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[1*] و اسماعیل دردی پور[2]

(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 خاک ها 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

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.23.3]

[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.23]

مقدمه

پتاسیم یکی از عناصر اصلی مورد نیاز گیاهان می باشد که نقش‌های بسیار مهمی در فتوسنتز، تقسیم سلولی و رشد، ساختن پروتئین‌ها، کمیت و کیفیت محصولات و در اقتصاد آب برای گیاه دارد (۲۰). پتاسیم در خاک به چهار شکل محلول، تبادلی، تثبیت شده و ساختمانی وجود دارد. بین شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک رابطه تعادلی وجود دارد و این روابط تعادلی در تغذیه گیاه از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشند. اگرچه پتاسیم به شکل تبادلی و محلول به‌عنوان دو شکل قابل دسترس برای گیاه تلقی می‌شوند، ولی مطالعات و تحقیقات انجام شده نشان می‌دهند که دو شکل پتاسیم تثبیت شده (غیرتبادلی) و ساختمانی نیز می‌توانند در تغذیه گیاه نقش داشته باشند (۲۴). نتایج حاصل از مطالعه تریبیوث 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 کانی‌های مختلط ایلیت-اسمکتیت شده است و نتیجه گرفتند که حذف پتاسیم توسط گیاهان در اثر کاهش و تخلیه پتاسیم بین لایه‌ای در ایلیت به‌وجود آمده، که با تخریب کانی های رسی همراه است.

پورتلا و همکاران (۱۹) رابطه مهمی ($P < ۰/۰۰۱$ و $r=۰/۸۲$) بین پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده طی سیستم محصول دهی شدید و درصد ایلیت در ۲۰ خاک شمال پرتقال به‌دست آورد. نیبس 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 وکرک بای (۱۳) در آزمایشات خود به این نتیجه رسیدند که توانایی گیاهان تک لپه برای آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی از فیلوسیلیکات‌ها می‌تواند توجیه کننده سهم زیاد پتاسیم غیرتبادلی در تغذیه معدنی آنها باشد.

براساس مطالعات انجام شده از ۲۲ هزار کیلومترمربع مساحت استان گلستان ۳۲۰ هزار هکتار از آن دارای منشأ لسی هستند که این مسئله اهمیت مطالعه این خاک‌ها را می‌رساند. 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 می‌دهد (۲)، اما در اثر هوادیدگی و تجزیه و تخریب شیمیایی می‌تواند درصد مواد رسی آن افزایش یافته و خاک‌های شبه لسی به وجود می‌آید (۱۱). بنابراین لس ها حاوی سیلت زیادی هستند و عموماً کانی‌های از نوع میکا که حاوی پتاسیم زیادی هستند، در آنها یافت می‌شود. میزان پتاسیم آزاد شده از این ذرات (سیلت) در تغذیه گیاه اهمیت دارد به‌طوری‌که آگاهی از میزان پتاسیم آزاد شده از این کانی‌ها می‌تواند به مدیریت کودی این خاک‌ها 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، به‌طوری‌که جزء رس درشت بیشترین میزان آزادسازی و در رس متوسط و ریز میزان آزادسازی پتاسیم به‌ترتیب 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. نیبس و همکاران (۱۷) در مقایسه بین قدرت ذخیره‌سازی پتاسیم در ذرات خاک به این نتیجه رسیدند که رس درشت به‌طور آشکاری از اهمیت بیشتری برخوردار است. تحقیق حاضر با هدف بررسی شکل‌های مختلف پتاسیم در بخش‌های سیلت و رس در خاک‌های لسی و شبه لسی استان گلستان و تعیین سهم پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی درتأمین پتاسیم قابل استفاده گیاه ذرت انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

ابتدا نمونه‌برداری قبل از کشت اراضی به‌صورت مرکب از سطح (صفر تا ۳۰ سانتی‌متری) ۱۲ سری از خاک‌های لسی و شبه‌لسی استان گلستان انجام شد. نمونه‌ها پس از هواخشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری به آزمایشگاه منتقل شد. بافت خاک به‌روش

