

سهم پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی خاک و اجزای رس و سیلت در میزان پتاسیم قابل استفاده گیاه ذرت در تعدادی از خاک‌های لسی و شبه لسی استان گلستان

اکرم فرشادی راد^{۱*} و اسماعیل دردی پور^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۷/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۳/۱۰)

چکیده

تعیین روابط تعادلی بین شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک و اجزای تشکیل دهنده آن می‌تواند در حل پاره‌ای از مسائل تغذیه‌ای مانند تثبیت و آزادسازی پتاسیم و مدیریت کودی آن در خاک کمک کند. این تحقیق با هدف تعیین سهم پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی خاک و اجزای آنها (رس و سیلت) در میزان پتاسیم قابل استفاده گیاه در طی یک کشت گلدانی ذرت در ۱۲ سری از خاک‌های لسی و شبه‌لسی استان گلستان انجام شد. کل پتاسیم جذب شده توسط گیاه ذرت در آزمایش گلخانه‌ای به‌عنوان شاخصی از مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که در همه خاک‌ها سهم پتاسیم تبادلی در جذب پتاسیم گیاه، بیشتر از پتاسیم غیرتبادلی در بخش رس بود. درحالی‌که در جزء سیلت همه خاک‌ها، سهم پتاسیم غیرتبادلی در جذب پتاسیم گیاه به جز خاک سری اوقچی با بیشترین مقدار پتاسیم تبادلی اولیه، بیشتر از پتاسیم تبادلی بود. بنابراین در خاک‌های لسی و شبه‌لسی، جزء سیلت منبع مهمی برای تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه است.

کلمات کلیدی: پتاسیم، رس، سیلت

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۲. گروه خاک‌شناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Farshadirad@gmail.com

مقدمه

پتاسیم یکی از عناصر اصلی مورد نیاز گیاهان می باشد که نقش های بسیار مهمی در فتوسنتز، تقسیم سلولی و رشد، ساختن پروتئین ها، کمیت و کیفیت محصولات و در اقتصاد آب برای گیاه دارد (۲۰). پتاسیم در خاک به چهار شکل محلول، تبادل، تثبیت شده و ساختمانی وجود دارد. بین شکل های مختلف پتاسیم در خاک رابطه تعادلی وجود دارد و این روابط تعادلی در تغذیه گیاه از اهمیت بالایی برخوردار می باشند. اگرچه پتاسیم به شکل تبادل و محلول به عنوان دو شکل قابل دسترس برای گیاه تلقی می شوند، ولی مطالعات و تحقیقات انجام شده نشان می دهند که دو شکل پتاسیم تثبیت شده (غیرتبادلی) و ساختمانی نیز می توانند در تغذیه گیاه نقش داشته باشند (۲۴). نتایج حاصل از مطالعه تریبیوت و همکاران (۲۳) نشان دادند که کشت شبدر و ری گرس، بدون کاربرد کود پتاسه، منجر به کاهش قابل توجه در مقدار کانی ایلیت موجود در بستر کشت و افزایش اسمکتیت و کانی های مختلط ایلیت-اسمکتیت شده است و نتیجه گرفتند که حذف پتاسیم توسط گیاهان در اثر کاهش و تخلیه پتاسیم بین لایه ای در ایلیت به وجود آمده، که با تخریب کانی های رسی همراه است.

پورتالا و همکاران (۱۹) رابطه مهمی ($r=0/82$ و $P < 0/001$) بین پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده طی سیستم محصول دهی شدید و درصد ایلیت در ۲۰ خاک شمال پرتقال به دست آورد. نیس و همکاران (۱۷) با بررسی آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در ذرات با اندازه ذرات مختلف به این نتیجه رسیدند که وقتی سطوح اولیه پتاسیم قابل تبادل در خاک کم باشد، میزان شرکت پتاسیم غیرتبادلی در تغذیه گیاه بیشتر است. منگل و کرک بای (۱۳) در آزمایشات خود به این نتیجه رسیدند که توانایی گیاهان تک لپه برای آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی از فیلوسیلیکات ها می تواند توجیه کننده سهم زیاد پتاسیم غیرتبادلی در تغذیه معدنی آنها باشد.

براساس مطالعات انجام شده از ۲۲ هزار کیلومتر مربع مساحت استان گلستان ۳۲۰ هزار هکتار از آن دارای منشأ لسی

هستند که این مسئله اهمیت مطالعه این خاک ها را می رساند. حدود ۷۰-۹۰ درصد مواد تشکیل دهنده رسوبات لسی را مواد سیلتی با قطر متوسط ۱۵/۶-۱۲۵ میکرون یعنی سیلت متوسط تا ماسه خیلی ریز تشکیل می دهد (۲)، اما در اثر هوازدگی و تجزیه و تخریب شیمیایی می تواند درصد مواد رسی آن افزایش یافته و خاک های شبه لسی به وجود می آید (۱۱). بنابراین لس ها حاوی سیلت زیادی هستند و عموماً کانی های از نوع میکا که حاوی پتاسیم زیادی هستند، در آنها یافت می شود. میزان پتاسیم آزاد شده از این ذرات (سیلت) در تغذیه گیاه اهمیت دارد به طوری که آگاهی از میزان پتاسیم آزاد شده از این کانی ها می تواند به مدیریت کودی این خاک ها کمک کند (۱). دال و همکاران (۶) آزادسازی پتاسیم را از ذرات مختلف خاک در طی کشت گلدانی گندم بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد، مقدار آزادسازی پتاسیم توسط اجزای خاک متفاوت بود، به طوری که جزء رس درشت بیشترین میزان آزادسازی و در رس متوسط و ریز میزان آزادسازی پتاسیم به ترتیب میزان متوسط و کمی را به خود اختصاص داد. سیمارد و همکاران (۲۱) نشان دادند در بین اندازه ذرات خاک جزء سیلت ریز بیشترین آزادسازی پتاسیم و سیلت متوسط بیشترین آزادسازی منیزیم را داشت. نیس و همکاران (۱۷) در مقایسه بین قدرت ذخیره سازی پتاسیم در ذرات خاک به این نتیجه رسیدند که رس درشت به طور آشکاری از اهمیت بیشتری برخوردار است. تحقیق حاضر با هدف بررسی شکل های مختلف پتاسیم در بخش های سیلت و رس در خاک های لسی و شبه لسی استان گلستان و تعیین سهم پتاسیم تبدلی و غیرتبدلی در تأمین پتاسیم قابل استفاده گیاه ذرت انجام گرفت.

