نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره چهارم، ۱۳۹۵
http://jwsc.gau.ac.ir

اثرات رژیم رطوبتی، سدیم و کلسیم بر توزیع عمقی پتاسیم در یک خاک گچی

منصور میرزایی‌ورویی[۱]، *مجید فکری[۲] و مجید محمودآبادی[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، [۲]استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، [۳]دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۲۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۹٤/۱۰/۲۲

چکیده

سابقه و هدف: پتاسیم یکی از عناصر غذایی پرمصرف بوده که نقش اساسی در رشد و متابولیسم گیاه ایفا می‌کند. آبشویی، یکی از عوامل مؤثر بر میزان پتاسیم محلول و تبادلی می‌باشد. مطالعه حرکت پتاسیم در خاک‌های کشاورزی به‌منظور بدست آوردن توصیه کودی مناسب و کاهش آبشویی آن‌ها به خاک زیرسطحی و خروج از منطقه ریشه امری ضروریست. بنابراین پژوهش حاضر به بررسی میزان توزیع عمقی پتاسیم محلول و تبادلی تحت‌تأثیر نمک‌های کلسیمی و سدیمی در رژیم‌های رطوبتی‌های مختلف می‌پردازد.

مواد و روش‌ها: اثرات کاربرد نمک‌های کلسیمی و سدیمی بر توزیع عمقی پتاسیم محلول و تبادلی و نسبت آن‌ها در یک ستون خاک آهکی تحت‌تأثیر رژیم‌های رطوبتی مختلف بررسی شد. آزمایش به‌صورت طرح فاکتوریل در شرایط گلخانه در ستون‌های خاک با سه تکرار انجام شد. تیمار نوع نمک شامل چهار سطح (کلرید کلسیم، سولفات کلسیم و کلرید سدیم هر یک ۱۰ میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم خاک و یکی بدون نمک یا شاهد) و تیمار رژیم رطوبتی شامل سه سطح (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت نگهداری آب در خاک) بود. غلظت پتاسیم محلول و تبادلی در سه عمق خاک (۵، ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر) در ستون‌های خاک اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که غلظت پتاسیم محلول تبادلی در نیمرخ خاک بستگی به تیمار رژیم رطوبتی داشت. بیش‌ترین و کم‌ترین پتاسیم محلول یا تبادلی در نیمرخ خاک به‌ترتیب در رژیم‌های رطوبتی ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد دیده شد و مقدار آن‌ها با افزایش عمق خاک زیاد شد. با افزایش رطوبت خاک نسبت پتاسیم تبادلی به محلول بیش‌تر شد و به‌سمت عمق روند کاهشی نشان داد (به‌عبارت دیگر به‌علت آبشویی پتاسیم از ستون خاک مقدار پتاسیم محلول بیش‌تر از تبادلی کاهش یافت). اثر تیمارهای نمک بر پتاسیم محلول در رژیم‌های رطوبتی، به‌طور معنی‌داری متفاوت بود. در رژیم‌های رطوبتی غلظت پتاسیم محلول، حرکت آن در تیمار کلرید سدیم در مقایسه با تیمار گچ بیش‌تر و از کلرید کلسیم کم‌تر است. نمک‌های کلرید کلسیم > کلرید سدیم > سولفات کلسیم به‌ترتیب غلظت پتاسیم محلول و تبادلی و همچنین نسبت آن را در نیمرخ خاک افزایش داده و همراه با بالا رفتن میزان آب خاک، حرکت پتاسیم را خاک آهکی افزایش دادند. احتمالاً قدرت یونی و ظرفیت کاتیون نمک به‌کار رفته بر افزایش غلظت پتاسیم محلول و

* مسئول مکاتبه: mjdfekri@yahoo.com

تبادلی در خاک مؤثر بوده است. همچنین یون‌های کلسیم باعث هماوری ذرات خاک و در نتیجه افزایش نفوذپذیری خاک می‌شوند که دلیل دیگری در مهاجرت بیش‌تر یون‌های پتاسیم در حضور کلسیم است.

نتیجه‌گیری: آبشویی زیاد به‌ویژه در خاک‌های شور نه تنها باعث آبشویی پتاسیم و از دسترس خارج شدن این عنصر برای گیاهان می‌شود بلکه موجب آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی شده و این امر می‌تواند خطری جدی برای محیط زیست تلقی شود. در پایان می‌توان اظهار کرد که برنامه‌ریزی درست و مدیریت صحیح در استفاده از منابع کودهای پتاسیمی، دقت در مصرف و توجه به کیفیت آب آبیاری از عوامل مؤثر بر کاهش آبشویی پتاسیم قابل‌جذب برای گیاهان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، رژیم رطوبتی، عمق، کلسیم، سدیم

مقدمه

پتاسیم یکی از عناصر غذایی پرمصرف بوده که نقش اساسی در رشد و متابولیسم گیاه ایفا می‌کند (۲۸) و در خاک به سه شکل محلول در خاک، تبادلی و غیرتبادلی وجود دارد (۷). آبشویی، یکی از عوامل مؤثر بر میزان پتاسیم محلول و تبادلی می‌باشد (۱۷). علاوه بر آبشویی پتاسیم، برداشت زیاد آن توسط گیاهان نیز موجب کاهش مقدار پتاسیم محلول می‌شود (۲۳). هدررفت پتاسیم از طریق آبشویی به مقدار پتاسیم قابل دسترس خاک بستگی دارد که این خود به خصوصیات خاک وابسته است. در واقع، کنترل حرکت و آبشویی عناصر در خاک ارتباط نزدیکی با مباحث شیمی آن‌ها در خاک و هیدرولوژی دارد (۲). حجم آب مصرفی به‌ویژه برای اصلاح خاک‌های شور می‌تواند بر میزان هدررفت و آبشویی پتاسیم از خاک مؤثر باشد. که در این زمینه، پژوهش‌های لوپز و همکاران (۲۰۰۷) روی آبشویی نمک‌ها در یک خاک قلیایی نشان داد که حجم آب آبشویی یک تا دو برابر حجم تخلخل باعث آبشویی بیش‌تر پتاسیم محلول می‌شود (۱۸). در پژوهشی مشابه بر روی آبشویی پتاسیم، آلفارو و همکاران (۲۰۰٤) دریافتند که آبشویی پتاسیم در خاک رسی دو برابر خاک شنی است که به جریان‌های ترجیحی مرتبط دانسته شد (۲). مناطق وسیعی از زمین‌های کشاورزی جهان با کمبود پتاسیم مواجه هستند (۲٦). خاک‌هایی که در آن‌ها کمبود پتاسیم اتفاق می‌افتد متنوع بوده و شامل خاک‌های شنی، اسیدی، خاک‌های ماندابی و خاک‌های شور می‌باشد (۱۹). آبشویی پتاسیم در خاک‌های شور نیز می‌تواند اتفاق افتد. کاتیون‌های کلسیم، منیزیم و سدیم از اصلی‌ترین کاتیون‌هایی هستند که باعث شوری خاک می‌شوند (۳). از این‌رو آبشویی پتاسیم علاوه بر رژیم‌های رطوبتی، به غلظت دیگر کاتیون‌های موجود، به‌خصوص کلسیم در محلول خاک بستگی دارد (۱۷). در خاک‌های آهکی، کلسیم معمولاً بیش‌ترین جانشینی را با پتاسیم بین لایه‌ای دارد (۲٤). آبیاری با آبی که حاوی غلظت بالایی از یون های Ca^{2+}، Mg^{2+} و Na^{+} باشد باعث افزایش در واجذبی و آبشویی پتاسیم می‌شود (۱۰). این پتاسیم ممکن است به سهولت برای ریشه گیاهان قابل دسترس باشد اما به آسانی نیز می‌تواند با آبشویی از منطقه ریشه خارج شود (۱۷). در مناطق خشک و نیمه‌خشک آبشویی پتاسیم با حضور کلسیت و گچ در خاک تسهیل می‌گردد، که Ca^{2+} حل شده از کلسیت و گچ، آبشویی پتاسیم را افزایش می‌دهد. این مواد معدنی به‌طور طبیعی در خاک‌ها یافت می‌شوند، یا ممکن است به‌عنوان اصلاح‌کننده برای بهبود خصوصیات فیزیکی و

