضحان مسار التفاعل الخاص بترب غور العاصي والرستن كأمثلة لتوضيح كيفية حساب هذه المعايير، إذ تمثل قيمة القاطع للخط المستقيم لمسار التفاعل الخاص مع محور العينات معياراً لقيمة سعة التحرر من المخزون (عند الزمن صفر) وميل الخط معياراً لسرعة التحرر. ونظراً لوجود فترتين من التحرر المرحلة الأولى تمثل سعة البوتاسيوم المتبادل القابل للتحرر و رمز له ب E_1 ، والمرحلة الثانية تمثل سعة البوتاسيوم غير المتبادل القابل للتحرر وتم الرمز له ب E_2 . في حين تمثل سعة التحرر الكلية للتربة مجموع المرحلتين، وتم الرمز لها ب E ، ويمكن تعريفها بأنها سعة التحرر التي مصدرها معادن التربة. ويبين (جدول 5) قيم سعة التحرر للترب قيد الدراسة حيث نلاحظ أن هذه القيم كانت محصورة ما بين 1776 - 3274 ملغ / كغ. أما سعة التحرر من الطور المتبادل فقد تراوحت ما بين 1558 - 2784 ملغ / كغ. حيث سجلت تربة غور العاصي أعلى سعة تحرر بينما سجلت تربة الرستن أخفض سعة تحرر، أما سعة التحرر من الطور غير المتبادل فقد تراوحت بين 218 - 490 ملغ / كغ. واعتماداً على القيم والحدود المقترحة من قبل (Goulding & Loveland, 1986) المبينة أدناه.

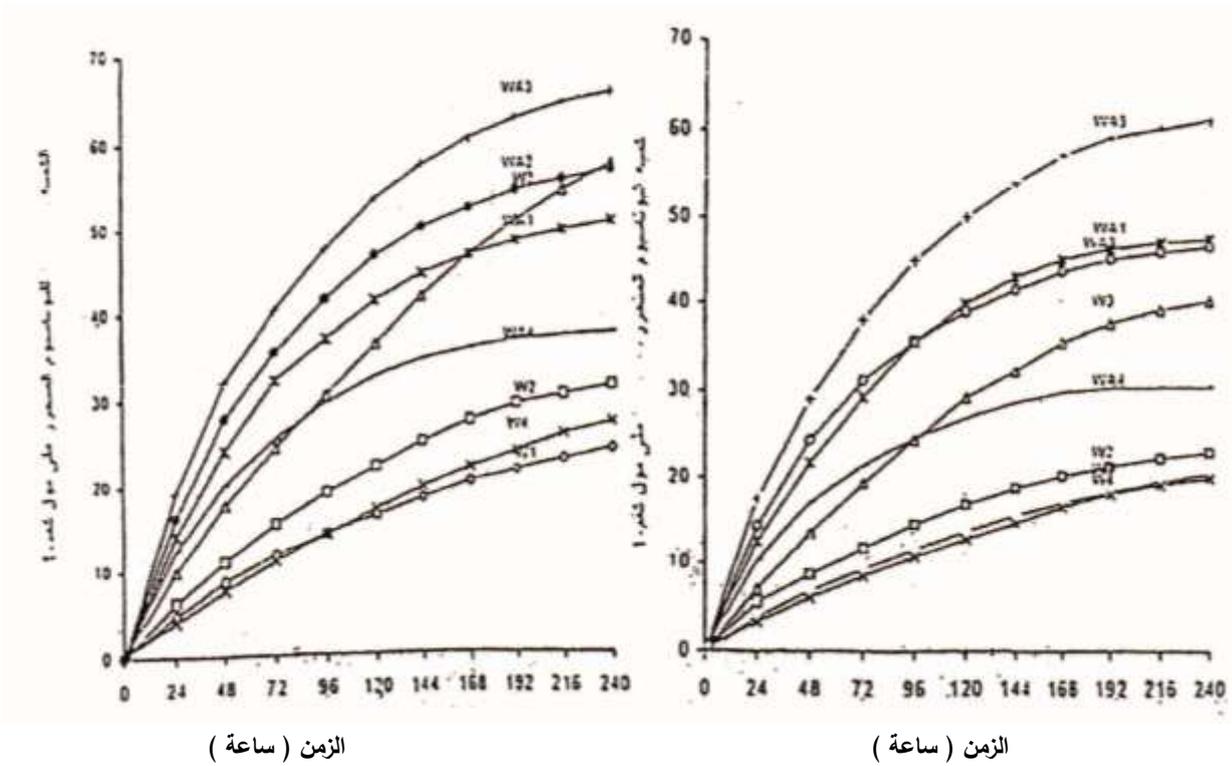
صنف التربة	سعة تحرر من التربة ميلي غرام بوتاسيوم كغ تربة
عالية السعة	أكثر من 4000
متوسطة السعة	4000 - 2000
قليلة السعة	أقل من 2000