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.23.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.23]

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

شماره خاک	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

هیدرومتری، pH به‌روش الکترود شیشه‌ای در گل اشباع و هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (۱۸) ظرفیت تبادل کاتیونی به‌روش استات سدیم با pH =۸/۲ (۴)، کربن آلی به‌روش اکسیداسیون تر با اسیدکرومیک و تیتر کردن با فرو آمونیوم سولفات به‌روش نلسون (۱۶) اندازگیری 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 به‌مدت ۳۰ دقیقه تکان داده شد سپس به‌مدت۵ دقیقه و با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. پتاسیم تبادلی توسط عصاره‌گیری با استات آمونیوم (pH= ۷ و یک نرمال) انجام شد. به‌این ترتیب که ۲/۵ گرم از خاک را در لوله سانتریفیوژ ریخته و در سه نوبت به آن ۳۳ میلی‌لیتر استات آمونیوم نرمال و خنثی اضافه شد. سپس به‌مدت ۱۰ دقیقه تکان داده شد و به‌مدت ۵ دقیقه با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید تا محلول رویی صاف و شفاف شود. پتاسم غیرتبادلی به‌روش اسید نیتریک جوشان نرمال تعیین گردید (۱۰) به‌این ترتیب که ۲ گرم از خاک هواخشک آزمایش قبلی پس از توزین در ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و سپس مقدار ۲۰ میلی‌لیتر 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 به‌مدت۱۵ دقیقه به آرامی بجوشد. فلاسک را از روی اجاق الکتریکی برداشته و به‌مدت ۵ دقیقه خنک گردید. سپس محتویات آن با کاغذ صافی شماره ۵۰ به داخل بالن ۱۰۰ میلی لیتری صاف شد. پس از آن۴ بار با ۱۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۰/۱ مولار، ارلن مایر داخل قیف و بالن ۱۰۰ میلی‌لیتری 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 میلی‌لیتر رسانده شد. پتاسیم کل به‌وسیله 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 میلی‌لیتر از تیزاب سلطانی (مخلوطی

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.23.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.23]

از یک قسمت HNO_3 غلیظ با سه قسمت از HCl غلیظ) و ۱۰ میلی‌لیتر از اسید HF با استفاده از پیپت پلاستیکی به آن اضافه گردید. نمونه‌ها به‌مدت 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 میلی‌لیتری 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 به‌خوبی به داخل بالن پلاستیکی شسته شد و محتویات بالن پلاستیکی کاملاً به‌هم زده شد تا خوب مخلوط گردد. سپس بالن را با آب مقطر به حجم رسانده و محتویات آن در داخل بطری‌های پلاستیکی بسته نگهداری شد. در نهایت مقدار پتاسیم در عصاره‌های مختلف فوق با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد. مرحله جداسازی ذرات خاک به‌روش کیتریک و هوپ (۹) انجام گرفت. درنهایت شکل‌های مختلف پتاسیم (محلول، تبادلی، غیرتبادلی و کل) در خاک و ذرات جدا شده رس و سیلت هم اندازه‌گیری شد.

جهت انجام آزمایش‌های گلخانه‌ای از گلدان‌های 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 گلدان‌ها از محلول غذایی هوگلند منهای پتاسیم استفاده گردید و آبیاری گلدان‌ها با آب مقطر انجام شد. هر ۶ هفته گیاهان رشد کرده برداشت شدند و میزان جذب پتاسیم توسط گیاه اندازه‌گیری شد و آزمایش به‌مدت ۱۶۸ روز ادامه یافت. با جمع مقادیر پتاسیم جذب شده پس از هر برداشت مقدار جذب کل گیاه به‌دست آمد. پس از برداشت چهارم، خاک و اجزای آن از گلدان‌ها جداسازی شد و شکل‌های پتاسیم پس از کشت نیز اندازه‌گیری 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 به‌دست آمد (۲۲):

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

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. به‌این ترتیب تجزیه و تحلیل داده ها توسط نرم‌افزار SAS و مقایسات میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک و اجزاء آن