شیمیایی خاک‌های شور و سدیمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک اضافه شوند (۱۲، ۲۸). حلالیت گچ کم، محدود و حدود ۲/۷ گرم بر لیتر است. اندازه و نوع و شرایط تشکیل گچ در خاک در فعالیت و حلالیت آن نقش دارد، ممکن است گچ خاک از نوع بلوری، درشت‌دانه و یا پندانت باشد (که در پروفیل این منطقه مشاهده شد) که نسبت به گچ خالص و پودری فعالیت و حلالیت کم‌تری دارد بنابراین مقدار و میزان کل گچ اهمیت کم‌تری در برابر فعالیت آن دارد. ممکن است گچ خاک کم باشد ولی به شکل پودر باشد که فعالیت و حلالیت کل آن بیش‌تر باشد. آبشویی مواد شیمیایی از خاک و انتقال آن‌ها به آب‌های زیرزمینی باعث آلودگی منابع آب می‌شود، همچنین آبشویی کودها و انتقال آن‌ها به خارج از منطقه ریشه باعث کاهش بازدهی کودها خواهد شد. بنابراین برآورد مقدار کمی و انبارش املاح در خاک در بسیاری از موارد مهم است (۸، ۲۷). آبشویی پتاسیم باعث افزایش غلظت آن در آب‌های زیرزمینی می‌شود (۹). سازمان بهداشت جهانی (۱۹۹۳) بیش‌ترین ماکزیمم غلظت مجاز پتاسیم در آب آشامیدنی را ۱۲ میلی‌گرم پتاسیم در لیتر اعلام کرده است (۳۰). این موضوع یک تهدید احتمالی را نشان می‌دهد که در اثر آبشویی پتاسیم غلظت این عنصر در آب‌های زیرزمینی از حد مجاز فراتر رفته و این آب‌ها آلوده شوند (۱۳). مطالعه حرکت پتاسیم در خاک‌های کشاورزی به‌منظور به‌دست آوردن توصیه کودی مناسب و کاهش آبشویی آن‌ها به خاک زیرسطحی و خروج از منطقه ریشه امری ضروریست (۱۱، ۱۷). با توجه به اهمیت پتاسیم در رشد و نمو گیاهان ضرورت جلوگیری از آبشویی آن بیش از پیش آشکار می‌گردد و از آن‌جا که پژوهش‌های اندکی روی توزیع عمقی پتاسیم محلول و تبادلی در خاک گچی تحت‌تأثیر نمک‌های مختلف محلول و کم‌محلول صورت گرفته، بنابراین پژوهش حاضر به بررسی میزان توزیع عمقی پتاسیم محلول و تبادلی تحت‌تأثیر نمک‌های کلسیمی و سدیمی در خاکی که در رژیم‌های رطوبتی‌های مختلفی قرار گرفت می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

خاک مورد مطالعه در این پژوهش، از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان با کاربری زراعی انتخاب گردید. نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک به روش تصادفی انجام شد. پس از انجام نمونه‌برداری از ۲٤ نقطه، نمونه‌های مورد نظر هوا خشک شده و از الک دو میلی‌متری عبور داده و برای آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه انتقال داده شدند. برخی از ویژگی‌های خاک شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۵)، درصد کربن آلی به روش والکی و بلک (۱۹۳٤)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم (۲۵)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک (۱) pH و EC در عصاره اشباع خاک به‌وسیله pH متر و هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد. غلظت کاتیون‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم محلول و پتاسیم تبادلی به‌ترتیب با استفاده از عصاره‌گیر آب مقطر و استات آمونیوم عصاره‌گیری و در ادامه غلظت سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر و کلسیم و منیزیم با دستگاه جذب اتمی (AAS Vario 6) اندازه‌گیری شدند (۱٦، ۲۹). برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در جدول‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود.

آزمایش حرکت و مهاجرت یون‌های پتاسیم در ستون‌های خاک تیمار شده با نمک‌های مختلف به‌صورت فاکتوریل (تیمار نوع نمک در ٤ سطح و رژیم رطوبتی در سه سطح) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد.

تیمارها شامل: سه نوع نمک، $CaCl_2$، $CaSO_4$-$2H_2O$ و NaCl هر یک (۱۰ میلی‌اکی‌والان بر کیلوگرم خاک) و شاهد (بدون مصرف نمک و فقط آب مقطراستفاده شد)؛ تیمار رژیم رطوبتی خاک (به‌عبارت دیگر یعنی نگهداری خاک تیمار شده به‌مدت ٤٥ روز در این رطوبت‌ها) در سه سطح: ۵۰ درصد، ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد حداکثر ظرفیت نگهداری آب در خاک بودند و اندازه‌گیری‌ها در سه لایه (مقطع نازک افقی به ضخامت ٤ میلی‌متر) از عمق: ۵، ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری ستون خاک انجام گرفت. در هر عمق با دقت برش‌های افقی زده شد و لایه‌های نازک چهار میلی‌متری از خاک آن قسمت‌ها نمونه‌برداری می‌شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مورد مطالعه.

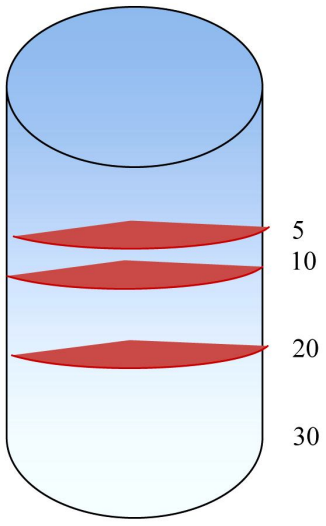
Table 1. Chemical properties of Studied soil.

(meq l^{-1})				پتاسیم تبادلی	(%)			pH	EC
سدیم	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	K_{Exch} (mg kg^{-1})	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	گچ		(dS m^{-1})
Na	K	Ca	Mg		O.C	$CaCO_3$ Eq.	$CaSO_4$		
8.75	0.44	32	2	341	0.35	13.75	17	7.9	4.5

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک مورد مطالعه.

Table 2. Physical properties of studied soil.

جرم مخصوص ظاهری	(%)				بافت خاک
Bulk density (g cm^{-3})	تخلخل	شن	سیلت	رس	Soil texture
	Porosity	Sand	Silt	clay	
1.35	48	35	27	38	لوم رسی Clay loam



شکل ۱- نمایی از ستون خاک مورد آزمایش در پژوهش حاضر.

Figure 1. A schematic of the soil column used in this study.

برای انجام آزمایش در ستون‌های خاک (شکل ۱)، لوله‌هایی از جنس پلی‌ونیل کلراید (PVC) به قطر داخلی ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر تهیه شد. ۲۰ سانتی‌متر خاک تیمارشده در ستون‌ها قرار گرفت. تیمارهای نمک مربوطه هر یک به مقدار ۱۰ میلی‌اکی‌والان بر کیلوگرم در آب مقطر حل و به خاک اضافه و کاملاً با خاک مخلوط شد. هر ستون تا ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری از خاک تیمارشده پر شد. خاک این ستون‌ها به‌مدت ٤٥ روز به‌طور مداوم در سه رطوبت یا رژیم رطوبتی ثابت (۵۰ درصد، ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد (Maximum Water Content) (MWC) و در دمای ۵±۲۰ سلسیوس در گلخانه نگهداری شدند. (با توجه با این‌که خاک ازباغ مناطق پسته‌ای برداشت شد و در این باغ‌ها فاصله دو آبیاری بین ۳۰ تا ٦۰ روز می‌باشد و با گذاشتن پیش‌تیمارها و بررسی‌های اولیه و با توجه به تیمار رطوبت‌ها به‌خصوص رطوبت کم (۵۰ درصد یا معادل ظرفیت زراعی) دیده شد که اگر زمان کم‌تر باشد ممکن است در رطوبت کم به تعادل نرسد بنابراین مدت ٤٥ روز انتخاب شد). برای کاهش تبخیر سطح ستون‌ها با پلاستیک پوشانده شد. برای جمع‌آوری زه‌آب، در ته ستون یک کاغذ صافی و صفحه پلاستیکی مشبک که فقط از آن آب خارج می‌شد قرار گرفت و پایین صفحه مشبک یک ظرف پلاستیکی قرار گرفت که کاملاً به ستون وصل و برای جلوگیری از تبخیر از کف عایق‌بندی شده بود و توسط شیلنگی به یک ظرف جمع‌آوری زه‌آب وصل شده بود. در پایان دوره زه‌آب اندازه‌گیری شد. در طول این دوره، هر روز ستون‌ها توزین می‌شد و مقدار مورد نیاز (اختلاف دو وزن) آب مقطر به نمونه‌ها اضافه می‌گردید تا خاک ستون‌های در رطوبت‌های مربوطه باقی بمانند. حداکثر ظرفیت نگهداری خاک مورد آزمایش ٤۹ درصد بود بنابراین برای رسیدن ۲۰ سانتی‌متر خاک ستون به رطوبت‌های مورد نظر به‌ترتیب به ٤/۹، ۷/٦ و ۹/۸ سانتی‌متر آب مقطر اضافه شد و در ۵۰ درصد رطوبت آبشویی ناچیز بود و ۷۵ درصد و درصد رطوبت (یا حالت اشباع) زه‌آب جمع‌آوری شده در طی دوره ٤٥ روزه صورت تجمعی به‌ترتیب ۵/٦ و ۱۲/۵ سانتی‌متر بود. بعد از ٤٥ روز نگهداری، هر ستون خاک، در سه عمق (۵، ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر) برش داده شد و از خاک عمق‌های مورد نظر لایه‌ای نازک (چهار میلی‌متری) نمونه‌برداری و غلظت پتاسیم، کلسیم و سدیم محلول و تبادلی درآن اندازه‌گیری شد.

