Bull. Fac. Agric., Cairo Univ., 61: 79 -90 (2010).

AVAILABILITY OF EXCHANGEABLE AND NON-EXCHANGEABLE POTASSIUM IN SOME JORDANIAN CALCAREOUS SOILS

(Received: 24.9.2009)

By
F. M. Al-Nasir
Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, Mutah University, Al-Karak, Jordan

ABSTRACT

This study aimed at estimating the quantity of exchangeable and non-exchangeable potassium (K) in calcareous agricultural soils in Jordan, and determining the contribution of exchangeable and non-exchangeable K to plant nutrition. The soils were collected from 18 different agricultural regions, and thereafter cultivated with alfalfa without adding fertilizers. The results showed significant differences for dry matter, total K uptake of the plant, and in the contribution of exchangeable and non-exchangeable K in different soils. The soils were divided into two major groups. The first group included Deer Alah, Alzaitunah, Almafrag, Alshubak and Albagah, which characterized mainly by high K in vegetative parts and optimum soil K content enough for Alfalfa growth in the second and third cuts. The other soils were clustered together in one group, which showed lower K concentrations than the optimum. Dry matter production was significantly correlated with K uptake in plant tissue (r=0.755**), and with exchangeable and non-exchangeable K (r= 0.536* and 0.589*, respectively). Total K uptake was significantly correlated with initial exchangeable K, and the contribution of exchangeable and non-exchangeable K in plant nutrition.

Key words: *alfalfa, calcareous soil, soluble K, exchangeable K, non-exchangeable K, total K uptake.*

جاهزية البوتاسيوم المتبادل وغير المتبادل للنبات في بعض الترب الكلسية بالأردن

فرح موسي الناصر
قسم الإنتاج النباتي - كلية الزراعة- جامعة مؤتة - الكرك - الأردن

ملخص

هدفت هذه الدراسة لتقدير كميات البوتاسيوم الذائب، المتبادل وغير المتبادل في الترب الكلسية لبعض المناطق الزراعية في الأردن، وتقدير مساهمة كل من البوتاسيوم المتبادل وغير المتبادل في تغذية النبات. أخذت عينات تربة من 18منطقة زراعية وتم زراعة نبات البرسيم الحجازي بدون إضافة أية أسمدة للتربة. ولقد أظهرت النتائج وجود فروقات معنوية لكمية الحاصل كمادة جافة وكمية البوتاسيوم الكلي الذي أخذه النبات من التربة ومساهمة البوتاسيوم المتبادل وغير المتبادل بين ترب المناطق المختلفة. ولقد أمكن تقسيم الترب إلى مجموعتين، الاولى هي ترب مناطق دير علا، الزيتونة، الشوبك، المفرق والبقعة. اما المجموعة الثانية هي ترب مؤتة، الربة، الحربية، ام بطيمة، بذان، شحتور، عبين، ابو ترابة، الموجب، سما الروسان، الكورة، السرو وجرش. لقد أظهرت النباتات المزروعة بالمجموعة الأولى بأن تركيز ات البوتاسيوم في المادة الجافة كان ضمن المدى المثالي لنمو نبات البرسيم الحجازي في الحشة الثانية والثالثة فقط، ولبقية الترب كان تركيز البوتاسيوم أقل من التركيز المثالي لجميع الحشات، كانت هناك علاقة معنوية بين الحاصل كمادة جافة وكل من البوتاسيوم الكلي في أنسجة النبات بمعامل ارتباط = 0.755^{**} ومع البوتاسيوم المتبادل البدائي بالتربة بمعامل ارتباط = 0.672^{**} ومساهمة البوتاسيوم المتبادل في تغذية النبات بمعامل ارتباط = 0.536^{*} ومع البوتاسيوم غير المتبادل المنطلق من التربة بمعامل ارتباط = 0.589^{*}. وكذلك كان هناك علاقة معنوية عالية بين البوتاسيوم الكلي الذي امتصه النبات، وكل من البوتاسيوم المتبادل البدائي بالتربة، ومع مساهمة البوتاسيوم المتبادل وغير المتبادل في تغذية النبات.

1. المقدمــة

يعتبر البوتاسيوم عنصر غذائي أساسي لنمو النبات وله دور مهم في الزراعة (Sparks and Huang, 1985)، وبشكل عام فأن ترب المناطق الجافة وشبه الجافة بها إمداد من البوتاسيوم وتحتوي على كميات كبيرة من البوتاسيوم المتبادل Exchangeable والبوتاسيوم غير المتبادل Non-exchangeable وعند استخدام نظام الزراعة الكثيفة فأن هذة الترب تعاني من نقص في البوتاسيوم الجاهز للنبات Available K (Jalali, 2005).

ويكون بوتاسيوم التربة على صور مختلفة و هي البوتاسيوم الذائب المتبادل وغير المتبادل والبوتاسيوم الذي يكون جزء من تركيب المعادن (Sparks, 1987). توجد هناك علاقة إتزان كيميائي حركي مهم بين الصور المختلفة الثلاث الأولى للبوتاسيوم بالتربة حيث يأخذ النبات أولا البوتاسيوم الذائب في محلول التربة على شكل ايون مباشرةً من المحلول أما البوتاسيوم المتبادل فيشكل الجزء الآخر من بوتاسيوم التربة الذي يكون مرتبط بشحنة كهربائية على سطوح غرويات التربة المعدنية والعضوية (Sparks, 1987) والذي يمكن أن يتبادل مع أيونات موجبة أخرى ذا يئة في محلول التربة. يعتبر البوتاسيوم الذائب والمتبادل هما الصورتان من البوتاسيوم الجاهز للنبات بشكل سريع اما البوتاسيوم غير المتبادل يمثل الصورة الأخرى من البوتاسيوم بطيء الجاهزية للنبات والذي يشكل احتياطي هام للبوتاسيوم في التربة (Jalali, 2006).

لقد أوضحت دراسات عديدة بأن البوتاسيوم غير المتبادل له دور هام في تغذية النبات (Jalali and Zarabi, 2006; and Mengel and Uhlenbecker, 1993) وأن البوتاسيوم غير المتبادل مصدر للبوتاسيوم في بعض الترب و يمكن ان ينطلق الى محلول التربة وتصبح لة مساهمة هامة في البوتاسيوم الذي يمتصة النبات خلال موسم النمو ويستخدم خلال أيام قليلة (Rahmatulla *et al.*, 1994; and Øgaard and Krogstad, 2005) . يساهم البوتاسيوم غير المتبادل مساهمة هامةً في تغذية النبات خاصة في الزراعة الكثيفة عندما يكون البوتاسيوم المتبادل غير كافي لسد احتياجات النبات (Binet *et al.*, 1984; and Mengel, 1985) وفي حالة تناقص مستوى البوتاسيوم الذائب والمتبادل إلى حد متدني يصعب امتصاصه من قبل النبات، فإن البوتاسيوم غير المتبادل ينطلق من بين طبقات المعادن الطينية (Maclean and Watson, 1985). وفي دراسة قام بها(Dhillon and Dhillon (1990 وجدا أنه عندما يتناقص مستوى البوتاسيوم الذائب والمتبادل نتيجة إمتصاص النبات أو الغسيل فإن البوتاسيوم غير المتبادل سوف ينطلق ويتحول إلى الصورة المتبادلة. ويتأثر البوتاسيوم غير المتبادل والمنطلق من الترب ةً بالتسميد بالبوتاسيوم الا أن هناك دراسات قليلة حول العلاقة بين حركة البوتاسيوم الحر والبوتاسيوم الذي أخذه النبات من الترب الكلسية (Jalali, 2006).

