تغییرات شکل‌های پتاسیم و کانی‌های رسی در خاک زیر کشت پرتقال با سنین مختلف در شهرستان داراب (استان فارس)

وجیهه شاهرخ، حسین خادمی* و حسین شریعتمداری[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۱۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۰)

چکیده

با وجود اهمیت پتاسیم در تغذیه درختان پرتقال و استفاده از کودهای پتاسه، اطلاعات کمی درباره میزان رهاسازی پتاسیم در ریزوسفر و خاک‌های زیر کشت این محصول وجود دارد. لذا به‌منظور بررسی هوادیدگی کانی‌های میکایی و تغییر شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های زیرکشت درختان پرتقال، از یک باغ بزرگ پرتقال در شهرستان داراب دارای درختان با سنین ۵، ۱۰ و ۲۰ ساله از توده خاک و ریزوسفر درختان و همچنین خاک کشت نشده از سه عمق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۱۰۰-۶۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. غلظت پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی و کانی‌های رسی خاک‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج بیانگر کاهش میانگین پتاسیم محلول و تبادلی خاک‌های زیر کشت نسبت به خاک‌های کشت نشده است. میزان پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های زیر کشت درختان ۲۰ ساله نسبت به درختان دیگر و خاک‌های کشت نشده کاهش نشان می‌دهد. در تمامی نمونه‌ها با افزایش عمق از میزان پتاسیم محلول و تبادلی کاسته می‌شود. همچنین تغییرات کانی‌های رسی نشان‌دهنده کاهش مقدار کانی ایلیت و افزایش کانی‌های اسمکتیت و مختلط ایلیت- اسمکتیت با افزایش سن باغ‌های مورد مطالعه است. با افزایش سن درختان، گسترش سیستم ریشه‌ای و جذب بیشتر پتاسیم خاک، تغییرات کانی‌های رسی نیز با شدت بیشتری صورت گرفته است. لذا بر اساس نتایج به‌دست آمده، به‌منظور جلوگیری از کاهش بیش از حد ذخیره پتاسیم در خاک‌های زیر کشت درختان پرتقال به‌ویژه در باغ‌های با سنین بیشتر، بر کوددهی پتاسیم متناسب با آزمون خاک در منطقه مورد مطالعه تأکید می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، ریزوسفر، کانی‌های رسی، پرتقال

۱. گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: hkhademi@cc.iut.ac.ir

مقدمه

ریشه‌های گیاهان به‌عنوان اندام اصلی برای جذب عناصر غذایی قادر است محدوده وسیعی از اسیدهای آلی را به محیط خاک اطراف خود آزاد کند. حضور این ترکیبات و جمعیت میکروبی، قابلیت استفاده عناصر غذایی و حلالیت عناصر تغذیه‌ای در ریزوسفر را تحت تأثیر قرار داده و تغییرات حاصله گیاه را در مقابله با شرایط شیمیایی سخت یاری می‌دهند (۱۱).

پژوهش‌ها نشان می‌دهند گیاهان به‌دلیل داشتن ترشحات متفاوت، اثرات مختلفی را بر محیط ریزوسفر بر جای می‌گذارند. ریزوسفر گیاهان با اثرات ویژه خود باعث رهاسازی پتاسیم از کانی‌های خاک شده و در این رابطه تغییر و تبدیل کانی‌ها را نیز سبب می‌شوند. این اثرات و تغییرات می‌تواند شرایط متفاوتی را در خاک به‌وجود آورد و مدیریت حاصلخیزی به‌ویژه در مورد عنصر پتاسیم را تحت تأثیر قرار دهد و به‌طور غیرمستقیم با تغییر نوع کانی‌ها بر فراهمی و جذب سایر عناصر غذایی نیز اثر بگذارد (۱۱). شادی و همکاران تأثیر اسیدهای آلی در رهاسازی پتاسیم را به تشکیل کمپلکس با این عنصر و آزاد شدن پروتون نسبت دادند که از این طریق باعث تسهیل هوادیدگی کانی‌ها می‌شود (۲۲).