الجدول (5): يوضح سعة وسرعة وكمية تحرر البوتاسيوم المستحصل عليها بعد عشر استخلاصات متعاقبة من ترب البحث
السرعة ملغ / كغ / دقيقة

الكمية المستخلصة ب HNO_3 مليمول/كغ	$R=R_1+R_2/2$	R_2	R_1	$E=E_1+E_2$	E_2	E_1	العينة
132.81	310.24	56.88	563.60	2858	299	2559	1
145.08	323.04	61.08	585	3274	490	2784	2
68.31	173.90	49.81	298	1776	218	1558	3
144.92	303.62	104.24	503	2957	339	2618	4
116.14	271.64	70.83	472.45	2698	279	2419	5
112.81	260.47	60.56	460.38	2810	239	2571	6



الشكل (1) يوضح العلاقة بين كمية البوتاسيوم المتحررة والزمن في التربة المعاملة بحمض النتريك (الزمن دقيقة)

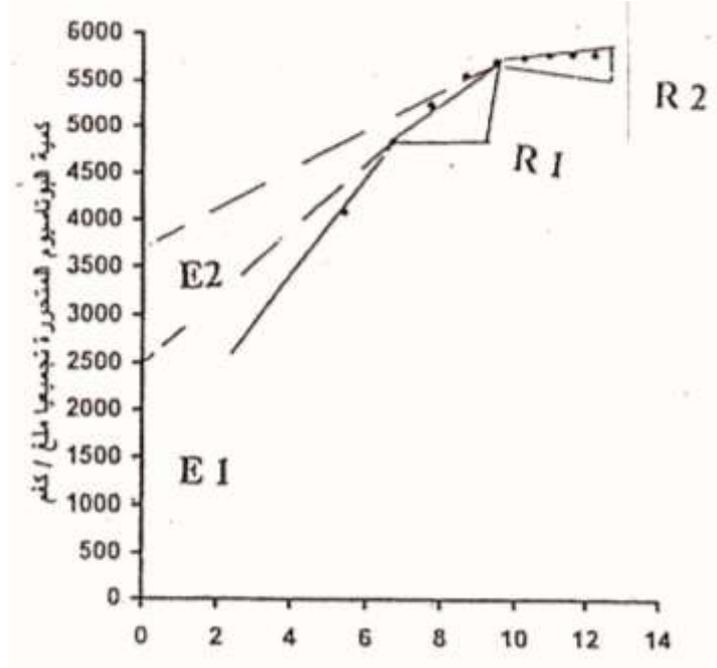


الزمن (ساعة)

الزمن (ساعة)