إن الهدف من الدراسة هوتحديد وتقدير تركيز ات البوتاسيوم الذائب المتبادل وغير المتبادل Soluble, exchangeable and nonexchengeable K في الترب الكلسية في بعض المناطق الهامة زراعياً بالأردن، وتقدير مساهمة البوتاسيوم المتبادل ومقدار انطلاق البوتاسيوم غير المتبادل في تغذية النبات و محاولة إيجاد علاقة بين حركة Mobilization البوتاسيوم المتبادل وغير المتبادل مع بعض صفات التربة.

2. المواد وطريقة العمل

جمعت عينات تربة ممثلة من (18) منطقة مختلفة من أهم المناطـق المستغلة زراعياً بالأردن شكل رقم (1)

شكل (1) خارطة تبين مواقع جمع العينات. جدول 1 يبين اسماء المواقع

Fig. (1): Collection sites of soil samples. See Table 1 for collection site names.

والتي تتباين من حيث الصفات وقد تم نخل العينات بمنخل ذو فتحات (5ملم) لغرض الزراعة . تم تعبئة 2.5 كجم تربة في قواوير بواقع عشرة مكررات لكل منطقة . وكذلك أخذت عينات تربة لغرض التحاليل قبل الزراعة لتحديد بعض صفات التربة الفيزيائية والكيميائية (جدول رقم 1) بعد نخلها بمنخل ذو فتحات 2 ملم، وتم زراعة 15 بذرة من نبات البرسيم الحجازي Alfalfa (*Medicago sativa* L.) في كل قارورة بتاريخ

Table (1): Some chemical and physical properties of studied soils.

s. l. = sandy loam

المنطقة	Location	Soil No.	Particle size distribution (%)			Texture	pH (1:1)	EC (1:1 ms cm^{-1})	O.M. (%)	$CaCO_3$ (%)	CEC (meq 100 g^{-1} soi)	Avail. K (mg kg^{-1} soil)	Avail. P (mgkg^{-1} soil)
			Silt	Sand	Clay								
مؤتة	Mutah	1	11.5	69	19.5	s. l.	7.86	0.6	1.08	19	42	282.4	24.6
الحربية	Alharbih	2	12	64.5	23.5	s. c. l.	7.8	0.5	0.87	29	25	320.2	71.8
الربة	Alrabah	3	14	58.5	27.5	s. c. l.	7.8	0.6	1.26	24	40	464.2	76.4
ام بطيمة	um abtamah	4	11.5	65	23.5	s. c. l.	7.63	0.6	1.5	23	32	376.2	70.8
بذان	Bathan	5	4	86.5	9.5	l. s.	7.63	1.8	1.68	21	28	394.1	68
شحتور	Shahtur	6	25	49	26	s. c. l.	7.53	0.9	0.98	17.9	43	458.5	51.1
عبين	Abien	7	5.5	71	23.5	s. c. l.	7.46	0.6	1.6	11	50.1	437.8	47.5
البقعة	Albagah	8	15	61.5	23.5	s. c. l.	7.69	0.7	1.6	22	55.8	463.3	67
ابو ترابة	Abu Trabah	9	7.5	62	24.5	s. c. l.	7.88	1.1	0.84	20	40.2	303.5	8.4
الموجب	Almugab	10	17.5	64	18.5	s. l.	7.64	0.8	0.7	31	39.2	452.1	76.4
المفرق	Almafrag	11	18	66.5	15.5	s. l.	7.06	1.6	1.3	28	42.8	605.6	112
سما الروسان	Sama Alrusan	12	8	62	30	s. c. l.	7.6	0.8	1.82	16	55	512.4	55.9
الكورة	Alkurah	13	7.5	68	24.5	s. c. l.	7.15	0.9	2	14	57	393.4	162.8
السرو	Alsuraw	14	9	63	28	s. c. l.	7.46	0.7	1.2	17	51.3	134.0	37
الشوبك	Alshubak	15	9.5	74	16.5	s. l.	7.49	1.2	2.1	23.3	30.2	690.5	119.3
الزيتونة	Alzaitunah	16	11	59.5	29.5	s. c. l.	7.55	1.7	1.82	21	53	501.2	101
دير علا	Deer Alah	17	12	62.5	25.5	s. c. l.	7.74	1.8	1.64	22	56	856.3	104
جرش	Jarash	18	13.5	52	34.5	s. c. l.	7.86	0.8	1.2	20	58.5	503.4	133.3

s. c. l = sandy clay loam

O.M.= Organic matter

2007/1/5 في الصوبة البلاستيكيةة وبعد مرحلة الإنبات تم خف النباتات إلى عشرة نباتات و بثُت الري على مستوى 80% من السعة الحقلية للتربة حيث تم ري التجربة بواقع 3 مرات لكل أسبوع في فصل الشتاء وفي فصل الربيع والصيف تم ري التجربة يومياً وذلك بعد أن كُشفت الصوبة البلاستيكية. تم إضافة دفعة من النيتروجين مباشرة بعد الزراعة بواقع 3 كجمN/دونم على شكل نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ كبادئ Starter. تم حش النباتات عند تزهير 30% تقريباً لكافة المعاملات ولكل الحشات التالية حتى الحشة السادسة . تم استبعاد 3 مكررات بعد الحشة الأولى من التجربة وأُخذت منها عينات تربة وتم تجفيفها على درجة حرارة 65°م وتم نخلها بمنخل ذ و فتحات 2ملم لإجراء التحاليل المطلوبة وبعد الحشة الثانية تم استبعاد 3 مكررات أخرى من التجربة وبعد التجفيف للتربة والنخل بنفس المنخل للمكررات الأولى أخذت عينات التربة لإجراء التحاليل . لقد ثُكت أربعة مكررات لترب كل منطقة في قوارير ثم اخذت الحشات الثالثة والرابعة والخامسة والسادسة، وبعدها أُنهيت التجربة وُاخذت عينات للتربة من المكررات الأربعة لإجراء التحليل. جُففت عينات النباتات على درجة حرارة 75°م حتى ثبات الوزن وبعد أخذ أوزانها تم طحنها بعد ذلك هُضمت عينات النبات بإضافة حامض النيتريك HNO_3 المركز على درجة حرارة 160°م. تم تقدير البوتاسيوم بالنبات باستخدام جهاز امتصاص الطيف الذري AAS نوع (Perkin Elmer AAS300) . تم تقدير قيمة حموضة التربة (pH) والتوصيل الكهربائي (EC) باستخدام نسبة التربة إلى الماء (1:1) (Soil:Water 1:1) وقُدر قوام التربة باستخدام طريقة ال (Hydrometer) حسب (Bouyoucos, 1951). تم تقدير الكربون العضوي بطريقة الأكسدة باستخدام ال (Dichromate) قُدرت كربونات الكالسيوم الكلية بطريقة المعايرة مع الحامض والسعة التبادلية الكتيونية باستخدام خلات الصوديوم عند pH=8.2 حسب طريقة (Rowell, 1994). أُستخلص البوتاسيوم الذائب بالماء Water-Soluble K باستخدام نسبة التربة إلى الماء (1:5) (Soil:Water 1:5) بالرج لمدة 30 دقيقة، قُدر البوتاسيوم المتبادل Exchangeable K بالاستخلاص بواسطة محلول خلات الأمونيوم العياري عند pH=7، ونسبة التربة الى المحلول (1:20) (Soil:Solution 1:20) بالرج لمدة 30 دقيقة حسب طريقة (Rowell, 1994). قُدر البوتاسيوم غير المتبادل Non-exchangeable K بغليان 2 ج رام من التربة مع 20 مل من حامض النيتريك العياري HNO_3 1N لمدة 20 دقيقة حسب طريقة (Cox *et al.*, 1999). تم حساب كمية البوتاسيوم المتحرر والذي امتصه النبات وذلك من خلال حساب البوتاسيوم غير المتبادل الذي حدث له انطلاق من التربة (release of non-exchangeable K) والذي يمكن حسابه في معادلة (Havlin and Westfall, 1985):