محاسبه درصد تغییر نسبی (RCP)[1] پتاسیم نسبت به شاهد: در این پژوهش، برای تعیین درصد پتاسیم اضافه شده و یا کاهش یافته در تیمارهای مورد مطالعه نسبت به پتاسیم در خاک شاهد از رابطه زیر استفاده شد (۳۱):

$$RCP_k=100(K_t-K_c)/K_c \qquad (۱)$$

که در آن، RCP_K درصد تغییر نسبی پتاسیم نسبت به شاهد، K_t میزان پتاسیم در تیمار مورد مطالعه، K_c مقدار پتاسیم خاک شاهد.

درصد اختلاف پتاسیم بین دو عمق یا دو رژیم رطوبتی ($\%K_d$):

$$\%K_d=100(K_1-K_2)/K_1 \qquad (۲)$$

که در آن، K_1 مقدار پتاسیم خاک در عمق بالاتر یا سطحی و یا رطوبت کم‌تر و K_2 مقدار پتاسیم خاک در عمق پایین‌تر و یا رطوبت بیش‌تر.

درصد آبشویی پتاسیم از ستون خاک ($\%K_l$):

$$\%K_l=100(K_f/K_i) \qquad (۳)$$

1- Relative Change Percent

که در آن، K_i میانگین مقدار پتاسیم در نیمرخ خاک قبل از آبشویی (اضافه کردن آب یا تیمار رطوبتی) و K_f میانگین مقدار پتاسیم در نیمرخ خاک بعد از آبشویی.

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در نهایت داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام و نمودارها با نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مقدار پتاسیم محلول و تبادلی خاک تیمار شده در جدول ۳ نشان داده شده است. تیمارهای عمق خاک، رژیم رطوبتی خاک و نمک، تأثیر معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) بر غلظت پتاسیم محلول و تبادلی داشته‌اند و اثرات متقابل آن‌ها نیز بر پتاسیم تبادلی معنی‌دار بود.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثرات رطوبت خاک و نمک و عمق بر پتاسیم محلول و تبادلی در خاک.

Table 3. Summary analysis of variation (ANOVA) on the effect of soil depth, moisture and salt on the soluble and exchangeable potassium in soil.

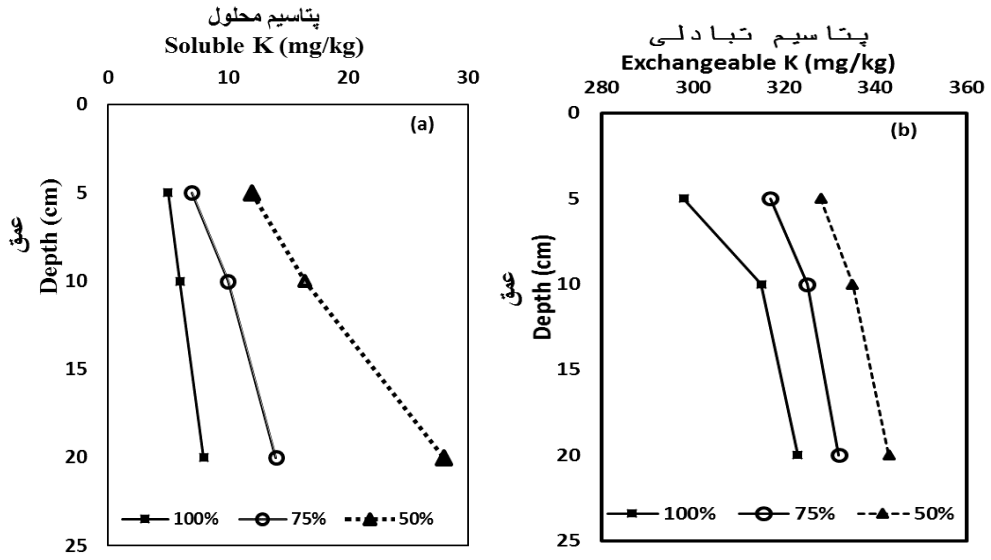
پتاسیم تبادلی exchangeable potassium	پتاسیم محلول Soluble potassium	درجه آزادی DF.	منبع تغییرات Source of variation
7891**	1559**	2	(A) Depth
26411**	13487**	2	(B) Moisture
7160**	14**	3	(C) Salt
397**	473**	4	A×B
174**	11.5*	6	A×C
927**	1455**	6	B×C
90.4**	7.5ns	8	A×B×C
33.95	12.9	288	Error
1.82	20.0	-	ضریب تغییرات CV

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns غیرمعنی‌دار.

*, ** significant at P< 0.05 and P<0.01 levels, respectively, ns non-significant.

پتاسیم محلول و عمق: رابطه پتاسیم محلول با عمق خاک در رژیم‌های رطوبتی مختلف در شکل ۲ نشان شده است. غلظت پتاسیم محلول در نیمرخ خاک بستگی به تیمار رژیم رطوبتی داشت. بیش‌ترین و کم‌ترین پتاسیم محلول در نیمرخ خاک به‌ترتیب به رژیم‌های رطوبتی ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد مربوط بود و همچنین بیش‌ترین و کم‌ترین اختلاف بین پتاسیم محلول در دو عمق نیمرخ خاک به آن دو رژیم رطوبتی تعلق داشت. در رژیم رطوبتی ۵۰ درصد، تفاوت پتاسیم محلول بین دو عمق ۵ و ۲۰ سانتی‌متر

نسبت به دیگر رژیم‌های رطوبتی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود. در این رژیم رطوبتی احتمالاً به‌علت رطوبت کم و در نتیجه حرکت کم پتاسیم (احتمالاً از نوع انتشار زیرا رطوبت در حالت ظرفیت زراعی بود و در این حالت بیش‌تر انتشار را داریم) مقداری از این عنصر از بالا به‌سمت پایین حرکت کرده و در عمق ۲۰ سانتی‌متر تجمع یافته ولی از ستون خاک خارج نشده است زیرا میانگین غلظت پتاسیم در نیمرخ خاک با غلظت این عنصر قبل از آب‌شویی (۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) تفاوت معنی‌داری نداشت و همچنین درصد آبشویی ($\%K_l$) پتاسیم صفر است ولی در طول نیم‌رخ خاک توزیع پتاسیم یکنواخت نیست. در رژیم رطوبتی ۱۰۰ درصد، پتاسیم محلول به‌سمت پایین حرکت کرده و از پروفیل خارج شده (در این رطوبت یا حالت اشباع احتمالاً حرکت پتاسیم به‌صورت ترکیبی از هر دو نوع حالت انتشار و توده‌ای بود و مقداری که وارد زه‌آب شده است معادل مقداری است که از ستون کم شده است) در نتیجه میانگین پتاسیم محلول (۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کم‌تری در نیم‌رخ دیده می‌شود و ۷۳ درصد پتاسیم محلول آبشویی ($\%K_l$) شده است. همچنین اختلاف بین بالا و پایین ستون کم‌تر احساس می‌شود. به‌عبارت دیگر این بیانگر آبشویی زیاد پتاسیم و خروج آن در این حجم است که اختلاف بین عمق‌ها را به کم‌ترین حد رسانده است و توزیع پتاسیم محلول یکنواخت‌تر است (شکل ۲- الف). در رژیم رطوبتی ۵۰ درصد، اختلاف پتاسیم محلول بین عمق ۵ و ۲۰ سانتی‌متر ($\%K_d$) ۳۸/٤٥ درصد محاسبه گردید، که این درصد اختلاف ($\%K_d$) برای رژیم‌های رطوبتی ۱۰۰ درصد، ۲۰/۰۳ درصد بود. همچنین، در عمق ۵ سانتی‌متر، دامنه اختلاف بین پتاسیم محلول ($\%K_d$) بین دو رژیم رطوبتی ۵۰ درصد و درصد برابر ٦۳/۸۵ درصد، و برای عمق ۲۰ سانتی‌متر این اختلاف ۷۲/۱۸ درصد بود. این نشان می‌دهد که با افزایش عمق درصد اختلاف بین رژیم‌های رطوبتی ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد بیش‌تر شده است. با افزایش رطوبت خاک و یا رقیق شدن تعادل بین کاتیون‌های یک و دوظرفیتی در محلول خاک و لایه دوگانه تغییر می‌کند و نسبت غلظت یون‌های یک‌ظرفیتی در محلول بیش‌تر می‌شود و بنابر این حرکت یون‌های یک‌ظرفیتی در ستون از بالا به‌سمت پایین و تجمع آن در پایین و یا آبشویی بیش‌تر می‌شود (٤). نتایج کلاهچی و جلالی (۲۰۰۷) و لوپز و همکاران (۲۰۰۷) نیز نشان داد که افزایش حجم آبشویی باعث افزایش درصد آبشویی پتاسیم شده و بعد از آن، غلظت پتاسیم ثابت می‌ماند (۱۷، ۱۸). فیگنباوم (۱۹۸٦) بیان کرد که مقدار حرکت پتاسیم در خاک بستگی به مقدار آب و سرعت حرکت آن به‌سمت پایین دارد (٦). همچنین، اولیویرا و همکاران (۲۰۰۲) نیز گزارش کردند که با افزایش حجم آبشویی، غلظت پتاسیم محلول به‌علت آبشویی کاهش می‌یابد. آبشویی پتاسیم به رژیم‌های میزان آب بستگی دارد (۲۱).