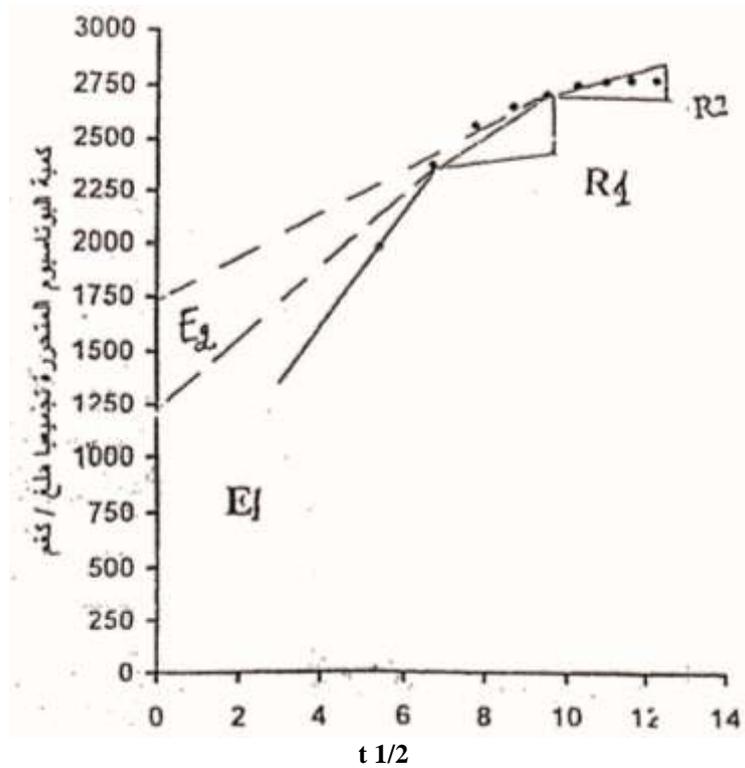
الشكل (2) العلاقة بين كمية البوتاسيوم المتحررة

والزمن في تربة منطقة الرستن المعاملة وغير المعاملة



دقيقة t 1/2

الشكل (4) سعة وسرعة تحرر البوتاسيوم في تربة غور العاصي



دقيقة t 1/2

الشكل (5) سعة وسرعة تحرر البوتاسيوم في تربة الجنان

يمكن تصنيف الترب المدروسة إلى ترب ذات سعة متوسطة التحرر أو المخزون القابل للتحرر، وترب ذات سعة قليلة. ويمكن ترتيب الترب حسب سعة تحررها إلى: غور العاصي < الجنان < الضاهرية < محردة < خطاب < الرستن. لكن من الملاحظ أن أغلبية ترب الدراسة هي ترب ذات سعة متوسطة لتحرر البوتاسيوم، أما سرعة التحرر والتي تم الرمز لها بـ R تم لترب الدراسة والتي تم حسابها من معدل سرعة تحرر الطور المتبادل R_1 وسرعة تحرر الطور غير المتبادل R_2 فقد تراوحت ما بين 173.90 - 323.04 ملغ / كغ / دقيقة والمبينة في (الجدول 5). في حين تراوحت سرعة التحرر من الطور المتبادل ما بين 298 - 585 ملغ / كغ / دقيقة، أما سرعة التحرر من الطور غير المتبادل فتراوحت ما بين 49.81 - 104.24 ملغ / كغ / دقيقة.

وبالاعتماد على التصنيف الذي اقترحه (Goulding & Loveland, 1986) والمبين أدناه.