مواد و روش ها

ابتدا نمونه برداری قبل از کشت اراضی به صورت مرکب از سطح (صفر تا ۳۰ سانتی متری) ۱۲ سری از خاک های لسی و شبه لسی استان گلستان انجام شد. نمونه ها پس از هواخشک شدن و عبور از الک ۲ میلی متری به آزمایشگاه منتقل شد. بافت خاک به روش

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منتخب خاک‌های مورد مطالعه

ردیف	نام سری	رده خاک	پ-هاش	رس	سیلت	شن	آهک	ماده آلی	هدایت الکتریکی	ظرفیت تبادل کاتیونی
					(%)				dS/m	cmol ₍₊₎ /kg
۱	قره سو	Aquic Haploxerepts	۷/۵۵	۴۸	۴۰	۱۲	۲۵/۰	۲/۶۹	۳/۳۰	۲۷/۲۳
۲	صوفیان	Typic Calcixerepts	۷/۴۳	۲۶	۶۲	۱۲	۱۲/۵	۱/۳۳	۰/۳۰	۱۷/۸۷
۳	مینودشت	Typic Calcixerols	۷/۳۵	۳۹	۵۶	۵	۱۰/۰	۳/۳۱	۰/۵۴	۲۹/۷۶
۴	دانشمند	Typic Haplosalids	۷/۴۵	۵۹	۳۷	۴	۱۲/۵	۱/۳۱	۴/۰۰	۳۹/۰۱
۵	آریادشت	Typic Haplosalids	۷/۳۲	۳۲	۵۶	۱۲	۱۶/۰	۱/۶۸	۱۵/۱۱	۲۲/۹۷
۶	گنبد	Typic Haploxerepts	۷/۷۲	۳۴	۴۱	۲۵	۱۱/۰	۳/۶۱	۳/۰۶	۳۲/۰۷
۷	یلی بدراق	Typic Calcixerepts	۷/۴۱	۳۲	۶۴	۴	۱۲/۵	۱/۹۵	۰/۱۵	۱۷/۴۳
۸	هتن-چات	Typic Torriorthents	۷/۳۳	۲۵	۶۰	۱۵	۱۱/۵	۱/۳۸	۲/۰۲	۱۴/۷۴
۹	اوقچی	Typic Haploxerepts	۷/۴۳	۱۶	۶۰	۲۴	۵/۰	۱/۶۵	۰/۱۴	۱۵/۵۶
۱۰	گرگان	Typic Calcixerolls	۷/۳۹	۳۰	۴۴	۲۶	۲۸/۰	۲/۴۴	۰/۳۰	۲۷/۲۳
۱۱	داشلی برون	Typic Torriorthents	۷/۴۵	۲۹	۴۶	۲۵	۱۷/۰	۱/۱۱	۵/۴۴	۱۸/۸۲
۱۲	رامیان	Typic Haploxerolls	۷/۵۶	۳۰	۴۱	۲۹	۱۵/۰	۲/۸۴	۰/۹۶	۲۵/۷۱

جوشان نرمال تعیین گردید (۱۰) به این ترتیب که ۲ گرم از خاک هواخشک آزمایش قبلی پس از توزین در ارلن مایر ۲۵۰ میلی لیتری ریخته شد و سپس مقدار ۲۰ میلی لیتر اسید نیتریک ۱ مولار به آن اضافه گردیده و روی اجاق الکتریکی قرار داده شد. وقتی جوشش شروع شد، گرمای اجاق را تنظیم کرده تا به مدت ۱۵ دقیقه به آرامی بجوشد. فلاسک را از روی اجاق الکتریکی برداشته و به مدت ۵ دقیقه خنک گردید. سپس محتویات آن با کاغذ صافی شماره ۵۰ به داخل بالن ۱۰۰ میلی لیتری صاف شد. پس از آن ۴ بار با ۱۵ میلی لیتر اسید نیتریک ۰/۱ مولار، ارلن مایر داخل قیف و بالن ۱۰۰ میلی لیتری شسته شد و پس از اینکه آخرین قطرات هر بار شستشو به اتمام رسید و خشک گردید، شستشوی بعدی را انجام شد، در خاتمه با اسید نیتریک ۰/۱ مولار، بالن به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد. پتاسیم کل به وسیله هضم با اسید HF تعیین شد (۸). مقدار ۰/۵ گرم خاک به دقت توزین و داخل ظرف تفلونی مخصوص ریخته شد. سپس مقدار ۱ میلی لیتر از تیزاب سلطانی (مخلوطی