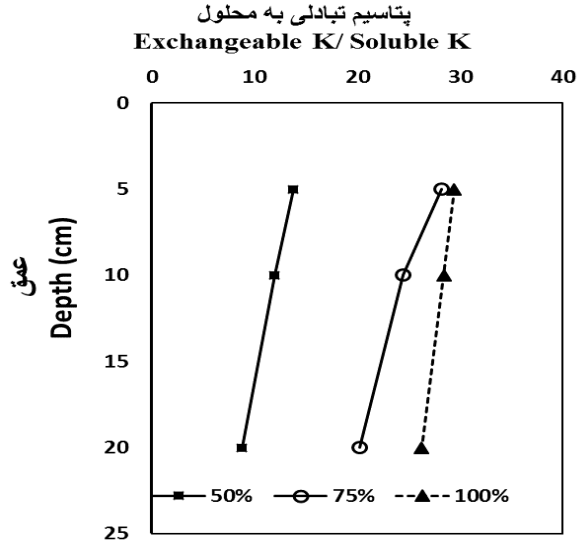


شکل ۲- اثرات رژیم‌های رطوبتی مختلف بر تغییرات عمقی غلظت (الف) پتاسیم محلول، ($LSD_{5\%}$=2.1) و (ب) پتاسیم تبادلی.

Figure 2. Effects of different irrigation regimes on deep changes in the concentration of (a) the soluble potassium, ($LSD_{5\%}$=2.1) and (b) exchangeable potassium ($LSD_{5\%}$=11.2).

پتاسیم تبادلی و عمق: رابطه پتاسیم تبادلی با عمق خاک در رژیم‌های رطوبتی مختلف در شکل ۲- ب آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر سه رژیم‌های رطوبتی غلظت پتاسیم تبادلی در نیمرخ خاک متغیر بوده و با افزایش عمق افزایش یافته است. بیش‌ترین مقدار پتاسیم تبادلی نیمرخ خاک در رژیم رطوبتی ۵۰ درصد و کم‌ترین مقدار آن در رژیم رطوبتی ۱۰۰ درصد دیده شد. احتمالاً در رژیم رطوبتی ۵۰ درصد پتاسیم تبادلی از سطح به‌سمت پایین حرکت کرده ودر پایین تجمع یافته ولی از خاک خارج نشده است زیرا متوسط پتاسیم تبادلی نیمرخ خاک قبل و بعد از آبشویی برابر است (۳۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) درصد آبشویی ($\%K_I$) پتاسیم صفر است، ولی در رژیم رطوبتی ۱۰۰ درصد این پتاسیم از خاک خارج شده است زیرا متوسط پتاسیم تبادلی نیمرخ خاک بعد از آبشویی کم‌تر شده است (۳۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌عبارت دیگر در این رژیم رطوبتی فقط ٦ درصد پتاسیم تبادلی از قسمت بالای ستون (۲۰-۰) خاک خارج شده ($\%K_I$) شده است و اندازه‌گیری‌ها نشان داد به قسمت زه‌آب وارد شده است. در قسمت بالای ستون (۲۰-۰) خاک آبشویی یا خروج پتاسیم تبادلی (٦ درصد) نسبت به پتاسیم محلول (۷۳ درصد) بسیار کم‌تر است (شکل ۲)، درصد اختلاف پتاسیم تبادلی بین دو عمق ($\%K_d$) در نیمرخ خاک در رژیم ۵۰ درصد کم‌تر است احتمالاً این آبشویی مقدار کم‌تری پتاسیم تبادلی را حرکت داده است درصد اختلاف پتاسیم تبادلی (K_d) بین عمق ۵ و۲۰ سانتی‌متر در رژیم‌های رطوبتی ۵۰ درصد، ۳/۷۵ درصد محاسبه گردید که این درصد اختلاف برای رژیم ۱۰۰ درصد، حدود ۷/۲۹ درصد بود. اختلاف پتاسیم تبادلی ($\%K_I$) بین رژیم‌های رطوبتی ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد در عمق ۵ سانتی‌متر ۹/۲ درصد و در عمق ۲۰ سانتی‌متر ۵/۷۳ درصد بود. با افزایش آب خاک یا رقیق شدن نسبت کاتیون یک‌ظرفیتی به دوظرفیتی روی کلوییدو یا در فاز تبادلی کاهش می‌یابد و تعادل به‌سمتی پیش می‌رود که مقدار بیش‌تری کلسیم وارد لایه دوگانه می‌شود و جای پتاسیم می‌نشیند و پتاسیم بیش‌تری وارد فاز

محلول می‌شود و مساعد برای حرکت به‌سمت پایین و شستشو می‌شود. در این رطوبت‌ها تعادل بین پتاسیم محلول و تبادلی به هم می‌خورد و غلظت پتاسیم محلول به‌ویژه با افزایش آب خاک بالا می‌رود و در نتیجه پتاسیم تبادلی کاهش می‌یابد با افزایش رطوبت خاک و یا رقیق شدن تعادل بین کاتیون‌های یک و دوظرفیتی در محلول خاک و لایه دوگانه تغییر می‌کند و نسبت غلظت یون‌های یک‌ظرفیتی در محلول بیش‌تر می‌شود و بنابراین حرکت یون‌های یک‌ظرفیتی در ستون از بالا به‌سمت پایین و تجمع آن در پایین و یا خروج از ستون و ورود به زه‌آب بیش‌تر می‌شود (٤). یزدان‌پناه و محمودآبادی (۲۰۱۱) نیز دریافتند که با افزایش آبشویی، پتاسیم تبادلی به‌سمت عمق، روند افزایشی دارد (۳۱). همچنین، اولیویرا و همکاران (۲۰۰۲) نیز گزارش کردند که با افزایش حجم آبشویی، غلظت پتاسیم به‌علت آبشویی کاهش می‌یابد. آبشویی پتاسیم به‌میزان رطوبت بستگی دارد (۲۱).



شکل ۳- نسبت پتاسیم تبادلی به محلول در رابطه با عمق و رژیم‌های رطوبتی مختلف ($LSD_{5\%}$=11.2).

Figure 3. The ratio of exchangeable potassium to soluble potassium in relation to the depth and different water regimes.