پتاسیم یکی از عناصر اصلی مورد نیاز گیاه است و به چهار شکل کلی محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختاری در خاک‌ها وجود دارد (۲۵). جذب پتاسیم توسط گیاه با غلظت پتاسیم محلول همبستگی نشان می‌دهد که این غلظت نیز تحت کنترل روابط تعادلی بین پتاسیم محلول، تبادلی و پتاسیم ساختاری در کانی‌های خاک است (۲). پتاسیم ساختاری عمدتاً مربوط به کانی‌های سیلیکاتی لایه‌ای (میکاها) و سایر سیلیکات‌ها (فلدسپارها) است که به‌آرامی آزاد و جایگزین پتاسیم تبادلی شده و در طول فصل رشد در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (۱۱). مطالعات زیادی نشان داده‌اند که آزادسازی پتاسیم از ذخایر غیرتبادلی یا ساختمانی می‌تواند به‌طور معنی‌داری در میزان پتاسیم جذب شده توسط گیاه نقش داشته باشد (۲۳).

مارکویتز و ریچتر تغییرات قابل توجهی در شکل‌های مختلف پتاسیم خاک در یک دوره ۲۸ ساله در اکوسیستم کاج را گزارش کردند که به تخلیه پتاسیم از بخش ساختمانی کانی‌های رسی خاک (ورمیکولیت) نسبت دادند (۱۷). خیامیم و همکاران، توانایی جذب پتاسیم از محیط حاوی فلوگوپیت در دو گیاه جو و فستوکا در یک آزمایش ۱۲۰ روزه را بررسی و گزارش کردند که این کانی نیاز هر دو گیاه به پتاسیم را برطرف کرده است، هر چند که میزان جذب پتاسیم در جو بالاتر ولی غلظت این عنصر در اندام‌های هوایی فستوکا بیشتر بوده است (۱۵). سواروپ و چیلار کاهش پتاسیم غیرتبادلی خاک را در نتیجه جذب گیاهان گندم و برنج و مشارکت پتاسیم غیرتبادلی در تغذیه گیاه نشان دادند (۲۶).

پژوهشگران گزارش کرده‌اند گیاهان قادرند سطح پتاسیم محلول را در نزدیکی ریشه‌های فعال به کمتر از سه میکروگرم در لیتر (۰/۰۷۷ میکرومول در لیتر) کاهش دهند که این امر موجب رهاسازی قابل توجه پتاسیم غیرتبادلی می‌شود (۲). نوروزی و خادمی، توانایی ریشه‌های گیاه یونجه در تغییر کانی‌های میکایی فلوگوپیت، بیوتیت و مسکوویت همراه با آزاد شدن پتاسیم بین لایه‌ای و ورمیکولیتی شدن میکا در ریزوسفر این گیاه را مطالعه کردند. نتایج نشان داد که یونجه قادر به آزادسازی پتاسیم بین لایه ای از فلوگوپیت و بیوتیت در طول دوره کشت بوده و پتاسیم آزاد شده بخش قابل توجهی از نیاز گیاه را تأمین می‌کند (۲۱).

وانگ و همکاران، اثر گونه‌های مختلف گیاهی ذرت، یونجه و یولاف در آزادسازی پتاسیم از گنیس در مدت هفت هفته آزمایش را مطالعه و گزارش کردند که یونجه قادر به آزادسازی پتاسیم ساختمانی گنیس نبوده است. قدرت اسیدی کردن ریزوسفر، نیاز گیاه به پتاسیم، مورفولوژی و فعالیت ریشه از جمله عوامل مؤثر بر رهاسازی پتاسیم ساختمانی از سنگ‌های حاوی کانی‌های پتاسیم‌دار است (۲۹). بررسی کارایی جذب پتاسیم غیرتبادلی خاک در ۱۰ رقم سیب‌زمینی نشان داد که تفاوت توانایی ارقام مختلف در استفاده از پتاسیم در ارتباط با نسبت طول ریشه به وزن خشک و همچنین سرعت جذب پتاسیم در واحد طول ریشه است (۲۷).