هیدرومتری، pH به روش الکتروود شیشه‌ای در گل اشباع و هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (۱۸) ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم با $pH = 8.2$ (۴)، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر با اسید کرومیک و تیترا کردن با فرو آمونیوم سولفات به روش نلسون (۱۶) اندازه‌گیری شد (جدول ۱). سپس شکل‌های مختلف پتاسیم خاک اندازه‌گیری شد. پتاسیم محلول خاک توسط آب مقطر با نسبت ۱ به ۵ خاک به آب اندازه‌گیری شد. سوسپانسیون آب و خاک به مدت ۳۰ دقیقه تکان داده شد سپس به مدت ۵ دقیقه و با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. پتاسیم تبادلی توسط عصاره‌گیری با استات آمونیوم ($pH = 7$) و یک نرمال انجام شد. به این ترتیب که ۲/۵ گرم از خاک را در لوله سانتریفیوژ ریخته و در سه نوبت به آن ۳۳ میلی لیتر استات آمونیوم نرمال و خنثی اضافه شد. سپس به مدت ۱۰ دقیقه تکان داده شد و به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید تا محلول رویی صاف و شفاف شود. پتاسیم غیرتبادلی به روش اسید نیتریک

[۱] $C - (B - A) =$ پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده

که در آن C جذب کل گیاه پس از چهار مرحله برداشت، B مقدار پتاسیم تبادلی اولیه و A مقدار پتاسیم تبادلی بعد از چهار مرحله برداشت است. جهت انجام مقایسه میانگین مقدار پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی قبل و بعد از کشت از طرح اسپلیت پلات در زمان با سه فاکتور نوع خاک (۱۲ سری خاک)، اجزاء خاک (رس، سیلت و کل خاک) و زمان (قبل و بعد از برداشت) استفاده شد. به این ترتیب تجزیه و تحلیل داده ها توسط نرم افزار SAS و مقایسات میانگین داده ها با استفاده از آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

شکل های مختلف پتاسیم در خاک و اجزاء آن

میزان پتاسیم تبادلی در نمونه های خاک، رس و سیلت به ترتیب از ۱۰۳-۴۷۶ (متوسط ۲۶۰)، ۱۸۱/۲-۵۶۱/۶ (متوسط ۳۹۰) و ۳۵/۹-۱۶۰/۱۹ (متوسط ۸۷/۵۱) میلی گرم در کیلوگرم متغیر بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که پتاسیم غیرتبادلی در بخش رس و سیلت به ترتیب بین ۶۶۸ تا ۱۵۸۷ و ۱۳۳ تا ۹۶۴ میلی گرم بر کیلوگرم خاک بود. نتایج تحقیق حسین پور و همکاران (۲)، آجیبوی و آگونوال (۳) و فاتیما و همکاران (۷) به ترتیب بر روی خاک های گیلان، مصر و هلند نشان داد پتاسیم غیرتبادلی بخش رس این خاک ها از پتاسیم غیرتبادلی بخش سیلت بیشتر بود.

وزن خشک گیاه و جذب پتاسیم توسط آن

نتایج مقایسات میانگین داده های حاصل از آزمایش گلخانه ای نشان داد (جدول ۳) که خاک شماره ۳ (سری مینودشت) عملکرد و برداشت پتاسیم بیشتری را در پایان چهار مرحله برداشت داشته است. خاک شماره ۸ (هتن-چات) هم به دلیل درصد رس کمتر و همچنین حضور کانی مختلط میکا-اسمکتیت (۳)، دارای کمترین وزن خشک و جذب پتاسیم توسط گیاه بود. تربیووت و همکاران (۲۳) نشان دادند که

از یک قسمت HNO_3 غلیظ با سه قسمت از HCl غلیظ) و ۱۰ میلی لیتر از اسید HF با استفاده از پیپت پلاستیکی به آن اضافه گردید. نمونه ها به مدت ۳ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه در داخل آون قرار داده شد. سپس مقدار ۲/۸ گرم از اسید بوریک به داخل بالن پلاستیکی ۱۰۰ میلی لیتری ریخته شد. پس از آن محتویات ظرف تفلونی به داخل بالن پلاستیکی ریخته شد (پس از سرد شدن) و باقیمانده ظرف تفلونی با آب مقطر به خوبی به داخل بالن پلاستیکی شسته شد و محتویات بالن پلاستیکی کاملاً به هم زده شد تا خوب مخلوط گردد. سپس بالن را با آب مقطر به حجم رسانده و محتویات آن در داخل بطری های پلاستیکی بسته نگهداری شد. در نهایت مقدار پتاسیم در عصاره های مختلف فوق با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر اندازه گیری شد. مرحله جداسازی ذرات خاک به روش کیتریک و هوپ (۹) انجام گرفت. در نهایت شکل های مختلف پتاسیم (محلول، تبادلی، غیرتبادلی و کل) در خاک و ذرات جدا شده رس و سیلت هم اندازه گیری شد.