Non-exchangeable K release = C – (B - A)

حيث A و B مستوى البوتاسيوم المتبادل قبل وبعد إجراء التجربة ، C كمية البوتاسيوم الذي امتصه النبات من التربة.

3. النتائـج

يوضح الجدول رقم (2) كمية الحاصل كمادة جافة وكمية البوتاسيوم الكلي الممتص من قبل نبات البرسيم Alfalfa، وكذلك مساهمة البوتاسيوم المتبادل Exchangeable K وغير المتبادل Non-exchangeable K في تغذية النبات . من الجدول يتبين أن أعلى حاصل كمادة جافة كان لتربة منطقة الزيتونة وبلغ مقدارة 80.3 غرام/قوارة وأدنى حاصل كان لتربة منطقة الحربية وبلغ مقدار ة 32.7 غرام/قوارة . كما هو ملاحظ أن هناك فروقات معنوية بالحاصل لترب منطقة الزيتونة مقارنة مع بقية المناطق الأخرى باستثناء الحاصل لمنطقة دير علا و أن مقدار الزيادة في كمية الحاصل لتربة الزيتونة بلغت 5.3% مقارنة مع الحاصل لتربة دير علا و 59.2% لتربة الحربية و توجد كذلك فروقات معنوية بالحاصل لترب مناطق دير علا والشوبك وجرش مقارنة مع ترب المناطق الأخرى. ويوضح الجدول (2) كذلك معدل إمتصاص البوتاسيوم من قبل النبات حيث أن النباتات المزروعة في ترب منطقة المفرق أخذت من التربة أعلى كمية من البوتاسيوم الكلي وبلغت قيمة مقدارها 568.8 ملغم K/كغم تربة. وكانت أقل كمية امتصتها النباتات المزروعة في ترب منطقة السرو بقيمة مقدارها 121.9 ملغم K/كغم تربة من الملاحظ أن الامتصاص للبوتاسيوم من قبل نبات Alfalfa في ترب الشوبك، الزيتونة، دير علا، والبقعة، كان أعلى من مقدار الإمتصاص للمناطق الأخرى وكانت قيم الامتصاص 550.6، 508.9، 506.7 و 445.3 ملغم K/ كغم تربة على التوالي. وكذلك كانت هناك فروقات معنوية في مقدار الامتصاص بين بعض مناطق الترب فيما بينها.

إن مساهمة البوتاسيوم المتبادل Exchangeable K من البوتاسيوم الكلي Total Potassium الذي امتصه النبات في التربة بلغ قيم تراوحت بين 265.8 ملغم K/كغم تربة لتربة الشوبك، و 42.5 ملغم K/كغم تربة لتربة الربة وأن النسبة المئوية لمساهمة البوتاسيوم المتبادل من البوتاسيوم الكلي تراوحت بين 18.3 و 71% للترب التي تم دراستها ، وجدت هناك فروقات معنوية في مقدار البوتاسيوم المتبادل الذي امتصه النبات بين ترب منطقة الشوبك مقارنة مع بقية الترب الأخرى، باستثناء ترب سما الروسان وشحتور، وكذلك هناك فروقات معنوية بين ترب الزيتونة، دير علا وجرش، مقارنة مع ترب مؤتة، الحربية، الربة،الكورة و السرو.

إن مساهمة البوتاسيوم غير المتبادل Non-

Table (2): Availability of exchangeable K and non-exchangeable K, cumulative uptake and dry matter.

المنطقة	Location	Soil No.	Dry matter mg pot^{-1}	Dry matter mg pot^{-1}	Total K uptake	Exchan. K uptake	Non-Excha. K uptake
					mg kg^{-1} soil		
مؤتة	Mutah	1	36.9hi	484.2ji	193.6ij	51.8g	141.8efgh
الحربية	alharbih	2	32.7i	347.4jk	138.9jk	43.9g	95.0ghi
الربة	alrabah	3	40.4fghi	523.3hi	209.3hi	42.5g	166.8ef
ام بطيمة	um abtamah	4	47.9defg	650.7fgh	260.3fgh	97.9efg	162.3ef
بذان	Bathan	5	51.5def	892.4d	356.9d	108.1defg	249.0d
شحتور	Shahtur	6	41.5efghi	730.1ef	292.0ef	204.4acb	87.6hi
عبين	Abien	7	47.6defgh	690.6fg	276.3fg	92.2efg	184.0e
البقعة	Albagah	8	49.3defg	1113.3d	445.3c	89.3efg	355.9b
ابو ترابة	Abu Trabah	9	38.7ghi	501.3hij	200.5hij	77.7fg	122.8fgh
الموجب	Almugab	10	39.2ghi	568.6ghi	227.4ghi	104.5defg	131.9efgh
المفرق	Almafrag	11	52.1de	1422a	568.8a	104.5defg	464.2a
سما الروسان	Sama Alrusan	12	49.7defg	872.6de	349.0de	248.1ab	101.1ghi
الكورة	Alkurah	13	54.7cd	594.6fghi	237.8fghi	53.7fg	184.2e
السرو	Alsuraw	14	43.9defghi	304.9k	121.9k	67.6fg	54.3i
الشوبك	Alshubak	15	65.1bc	1376.7ab	550.6ab	265.8a	290.8cd
الزيتونة	Alzaitunah	16	80.3a	1272.4ab	508.9ab	166.4cde	342.7bc
دير علا	Deer Alah	17	76.0ab	1266.8cb	506.7cb	179.6bcd	330.1bc
جرش	Jarash	18	67.1b	704.3fg	281.7fg	132.1cdef	149.5efg