میزان پتاسیم تبادلی در نمونه‌های خاک، رس و سیلت به‌ترتیب از ۱۰۳– ۴۷۶ (متوسط ۲۶۰)، ۱۸۱/۲–۵۶۱/۶ (متوسط ۳۹۰) و ۳۵/۹ –۱۶۰/۱۹ (متوسط ۸۷/۵۱) میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که پتاسیم غیرتبادلی در بخش رس و سیلت به‌ترتیب بین ۶۶۸ تا ۱۵۸۷ و ۱۳۳ تا ۹۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. نتایج تحقیق حسین‌پور و همکاران (۲)، آجیبوی و آگونوال (۳) و فاتیما و همکاران (۷) به‌ترتیب بر روی خاک‌های گیلان، مصر و هلند نشان داد پتاسیم غیرتبادلی بخش رس این خاک‌ها از پتاسیم غیرتبادلی بخش سیلت بیشتر بود.

وزن خشک گیاه و جذب پتاسیم توسط آن

نتایج مقایسات میانگین داده‌های حاصل از آزمایش گلخانه‌ای 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 به‌دلیل درصد رس کمتر و همچنین حضور کانی مختلط میکا–اسمکتیت (۳)، دارای کمترین وزن خشک و جذب پتاسیم توسط گیاه بود. تریبیوث و همکاران (۲۳) نشان دادند که

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.23.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.23]

جدول ۲. شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک و اجزاء آن

شماره خاک	نام سری	پتاسیم محلول			پتاسیم تبادلی			پتاسیم غیرتبادلی			پتاسیم کل (٪)		
		رس	سیلت	خاک	رس	سیلت	خاک	رس	سیلت	خاک	رس	سیلت	خاک
		میلی‌گرم 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 Calcixerols)	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	داشلی‌برون (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

برداشت مداوم پتاسیم از خاک های لسی مرکز و شرق اروپا که در ابتدا غنی از میکا بودند، منجر به تشکیل اسمکتایت و کانی‌های 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 مرحله برداشت داشت و خاک شماره ۱۲ (سری رامیان) کمترین ماده خشک و جذب پتاسیم را به خود اختصاص داد. که دلیل آن را می‌توان 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

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.23.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.23]

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 (میلی‌گرم در کیلوگرم)		
خاک	خاک	رس	سیلت	خاک	رس	سیلت
۱	۱۳/۲^{b}	۱۶/۱^{e}	۸/۹^{def}	۳۰۸^{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}	۱۲/۵۱^{a}	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}	۹/۸۷^{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}

حروف‌کوچک مقایسه‌میانگین بین‌خاک‌های مختلف وحروف بزرگ مقایسه میانگین بین میزان وزن‌خشک و جذب‌پتاسیم در بین‌اجزاء مختلف