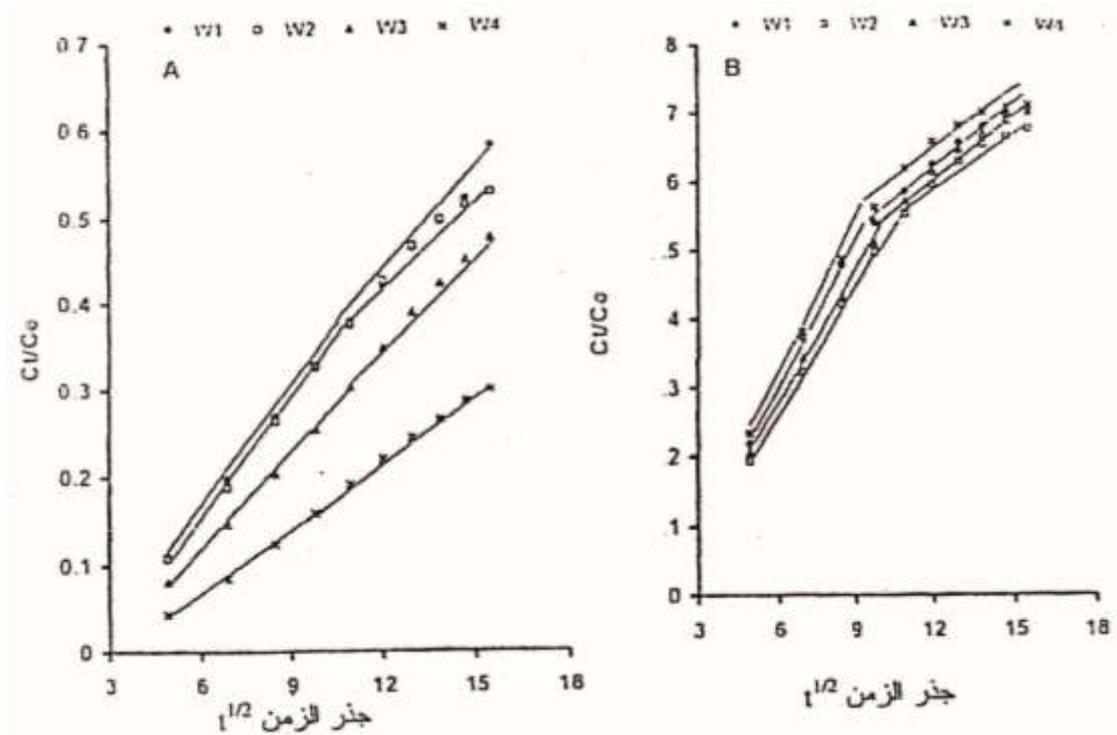
صنف التربة	سرعة تحرر من التربة مغ بوتاسيوم كغ تربة / دقيقة
عالية السرعة	< 1000
متوسطة السرعة	1000 - 500
قليلة السرعة	> 500

نجد أن جميع الترب ذات سرعة تحرر منخفضة. ويلاحظ انخفاض سرعة التحرر مقارنة بسعة التحرر وهذا يتفق مع ما حصل عليه (Wada & Kakoto, 1993). ويمكن ترتيب الترب حسب سرعة التحرر إلى: غور العاصي < الضاهرية < الجنان < خطاب < محردة < الرستن .
6- وصف تحرر البوتاسيوم على أساس المعادلات الحركية:

تم استخدام نتائج تحرر البوتاسيوم من ترب الدراسة بمعاملة حامض النتريك ومعاملات المياه للكشف على صلاحية المعادلات الحركية المستخدمة في وصف تحرر البوتاسيوم من الترب بالاعتماد على كمية البوتاسيوم المتحررة كدالة للزمن، وتم رسم علاقات بيانية لمعادلة الرتبة الأولى ومعادلة الانتشار (الشكل 6 و 7). ولغرض كشف أفضل المعادلات الحركية في وصف عملية تحرر البوتاسيوم في ترب الدراسة واستناداً للتحليل الإحصائي لحساب أفضل معامل ارتباط r ، وكذلك أقل خطأ قياسي SE، وبناء على هذين المعيارين فقد أمكن ترتيب المعادلات المستخدمة من ناحية أفضليتها في وصف عملية تحرر البوتاسيوم على النحو الآتي: معادلة الانتشار < معادلة الرتبة الأولى < معادلة دالة القوة < معادلة إيلوفج < معادلة الرتبة صفر.