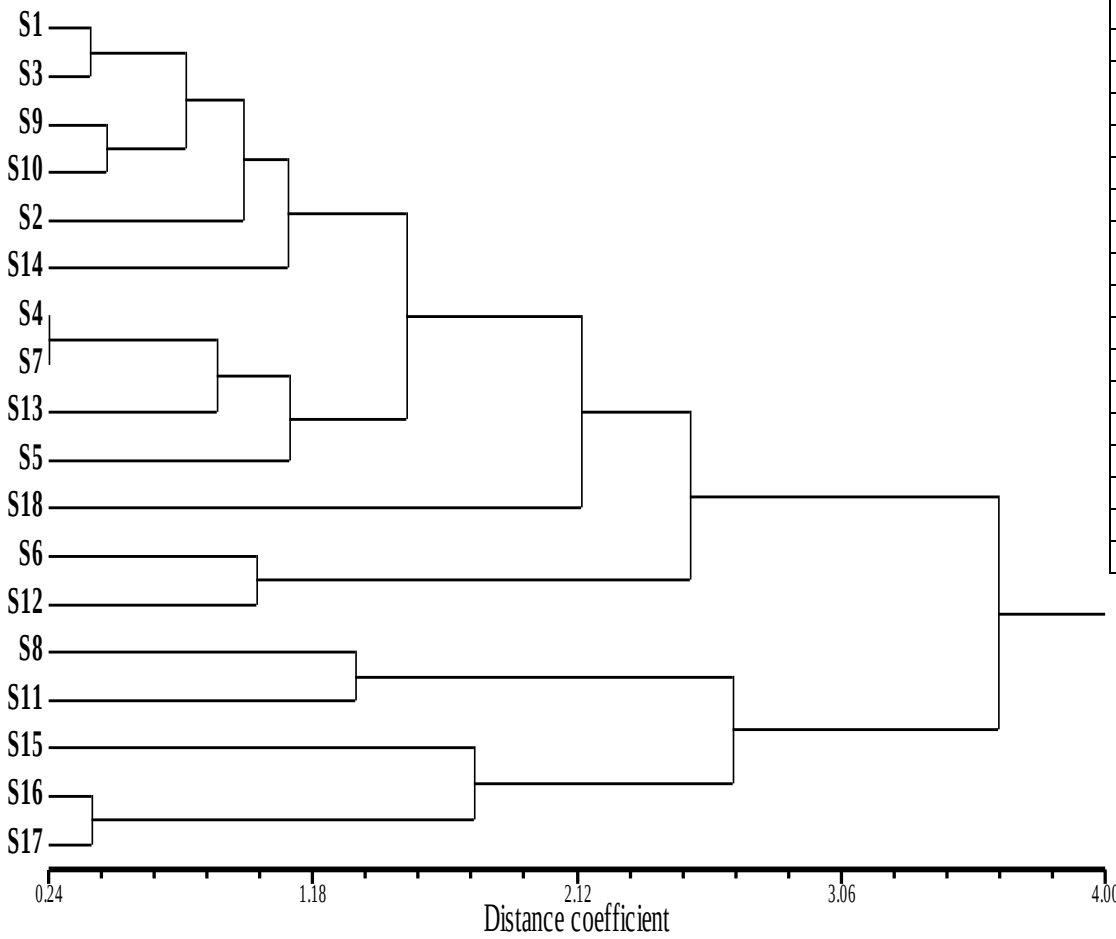
exchangeable K من خلال الكمية الكلية التي امتصها النبات من التربة كانت أعلى من مساهمة البوتاسيوم المتبادل Exchangeable K وذلك باستثناء ترب مناطق شحتور والسرو وسما الروسان حيث بلغت الزيادة في البوتاسيوم المتبادل الذي امتصه النبات لترب سما الروسان مقابل البوتاسيوم غير المتبادل Non-exchangeable K قيمة مقدارها 145.4%. لقد كانت أعلى قيمة أخذها النبات من البوتاسيوم غير المتبادل قدرها 464.2 ملغم K/كغم تربة من تربة منطقة المفرق، وأدني امتصاص كان من تربة منطقة السرو بمقدار 54.3 ملغم K/كغم تربة لقد وجدت فروق معنوية في كمية البوتاسيوم غير المتبادل الذي امتصه النبات لتربة منطقة المفرق مقارنة مع ترب المناطق الأخرى.

عند أخذ المعطيات Parameters من حيث الحاصل كوزن جاف للنباتات، البوتاسيوم الكلي الذي امتصه النبات، مساهمة البوتاسيوم المتبادل وغير المتبادل في تغذية النبات (المتحرر من التربة والذي امتصه النبات) فإنه يمكن أن تقسم التربة لكافة المناطق إلى مجموعتين رئيسيتين حسب الـ Multivariant analysis حيث أن ترب مناطق البقعة، المفرق، الشوبك، الزيتونة ودير علا كمجموعة أولى والتي تعتبر ترب ذات قيم عالية لكل المتغيرات الأربعة وتمثل ترب بقية المناطق المجموعة الرئيسية الثانية والتي تعتبر ذات قيمة أقل من المجموعة الأولي (الشكل رقم 2).

يوضح الجدو ل(3) تركيز ات البوتاسيوم في المادة الجافة للحشات الست المتتالية، حيث كان أعلى تركيز للبوتاسيوم في الحشة الأولى في نباتات تربة منطقة جرش، وبلغ التركيز في المادة الجافة 22.4 ملغم K/ كغم وأدنى تركيز كان لنباتات ترب منطقة السرو وبتركيز 9.2 ملغم K/كغم وجد فروقات معنوية لتركيز البوتاسيوم في النباتات لتربة منطقة جرش مقارنة مع بقية نباتات المناطق الأخرى بإستثناء الشوبك ، وكذلك هناك فروقات معنوية لتركيز البوتاسيوم في نباتات منطقة الشوبك والبقعة مقارنة مع التركيز لنباتات المناطق الخمس عشر ة الأخرى، بإستثناء نباتات منطقة دير علا التي لم تختلف معنوياً عن نباتات منطقة البقعة.