جهت انجام آزمایش های گلخانه ای از گلدان های یک کیلوگرمی و ذرت استفاده شد. در ته گلدان کاغذ صافی قرار گرفت و ۲۰ گرم از خاک یا اجزای آن روی آن قرار گرفت و حجم گلدان با شن شسته شده با آب مقطر پر گردید (۲۲). تعداد ۵ بذر ذرت (*Zea mays var. single cross*) در هر گلدان کشت شد. برای تغذیه گلدان ها از محلول غذایی هوگلند منهای پتاسیم استفاده گردید و آبیاری گلدان ها با آب مقطر انجام شد. هر ۶ هفته گیاهان رشد کرده برداشت شدند و میزان جذب پتاسیم توسط گیاه اندازه گیری شد و آزمایش به مدت ۱۶۸ روز ادامه یافت. با جمع مقادیر پتاسیم جذب شده پس از هر برداشت مقدار جذب کل گیاه به دست آمد. پس از برداشت چهارم، خاک و اجزای آن از گلدان ها جداسازی شد و شکل های پتاسیم پس از کشت نیز اندازه گیری گردید. مقدار پتاسیم تبادلی جذب شده از اختلاف مقدار پتاسیم تبادلی قبل و بعد از کشت و مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده در طی کشت گلدانی از رابطه ۱ به دست آمد (۲۲):

جدول ۲. شکل های مختلف پتاسیم در خاک و اجزاء آن

شماره	نام سری	پتاسیم محلول			پتاسیم تبادلی			پتاسیم غیرتبادلی			پتاسیم کل (%)		
		رس	سیلت	خاک	رس	سیلت	خاک	رس	سیلت	خاک			
		میلی گرم در کیلوگرم خاک											
۱	قره سو (Aquic Haploxerepts)	۱۲/۱	۱۱/۵	۱۷/۹	۴۸۱	۱۰۰	۲۵۶	۸۴۹	۵۹۹	۷۸۲	۲/۲۸	۰/۸۰	۱/۷۸
۲	صوفیان (Typic Calcixerepts)	۱۳/۵	۱۴/۲	۲۰/۵	۳۸۵	۱۱۵	۲۶۳	۱۲۵۲	۴۶۹	۸۷۰	۲/۱۰	۱/۳۹	۱/۵۱
۳	مینودشت (Typic Calcixerolls)	۸/۷	۹/۸	۱۵/۵	۵۳۹	۶۹	۱۵۰	۸۶۰	۲۱۹	۷۴۷	۲/۳۳	۱/۰۷	۱/۸۰
۴	دانشمند (Typic Haplosalids)	۱۴/۸	۱۶/۵	۲۹/۹	۴۷۶	۸۵	۳۱۳	۸۹۹	۴۲۰	۷۶۷	۱/۷۹	۱/۰۰	۱/۳۸
۵	آریادشت (Typic Haplosalids)	۱۱/۴	۱۲/۷	۱۸/۶	۵۶۱	۶۶	۲۰۹	۱۰۸۹	۶۰۶	۹۵۱	۱/۸۴	۰/۹۳	۱/۵۰
۶	گنبد (Typic Haploxerepts)	۱۲/۹	۱۳/۵	۲۰/۸	۲۱۲	۵۲	۱۴۶	۱۱۵۵	۱۳۳	۷۸۰	۱/۹۶	۱/۱۳	۱/۳۵
۷	یلی بدراق (Typic Calcixerepts)	۱۳/۷	۱۵/۱	۲۳/۱	۲۷۳	۹۴	۲۷۴	۹۴۸	۳۷۷	۸۸۰	۱/۸۰	۰/۹۰	۱/۲۰
۸	هتن-چات (Typic Torriorthents)	۱۲/۰	۱۴/۷	۲۸/۳	۲۶۶	۵۰	۲۷۷	۸۸۹	۲۱۵	۶۳۶	۱/۷۶	۱/۱۲	۱/۴۰
۹	اوقچی (Typic Haploxerepts)	۱۵/۲	۱۸/۳	۳۲/۹	۴۴۸	۱۶۰	۴۷۶	۱۵۸۷	۹۱۴	۱۲۰۰	۱/۶۴	۱/۰۱	۱/۴۵
۱۰	گرگان (Typic Calcixerolls)	۱۳/۹	۱۳/۱	۲۶/۷	۴۰۸	۹۸	۳۵۰	۱۴۹۶	۹۶۴	۱۱۴۶	۲/۲۹	۱/۴۳	۱/۶۰
۱۱	داشلی برون (Torriorthents Typic)	۱۴/۵	۱۵/۱	۳۰/۶	۳۴۵	۱۲۰	۳۱۹	۱۲۶۳	۵۶۱	۹۱۹	۲/۰۰	۱/۳۳	۱/۴۳
۱۲	رامیان (Typic Haploxerolls)	۶/۹	۷/۱	۱۵/۶	۱۸۱	۳۵	۱۰۳	۶۶۸	۲۳۳	۶۳۲	۱/۶۳	۱/۰۲	۱/۳۰

مرحله برداشت داشت و خاک شماره ۱۲ (سری رامیان) کمترین ماده خشک و جذب پتاسیم را به خود اختصاص داد. که دلیل آن را می توان به مقدار پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی بیشتر در خاک شماره ۹ (اوقچی) مربوط دانست.

نتایج مقایسات میانگین وزن خشک گیاه پس از چهار مرحله برداشت (جدول ۳) نشان داد، گیاهان رشد کرده در بخش سیلت خاک شماره ۹ بیشترین میزان وزن خشک را به

برداشت مداوم پتاسیم از خاک های لسی مرکز و شرق اروپا که در ابتدا غنی از میکا بودند، منجر به تشکیل اسمکتایت و کانی های حدواسط شد که ظرفیت پایینی برای نگهداری پتاسیم داشتند.