پژوهش‌های انجام شده پیرامون تأثیر زمان بر نقش فرایند هوادیدگی بیولوژیکی در تحولات خاک نشان می‌دهد که ترشحات گیاهان با سنین مختلف اثرات متفاوتی بر خصوصیات خاک دارند. حسینی‌فرد تغییرات کانی‌شناسی خاک در باغ‌های پسته با سنین مختلف را مورد ارزیابی قرار داد و کاهش مقدار کانی ایلیت و افزایش کانی اسمکتیت در اثر خروج پتاسیم از فضای بین لایه‌ای در اثر فعالیت ریشه گیاهان و جذب پتاسیم را گزارش کرد (۱۱). میتال و همکاران تخلیه پتاسیم در خاک‌های نیمه‌خشک هند تحت شرایط کوددهی طولانی مدت را بررسی کردند و کاهش میزان پتاسیم تبادلی در طول ۱۲ سال کشت متراکم ارزن- گندم، از ۶۲۰ به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار را نشان دادند (۱۹). بارانی مطلق و ثواقبی تخلیه پتاسیم از خاک‌های زیرکشت نیشکر خوزستان را ارزیابی و کاهش ۵۶ درصدی پتاسیم تبادلی و ۵۴/۴ درصدی پتاسیم غیرتبادلی را گزارش کردند (۲).

بر اساس آمار ارائه شده توسط سازمان جهاد کشاورزی استان فارس می‌توان گفت مرکبات از مهم‌ترین محصولات بخش کشاورزی و باغبانی در این استان بوده و بنابراین بررسی اثر این گیاهان بر تحولات و تکامل خاک منطقه از اهمیت بسزایی برخوردار است. مرکبات، گیاهانی درختچه‌ای با شاخ و برگ متراکم و یا درختی با گل‌های سفید مایل به ارغوانی و متعلق به خانواده روتاسه (*Rutaceae*) و تحت خانواده اورانتیوئیده (*Aurantioideae*) هستند (۷). گونه‌ای مانند پرتقال (*Citrus sinensis*) از دیدگاه اقتصادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و بعد از سیب دومین میوه‌ای است که در جهان مورد مصرف عموم مردم است (۱۸).

حداکثر بازدهی فرایند تولید محصولات با کیفیت مطلوب، بدون درک و دانش کافی درباره خاک و مواد غذایی مورد نیاز درختان بارور امکان‌پذیر نیست. با وجود مصرف رایج کودهای شیمیایی نیتروژنه، فسفاته و پتاسه در مناطق کشت وکار درختان پرتقال در ایران، اطلاعات کمی درمورد وضعیت عناصر خاک، نیاز غذایی گیاه و توصیه کودی دقیق در دست است. در این رابطه دانش محدودی درباره تخلیه پتاسیم و تغییر اشکال مختلف این عنصر غذایی در خاک‌های زیر کشت مرکبات در ایران در اختیار است. لذا هدف از این پژوهش مطالعه اثر ریزوسفر درختان پرتقال با سنین متفاوت بر وضعیت پتاسیم و کانی‌شناسی رسی خاک در منطقه داراب استان فارس است.

مواد و روش‌ها

مطالعه مورد نظر در برخی باغ‌های پرتقال واقع در شهرستان داراب با محدوده طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی انجام گرفت. میانگین سالانه دمای هوا ۲۲ درجه سانتی‌گراد، میانگین سالانه بارندگی ۲۶۴/۶ میلی‌متر، رژیم حرارتی خاک Hyperthermic و رژیم رطوبتی خاک Tempustic است.

این مطالعه به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. فاکتورهای مورد بررسی شامل سن درخت (چهار سطح)، عمق خاک (سه سطح) و فاصله نمونه از تنه درخت (دو سطح) بودند. به‌منظور نمونه‌برداری، یک باغ بزرگ پرتقال دارای درختان با سنین ۵ (P-۵)، ۱۰ (P-۱۰) و ۲۰ (P-۲۰) سال انتخاب شدند. در مجاورت باغ مورد مطالعه، قطعه زمینی بکر و دست نخورده به‌عنوان شاهد انتخاب شد. ماده مادری، اقلیم و عملیات مدیریتی در باغ‌های مورد نظر را می‌توان کم و بیش یکسان در نظر گرفت.