إن تركيز البوتاسيوم في النباتات كان أقل من التركيز المثالي في نبات البرسيم الحجازي Alfalfa في المادة الجافة في مرحلة التزهير وحسب (Bergmann, (1993 فإن التركيز المثالي في المادة الجافة ه و 25-38 ملغم K/كغم مادة جافة. في الحشة الثانية هناك زيادة واضحة في تركيز البوتاسيوم في النبات لجميع المناطق باستثناء نباتات منطقة جرش ومنطقة الربة لقد كان أعلى تركيز للبوتاسيوم في نباتات منطقة الشوبك وبلغ قيمة 43.6 ملغم K/كغم مادة جافة وادنى تركيز كان لنباتات منطقة السرو، وكان 9.27 ملغم K/كغم ملدة جافة. هناك فروقات معنوية لتركيز البوتاسيوم في نباتات منطقة تربة الشوبك مقارنة مع المناطق الأخرى كافة ووجد فروقات معنوية لتركيز البوتاسيوم في نباتات منطقتي الزيتونة والمفرق مقارنة مع التركيز في نباتات المناطق الخمس عشرة الأخرى، إن تركيز البوتاسيوم في نبات ـات مناطق شحتور، البقعة، المفرق، سما الروسان، الشوبك، الزيتونة، ودير علا، كان ضمن التركيز المثالي للبوتاسيوم في المادة الجافة لنبات البرسيم الحجازي . إن تركيز البوتاسيوم في المادة الجافة لـلحشة الثالثة قد انخفض في نباتات ترب مناطق مؤتة، بذان، شحتور، عبين، المفرق، سما الروسان، السرو، الشوبك، الزيتونة و دير علا حيث كانت أعلى نسبة إنخفاض في منطقة الشوبك وبلغت قيمة 38.1% مقارنة مع تراكيز الحشة الثانية، بينما في بقية نباتات ترب المناطق الاخرى كان هناك زيادة في تركيز البوتاسيوم وبلغت أعلى نسبة للزيادة 55.6% لمنطقة أبو ترابة، إن تركيز البوتاسيوم في المادة الجافة قد تراوح بين 30.17 ملغم K/كغم لمنطقة البقعة و 6.95 ملغم K/كغم لمنطقة السرو . لقد تم إثبات الفروقات المعنوية لتركيز البوتاسيوم في نباتات منطقة البقعة مقارنة بالمناطق الأخرى كما وجدت فروقات معنوية لبعض المناطق فيما بينها . إن تركيز البوتاسيوم في المادة الجافة في نباتات منطقتي البقعة والشوبك كان ضمن التركيز المثالي للبوتاسيوم في مرحلة التزهير. هناك انخفاض واضح في تركيز البوتاسيوم في المادة الجافة للنبات للحشات الرابعة والخامسة والسادسة مقارنة مع التركيز في الحشة الثالثة باستثناء نباتات منطقة المفرق للحشة الرابعة، ونباتات منطقة مؤتة في الحشتين الرابعة و الخامسة لقد كان أعلى تركيز للبوتاسيوم في نباتات منطقة المفرق للحشات الرابعة والخامسة، وبلغ قيم 25.2 و 23.15 ملغم K/كغم وللحشة السادسة 23.62 ملغم K/كغم لمنطقة الشوبك.أدنى تركيز كان في نباتات منطقة السرو بقيم 4.97، 4.53و 4.03 ملغم K/كغم مادة جافة لنفس الحشات. من النتائج وجدت هناك فروقات معنوية لتركيز البوتاسيوم في نباتات مناطق المفرق والشوبك والزيتونة مقارنة مع المناطق الأخرى.

يبين الجدول (4) تركيز ات البوتاسيوم الذائب ،المتبادل وغير المتبادل قبل الزراعة وبعد الزراعة في الترب. إن أعلى تركيز للبوتاسيوم الذائب بالماء قبل وبعد الزراعة كان لتربة منطقة بذان وكان 111.2 ملغم K/كغم تربة و 82.5 ملغم K/كغم تربة وأقل تركيز كان لتربة منطقة السرو 7.8 ملغم K/كغم تربة و 5.5 ملغم K/كغم تربة وبلغت النسبة المئوية لنقصان تركيز البوتاسيوم الذائب بين 45.5% لتربة منطقة أم بطي مة و 7.4% لتربة منطقة الموجب . إن تركيز البوتاسيوم المتبادل Exchangeable K قبل وبعد الزراعة كان أعلى قيمة لتربة دير علا وبل غ 806.9 و 575.2 ملغم K/كغم تربة وأقل تركيز كان لتربة منطقة السرو 126.2 و 60.6 ملغم K/كغم تربة ، وأن النسبة المئوية لنقصان تركيز البوتاسيوم المتبادل تراوحت بين 52.8% لتربـة سما الروسان و 10.1% لتربة الربة ما قبل وبعد



المنطقة	Location of collected soils	Abbr
مؤتة	Mutah	S1
الحربية	alharbih	S2
الربة	alrabah	S3
ام بطيمة	um abtamah	S4
بذان	Bathan	S5
شحتور	Shahtur	S6
عبين	Abien	S7
البقعة	Albagah	S8
ابو ترابة	Abu Trabah	S9
الموجب	Almugab	S10
المفرق	Almafrag	S11
سما الروسان	Sama Alrusan	S12
الكورة	Alkurah	S13
السرو	Alsuraw	S14
الشوبك	Alshubak	S15
الزيتونة	Alzaitunah	S16
دير علا	Deer Alah	S17
جرش	Jarash	S18

Fig. (2:) Clustering analysis of different soils at different locations.

Table (3): Concentrations of K (mg Kg^{-1} dry weight) in alfalfa cuts.

المنطقة	Location	Soil No.	Cut 1	Cut 2	Cut 3	Cut 4	Cut 5	Cut 6
مؤتة	Mutah	1	13.63 ghi	14.93j	12.27h	14.07ef	15.57cd	9.18defg
الحربية	alharbih	2	11.71 ij	14.36j	16.73g	9.41g	9.99f	6.32gh
الربة	alrabah	3	17.20 de	14.48j	16.96g	11.95fg	12.62def	6.62egh
ام بطيمة	um abtamah	4	15.10 fg	16.35ij	19.46efg	16.71cde	14.93cde	8.11defgh
بذان	Bathan	5	16.6 def	23.66fg	20.35fde	19.69bc	15.69cd	14.37bc
شحتور	Shahtur	6	13.76 gh	25.73ef	21.09def	16.67cde	12.89cdef	10.46cdefg
عبين	Abien	7	15.5 efg	21.42gh	16.82g	16.8cde	11.02ef	10.94cde
البقعة	Albagah	8	20.01 bc	29.21cd	30.17a	22.7ab	15.69cd	17.34b
ابو ترابة	Abu Trabah	9	11.52 j	14.03j	21.84cde	11.71fg	13.92cdef	6.34gh
الموجب	Almugab	10	16.82def	20.1h	23.19cd	15.22def	9.81f	10.64cdfe
المفرق	Almafrag	11	17.2de	37.24b	24.55bc	25.16a	23.15a	22.84a
سما الروسان	Sama Alrusan	12	15.22 fg	27.89de	23.36cd	17.93cde	17.04bc	16.02b
الكورة	Alkurah	13	13.03hij	15.24j	18.33fg	11.1fg	11.78def	7.13efgh
السرو	Alsuraw	14	9.2 kl	9.27k	6.95i	4.97h	4.53g	4.03h
الشوبك	Alshubak	15	21.17 ba	43.59a	26.98b	24.13a	20.83ab	23.62a
الزيتونة	Alzaitunah	16	16.48def	34.85b	19.6efg	16.35cde	15.05cde	11.41cd
دير علا	Deer Alah	17	18.43cd	31.94c	24.46bc	24.13a	20.79ab	18.27b
جرش	Jarash	18	22.39 a	19.02hi	21.75cde	19.04bcd	20.83ab	11.02cde

Table (4): Concentration of exchangeable and non-exchangeable K in soil before and after planting and the percentage of reduction.