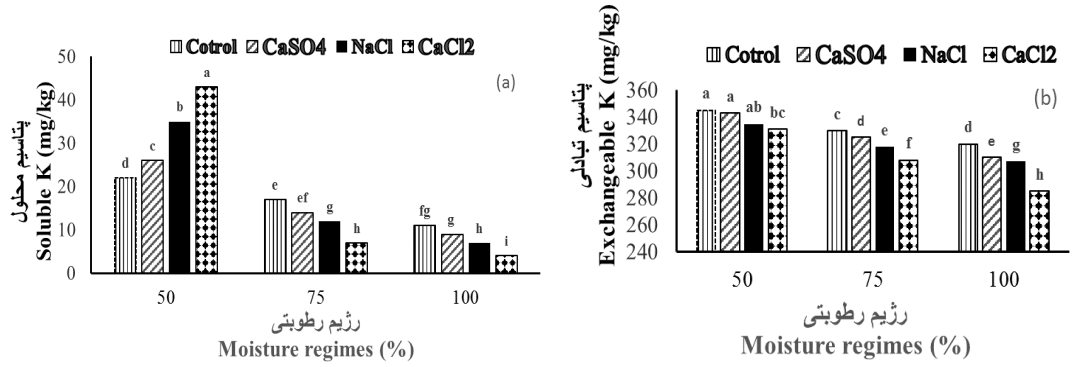
نسبت پتاسیم تبادلی به محلول ($K_r = K_e / K_s$) در رابطه با عمق و رژیم‌های رطوبتی مختلف در شکل ۳ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر سه رژیم رطوبتی نسبت پتاسیم تبادلی به محلول (K_r) در نیمرخ خاک متغیر بوده و با افزایش عمق کاهش یافته و با افرایش رطوبت خاک افزایش یافته است (به‌عبارت دیگر مقدار پتاسیم محلول بیش‌تر از تبادلی کاهش یافته است). بیش‌ترین مقدار این نسبت در رژیم رطوبتی ۱۰۰ درصد و کم‌ترین مقدار آن در رژیم رطوبتی ۵۰ درصد دیده شد. در رژیم رطوبتی ۱۰۰ درصد مقدار بیش‌تری از پتاسیم محلول نسبت به تبادلی شسته شده است به‌عبارت دیگر با افزایش رطوبت و در اثر شسته شدن بیش‌تر پتاسیم محلول از تبادلی و کاهش بیش‌تر پتاسیم محلول، این نسبت (K_r) زیاد می‌شود. وقتی که پتاسیم محلول از بالای ستون به‌سمت پایین حرکت می‌کند در رطوبت کم (۵۰ درصد) در پایین ستون تجمع می‌نماید (در این رطوبت نمی‌تواند از ستون خارج شود) و مقدار پتاسیم محلول در پایین ستون بیش‌تر از تبادلی می‌شود و در نتیجه در پایین ستون این نسبت (K_r)

کم می‌شود. در رژیم رطوبتی ۱۰۰ درصد چون پتاسیم محلول بیش‌تری نسبت به رژیم ۵۰ درصد از ستون خارج می‌شود (وارد زه‌آب می‌شود) در نتیجه اختلاف بین این نسبت (K_r) در بالا و پایین ستون کم‌تر است. میرزایی و همکاران (۲۰۱٤) دریافتند با افزایش حجم آب میزان پتاسیم زیاد می‌شود (۲۰). یزدان‌پناه و محمودآبادی (۲۰۱۱) نیز دریافتند که با افزایش آبشویی، پتاسیم تبادلی به‌سمت عمق، روند افزایشی دارد (۳۱).

اثر نمک‌های محلول: اثر رژیم‌های رطوبتی و تیمارهای نمک بر پتاسیم محلول خاک در شکل ٤-الف نشان داده شده است. اثر تیمارهای نمک بر پتاسیم محلول در رژیم‌های رطوبتی، به‌طور معنی‌داری متفاوت بود. غلظت پتاسیم محلول و حرکت آن در ستون خاک تابع نوع نمک قدرت یونی و رژیم رطوبتی است. در رژیم رطوبتی ۵۰ درصد تأثیر نمک‌ها در افزایش مقدار پتاسیم محلول به‌ترتیب $CaSO_4 < NaCl < CaCl_2$ می‌باشد، زیرا در این رژیم رطوبتی پتاسیمی از ستون خاک (۲۰-۰) خاک خارج نشده بود و زه‌آبی نداشتیم و مقدار متوسط پتاسیم محلول نیمرخ خاک با قبل از آبشویی برابر بود. کلسیم محلول از نمک کلرید نسبت به سدیم و همچنین از گچ، غلظت پتاسیم را در محلول بیش‌تر بالا برده است، ولی در رژیم رطوبتی ۱۰۰ درصد اثر نمک‌ها در کاهش مقدار پتاسیم محلول به‌ترتیب $CaSO_4 < NaCl < CaCl_2$ می‌باشد. زیرا در این رژیم رطوبتی کلسیم محلول نسبت به سدیم، مقدار بیش‌تری پتاسیم از سطح وارد محلول کرده است و به‌علت میزان بالای رطوبت خاک آبشویی پتاسیم از ستون خاک بیش‌تر شده است و در نتیجه پتاسیم کم‌تری در خاک باقی مانده است. کلرید کلسیم به‌دلیل حلالیت بالا و وجود کاتیون دو ظرفیتی و در نتیجه قدرت یونی ($I=1/2\Sigma MZ^2$) بالاتر، باعث آبشویی بیش‌تر پتاسیم محلول نسبت به دیگر تیمارها شده است. کلسیم تمایل زیادی به جذب روی سطوح منفی دارد و پتاسیم به‌علت ظرفیت پایین‌تر شانس کم‌تری برای جذب روی این سطوح دارد و در محلول خاک مستعد آبشویی می‌گردد. آن دسته از آنیون‌هایی که با کلسیم تولید نمک‌های محلول می‌کنند سبب جانشینی بیش‌تر کلسیم به جای پتاسیم گردیده و در نتیجه حرکت پتاسیم را افزایش می‌دهند (۳، ۷). یافته‌های جانسون و گلدینگ (۱۹۹۲) نیز نشان داد که درصد آبشویی پتاسیم تحت‌تأثیر یون‌های کلسیم بیش‌تر از زمانی است که کلسیم در خاک وجود نداشته باشد (١٤). همچنین مشاهده می‌شود که در رژیم‌های رطوبتی غلظت پتاسیم محلول و حرکت آن در تیمار کلرید سدیم در مقایسه با تیمار گچ بیش‌تر و از کلرید کلسیم کم‌تر است. کلرید سدیم نسبت به گچ حلالیت بیش‌تری دارد و احتمالاً باعث تبادل بیش‌تر سدیم با پتاسیم تبادلی و در نتیجه افزایش غلظت پتاسیم محلول می‌شود و همچنین قدرت یونی کلرید کلسیم بیش‌تر از کلرید سدیم و بیش‌تر از سولفات کلسیم (در غلظت مساوی، قدرت یونی نمک‌ها به‌ترتیب به‌صورت زیر است:

$$CaSO_4 < NaCl < CaCl_2$$

در نتیجه حرکت و مهاجرت پتاسیم در حضور کلرید کلسیم از همه این نمک‌ها بیش‌تر است. همچنین یون‌های سدیم و کلسیم به‌ترتیب باعث پراکنش و هماوری ذرات خاک و در نتیجه کاهش و افزایش نفوذپذیری خاک می‌شوند که دلیل دیگری در مهاجرت بیش‌تر یون‌های پتاسیم در حضور کلسیم می‌باشد.



شکل ٤- اثرات رژیم‌های رطوبتی و نمک‌های کلسیمی و سدیمی بر پتاسیم محلول (الف) و پتاسیم تبادلی (ب) (مقایسه میانگین با آزمون دانکن (P=5%)).

Figure 4. Effects of irrigation regimes, and sodium and calcium salts on the soil soluble potassium (a) and exchangeable potassium (b), (Duncan mean comparison test p = 5%).