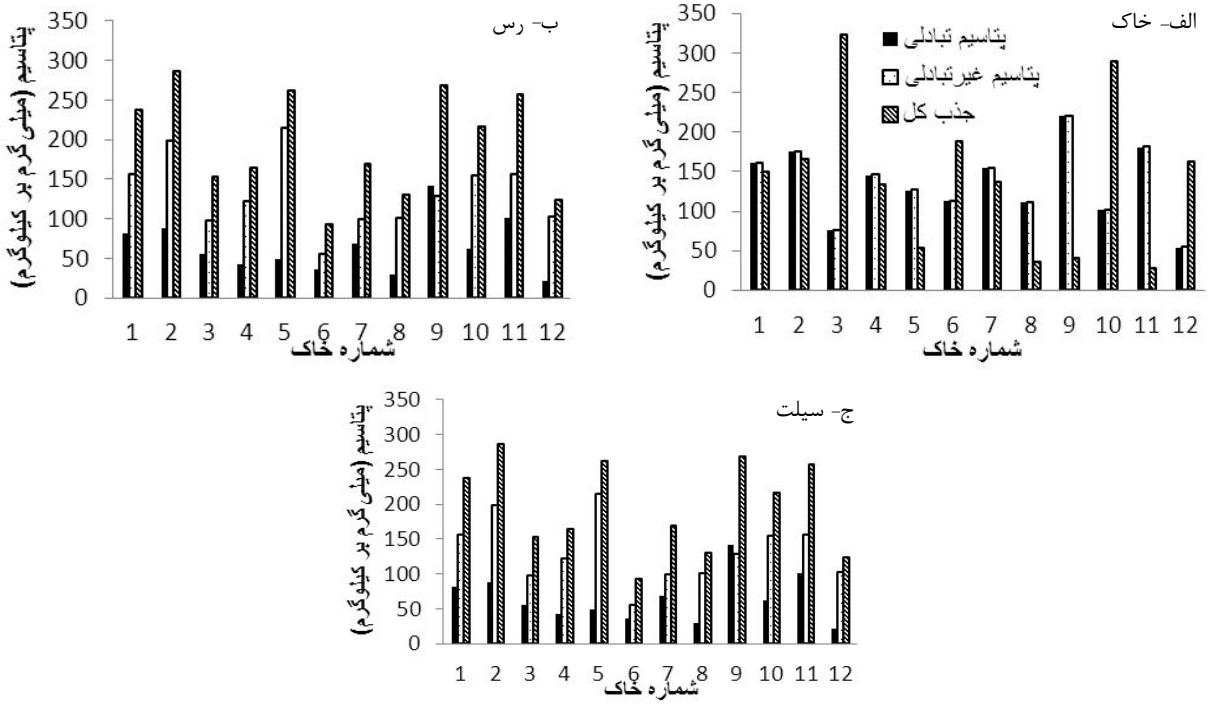
خود اختصاص دادند. با توجه به فراهم بودن سایر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه این تفاوت مشاهده شده در وزن خشک گیاه را می‌توان به تفاوت در میزان پتاسیم قابل دسترس گیاه نسبت داد. میزان جذب پتاسیم در خاک شماره ۹ (جدول ۳) پس از خاک شماره ۲ بیشترین مقدار بود. خاک شماره ۱۲ هم با کمترین وزن خشک کمترین میزان پتاسیم 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 به‌دلیل سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتر، مقدار پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی بیشتر و نوع کانی‌های موجود در این بخش نسبت به بخش 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 هوادیدگی 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. بدین‌ترتیب 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.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.23.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.23]



شکل۱. جذب پتاسیم توسط گیاه و سهم پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی از جذب کل در الف)خاک، ب) رس و ج) سیلت

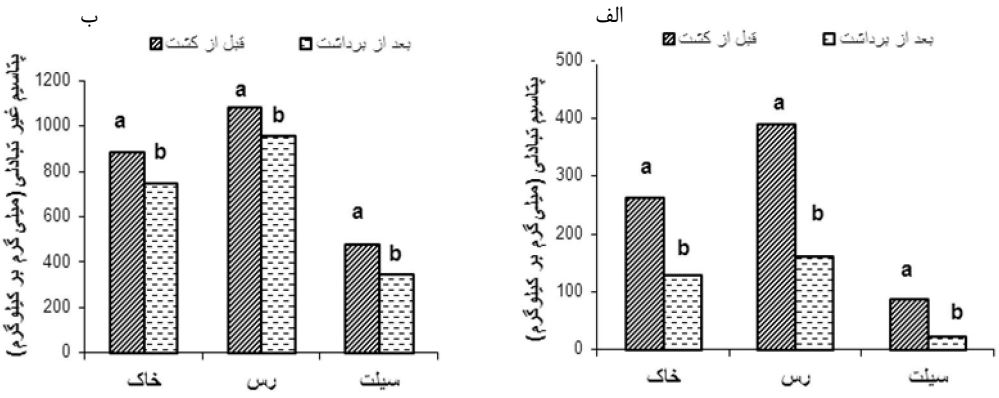
بخش رس: هم پتاسیم تبادلی در جذب کل پتاسیم توسط گیاه در بخش رس همه خاک‌ها بیشتر از پتاسیم غیرتبادلی بوده است (شکل۱- ب). دلیل آن را می‌توان به بالاتر بودن سطح پتاسیم قابل تبادل در رس نسبت به خاک و سیلت، نسبت داد. در مقایسه بین قدرت ذخیره سازی پتاسیم در ذرات خاک، رس درشت به‌طور آشکاری از اهمیت بیشتری برخوردار 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.