المنطقة	Location	Soil Nr.	Wat. Sol. K			Exch. K			Non-exch. K		
			mg kg-1 soil								
			Initial	Final	Reduction (%)	Initial	Final	Reduction (%)	Initial	Final	Reduction (%)
مؤتة	Mutah	1	10.9	8.7	20.1	271.5	235	13.4	928.3	758.3	18.3
الحربية	alharbih	2	14.9	9.1	38.9	305.3	231	24.3	1443.7	1236	14.3
الربة	alrabah	3	17.8	13.9	21.9	446.4	401	10.1	1416	1242	12.3
ام بطيمة	um abtamah	4	12.3	6.7	45.5	363.9	268.7	26.2	1417.2	1357.3	4.2
بذان	Bathan	5	111.2	82.5	25.8	282.9	220	22.2	933.2	680	27.1
شحتور	Shahtur	6	14.5	8.5	41.3	444	303	31.7	1126.8	1010	10.4
عبين	Abien	7	11.9	7.6	36.1	425.9	341.6	19.8	1320.9	1188	10.4
البقعة	Albagah	8	16.4	14.9	9.1	446.9	299	33	1273.1	933	26.7
ابو ترابة	Abu Trabah	9	19.9	17.8	10.5	283.6	205.6	27.5	558.4	470	15.8
الموجب	Almugab	10	27	25	7.4	425.1	347	18.3	1540.5	1040	32.4
المفرق	Almafrag	11	69.9	47.4	32.1	535.7	398	25.7	1669.9	1532	8.2
سما الروسان	Sama Alrusan	12	25	14.3	42.8	487.4	229.8	52.8	1008	785.3	11
الكورة	Alkurah	13	13.4	10.4	22.3	440.4	380	13.7	1371.3	1182	13.5
السرو	Alsuraw	14	7.8	5.5	29.4	126.2	60.6	40.4	344.3	298.5	13.8
الشوبك	Alshubak	15	90.1	57.7	35.9	600.4	335	44.2	877.6	757.3	13.3
الزيتونة	Alzaitunah	16	20.7	12.9	37.6	480.5	314	34.6	1409.6	1160.6	13.7
دير علا	Deer Alah	17	49.4	29.9	39.4	806.9	575.2	28.7	1395.3	1237	17.6
جرش	Jarash	18	11.7	7.5	35.8	491.7	359	26.9	1538.7	1352.5	11.3

الزراعة. إن البوتاسيوم غير المتبادل Non-exchangeable K بلغ تركيزات أعلى من البوتاسيوم المتبادل Exchangeable K لكل الترب لجميع المناطق وكانت الزيادة بالتركيز بين (2.7-4.7) مرة مقارنة مع التركيز المتبادل. إن أعلى تركيز للبوتاسوم غير المتبادل كان لتربة المفرق قبل الزراعة، وبلغ قيمة 1669.9 ملغم K/كغم تربة ، وأقل تركيز كان تربة السرو وبلغ قيمة 344.3 ملغم K/كغم تربة ، وبعد الزراعة كان التركيز 1532 و 298.5 ملغم K/كغم تربة لنفس الترب. إن مقدار النقص في تركيز البوتاسيوم غير المتبادل بعد الزراعة كان بشكل عام أقل من النقص في تركيز البوتاسيوم المتبادل والذائب بالماء، وتراوحت نسبة النقصان بين 4.2 % لتربة أم بطيمة، و 32.4% لتربة الموجب.

يوضح الجدول (5) معامل الارتباط بين الحاصل كمادة جافة غرام/ قوارة والبوتاسيوم الذي أخذه النبات من التربة من صوره المختلفة ملغم K/كغم تربة وبعض صفات التربة هناك علاقة معنوية عالية بين المادة الجافة مع البوتاسيوم الكلي الذي امتصه النبات والبوتاسيوم المتبادل البدائي بمعامل ارتباط مساويا0.672 ** ,0.725 ,** على التوالي وكذلك توجد علاقة معنوية للمادة الجافة مع مساهمة البوتاسيوم المتبادل في تغذية النبات وكذلك البوتاسيوم الغير المتبادل بمعامل ارتباط *0.536 ,0.589 *. كان هناك علاقة معنوية عالية بين البوتاسيوم الكلي الذي أخذه النبات مع البوتاسيوم المتبادل البدائي بالتربة مقدارها 0.738**، ومع البوتاسيوم المتبادل الذي امتصه النبات من التربة كانت 0.622**، والبوتاسيوم غير المتبادل الذي أخذة النبات من التربة مساوية 0.884**.

4ً. المناقشة

توضح النتائج الفروقات في كمية الحاصل التراكمي كمادة جافة والبوتاسيوم الكلي الذي امتصه النبات وذلك لست حشات بين الترب التي تم دراستها وهذه النتائج تطابق ما توصل إليه باحثون اجروا تجاربهم في ترب كلسية على نباتات مختلفة (Mengel and Rahmatullah, 1994; Zubillaga and Conti, 1996; and Sharma *et al.*, 2006). وفي دراسة Havlin and Westfall (1985) لتحرر البوتاسيوم من الترب الكلسية بزراعة نبات البرسيم الحجازي Alfalfa وبعد ست عشرة حشة وجدا أن مقدار المادة الجافة للنبات تراوحت بين 101.9- 186.7 غم/ قوارة وأن البوتاسيوم الذي أخذه النبات من التربة كان 1042-3345 ملغم K/قوارة وذلك بعدم إضافة سماد البوتاسيوم للتربة وأن المادة الجافة والبوتاسيوم الكلي الذي امتصه النبات قد زاد بشكل معنوي مع الإضافات المتزايدة من السماد. واشارا Benipal and Pasricha (2002) في دراسة لهما لانطلاق البوتاسيوم غير المتبادل في الترب الكلسية، ان مقدار المادة الجافة للذرة الصفراء تراوح بين 34.6- 40.7 غم/كغم تربة ولمحصول القمح كان بين 7.5- 8.5 غم/كغم تربة ، ولنبات Guinea grass كان مقدار المادة الجافة 45.2- 52.2 غم/كغم تربة ومقدار البوتاسيوم الكلي الذي امتصته النباتات تراوح بين 195.9- 574.7 ملغم K/كغم تربة.