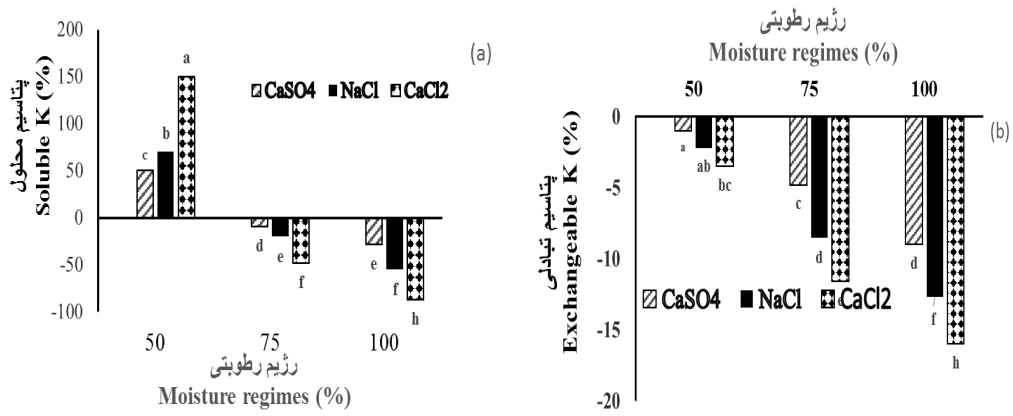
به‌طورکلی در اینجا ۵ عامل مؤثرند: ۱) با افزایش آب خاک یا رقیق شدن نسبت کاتیون یک‌ظرفیتی به دوظرفیتی روی کلویید و یا در فاز تبادلی کاهش می‌یابد و تعادل به‌سمتی پیش می‌رود که مقدار بیش‌تری کلسیم وارد لایه دوگانه می‌شود و جای پتاسیم می‌نشیند و پتاسیم بیش‌تری وارد فاز محلول می‌شود و مساعد برای حرکت به‌سمت پایین و شستشو می‌شود. در این رطوبت‌ها تعادل بین پتاسیم محلول و تبادلی به هم می‌خورد و غلظت پتاسیم محلول به‌ویژه با افزایش آب خاک بالا می‌رود و در نتیجه پتاسیم تبادلی کاهش می‌یابد، ۲) با افزایش رطوبت خاک حرکت یون‌های پتاسیم از بالا به پایین ستون بیش‌تر می‌شود و اگر رطوبت کم باشد (۵۰ درصد) ما حرکت پتاسیم به‌سمت پایین را داریم ولی از ستون خارج نمی‌شود و اگر رطوبت زیاد باشد این حرکت را داریم و پتاسیم از ستون خارج و وارد زه‌آب می‌شود. در نتیجه از قسمت بالایی ستون خارج می‌شود. ۳) یون‌های دوظرفیتی کلسیم بیش‌تر از سدیم جایگزین پتاسیم تبادلی شده و همچنین با افزایش قدرت یونی نمک ($I=1/2\Sigma MZ^2$) نسبت پتاسیم محلول به تبادلی را بالا می‌برند، ٤- نوع آنیون همراه کلسیم هم اهمیت دارد اگر آنیون یک‌ظرفیتی کلر باشد، تحرک بیش‌تری و جذب سطحی کم‌تری نسبت به سولفات دارد در نتیجه در حضور کلراید حرکت و آبشویی پتاسیم بیش‌تر می‌شود. می‌توان گفت اثر کلرید کلسیم بیش‌تر از سولفات کلسیم در آبشویی پتاسیم است و در نتیجه شستشو و هدررفت پتاسیم در حضور کلرید کلسیم از گچ بیش‌تر است ($K_2SO_4 < KCl$) و ۵- یون‌های سدیم و کلسیم به‌ترتیب باعث پراکنش و هماوری ذرات خاک و در نتجه کاهش و افزایش نفوذپذیری خاک را باعث می‌شوند که دلیل دیگری در مهاجرت بیش‌تر یون‌های پتاسیم در حضور کلسیم می‌باشد.

اثر تیمارهای نمک و رژیم‌های مختلف بر پتاسیم تبادلی در شکل ٤- ب آمده است. در تمام تیمارهای رطوبتی، اثر کلرید کلسیم بر کاهش پتاسیم تبادلی معنی‌دار بود و این اثر با افزایش رطوبت، بیش‌تر شد. اثر نمک‌ها در کاهش مقدار پتاسیم تبادلی و و جایگزینی آن به‌ترتیب: $CaSO_4 < NaCl < CaCl_2$ می‌باشد. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار پتاسیم تبادلی به‌ترتیب در خاک تیمار شده با کلرید کلسیم و خاک شاهد مشاهده شد. کلریدکلسیم به‌علت حلالیت زیاد و قدرت یونی بیش‌تر و وجود کاتیون کلسیم سبب تبادل بیش‌تر کلسیم به جای پتاسیم تبادلی شده و این امر موجب کاهش غلظت پتاسیم در مکان‌های تبادلی

شده است (در غلظت مساوی، قدرت یونی نمک‌ها به‌ترتیب: $CaSO_4 < NaCl < CaCl_2$). رحمت‌اله و همکاران (۱۹۹٤) گزارش کردند که کاتیون‌های دوظرفیتی نسبت به کاتیون‌های تک‌ظرفیتی محکم‌تر نگه داشته می‌شوند، بنابراین افزایش مقدار Ca^{2+} در محلول نسبت به Na^{+}، پتاسیم بیش‌تری را آزاد می‌کند. مطابق شکل ۳- ب مشاهده می‌شود که، پتاسیم تبادلی در تیمار کلرید سدیم نسبت به گچ در همه رژیم‌های رطوبتی بیش‌تر است. این می‌تواند به‌دلیل حلالیت و قدرت یونی بیش‌تر کلرید سدیم نسبت به گچ باشد که پیامد آن، تبادل بیش‌تر سدیم به‌جای پتاسیم و کاهش پتاسیم تبادلی است. همچنین قدرت یونی کلرید کلسیم بیش‌تر از کلرید سدیم و این بیش‌تر از سولفات کلسیم است و در نتیجه تبادل پتاسیم با کلسیم در حضور کلرید کلسیم بیش‌تر از کلرید سدیم و بیش‌تر از سولفات کلسیم است. به‌طور کلی نمک‌های کلرید کلسیم > کلرید سدیم > سولفات کلسیم به‌ترتیب نسبت پتاسیم محلول به تبادلی را بالا برده و همراه با افزایش رطوبت خاک، حرکت پتاسیم را در خاک آهکی افزایش می‌دهند به‌عبارت دیگر حرکت پتاسیم و غلظتش در خاک بستگی به نوع کاتیون و قدرت یونی نمک دارد. آبیاری با آبی که حاوی غلظت بالایی از یون‌های Ca^{+2}، Mg^{+2} و Na^{+} باشد باعث افزایش در واجذبی و آبشویی پتاسیم می‌شود (۱۰). از این‌رو آبشویی پتاسیم علاوه بر رژیم‌های رطوبتی، به غلظت دیگر کاتیون‌های موجود، به‌خصوص کلسیم در محلول خاک بستگی دارد (۱۷). در خاک‌های آهکی، کلسیم معمولاً بیش‌ترین جانشینی را با پتاسیم بین‌لایه‌ای دارد (۲٤). آبیاری با آبی که محتوی غلظت بالایی از یون‌های Ca^{+2}، Mg^{+2} و Na^{+} باشد باعث افزایش در واجذبی و آبشویی پتاسیم می‌شود (۱۰). آبشویی پتاسیم از نمک کلرید پتاسیم بیش‌تر از سولفات پتاسیم می‌باشد (۲۰).

اثر تیمارهای مورد مطالعه بر درصد تغییر پتاسیم محلول و تبادلی: شکل ۵- الف، اثر رژیم‌های رطوبتی و تیمارهای نمک بر درصد تغییر پتاسیم محلول تیمار نسبت به شاهد (RCP)[1] نشان می‌دهد. با افزایش میزان رطوبت، درصد تغییر پتاسیم محلول نسبت به شاهد منفی شده است. درصد منفی به منزله کم‌تر بودن غلظت پتاسیم محلول نسبت به خاک شاهد است و درصد مثبت خلاف این را نشان می‌دهد. در رژیم رطوبتی ۵۰ درصد، تیمار کلرید کلسیم بیش‌ترین درصد تغییر را نسبت به شاهد نشان داده است. همچنین در رژیم رطوبتی ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد، تیمار کلرید سدیم نسبت به گچ مقدار درصد تغییر نسبت به شاهد بیش‌تری دارد. آنیون‌های هالید از جمله کلر، پتانسیل یونی بالایی دارند و کاملاً محلول هستند و در اثر آبشویی از خاک خارج می‌شوند. از طرفی آنیون کلر (Cl^{-}) نسبت به آنیون سولفات (SO_4^{2-}) در ترکیب با کلسیم تولید نمک محلول‌تری می‌کند (۳، ۵). پس قدرت یونی بالای کلرید کلسیم نسبت به کلرید سدیم و گچ به‌ترتیب متأثر از وجود آنیون کلر و سولفات در ترکیب آن‌هاست. این امر باعث می‌شود تا پتاسیم در تیمار کلرید کلسیم بیش‌تر از کلرید سدیم شسته شود. در مناطق خشک و نیمه‌خشک آبشویی پتاسیم با حضور کلسیت و گچ در خاک تسهیل می‌گردد، که Ca^{2+} حل شده از کلسیت و گچ، آبشویی پتاسیم را افزایش می‌دهد. این مواد معدنی به‌طور طبیعی در خاک‌ها یافت می‌شوند، یا ممکن است به‌عنوان اصلاح‌کننده برای بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های شور و سدیمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک اضافه شوند (۱۲، ۲۸).