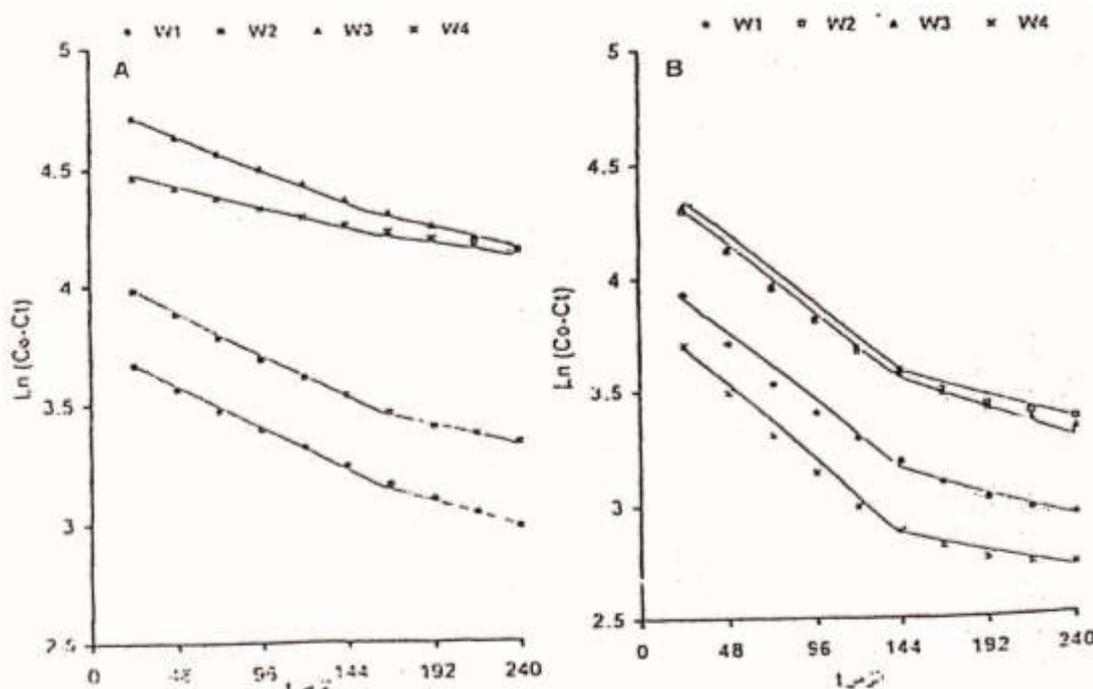
وبذلك تعد معادلة الانتشار أكثر المعادلات وصفاً لعملية تحرر البوتاسيوم من ترب الدراسة، تأتي بعدها معادلة الرتبة الأولى ومعادلة دالة القوة وهذا يتفق وما حصل عليه عدد من الباحثين (Young & Skogley, 1992) وكذلك (Sing et al., 1983) وعلى الرغم من أن نتائج التحليل الإحصائي التي أشارت إلى تفوق معادلة الانتشار تفوقاً نسبياً على معادلة الرتبة الأولى في معاملات المياه في الترب المعاملة بكلوريد البوتاسيوم وغير المعاملة، إلا أنه يفضل استخدام معادلة الرتبة الأولى المبينة على أساس الكيمياء، وقانون السرعة للكشف عن ميكانيكية تحرر البوتاسيوم من ترب الدراسة، وذلك من خلال متابعة مسار تفاعل تحرر البوتاسيوم (Dhillon et al., 1989, Sparks. 1987)، فإن سرعة التحرر تتناسب مع عدد المواقع المشغولة على الأسطح أو

مع تركيز البوتاسيوم الذي يشغل هذه المواقع، كما وتجدر الإشارة إلى أن نتائج التحليل الإحصائي بين قيم معامل سرعة تحرر البوتاسيوم المحسوب بمعادلة الانتشار والرتبة الأولى، وبعض صفات الترب موضوع البحث كشفت لنا أن معامل السرعة المحسوب بمعادلة الرتبة الأولى كان أكثر ارتباطاً بصفات هذه الترب. ومن أجل التعبير عن هذه المعادلة فقد تم رسم العلاقة بين مؤشر



الشكل (6) العلاقة بين C_t/C_0 والزمن معادلة الانتشار لتربة غور العاصي ومعاملات المياه

تربة غير معاملة A تربة معاملة B



الشكل (7) العلاقة بين $\ln(C_o - C_t)$ والزمن معادلة الرتبة الأولى لتربة غور العاصي ومعاملات المياه

تربة غير معاملة A تربة معاملة B

التحرر $\ln(C_o - C_t)$ و زمن الاستخلاص t حيث يلاحظ أن جميع نقاط هذه العلاقة لا تقع بالضبط على استقامة واحدة من بداية الاستخلاص حتى النهاية، بل تتميز بوجود مستقيمين يختلفان بزاوية الانحدار، مما يعني أن معادلة الرتبة الأولى كشفت عن وجود طورين مختلفين للتحرر خلال مسار عملية التفاعل الكيميائي. كما يمكن وصف تحرر البوتاسيوم باستخدام معادلة الانتشار عند الاستخلاص بحمض النتريك من التربة. وتفترض هذه المعادلة أن الانتشار هو المحدد لخطوات سرعة تحرر البوتاسيوم من الأسطح الخارجية والداخلية للمعادن. كما أنها ناجحة التطبيق في التراكيز العالية وبالتالي فإن معادلة الانتشار ناجحة أكثر من معادلة الرتبة الأولى (Sing et al., 1983 ; Yang & Skogley, 1992).