نتایج مقایسات میانگین پس از چهار برداشت در بخش رس (جدول ۳) نشان داد، خاک شماره ۹ (اوقچی) بیشترین وزن خشک و خاک شماره ۴ بیشترین جذب پتاسیم را پس از چهار

جدول ۳. مقایسه میانگین وزن خشک و میزان جذب پتاسیم توسط گیاه پس از چهار مرحله برداشت

شماره	وزن خشک (گرم در گلدان)			جذب پتاسیم (میلی گرم در کیلوگرم)		
	خاک	رس	سیلت	خاک	رس	سیلت
۱	۱۳/۲ ^b	۱۶/۱ ^e	۸/۹ ^{def}	۳۰/۸ ^d	۳۷۱/۰۹ ^a	۲۳۷ ^e
۲	۱۷/۱ ^a	۲۰/۴ ^b	۱۱/۳ ^{ab}	۳۳۷ ^c	۳۱۵/۳۱ ^{ab}	۲۸۶ ^a
۳	۱۷/۳ ^a	۱۲/۵ ^g	۹/۶ ^{cde}	۳۹۶ ^a	۴۰۱/۱۵ ^a	۱۵۳ ⁱ
۴	۱۱/۲ ^{de}	۱۵/۶ ^{ef}	۸/۶ ^{efg}	۲۷۴ ^g	۴۷۵/۳۷	۱۶۴ ^h
۵	۸/۶ ^f	۱۴/۹ ^f	۸/۱ ^{ef}	۱۷۴ ^j	۴۱۸/۳۴ ^{ab}	۲۶۱ ^c
۶	۱۲/۶ ^{bc}	۱۱/۴ ^h	۷/۹ ^{fg}	۲۹۳ ^e	۱۸۸/۶۵ ^{bcd}	۱۰۲ ^l
۷	۱۱/۷ ^{cd}	۱۵/۶ ^{ef}	۷/۸ ^g	۲۸۵ ^f	۳۲۶ ^{abc}	۱۶۹ ^g
۸	۷/۴ ^g	۱۷/۴ ^d	۱۰/۵ ^{bc}	۱۴۱ ^k	۲۳۶ ^{cd}	۱۳۰ ^j
۹	۱۱/۵ ^d	۲۳/۱ ^a	۱۲/۵ ^{۱a}	۲۵۸ ^h	۴۲۷ ^a	۲۶۸ ^b
۱۰	۱۶/۵ ^a	۱۷/۵ ^d	۹/۳ ^{cde}	۳۸۷ ^b	۳۵۴ ^a	۲۱۶ ^f
۱۱	۱۰/۵ ^e	۱۸/۸ ^c	۱۰/۱ ^{bcd}	۲۰۳ ⁱ	۲۴۶ ^{bcd}	۲۵۷ ^d
۱۲	۹/۵ ^f	۹/۸ ⁱ	۶/۲ ^h	۲۰۹ ⁱ	۱۲۴ ^d	۱۲۴ ^k
میانگین	۱۲/۲۵ ^B	۱۶/۰۹ ^A	۹/۲۶ ^C	۲۷۲/۶ ^B	۳۲۳/۸ ^A	۱۹۷/۶ ^C

حروف کوچک مقایسه میانگین بین خاک‌های مختلف و حروف بزرگ مقایسه میانگین بین میزان

وزن خشک و جذب پتاسیم در بین اجزاء مختلف

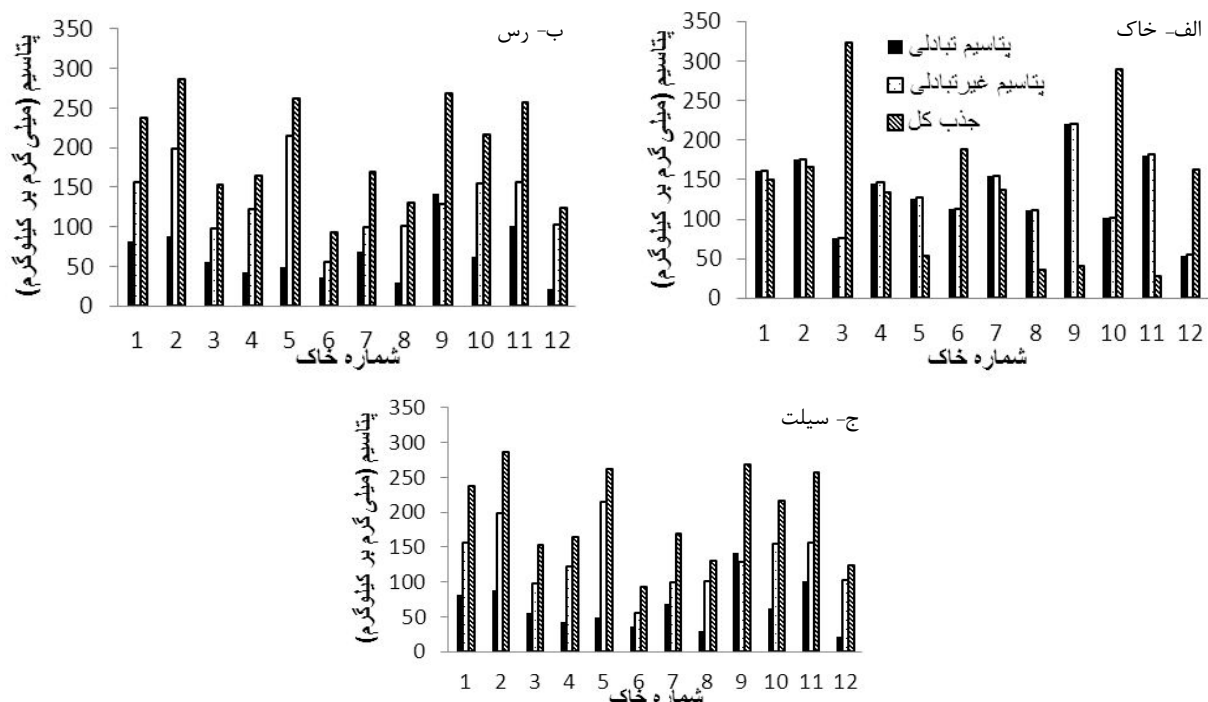
سیلت و کل خاک در تأمین پتاسیم گیاه نقش بالاتری ایفا کرد. آزادسازی متفاوت پتاسیم در سایزهای مختلف اندازه رس و سایزهای مختلف اندازه ذرات خاک نشان دهنده درجه هوادهی میکاست و بهترین توجیه برای میزان فعالیت پتاسیم شبکه‌ای می‌باشد (۶).