1- Relative Change Percent



شکل ۵- اثرات رژیم‌های رطوبتی و نمک‌های کلسیمی و سدیمی بر درصد تغییر پتاسیم محلول (الف) و پتاسیم تبادلی (ب) نسبت به خاک شاهد (مقایسه میانگین با آزمون دانکن p=5%).

Figure 5. Effects of soil depth, moisture and salts treatments on the exchangeable potassium (mg/kg).

شکل ۵- ب اثر رژیم‌های رطوبتی و نمک‌های کلسیمی و سدیمی بر درصد تغییر پتاسیم تبادلی تیمار نسبت شاهد را نشان می‌دهد. با افزایش میزان رطوبت، درصد تغییر و یا آزاد شدن پتاسیم تبادلی نسبت به شاهد (پتاسیم تبادلی در خاک اولیه) زیاد شده است. این امر می‌تواند به‌دلیل آبشویی بیش‌تر پتاسیم محلول و نیاز به تأمین پتاسیم و برقراری تعادل نسبی بین فاز محلول و تبادلی از طریق پتاسیم تبادلی باشد. همچنین در تمامی رژیم‌های رطوبتی‌ها تیمار کلرید کلسیم به‌علت داشتن کلسیم و قدرت یونی بیش‌تر و در نتیجه تبادل بیش‌تر با پتاسیم موجب شده تا درصد تغییر و یا آزاد شدن پتاسیم تبادلی نسبت به شاهد در این تیمار بیش‌تر از دیگر تیمارها باشد. در رژیم رطوبتی ۵۰ درصد غلظت بالای پتاسیم محلول دو دلیل دارد نخست ورود پتاسیم از فاز تبادلی به فاز محلول (در اثر رقت نسبت به شاهد) و دوم عدم خروج پتاسیم محلول از ستون خاک (پتاسیم ستون خاک خارج شود) می‌باشد. باغ‌های پسته با شرایطی روبرو هستند که فاصله دو آبیاری زیاد است (بیش‌تر از یک ماه) و درختان پسته ریشه عمیق دارند و کود پتاسیمی که در لایه‌های سطحی مصرف می‌شود به‌علت خشک بودن این لایه از خاک در مدت زیادی بین دو آبیاری نمی‌تواند جذب ریشه شود بنابراین با کاربرد نمک‌های کلرید پتاسیم می‌توان حرکت پتاسیم به‌سمت پایین را افزایش داد و جذب آن را توسط ریشه پسته بالا برد (زیرا لایه‌های عمقی مدت بیش‌تری مرطوب هستند). شاید یکی از دلایل رشد و نمو و عملکرد خوب پسته در شرایط شور همین نکته باشد.

اثر سه‌گانه عمق، رژیم‌های رطوبتی مختلف و تیمارهای نمک بر پتاسیم تبادلی در جدول ٤ نشان داده شده است. غلظت پتاسیم تبادلی تحت‌تأثیر رژیم رطوبتی، عمق و کاربرد نمک قرار گرفت. بیش‌ترین پتاسیم تبادلی در رژیم رطوبتی ۵۰ درصد و در عمق ۲۰ سانتی‌متری و در خاک شاهد و تیمار گچ دیده شد و کم‌ترین غلظت پتاسیم تبادلی در عمق ۵ سانتی‌متری و در رطوبت ۱۰۰ درصد و تیمار کلرید کلسیم مشاهده شد. کاربرد کلرید کلسیم نسبت به کلرید سدیم و گچ، اثر بیش‌تری برکاهش پتاسیم تبادلی در نیمرخ خاک نشان داد. این می‌تواند به‌دلیل حلالیت زیاد کلرید کلسیم و در نتیجه قدرت یونی بالاتر نسبت به تیمارهای دیگر باشد (در غلظت مساوی، قدرت

یونی نمک‌ها به‌ترتیب: $CaSO_4 < NaCl < CaCl_2$). علاوه بر این وجود کلسیم در ترکیب آن باعث جایگزینی بیش‌تر کلسیم به‌جای پتاسیم در فاز تبادلی شده است. با افزایش درصد رطوبت (۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد)، غلظت پتاسیم به‌علت آبشویی پتاسیم کم شده است، همان‌طور که گفته شد، پتاسیم برای این‌که بتواند راحت منتقل شود باید با یک آنیون ترکیب شود و کلر آنیونی است که می‌تواند سرعت حرکت پتاسیم را نسبت به سولفات تسهیل بخشد. نمک‌های حاوی پتاسیم (KCl) حلالیت بالایی دارند و به سرعت آبشویی می‌شوند (۳، ۱۸). آبیاری با آبی که محتوی غلظت بالایی از یون‌های Ca^{+2}، Mg^{+2} و Na^{+} باشد باعث افزایش در واجذبی و آبشویی پتاسیم می‌شود (۱۰). آبشویی پتاسیم از نمک کلرید پتاسیم بیش‌تر از سولفات پتاسیم می‌باشد (۲۰).

جدول ٤- اثر سه‌گانه عمق، رطوبت خاک و تیمارهای نمک بر میزان پتاسیم تبادلی (حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم).

Table 4. Effects of soil depth, moisture and salts treatments on the exchangeable potassium (mg/kg) ($LSD_{5\%}$=19.1).

خاک شاهد Soil control	تیمارهای نمک Salts treatments			عمق Depth (cm)	رطوبت خاک Soil moisture (%)
	$CaSO_4$	NaCl	$CaCl_2$		
330.22	330.77	331.41	329.23	5	50
340.87	339.17	333.32	328.60	10	
349.72	344.07	339.92	339.42	20	
317.64	311.76	312.52	300.40	5	75
329.87	323.99	315.72	305.57	10	
339.10	330.69	321.30	309.72	20	
309.10	297.90	285.05	276.01	5	100
328.58	319.34	297.46	287.30	10	
329.15	319.07	311.77	302.46	20	

نتیجه‌گیری

نمک‌های کلرید کلسیم > کلرید سدیم > سولفات کلسیم، نسبت پتاسیم محلول به تبادلی را بالا برده (به‌عبارت دیگر مقدار پتاسیم محلول بیش‌تر از تبادلی کاهش یافته) و همراه با افزایش رطوبت خاک، حرکت پتاسیم را در خاک آهکی افزایش می‌دهند به‌عبارت دیگر حرکت پتاسیم و غلظتش در خاک بستگی به نوع کاتیون و قدرت یونی نمک دارد. خاک‌های دارای مقدار قابل‌توجه کلسیم و یا خاک‌هایی که دارای نمک‌های کلسیمی با حلالیت بالا هستند و همچنین در خاک‌های سدیمی هدررفت پتاسیم محلول می‌تواند زیاد باشد و باید کود پتاسیمی بیش‌تری استفاده شود تا کمبود پتاسیم ناشی از وجود کلسیم محلول و سدیم در این خاک‌ها جبران شود. از این‌رو آبشویی زیاد به‌ویژه در خاک‌های شور نه تنها باعث آبشویی پتاسیم و از دسترس خارج شدن این عنصر برای گیاهان می‌شود بلکه موجب آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی شده و این امر می‌تواند خطری جدی برای محیط زیست تلقی شود. در پایان می‌توان اظهار کرد که برنامه‌ریزی درست و مدیریت صحیح

در استفاده از منابع کودهای پتاسیمی، دقت در مصرف و توجه به کیفیت آب آبیاری از عوامل مؤثر بر کاهش آبشویی پتاسیم قابل‌جذب برای گیاهان می‌باشد. باغ‌های پسته با شرایطی روبرو هستند که فاصله دو آبیاری زیاد است (بیش‌تر از یک ماه) و درختان پسته ریشه عمیق دارند و کود پتاسیمی که در لایه‌های سطحی مصرف می‌شود به‌علت خشک بودن این لایه از خاک در مدت زیادی بین دو آبیاری نمی‌تواند جذب ریشه شود بنابراین با کاربرد نمک‌های کلرید پتاسیم می‌توان حرکت پتاسیم به‌سمت پایین را افزایش داد و جذب آن را توسط ریشه پسته بالا برد (زیرا لایه‌های عمقی مدت بیش‌تری مرطوب هستند). شاید یکی از دلایل رشد و نمو و عملکرد خوب پسته در شرایط شور همین نکته باشد.

منابع

1.Allison, L.E., and Moodie, C.D. 1996. Carbonates. P 1379-1396, In: Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T. and Sumner, M.E. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical methods. Am. Soc. Agron. Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI, 1264p.