در فواصل افقی مجاور تنه (به فاصله ۲۰- صفر سانتی‌متری از تنه درخت به‌عنوان ریزوسفر R ۱) و بخش پایانی سایه‌انداز (به‌عنوان توده خاک R ۲) درختان هر باغ و همچنین اراضی بکر، خاک‌رخ حفر و تشریح شد. در مجموع در هر باغ با سن مورد نظر شش خاکرخ و در زمین بکر نیز سه خاکرخ حفر شد. نمونه‌برداری از اعماق ۳۰- صفر، ۶۰- ۳۰ و ۱۰۰- ۶۰ سانتی‌متری هر خاک‌رخ صورت گرفت. نمونه‌های خاک برداشت شده (به تعداد ۶۳ نمونه) برای انجام تجزیه‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌های خاک مربوطه پس از هوا خشک شدن، از الک دو میلی‌متری

جدول ۱. میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های ریزوسفری مورد مطالعه

سن درخت	P۵			P۱۰			P۲۰			شاهد		
	عمق خاک (cm)			عمق خاک (cm)			عمق خاک (cm)			عمق خاک (cm)		
خصوصیات خاک	۰-۳۰	۳۰-۶۰	۶۰-۱۰۰	۰-۳۰	۳۰-۶۰	۶۰-۱۰۰	۰-۳۰	۳۰-۶۰	۶۰-۱۰۰	۰-۳۰	۳۰-۶۰	۶۰-۱۰۰
Ece ($dS\ m^{-1}$)	۰/۳۶	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۵۶	۰/۳۶	۰/۵۱	۰/۶۲	۰/۷	۰/۷۲
pH	۸/۰۹	۸/۱۳	۸/۱۶	۷/۹۵	۸/۰۴	۸/۰۱	۷/۸۶	۸/۰۹	۸/۳۶	۷/۹۶	۸/۰۹	۸/۰۹
OM (٪)	۱/۳۳	۰/۸۶	۰/۷۱	۱	۰/۶۸	۰/۶۷	۱/۲۳	۰/۷۱	۰/۶۹	۱/۱۸	۰/۶۴	۰/۵۳
آهک معادل (٪)	۵۰/۶	۵۰/۱	۵۰/۴	۴۹/۵	۵۰/۵	۵۲/۱	۵۱/۱	۵۰/۸	۵۲/۲	۵۳/۸	۵۴/۹	۵۵
رس (٪)	۲۲/۵	۲۳/۷	۲۰/۷	۲۴/۳	۲۴/۱	۲۱/۹۲	۱۸/۴	۱۸/۸۳	۱۸/۳۵	۱۸/۵	۱۷	۱۵/۳
سیلت (٪)	۴۳/۵	۴۰/۶	۳۷/۱	۳۷/۶	۳۹/۳	۴۲/۴	۴۱/۹	۴۴/۸	۴۵/۳	۴۴	۴۲/۹	۴۲/۲
شن (٪)	۳۴	۳۵/۷	۴۲/۲	۳۸/۱	۳۶/۶	۳۵/۷	۳۹/۷	۳۶/۳	۳۶/۴	۳۷/۵	۴۰/۱	۴۲/۶
بافت	لوم	لوم	لوم	لوم	لوم	لوم	لوم	لوم	لوم	لوم	لوم	لوم
Av-K ($mg\ kg^{-1}$)	۲۸۲	۱۶۱	۱۶۳	۲۷۱	۲۰۹	۱۵۹	۴۷۰	۲۳۹	۱۹۰	۴۸۷	۹۲۱	۴۷۳
Ex-K ($mg\ kg^{-1}$)	۲۷۳	۱۵۹	۱۶۲	۲۶۲	۲۰۶	۱۵۷	۴۳۸	۹۳۵	۱۸۸	۴۵۶	۳۰۹	۲۶۵
So-K ($mg\ kg^{-1}$)	۹/۳	۲/۰۷	۲	۸/۷	۲/۹	۱/۸	۳۲	۳/۶	۲/۸	۳۱	۱۲/۵	۷/۸
Nex-K ($mg\ kg^{-1}$)	۴۰۰۰	۴۰۴۵	۳۹۶۵	۴۰۲۷	۴۱۹۰	۴۱۹۷	۳۳۱۵	۳۴۵۶	۳۹۳۴	۴۶۱۲	۴۵۰۸	۴۷۱۹