سهم پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی در تغذیه گیاه

خاک: سهم پتاسیم تبادلی در جذب کل گیاه در تمامی خاک‌ها به استثنای خاک‌های ۳، ۶، ۱۰ و ۱۲ از پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده بیشتر بود (شکل ۱-الف). احتمالاً با تخلیه پتاسیم محلول و تبادلی، پتاسیم غیرتبادلی از مکان‌های تثبیت شده برای حفظ تعادل خارج شده و به شکل محلول و تبادلی تبدیل می‌شود. بدین ترتیب انتظار می‌رود که در کشت طولانی مدت گیاه در صورت عدم استفاده از کودهای پتاسیمی سهم پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده برای رفع نیاز گیاه افزایش یابد.

خود اختصاص دادند. با توجه به فراهم بودن سایر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه این تفاوت مشاهده شده در وزن خشک گیاه را می‌توان به تفاوت در میزان پتاسیم قابل دسترس گیاه نسبت داد. میزان جذب پتاسیم در خاک شماره ۹ (جدول ۳) پس از خاک شماره ۲ بیشترین مقدار بود. خاک شماره ۱۲ هم با کمترین وزن خشک کمترین میزان پتاسیم را جذب کرد. دلیل آن را می‌توان به پایین بودن مقدار اولیه پتاسیم در بخش سیلت این خاک و نوع کانی‌های موجود در این بخش نسبت داد.

میزان وزن خشک و جذب پتاسیم در تیمار رس بیشترین و در تیمار سیلت کمترین مقدار بود که با نتایج وانگ و همکاران (۲۴) مطابق بود. نتایج آنها نشان داد گیاهان رشد کرده روی ذرات ریزتر پتاسیم بیشتری را نسبت به گیاهان رشد کرده روی ذرات درشت‌تر جذب کردند. بخش رس به دلیل سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتر، مقدار پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی بیشتر و نوع کانی‌های موجود در این بخش نسبت به بخش



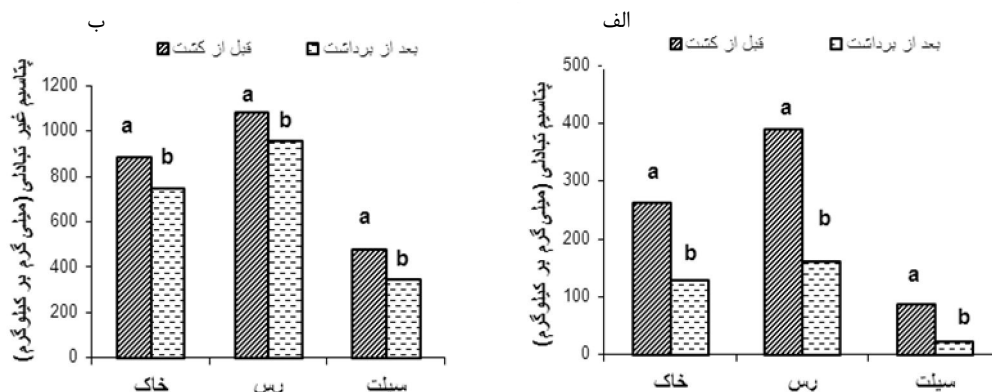
شکل ۱. جذب پتاسیم توسط گیاه و سهم پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی از جذب کل در الف(خاک، ب) رس و ج) سیلت

بخش سیلت: بر خلاف خاک و جزء رس، جزء سیلت به استثنای خاک شماره ۹، پتاسیم غیرتبادلی سهم بیشتری از پتاسیم تبادلی در جذب کل گیاه داشت (شکل ۱-ج). دلیل آن را می‌توان به پایین بودن مقدار پتاسیم تبادلی اولیه در بخش سیلت نسبت داد. به طوری که با جذب پتاسیم توسط گیاه در مراحل اولیه رشد و کاهش پتاسیم تبادلی، نیاز گیاه از طریق آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی بر طرف شده است. نییس و همکاران (۱۷) با بررسی آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی ذرات خاک به این نتیجه رسیدند که وقتی سطوح اولیه پتاسیم قابل تبادل در خاک کم باشد، میزان شرکت پتاسیم غیرتبادلی در تغذیه گیاه بیشتر است. آزمایش‌های منگل و همکاران (۱۴) بر روی ۱۴ نمونه خاک لسی نشان داد تفاوتی در وزن خشک چمن رشد کرده در جزء سیلت + شن و کل خاک وجود ندارد و پتاسیم حاضر در جزء سیلت به آسانی توانست در دسترس گیاه قرار گیرد. داده‌های آنها نشان داد، در خاک‌های لسی جزء سیلت به خاطر میکای زیاد منبع مهمی برای ذخیره پتاسیم مورد نیاز گیاه می‌باشد. کانگ و راماسامی (۱۲)