2.Alfaro, M.A., Jarvis, S.C., and Gregory, P.J. 2004. Factors affecting potassium leaching in different soils. Soil Use and Management. Pp: 182-189.

3.Bresler, E., McNeal, B.L., and Carter, D.L. 2011. Saline and Sodic Soils: Principles-Dynamics-Modeling. Publisher: Springer, 239p.

4.Bohn, H.L., Myer, R.A., and O'Connor, G.A. 2002. Soil chemistry: John Wiley & Sons, 361p.

5.Darmody, R.G., Foss, J.E., Intosh, M., and Wolf, D.C. 1983. Municipal sludge compost-amended soils: some spatiotemporal treat effects. J. Environ. Qual. 12: 231-236.

6.Feigenbaum, S. 1986. Potassium distribution in a sandy soil exposed to leaching with saline water. P 155-162, In: Nutrient Balances and the Need for Potassium. International Potash Institute.

7.Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdal, S.L., and Nelson, W.L. 2005. Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Manangement. 7th Ed., 528p.

8.Heming, S.D., and Rowell, D.L. 1997. The estimation of losses of potassium and magnesium from chalky soils: laboratory studies. Soil Use and Management. 13: 122-129.

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

10.Jalali, M., and Merrikhpour, H. 2008. Effects of poor quality irrigation waters on the nutrient leaching and groundwater quality from sandy soil. Environmental Geology. 53: 1289-1298.

11.Jalali, M., and Rowell, D.L. 2003. The role of calcite and gypsum in the leaching of potassium in a sandy soil. Experimental Agriculture. 39: 379-394.

12.Jalali, M., and Rowell, D.L. 2009. Potassium leaching in undisturbed soil cores following surface applications of gypsum. Environmental Geology. 57: 41-48.

13.Johnston, A.E., Goulding, K.W.T., and Mercer, E. 1993. Potassium leaching from sandy soil. Subject 12, No. 4: international Potash Institute, basel.

14.Johnston, A.E., and Goulding, K.W.T. 1992. Potassium concentrations in surface and groundwater and the loss of potassium in relation to land use. P 35-158, In: Potassium in Ecosystems, Biogeochemical Fluxes of Cations in Agro-and Forest-Systems. International Potash Institute, Basel.

15.Gee, G.W., and Bauder, J.W. 2002. Particle size analysis. P 383-409, In: T. Clarke (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. Am. Soc. Agron. Soil Sci. Soc. Am. Madison. WI. 866p.

16. Helmke, P.A., and Sparks, D.L. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. P 551-574, In: (Eds.) Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T. and Sumner, M.E. Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical methods. Am. Soc. Agron. Soil Sci. Soc. Am. Madison. WI. 1264p.
17. Kolahchi, Z., and Jalali, M. 2007. Effect of water quality on the leaching of potassium from sandy soil. J. Arid Environ. 68: 624-639.
18. López-Aguirre, J.G., Javier, F.L., Jaime, M.O., Sergio, A.E., María, F.B., and Martín, G.R. 2007. Salt leaching process in an alkaline soil treated with elemental sulphur under dry tropic conditions. World J. Agric. Sci. 3: 3. 356-362.
19. Mengel, K., and Kirkby, E.A. 2001. Principles of plant nutrition, 5th Eds. Kluwer Acad. Publishers, Dordrecht, 849p.
20. Mirzaei-Varoei, M., Fekri, M., and Mahmoodabadi, M. 2014. Effect of differentsalts on soluble potassium leaching in soil columns. J. Soil Manage. Sust. Prod. 4: 2. 25-47. (In Persian)
21. Oliveira, M.W., Trivelin, P.C.O., Boaretto, A.E., Muraoka, T., and Mortatti, J. 2002. Leaching of nitrogen, potassium, calcium and magnesium in a sandy soil cultivated with sugarcane. Pesq, agroppec. Brasilia. 37: 6. 861-868.
22. Rahmatullah, B.Z., Shaikh, M.A., and Salim, M. 1994. Bioavailable potassium in river-bed sediments and release of interlayer potassium in irrigated arid soils. Soil Use Manage. 10: 43-46.
23. Rengel, Z., and Damon, P.M. 2008. Crops and genotypes differ in efficiency of potassium uptake and use. Physiol. Plant. 133: 624-636.
24. Rezaei, J.D., and Movahedi Naeini, S.A.R. 2009. Kinetics of potassium desorption from the loess soil, soil mixed with zeolite and the clinoptilolite zeolite as influenced by calcium and ammonium. J. Appl. Sci. 9: 18. 3335-3342.
25. Rhoads, J.W. 1996. Cation exchange capacity. P 149-158, In: (Eds.), Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T. and Sumner, M.E. Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical methods. Am. Soc. Agron. Soil Sci. Soc. Am. Madison. WI. 1264p.
26. Römheld, V., and Kirkby, E.A. 2007. Magnesium functions in crop nutrition and yield. Proc. 616 Inter. Fert. Soc. York, UK.
27. Shahbanpour-Shahrestani, M., Afyuni, M., and Mousavi, S.F. 2003. Bromide transport in soils under different cultivated crops. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Water and Soil Science. 6: 4. 79-89. (In Persian)
28. Sparks, D.L., and Huang, P.M. 1985. Physical chemistry of soil potassium. P 201-276, In: R.D. Munson (Ed.), Potassium in Agriculture. Soil Sci. Soc. Amer. J.
29. Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T., and Sumner, M.E. 1996. Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical methods. Am. Soc. Agron. Soil Sci. Soc. Am. Madison. WI. 1264p.
30. WHO. 1993. Guidelines for Drinking Water Quality. 1. Recommendation, 2nd ed. World Health Organization, Geneva.
31. Yazdanpanah, N., and Mahmoodabadi, M. 2011. Study on changes of nitrogen, phosphorous and potassium macronutrients and microbial respiration in ameliorating process of saline sodic soil. J. Water Soil. 26: 1. 203-213. (In Persian)
32. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid in soil analysis. 1, Eperimental. Soil Sci. 79: 459-465.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(4), 2016
http://jwsc.gau.ac.ir

Effects of moisture regimes and calcium and sodium on the depth distribution of potassium in the gypsum soil

M. Mirzaei Veroei[1], *M. Fekri[2] and M. Mahmoodabadi[3]

[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman,
[2]Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman,
[3]Associate Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman
Received: 01/16/2015; Accepted: 01/12/2016

Abstract

Background and Objectives: Potassium is one of the macro nutrients, which plays a major role in the growth and development of plants. One of the factors affecting the amount of soluble and exchangeable potassium is the leaching. Study the movement of potassium in agricultural soils and reduce leaching of recommended fertilizer to subsurface soil and out of the root zone is essential .The aim of this study was to evaluate the depth distribution and potassium exchange by salts of calcium and sodium in different water regimes.

Materials and Methods: Effects of calcium and sodium salts on the depth distribution of soluble and exchangeable potassium in a calcareous soil were studied under the influence of different moisture regimes. The experimental design was a factorial with three replications. Treatments were four levels of salt (calcium chloride, calcium sulfate and sodium chloride, each 10 meq/kg of soil and one without salt or control), three levels of the moisture regimen of soil (50%, 75% and 100% of the water holding capacity in the soil) and three depths of soil columns (5, 10 and 20 cm). The concentrations of soluble and exchangeable potassium were measured in the treated soils.

Results: The results showed that the concentration of exchangeable and soluble potassium in the soil profile depends on the moisture regime's treatment. The maximum and minimum of the soluble or exchangeable potassium of soil was found in the moisture regime of 50% and 100%, respectively and these values increased with increasing soil depth. The ratio of exchangeable potassium to soluble increased with increasing the soil moisture. The salts of calcium chloride> sodium chloride> calcium sulfate, respectively, had highest effects in the soluble and exchangeable potassium soil and also increased their ratio in the soil profile. The higher levels of the soil water increased the movement of potassium in the soil profile. Probably, the ionic strength and charge of cations of solution salts applied increase the concentrations of soluble and exchangeable potassium in the soil. The calcium ions cause soil particles to be collected and the result is an increase in soil permeability. It is another reason that more immigration potassium ions in the presence of calcium.

Conclusion: High leaching, especially in saline soils not only the leaching of potassium and out of reach of the element for plants but also pollute groundwater resources and this would be considered a serious threat to the environment. In the end, it can be stated that the correct planning and management of resources for the proper use of potassium fertilizers, accuracy and attention to quality irrigation water consumption affect potassium leaching loss.

Keywords: Potassium, Soil moisture, Sodium, Calcium

* Corresponding Author; Email: mjdfekri@yahoo.com