عبور داده شدند. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک شامل توزیع اندازه ذرات، هدایت الکتریکی (EC_e)، pH، مواد آلی (OC) و کربنات کلسیم معادل (CCE) با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد (۲۸). شکل‌های مختلف پتاسیم شامل پتاسیم محلول (So-K)، تبادلی (Ex-K) (قابل استخراج با استات آمونیوم نرمال و خنثی)، قابل جذب (Av-K) و قابل عصاره گیری با اسید نیتریک جوشان ارزیابی شد (۱۶). پتاسیم قابل جذب از مجموع پتاسیم محلول و پتاسیم تبادلی به‌دست آمد. پتاسیم غیرتبادلی (Nex-K) بر اساس اختلاف پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک یک مولار جوشان و پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم محاسبه شد.

برای بررسی کانی‌های رسی خاک، از بافر اسید استیک و استات سدیم با پ‌هاش پنج، آب مقطر، آب اکسیژنه ۳۰ درصد و تیمار سیترات- بی‌کربنات- دی‌تیونات به‌ترتیب برای حذف کربنات‌ها و نمک‌های محلول، گچ، مواد آلی و اکسیدهای آهن استفاده شد (۳). پس از آماده‌سازی اولیه، ذرات رس تفکیک شده و تحت تیمارهای اشباع‌سازی با کلرور منیزیوم، اشباع‌سازی با کلرور پتاسیم، اعمال تیمار بخار اتیلن گلیکول روی نمونه‌های اشباع شده از منیزیوم و تیمار حرارتی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد روی نمونه‌های اشباع شده با پتاسیم قرار گرفتند (۹). نمونه‌های تیمار شده با پراش‌سنج پرتو ایکس مدل (Bruker AXS , USA) D8 در محدوده زاویه‌ای ۲ تا ۴۰ درجه در ولتاژ ۴۰ کیلو ولت و شدت جریان ۲۰ میلی‌آمپر با فلز هدف مس در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه پلی‌تکنیک کارتاخنا در اسپانیا بررسی شدند.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

میانگین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های ریزوسفری مورد مطالعه در عمق‌های ۳۰- صفر، ۶۰-۳۰ و ۱۰۰-۶۰ سانتی‌متری در جدول (۱) ارائه شده است.

مقادیر رس، سیلت و شن خاک‌ها به‌ترتیب در محدوده ۱۵

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد بررسی بر صفات شکل‌های پتاسیم و کانی‌های رسی مربوطه

منابع تغییرات	درجه آزادی	پتاسیم محلول	پتاسیم تبادلی	پتاسیم غیرتبادلی	کانی ایلیت	کانی‌های اسمکتیت و مختلط
تکرار	۲	۱/۵*	۰/۱۶^{ns}	۲۱۵۰۸۶^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۱۹/۴^{ns}
سن درخت	۳	۱۰۸**	۵۶**	۴۲۶۵۹۷**	۰/۲**	۸۵**
عمق خاک	۲	۵**	۶/۳**	۷۷۲۹۸^{ns}	۰/۱۶**	۹/۷^{ns}
فاصله از تنه درخت	۱	۰/۲۷^{ns}	۰/۱^{ns}	۴۰۵۵۵۷*	۰/۰۱^{ns}	۳/۷^{ns}
سن درخت × عمق خاک	۶	۰/۱۷^{ns}	۱/۷**	۱۲۸۷۲۲^{ns}	۰/۰۴**	۱۲/۲^{ns}
سن درخت × فاصله از تنه درخت	۲	۱/۲^{ns}	۰/۳۵^{ns}	۴۷۶۵۶۴**	۰/۰۳*	۲۳^{ns}
عمق خاک × فاصله از تنه درخت	۲	۰/۱۳^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۳۳۴۱۷^{ns}	۰/۲**	۹/۷^{ns}
سن درخت × عمق خاک × فاصله از تنه درخت	۴	۰/۰۳^{ns}	۰/۱^{ns}	۷۷۷۵۳^{ns}	۰/۱۶**	۱۵^{ns}
خطا	۴۲	۰/۵	۰/۲۲	۸۷۷۱۷	۰/۰۱	۸/۶
ضریب تغییرات	–	۲۳	۱۲	۷	۴	۱۴