هناك اختلافات واضحة في تركيز البوتاسيوم الذائب في محلول التربة، المتبادل وغير المتبادل Water soluble, Exchangeable and Non-exchangeable K في الترب التي درست قبل وبعد زراعة نبات البرسيم الحجازي Alfalfa وان هذه النتائج تطابق نتائج دراسات سابقة على الترب الكلسية في مناطق مختلفة (Jalali, 2008; Portela, 1993; and Samadi, 2006;). وجد Jalali (2002) في دراسة لانطلاق البوتاسيوم وجاهزيته في ترب كلسية غرب إيران، أن تركيز البوتاسيوم المتبادل لهذه الترب تراوح بين 149- 587 ملغم K/كغم تربة ، وأن البوتاسيوم غير المتبادل تراوح بي ن 319- 1198 ملغم K/كغم تربة واستخدم امتصاص البوتاسيوم الكلي كمعيار لجاهزية البوتاسيوم بالترب. Jalali and Zarabi (2006) قدرا تركيز البوتاسيوم الذائب بالماء لترب كلسية في إيران وكان بمقدار 8.1- 13.7 ملغم K/كغم تربة وان نسبة البوتاسيوم المتبادل تراوحت بين 42- 70% من مقدار تركيز البوتاسيوم غير المتبادل. وجد Etchevers and Hidalgo (2005) أن تركيز البوتاسيوم الذائب، المتبادل وغير المتبادل في ترب كلسية مكسيكية كان 266- 974، 413- 1396 و 672- 1837 ملغم K/كغم تربة على التوالي، وترب كلس ية بالمجر 62- 126، 117- 256 و 289- 891 ملغم K/كغم تربة.

هناك نقص واضح في تركيز البوتاسيوم الذائب، المتبادل وغير المتبادل Soluble, Exchangeable and Non-exchangeable K بعد ست حشات لنبات البرسيم Alfalfa وأن أعلى نقصان كان في تركيز ات البوتاسيوم الذائب وذلك لأن النبات أول ما يمتصه من محلول التربة، وأن أقل نسبة من النقصان كانت في تركيز البوتاسيوم غير المتبادل (Benipal and Pasricha, 2002). إن مساهمة كل من البوتاسيوم غير المتبادل والذي تم انطلاقه والبوتاسيوم غير المتبادل من البوتاسيوم الكلي الذي أخذه النبات في التربة تختلف بشكل كبير في الترب التي درست وأن مساهمة البوتاسيوم غير المتبادل كانت أعلى مقارنة مع البوتاسيوم المتبادل في تغذية النبات (Niebes *et al.*, 1993; and Benipal and Pasricha, 2002). وجد Portela (1993) في الترب الكلسية أن نسبة انطلاق البوتاسيوم غير المتبادل والذي إمتصة تراوحت بين 75- 98% من البوتاسيوم الكلي في أنسجة نبات *Lolium perenne* و ryegrass و أن كميـة البوتاسيوم الكلي الذي امتصه

Table (5): Correlation coefficient among different parameters.

	Silt	Clay	pH	O.M.	$CaCO_3$	CEC	Dry matter	Total K-upt.	Ex.K-upt.	Non-ex. K-upt	Int.ex,K soil	Int.Non-ex.K soil
Silt	**1**	**0.116**	**-0.043**	**-0.475***	**0.442**	**0.012**	**-0.137**	**0.117**	**0.125**	**0.075**	**0.244**	**0.404**
Clay		**1**	**0.266**	**-0.052**	**-0.346**	**0.647****	**0.647**	**-0.244**	**0.079**	**-0.361**	**0.093**	**0.058**
pH			**1**	**-0.423**	**0.159**	**-0.155**	**-0.175**	**-0.362**	**-0.106**	**-0.39**	**-0.141**	**-0.161**
O.M.				**1**	**-0.418**	**0.272**	**0.654****	**0.59****	**0.448**	**0.469***	**0.431**	**0.021**
CaCO3					**1**	**-0.54***	**-0.122**	**0.157**	**-0.096**	**0.266**	**0.129**	**0.399**
CEC						**1**	**0.452***	**0.152**	**0.12**	**0.113**	**0.313**	**0.09**
Dry matter							**1**	**0.725****	**0.536***	**0.589***	**0.672****	**0.242**
Toltal K-upt.								**1**	**0.622****	**0.884****	**0.738****	**0.291**
Ex.K-upt.									**1**	**0.186**	**0.586****	**-0.068**
Non-ex.K-upt.										**1**	**0.58***	**0.408**
Int.ex.K Soil											**1**	**0.537***
Int. Non-ex.K Soil												**1**

*, ** Significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively

O. M., Organic Matter; Int.ex.K, initial exchangeable K; Int. Non-ex. K, initial Non-Exchangeable K.

النبات تراوح بين 410- 1275 ملغم K/كغم تربة وكانت مساهمة البوتاسيوم المتبادل تراوح بين 4- 402 mg K kg^{-1} soil ومساهمة البوتاسيوم غير المتبادل تراوحت بين 25-1232 mg K kg^{-1} soil إن تركيز البوتاسيوم في المادة الجافة للنبات كان في الحشة الأولى أقل من التركيز المثالي والذي يبلغ 25-38 mg K kg^{-1} DM حسب (Bergmann, 1993) وذلك لجميع أنواع الترب، وفي الحشة الثانية قد زاد التركيز ووصل لبعض الترب ضمن مدى التركيز المثالي إن تركيز البوتاسيوم في المادة الجافة للمجموع الخضري والذي يعتبر انعكاس لانطلاق البوتاسيوم من التربة وحيث أن نسبة الانطلاق تتناقص مع الزمن وفي مرحلة البداية يكون الانطلاق سريع ثم يتبع ذلك مرحلة بطئ الانطلاق من التربة ويفسر ذلك بأنه في مرحلة البداية تكون عملية الانطلاق مرتبطة بالبوتاسيوم الموجود في المواقع السطحية P-position وفي المرحلة المتأخرة هناك تباطؤ في الانطلاق يعود ذلك بسبب انطلاق البوتاسيوم الموجود في مواقع الحواف e-position والموجود بين الطبقات interlayer والذي يعتبر بوتاسيوم غير متبادل وأن الدافع لانطلاق البوتاسيوم يكون بسبب انخفاض التركيز في محلول التربة في منطقة المحيط الجذري (Rahmatallah and Mengel, 2000; and Jalali, 2008).

تظهر النتائج العلاقة المعنوية العالية بين المادة الجافة لنبات البرسيم الحجازي وبين كل من البوتاسيوم الكلي الذي امتصه النبات من التربة والبوتاسيوم المتبادل البدائي بالتربة وعلاقة ارتباط معنوية مع البوتاسيوم المتبادل وغير المتبادل الذي امتصه النبات لقد وجدا Havlin and Westfall (1985) العلاقة المعنوية العالية و مقدارها r =0.87** بين البوتاسيوم المتبادل البدائي بالتربة وبين الحاصل الكلي لنبات ال برسيم Alfalfa. إن البوتاسيوم الكلي الذي أخذه النبات من التربة ذات ارتباط معنوي عالي مع البوتاسيوم المتبادل البدائي بالتربة ومع البوتاسيوم المتبادل وغير المتبادل المنطلق من التربة والذي امتصه النبات وأن هذه النتائج تشابه نتائج باحثون درسوا البوتاسيوم في الترب الكلسية (Zubillaga and Conti, 1996; and Jalali and Zarabi, 2006). لقد وجد Sharma *et al*. (2006) أن هناك علاقة ارتباط معنوية بين البوتاسيوم الكلي المنطلق في التربة ومحتوى كل من الطين والغرين بالتربة.