7- معامل سرعة تحرر البوتاسيوم K_d :

يشير (الجدول 6) إلى قيم معامل سرعة تحرر البوتاسيوم للترب موضوع البحث، ومعامل حمض النتريك، ومعاملات المياه المستخدمة في الترب المعاملة وغير المعاملة المحسوب بمعادلة الانتشار والرتبة الأولى. ويعد هذا المؤشر من المؤشرات الهامة لمعرفة مدى تحرر البوتاسيوم من الترب.

8- معامل سرعة تحرير البوتاسيوم للترب المستخلصة بحمض النتريك:

تراوحت قيم معامل سرعة تحرر البوتاسيوم للترب المستخلص بحمض النتريك بين 0.0353 - 0.0390 مول/كغ/ دقيقة، وهذه القيم تقع ضمن المدى الذي حصل عليه عدد من الباحثين لعدد من الترب المختلفة (Hundal & Pasrichal, 1993 و Dhillon et al., 1989). ويلاحظ أن أعلى معامل لسرعة تحرر البوتاسيوم قد سجل في تربة الرستن والتي تمتاز بقوام طيني وهذا متفق وما أشار إليه (Mengle & Rahmatullah, 1989) بينما سجل أقل معامل سرعة تحرر في تربة محردة وهذه التربة تمتاز بوجود نسبة عالية من الرمل.

أما معامل سرعة تحرر البوتاسيوم للترب غير المعاملة فقد تراوحت قيم التحرر في ترب الدراسة وبمعاملات المياه المختلفة ما بين (0.0012 - 0.0041) / ساعة وقد سجلت تربة محردة عامل سرعة تحرر عالياً عند اتزانها مع مياه W_1 . أما أقل قيمة فسجلت في تربة غور العاصي عند اتزانها مع مياه W_4 (جدول 6). وهذا ما يشير إلى أن الترب ذات المخزون المرتفع من البوتاسيوم لا تتسم دائماً بسرعة تحرر عالي كما يتوقع. كما أن معامل السرعة اختلف باختلاف معاملات المياه وهذا الاختلاف لم يكن بالصورة الواضحة. وبغض النظر عن نوع الترب فإنه يمكن ترتيب معاملات سرعة تحرر البوتاسيوم على النحو التالي:

$$W_2 > W_3 > W_1 > W_4$$

حيث إن معاملة المياه ذات التوصيل الكهربائي العالي كانت هي الأفضل. أما معامل سرعة التحرر في الترب المعاملة بكلوريد البوتاسيوم 0.005 عياري فقد تراوحت بين (0.0032 - 0.0069) / ساعة. أي أن قيم عامل سرعة التحرر لترب الدراسة ارتفعت بصورة عامة، مما يشير إلى دور إضافة البوتاسيوم للتربة في زيادة عامل سرعة التحرر. وفي معاملات المياه تفوقت المعاملتان W_2 ، W_3 على الترتيب وعموماً حافظت معاملات المياه على الترتيب نفسه كما في (الجدول 6).

الجدول 6: يبين معامل سرعة تحرر البوتاسيوم K_d المقدر بمعادلة الرتبة الأولى ومعادلة الانتشار باستعمال مستخلص HNO_3 ومعاملات مياه مختلفة المعاملة وغير المعاملة بكلوريد البوتاسيوم

معادلة الرتبة الأولى

غير معاملة				معادلة KCL				معادلة HNO_3	رقم العينة
W_4^*	W_3^*	W_2^*	W_1^*	W_4^*	W_3^*	W_2^*	W_1^*	*	
.20	17.	.40	33.	69.	41.	43.	.32	.49	الريستن
.12	.13	.25	30.	30.	44.	41.	38.	50.	غور العاصي
.28	.38	.22	28.	40.	45.	41.	37.	54.	الجنان
.23	24.	.53	28.	47.	46.	44.	47.	48.	الضاهرية
.25	28.	31.	28.	44.	50.	46.	46.	47.	خطاب
.35	29.	37.	.41	.44	50.	43.	49.	49.	محردة