بخش رس: هم پتاسیم تبادلی در جذب کل پتاسیم توسط گیاه در بخش رس همه خاک‌ها بیشتر از پتاسیم غیرتبادلی بوده است (شکل ۱-ب). دلیل آن را می‌توان به بالاتر بودن سطح پتاسیم قابل تبادل در رس نسبت به خاک و سیلت، نسبت داد. در مقایسه بین قدرت ذخیره سازی پتاسیم در ذرات خاک، رس درشت به طور آشکاری از اهمیت بیشتری برخوردار بود (۱۷). بخش رس خاک شماره ۱ بالاترین سهم پتاسیم تبادلی و خاک شماره ۱۲ کمترین مقدار پتاسیم تبادلی قبل از کشت را داشت و کمترین سهم پتاسیم تبادلی در جذب کل هم مربوط به این خاک بود. از مقایسه شکل ۱ الف و ب می‌توان دریافت، میزان پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی رها شده در بخش رس بیشتر از خاک بوده است. دلیل آن را می‌توان به بالاتر بودن میزان پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی اولیه در بخش رس نسبت داد. سوراپانی و همکاران (۱۵) در مطالعه خاک‌های جنوب نیوزلند سهم پتاسیم غیرتبادلی را در خاک‌هایی که دارای پتاسیم تبادلی کمتری بودند، بیشتر برآورد کردند.

جدول ۴. میانگین درصد سهم پتاسیم تبدالی و غیرتبدالی در مقدار پتاسیم جذب شده توسط گیاه

شکل پتاسیم	خاک	رس	سیلت
تبدالی (mg/kg)	۵۲/۶۳	۶۵/۵۸	۳۲/۱۶
غیرتبدالی (mg/kg)	۴۷/۳۵	۳۴/۴۱	۶۷/۸۴



شکل ۲. مقایسه میانگین الف) مقدار پتاسیم تبدالی و ب) غیرتبدالی قبل از کشت و بعد از برداشت

مختلف پتاسیم و جذب پتاسیم گیاه به دست نیامد اما در بخش رس بین مقدار پتاسیم تبدالی این جزء و جذب پتاسیم گیاه همبستگی بالایی ($R^2=0/92$) در سطح ۱٪ به دست آمد. در بخش سیلت نیز همبستگی معنی داری بین مقدار پتاسیم تبدالی ($R^2=0/77$) پتاسیم غیرتبدالی ($R^2=0/74$) و جذب پتاسیم گیاه در سطح ۱ درصد به دست آمد (جدول ۵).

دال و همکاران (۶) با بررسی آزادسازی پتاسیم از ذرات خاک در طی کشت گلدانی گندم نشان دادند، مقدار پتاسیم موجود در اجزاء رس و سیلت به طور خطی با لگاریتم جذب پتاسیم توسط گیاه برای هر یک از ذرات خاک همبستگی دارند.

نتیجه گیری کلی

مقایسه شاخص های گیاهی در خاک و اجزای آن در این تحقیق نشان داد میزان وزن خشک و جذب پتاسیم در تیمار رس بیشترین و در تیمار سیلت کمترین مقدار بود. مقدار پتاسیم تبدالی اندازگیری شده بعد از کشت در همه تیمارها کاهش یافت.

نتیجه گرفتند به دلیل باندهای ضعیف تر پتاسیم درون لایه ای در خاک های لسی نسبت به خاک های آلوویال و بازالتی، میکا در جزء سیلت و به خصوص بیوتیت جزء کانی های اصلی آزاد کننده پتاسیم در این خاک ها هستند.

میزان پتاسیم تبدالی و غیرتبدالی در پایان کشت گلدانی در نتیجه جذب گیاه در خاک ها کاهش یافت و مقدار پتاسیم تبدالی و غیرتبدالی بعد از کشت با مقدار اولیه آن در خاک و اجزاء در سطح ۰/۰۵ درصد دارای اختلاف معنی دار بود (شکل ۲). سهم پتاسیم غیرتبدالی از جذب کل ۳۴/۴ درصد برای جزء رس بود اما این مقدار به ۴۸ تا ۸۲ درصد برای جزء سیلت رسید. در مورد کل خاک سهم پتاسیم غیرتبدالی به طور میانگین در ۱۲ سری خاک ۴۷/۳۵ بود (جدول ۴). نییس و همکاران (۱۷) نشان دادند سهم پتاسیم غیرتبدالی از جذب کل ذرت ۵۰٪ برای رس ریز بود و به ۸۰ تا ۱۰۰ درصد برای سیلت رسید.

بررسی همبستگی بین شکل های مختلف پتاسیم در خاک و میزان جذب پتاسیم

در خاک های مورد مطالعه همبستگی معنی داری بین شکل های

جدول ۵. همبستگی شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک و اجزای آن با میزان جذب پتاسیم توسط گیاه

سیلت	رس	خاک	پتاسیم
جذب پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم)			(میلی گرم بر کیلوگرم)
۰/۳۶ ^{ns}	۰/۴۱ ^{ns}	-۰/۲۴ ^{ns}	پتاسیم محلول
۰/۷۷ ^{**}	۰/۹۲ ^{**}	۰/۰۰۲ ^{ns}	پتاسیم تبدالی
۰/۸۴ ^{**}	۰/۲۵ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	پتاسیم غیرتبدالی

** در سطح ۱ درصد معنی‌دار ns غیر معنی‌دار

سیلت بود. نتایج این تحقیق نشان داد با وجود سهم بالای بخش رس در فراهمی پتاسیم مورد نیاز گیاه، با توجه به فراوانی جزء سیلت در خاک‌های لسی و اثبات نقش مهم آن در فراهمی پتاسیم مورد نیاز گیاه این جزء می‌تواند به‌عنوان منبع مهم و تأثیرگذار در فراهمی پتاسیم مورد توجه قرار گیرد.