5. الخلاصة

إن ترب المناطق الجافة وشبه الجافة تحتوي على كميات عالية من البوتاسيوم المتبادل وغير المتبادل وإن فهم عملية انطلاق البوتاسيوم المتبادل وغير المتبادل ضروري لمعرفة توفر البوتاسيوم للنبات وكيفية فقده من التربة وهذا ضروري لعملية التسميد بالبوتاسيوم وإن امتصاص البوتاسيوم من خلال نمو النبات تعتبر عملية ديناميكية مع الوقت وإن استنزاف البوتاسيوم من منطقة الجذور وانطلاق البوتاسيوم غير المتبادل إلى البوتاسيوم المتبادل وتحوله إلى ذائب في محلول التربة من خلال معادن التربة المحتوية على البوتاسيوم. إن النبات له قدرة على امتصاص البوتاسيوم المتبادل وغير المتبادل وأنه يأخذ كميات عالية من البوتاسيوم غير المتبادل وأن هذا يتزايد مع نقصان درجة تشبع التربة بالبوتاسيوم.

هذا ويُوصى بتسميد ترب المجموعة الثانية بالسماد البوتاسي بكميات تتلائم لاحتياجات النبات الذي سوف يُزرع بهذة الترب وتقليل التسميد لترب المجموعة الاولى وذلك للحفاظ على مخزون الترب التي تم دراستها من البوتاسيوم الاصلي. إن معدل إنطلاق البوتاسيوم لنبات البرسيم الحجازي يمكن ان يستخدم كمؤشر جيد للتفريق بين الترب.

6. المراجع

Benipal D. S. and Pasricha N. S. (2002). Nonexchangeable K release and supplying power of Indo-Gangetic alluvial soils. Geoderma,, 108:197-206.

Bergmann W. (1993). Ernaehrun-gsstoerungen bei Kulturpflanzen. Gustav Fischer Verlag. Sttuttgart. 835. pp.

Binet P., Elguessabi L. and Salette J. (1984). The potassium status of soils: Significance of the Italian ryegrass test. Fert. Res., 5: 393-402.

Bouyoucos G. J. (1951). Recalibration of hydrometer method of making mechanical analysis of soil. Agron. J., 43: 434-435.

Cox A. E., Joern B. C., Brouder S. M. and Gao D. (1999).Plant-available potassium assessment with a modified sodium tetraphenylboron method. Soil Sci. Soc. Am. J., 63: 902-911.

Dhillon S. K. and Dhillon K. S. (1990). Kinetiecs of release of non-exchangeable potassium by cation-saturated resins form red (alfisols), black (vertisols) and alluvial (Inceptisols) soils of India. Geoderma., 47: 283-300.

Etchevers J. D. and Hidalgo C. M. (2005). Dynamics of soil K release. Commu. Soil Sci. Plant anal., 36: 341-354.

Havlin J. L. and Westfall D. G. (1985). Potassium release kinetics and plant response in calcareous soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 366-370.

Jalali M. (2002). Composition of irrigation water in west of Iran. 17th World Congress of Soil Science in Bangkok. Thailand. Vol. 14-21, PP. 2184-1-August.

Jalali M. (2005). Release kinetics of nonexchangeable potassium in Calcareous soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 36: 1903-1917.

Jalali M. (2006). Kinetics of non-exchangeable potassium release and availability in some calcareous soils of western Iran. Geoderma., 135: 63-71.

Jalali M. (2008). Effect of sodium and magnesium on kinetics of potassium release in some calcareous soils of western Iran. Geoderma., 145: 207-215.

Jalali M. and Zarabi M., (2006). Kinetics of nonexchangeable-potassium relrease and plant response in some calcareous soils. J. Plant Nutr. Soil Sci., 169: 196-204.

Maclean E. O. and Watson M .E. (1985). Soil measurements of plant-available potassium. In Potassium in Agriculture. Ed. R. D. Munson. p. 278-309. Soil Sci. Soc. Am., Madison. WI.

Mengel K. (1985). Dynamics and availability of major nutrients in soils. Adv. Soil Sci., 2: 65-133.

Mengel K. and Rahmatullah B. Z. (1994). Exploitation of potassium by various crop species from primary minerals in soils rich in micas. Biol. Fertil. Soils., 17: 75-79.

Mengel K. and Uhlenbecker K. (1993). Determination of available interlayer potassium and its uptake by ryegrass. Soil Sci. Soc. Am. J., 57: 761-766.

Niebes J. F., Dufey J. E., Jaillard B. and Hinsinger P. (1993). Release of nonexchangeable potassium from different size fractions of two highly K-fertilized soils in the rhizosphere of rape (*Brassica napus* cv Drakkar) . Plant and Soil., 155/156 : 403-406.

Øgaard A. F. and Krogstad T. (2005). Release of interlayer Potassium in Norwegian grassland soils. J. Plant Nutr. Soil Sci., 168: 80-88.

Portela E. A.C. (1993). Potassium supplying capacity of northeastern Portuguese soils. Plant and Soil., 154: 13-20.

Rahmatullah B. Z., and Mengel K. (2000). Potassium release from mineral structures by H^+ ion resin. Geodema., 96: 291-305.

Rahmatullah B. Z., Shaikh M. A. G. and Salim, M. (1994). Bioavailable potassium in river-bed sediments and release of interlayer Potassium in irrigated arid soils. Soil Use and Manag., 10: 43-46.

Rowell D. L. (1994). Soil Science: Methods and Applications. Springer, Berlin.

Samadi A. (2006). Potassium exchange isotherms as a plant availability index in selected calcareous soils of western Azarbaijan province, Iran. Turk. J. Agric. For., 30: 213-222.

Sharma B. D., Mukhopadhyay S. S. and Sawhney J. S. (2006). Distribution of potassium fractions in relation to landforms in a Himalayan catena. Arch. Agro. and Soil Sci., 52: 469-476.

Sparks D. L. (1987). Potassium dynamics in soils. Adv. Soil Sci., 6: 1-63.

Sparks D. L. and Huang P. M. (1985). Physical chemistry of soil potassium. In Munson, R. D., *et al.* (eds.): Potassium in Agriculture. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, p. 201-276.

Zubillaga M. M. and Conti E. (1996). Availability of exchangeable and non-exchangeable K in Argentine soils with different mineralogy. Z. Pflanzenernaehr. Bodenk., 159: 149-153.