معادلة الانتشار

غير معاملة				معادلة KCL				معادلة HNO_3	رقم العينة
W_4^*	W_3^*	W_2^*	W_1^*	W_4^*	W_3^*	W_2^*	W_1^*	*	
3.31	3.02	4.88	4.56	5.61	4.61	4.47	4.23	3.90	الريستن
2.51	3.83	4.14	4.18	4.48	4.68	4.54	4.46	3.73	غور العاصي

4.00	4.54	3.51	4.02	4.50	4.77	4.53	4.35	3.53	الجنان
3.67	3.74	4.49	4.06	4.28	4.64	4.52	4.17	3.91	الضاهرية
3.18	4.07	4.31	4.00	4.50	4.59	4.45	4.37	3.87	خطاب
4.08	3.93	4.21	4.57	4.47	4.42	4.46	4.54	3.68	محرده

$$* = V \times 10^{-2}$$

الاستنتاجات:

- تشابه تحرر البوتاسيوم من الترب المعاملة وغير المعاملة بحمض النتريك فيما بينها وفق التسلسل التالي:
غور العاصي < الضاهرية < الرستن < خطاب < محرده < الجنان.
- تحرر القسم الأعظم من البوتاسيوم من الترب المعاملة وغير المعاملة بكلوريد البوتاسيوم في المرحلة الأولى ويساوي تقريباً 75 % من مجموع البوتاسيوم المتحرر.
- سعة تحرر البوتاسيوم من الطور المتبادل وغير المتبادل كانت قيماً متوسطة ومحصورة ما بين 1776-3274 ميلي غرام / كغ. أما سرعة التحرر فكانت منخفضة وتراوح ما بين 173.90 - 323.04 ميلي غرام / كغ / دقيقة.
- نتائج التحليل الإحصائي لحساب أعلى معامل ارتباط وأقل خطأ قياسي أدى إلى ترتيب المعادلات المستخدمة من ناحية أفضليتها في وصف عملية تحرر البوتاسيوم على النحو التالي:
معادلة الانتشار < الرتبة الأولى < دالة القوى < ايلوفج < معادلة الرتبة صفر.
- تراوحت قيم معامل سرعة تحرر البوتاسيوم للترب المستخلصة بحمض النتريك ما بين 0.0353 - 0.0390 مول / كغ / دقيقة، بينما للترب غير المعاملة ما بين 0.0012 - 0.0041 / ساعة، مما يبين أن الترب ذات المخزون العالي من البوتاسيوم لا تتصف دائماً بسرعة تحرر عالٍ.
- حافظت معاملات المياه على الترتيب نفسه وتفاوتت المعاملتان W_2 و W_3 على الترتيب. أما قيم عامل سرعة تحرر البوتاسيوم للترب المعاملة بكلوريد البوتاسيوم 0.005 عياري فقد تراوحت ما بين (0.0032 - 0.0069) / ساعة، أي أن قيم عامل سرعة التحرر للترب موضوع البحث ارتفعت بصورة عامة، مما يبين دور إضافة البوتاسيوم للتربة في زيادة عامل سرعة التحرر.

التوصيات:

- ضرورة إجراء التحاليل المعدنية للزمرة الغروية في التربة لتحديد نوع الطين السائد فيها.
- لا بد من دراسات لاحقة لايجاد العلاقة بين سرعة تحرر البوتاسيوم في التربة وامتصاصه في النبات وحاصل النبات، ليتسنى بعدها وضع برنامج للتسميد بالبوتاسيوم تحت الظروف الحقلية والتطبيقية.