میزان پتاسیم تبدالی آزاد شده در جزء رس بیشترین مقدار بود و سیلت به دلیل مقدار پتاسیم تبدالی و غیرتبدالی کمتر، کمترین مقدار پتاسیم را آزاد کرد. بیشترین مقدار پتاسیم غیرتبدالی در تیمار خاک آزاد شد و پس از آن تیمارهای سیلت و رس قرار داشت. میانگین پتاسیم آزاد شده از بخش رس ۱/۲۵ برابر خاک و میانگین پتاسیم آزاد شده از بخش رس ۱/۷۶ برابر میانگین پتاسیم آزاد شده از بخش

منابع مورد استفاده

۱. خسرویگی، ف. ۱۳۸۴. بررسی فرم‌های مختلف پتاسیم با خصوصیات شیمیایی و کانی شناسی خاک‌های قدیمی در نیم‌مرخ عالی در خاک‌های خان بابا استان گلستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۲. حسین پور، ع.، م. کلباسی و ح. خادمی. ۱۳۸۱. سینتیک رهاسازی پتاسیم غیرتبدالی از خاک و اجزای آن در تعدادی از خاک‌های استان گیلان. مجله علوم خاک و آب ۱۴ (۲): ۹۹-۱۱۳.
۳. فرشادی راد، ا.، ا. دودی پور، ف. خرمالی و ف. کیانی. ۱۳۹۰. شکل‌های پتاسیم در خاک و اجزای آن در تعدادی از خاک‌های لسی و شبه لسی استان گلستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۱۸ (۳): ۱-۱۶.
4. Ajiboye, G. A. and J. A. Ogunwale. 2008. Potassium distribution in the sand and silt and clay. *World. J. Agr. Sci.* 4 (6):709-719.
5. Chapman, H. D. 1965. Cation Exchange Capacity. PP. 891-901. *In: Method of Soil Analysis. Part 2; In: Black, C. A. (Ed.), American Society of Agronomy, Madison, WI.*
6. Dol, E. C., M. M. Mortland, K. Lawton and B. G. Ells. 1965. Release of potassium from soil fractions during cropping. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 29:699-702.
7. Fotima, M. 2007. Content of potassium in different forms in the soils of southeast Poland. *Soil Sci.* 1:19-31.
8. Helmke, P. A. and D. L. Sparks. 1996. Lithium Sodium potassium Rubidium and Cesium PP. 551-574. *In D. L. Sparks et al. (Eds.), Method of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods. Modison, WI.*
9. Kittrick A and E. W. Hope. 1963. A procedure for the particle size separation of soils for X- ray diffraction analysis. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* 37: 201-205.
10. Knudsen, D., G. A Peterson and P. F. Pratt. 1982. Lithium, Sodium and potassium. PP. 225-246 *In: A. L. Page et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2, American Society of Agronomy, Madison, WI.*
11. Kukla, G and Z. S An. 1980. Loess stratigraphy in central china *Palaeogeogr. Palaeclimatol. Palaecocol.* 72:203-225.
12. Kwong, K. F. N. G. and G. Ramasawmi. 2006. Potassium in soils cropped with sugarcane in Mauritius. *Sugar. Technol.* 8 (4): 239-245.
13. Mengel, K. and. E. A. Kirkby. 2001. Principles of Plant Nutrition. Published by Springer. 849p.

14. Mengel, K., Rahmatullah and. H. Dou. 1998. Release of potassium from the silt and sand fraction of loess- derived soils. *Soil. Sci.* 163(10):805-813.
15. Murashkina, M. A., R. J. Southard and. G. S. Pettygrove. 2007. Silt and sand fraction dominate K fixation in soils derived from granitic alluvium of the Sanjoaquin valley California. *Geoderma* 141:283-293.
- 16 Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. PP. 539-579. *In: Page, A.L. (Ed.), Method of Soil Analysis. Part 2, American Society of Agronomy, Madison, WI.*
17. Nibes J, J. E. Dufey, B. Jaillard and. F. Hinsinger. 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. Soil.* 155/156: 403-406.
18. Page, A. L. 1982. *Methods of Soil Analysis. Part 2, American Society of Agronomy, Madison, WI.*
19. Portela E. A. C. 1993. Potassium supplying capacity of northeastern Portuguese soils. *Plant and Soil.* 154:13-20.
20. Saber, M. S. M. and. M. R. Zanaty. 1981. Effectiveness of inoculation whit silicate bacteria in relation to the potassium content of plants using the intensive cropping technique. *Agr. Res.* 59(4): 280-289.
21. Simard, R. S., C. R. Dekimpe and. J. Zizka. 1992. Release of potassium and magnesium from soil fractions and its kinetics. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 56:1421-1428.
22. Surapaneni, A., A. S. Palmer, R. W. Tillman, J. H. Kirkman and P. E. Gereg. 2002. The mineralogy and potassium supplying power of some loessial and related soils of New Zealand. *Geoderma* 110: 191-204.
23. Tributh, H., E. V. Boguslawski, A. V. Lieress, D. Steffens and K. Mengel. 1987. Effect of potassium removal by crops on transformation of illitic clay minerals. *Soil. Sci.* 143:404-409.
24. Wang, J. G., F. S. Zhang, Y. P. Cao and X. L. Zhang. 2000. Effect of plant types on release of mineral potassium from gneiss. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 56: 37-44.