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 (شکل۱- ج). دلیل آن را می‌توان به پایین بودن مقدار پتاسیم تبادلی اولیه در بخش سیلت نسبت داد. به‌طوری‌که 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. نیبس 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)

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.23.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.23]

جدول ۴. میانگین درصد سهم پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی در مقدار پتاسیم جذب شده توسط گیاه

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



شکل۲. مقایسه میانگین الف) مقدار پتاسیم تبادلی و ب) غیرتبادلی قبل از کشت و بعد از برداشت

نتیجه گرفتند به‌دلیل باندهای ضعیف‌تر پتاسیم درون لایه‌ای در خاک‌های لسی نسبت به خاک‌های آلوویال و بازالتی، میکا در جزء سیلت و به‌خصوص بیوتیت جزء کانی‌های اصلی آزاد کننده پتاسیم در این خاک‌ها هستند.

میزان پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی در پایان کشت گلدانی در نتیجه جذب گیاه در خاک‌ها کاهش یافت و مقدار پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی بعد از کشت با مقدار اولیه آن در خاک و اجزاء در سطح ۰/۰۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار بود (شکل ۲). سهم پتاسیم غیرتبادلی 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 غیرتبادلی به‌طور میانگین در ۱۲ سری خاک ۴۷/۳۵ بود (جدول ۴). نیبس و همکاران (۱۷) نشان دادند سهم پتاسیم غیرتبادلی از جذب کل ذرت۵۰٪ 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 خاک‌های مورد مطالعه همبستگی معنی‌داری بین شکل‌های مختلف پتاسیم و جذب پتاسیم گیاه به‌دست نیامد اما در بخش رس بین مقدار پتاسیم تبادلی این جزء و جذب پتاسیم گیاه همبستگی بالایی (R^2=۰/۹۲) در سطح ۱٪ به‌دست آمد. در بخش سیلت نیز همبستگی معنی‌داری بین مقدار پتاسیم تبادلی (R^2=۰/۷۷) پتاسیم غیرتبادلی (R^2=۰/۷۴) و جذب پتاسیم گیاه در سطح ۱ درصد به‌دست آمد (جدول۵).

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.

نتیجه‌گیری کلی

مقایسه شاخص‌های 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 تبادلی اندازگیری شده بعد از کشت در همه تیمارها کاهش یافت.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.23.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.23]

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

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

** در سطح ۱ در صد معنی‌دار ns غیر معنی‌دار

میزان پتاسیم تبادلی آزاد شده در جزء رس بیشترین مقدار بود و سیلت به‌دلیل مقدار پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی کمتر، کمترین مقدار پتاسیم را آزاد کرد.

بیشترین مقدار پتاسیم غیرتبادلی 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 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.

منابع مورد استفاده

۱. خسروبیگی، ف. ۱۳۸۴. بررسی فرم های مختلف پتاسیم با خصوصیات شیمیایی و کانی شناسی خاک های قدیمی در نیمرخ عالی در خاک های خان بابا استان گلستان. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۲. حسین پور، ع.، م. کلباسی و ح. خادمی. ۱۳۸۱. سینتیک رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی از خاک واجزای آن در تعدادی از خاک های استان گیلان. مجله علوم خاک وآب ۱۴ (۲): ۹۹-۱۱۳.

۳. فرشادی راد، ا.، ا. دردی پور.، ف. خرمالی و ف.کیانی. ۱۳۹۰. شکل های پتاسیم در خاک و اجزای آن در تعدادی از خاک های لسی و شبه لسی استان گلستان. مجله پژوهش های 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 Analysys, 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. Palaeocol.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.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.23.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.23]

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. Effectivness 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. Geregg. 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.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.23.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.23]