المراجع:

- ABDEL-HAMID, M.M; R.R.SHAHIN: *Kinetics of potassium desorption torrifluvents and calciorthids under wet and wet-dry condition*. Bill fac.Agric University Cairo 1993, 44:713-736.
- BUNNET, J.F.: *Kinetics in solution*. Pp171-250. In C.F. Beransanied *Investigation of rate and mechanisms of reaction*. John Wiley. New York 1986.
- DHILLON, S.K, P.S.SIDHU., R.C.BANSAL.: *Release of potassium from some benchmark soil of India* J.of soil Sci 1989. 40:783-797.
- EL-KHATIB, E.A; J.L.HERN.: *Kinetics of potassium desorption from Appalachian soil*.Soil.Sci 1988.V.145.No.1.
- GOULDING. K.W. T.: *The availability of potassium in soils to crops as measured by its release to calcium saturated cation exchange resin*. J.Agric.Sci.Camb 1984. 103:265-275.
- GOULDING, K. W. T; P.J. LOVELAND.: *The classification and mapping of potassium reserves in soils of England and Wales*. J. Soil Sci 1986. 37:555-565.
- HAVLIN, J.L; D.I. ROWELL. S.R.OLSEN.: *Mathematics models for potassium release kinetics in calcareous soils*. Soil Sci.Soc.Am .J 1985.49:371-376.
- HAVLIN, J.L; D.G.WESTFALL.: *Potassium release kinetics and plant response in calcareous soils*. Soil Sci. Soc.Am.J 1985.49:366-370.
- HUNDAL, L; N.S.PASRICHAL.: *Non-exchangeable potassium release kinetics in illitic soil profiles*. Soil Sci. 1993. 156: 34-41.
- JARDINE, P.M; F.M. DUNNIVANT. H.M. SELIM. J.F. McCARTHY. : *Comparison of describing the transport of dissolved organic carbon in aquifer columns*. Soil Sci. Soc.Am.J. 1992.56:393-401.
- KEREN. R; P.R. GROSSL. D.L. SPARKS.: *Equilibrium and kinetics of borate adsorption-desorption on pyrophyllite in aqueous suspensions*. Soil Sci.Soc.Am.J 1994.58:1116-1122.
- MENGEL, K. DOU.H.RAHMATULLAH.:*Release of potassium from the silt and sand fraction of loess-derived soils*. Soil Sci 1998.163.10: 805-813.
- PAGE,A.L,R.H.MILLER and D.R.KEENAY: *Methods of Analysis*. Part(2) 2nd ed.Agronomy 9 –Am.Soc.Agron. Madism.Wisconsin1982.
- Rowell,D,L:*Methods and applications*. Soil Science. 1997.
- SIMARD,R.R;C.R.DEKIMPE and J.ZIZKA: *Release of potassium and magnesium from clay fractions and its kinetics*. Soil Sci. Soc. Amr.J 56: 1421-1428 1992.
- SANZ-SCOVINO, J.I, S.WEIL. A.A.JONES.: *The mineralogy and potassium reserves of a soil from Carimagua*. Colombia. Geoderma 1992.52:3-4, 291-302.
- SING, K.D; K.W.T. GOULDING, A.H. SINCLAIR. : *Assessment of potassium in soils*. Comm. Soil Sci. Plant Anal 1983.14.11:1015-1033.
- SPARKS, D.L.P.G.HUANG.:*The physical chemistry of soil potassium In: R. E Munson(ed) potassium in agriculture USA*. CSSA. SSA .Madson. WI 1985.
- SPARKS, D.L. : *Dynamics of soil potassium*. Adv.Soil Sci 1987. 6:1-63.
- SPARKS, D.L.: *Kinetics of soil chemical processes*. Academic press Inc, London Ltd 1992.
- SPARKS, D.L.: *Kinetics and mechanisms of soil chemical reactions In Hand Book of soil science* Walcolml. Sumner, C.R.C. Press. New York.Ed 2000
- WADA, K, Y. KAKOTO. : *Nonexchangeable potassium in a 14 manometer minerals. And mica in Korean Ultisol*.Soil Sci.Soc.Am.J 1993.57: 552-555.
- YANG, J.E; E.O.SKOGLEY. : *Diffusion kinetics of multi nutrient accumulation by mixed-bed. Ion. Exchange Resin*. Soil Sci.Soc.Am. Proc.J 1992.56: 408-414.

- XIAONAN LU, MINGHUA ZHANG & JIANMING.:*Potassium release rates from ustisols and their application*. Plant and soil 246:23-29. 2002.