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

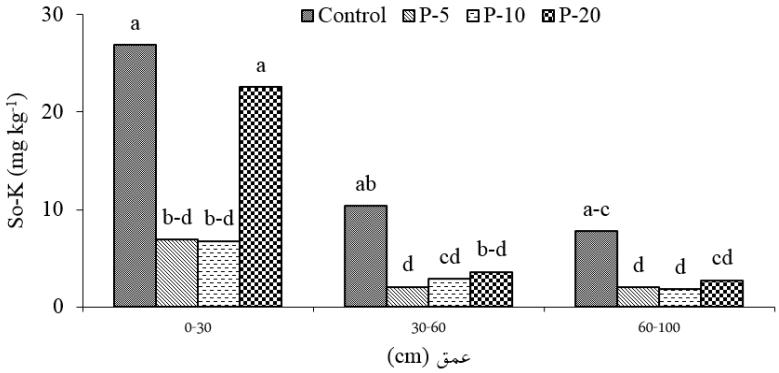
تا ۲۴، ۳۷ تا ۴۵ و ۳۴ تا ۴۲ درصد قرار دارند. نتایج نشان داد که خاک‌های مورد مطالعه دارای مقدار زیادی آهک، ساختمان مکعبی گوشه‌دار و بافت لومی هستند. میانگین ماده آلی خاک در درختان ۵، ۱۰، ۲۰ ساله و زمین بکر به‌ترتیب ۰/۹۷، ۰/۷۸، ۰/۸۷ و ۰/۷۸ درصد به‌دست آمد که بیشترین میزان آن در افق سطحی مشاهده می‌شود و با افزایش عمق از مقدار آن کاسته می‌شود. هدایت الکتریکی در خاک‌های مورد بررسی بسیار کم بوده و در خاک درختان ۵ و ۲۰ ساله به‌ترتیب دارای کمترین و بیشترین مقدار است. ارزیابی پ‌هاش در خاک زیر کشت درختان پرتقال نشان داد که با افزایش عمق خاک، میزان آن افزایش می‌یابدکه می‌توان علت را به کاهش مواد آلی و ترشحات ریشه در اعماق پایین‌تر نسبت داد.

نتایج تجزیه واریانس جدول (۲) نشان می‌دهد که فاکتور سن درخت برای تمامی صفات مورد بررسی، عمق خاک برای همه صفات به جز صفات پتاسیم غیر تبادلی و کانی‌های اسمکتیت و مختلط در سطح یک درصد معنی‌دار هستند درحالی که در فاکتور فاصله از تنه درخت تنها در مورد پتاسیم غیرتبادلی معنی‌داری مشاهده می‌شود. اثر متقابل بین سن درخت و عمق خاک برای صفات پتاسیم تبادلی و کانی ایلیت در سطح یک درصد معنی‌دار هستند. بررسی‌ها گویای این است که اثر متقابل بین سن درخت و فاصله از تنه درخت بر صفات پتاسیم غیر تبادلی و کانی ایلیت و اثر متقابل بین عمق خاک و فاصله از تنه درخت و همچنین اثرات متقابل بین سن درخت، عمق خاک و فاصله از تنه درخت تنها برای صفت کانی ایلیت معنی‌دار هستند و بنابراین صفات دیگر به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر این اثرات متقابل قرار نگرفتند.

پتاسیم محلول

پتاسیم محلول در خاک زیر کشت درختان با سنین متفاوت در محدوده ۱/۸ تا ۲۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم قرار دارد. خاک‌های کشت نشده بیشترین میانگین پتاسیم محلول در خاک و درخت پنج ساله نیز کمترین میزان آن را به‌خود اختصاص داده است (شکل ۱).

آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در عمق ۳۰- صفر سانتی‌متری خاک ریزوسفری، مقدار پتاسیم محلول نمونه‌های مورد مطالعه به‌صورت خاک کشت نشده > درخت ۲۰ ساله > درخت ۵ ساله > درخت ۱۰ ساله است. میزان کاهش پتاسیم درخت ۲۰ ساله نسبت به زمین بایر در سطح پنج درصد تفاوت



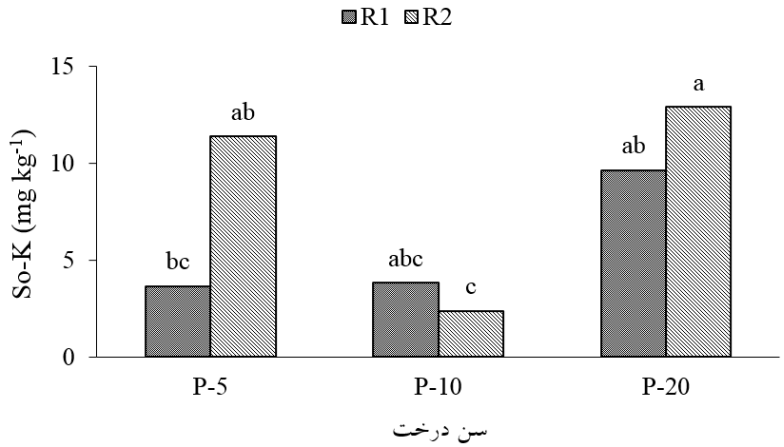
شکل ۱. اثر سن درختان پرتقال بر پتاسیم محلول خاک در اعماق مختلف. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد آماری هستند.

معنی‌دار آماری نداشت درحالی که درختان ۵ و ۱۰ ساله اختلاف معنی‌داری را با درخت ۲۰ ساله و زمین بایر نشان دادند.

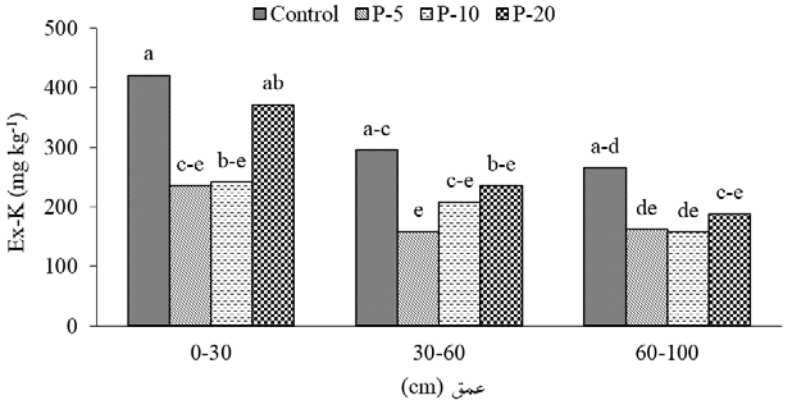
سطح پتاسیم محلول خاک‌های زیر کشت درختان با سنین ۲۰، ۱۰ و ۵ ساله در مقایسه با زمین بایر در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری به‌ترتیب ۶۵، ۷۲ و ۸۰ درصد کاهش می‌یابد و در درختان ۵ و ۱۰ ساله اختلاف معنی‌دار آماری نسبت به زمین بایر مشاهده می‌شود. همچنین در عمق ۱۰۰-۶۰ سانتی‌متری همه خاک‌های زیر کشت، میزان پتاسیم محلول در مقایسه با خاک‌های کشت نشده کاهش نشان می‌دهند. دلیل عمده این کاهش را می‌توان به سابقه کشت مرتبط دانست. حسینی‌فرد و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی وضعیت تخلیه پتاسیم در خاک‌های زیر کشت پسته در رفسنجان روند کاهشی را در خاک درختان نسبت به زمین بایر نشان دادند (۱۲).

نتایج مطالعه نشان داد که میزان پتاسیم محلول خاک با افزایش عمق، کاهش می‌یابد. یکی از دلایل این روند کاهشی، جذب پتاسیم از طریق ریشه و انتقال به درون بافت‌های گیاهی است. احتمالاً بتوان میزان بالاتر پتاسیم محلول در سطح خاک را به هوادیدگی بیشتر این بخش خاک، کوددهی، تجزیه بقایای آلی و همچنین فعالیت میکروبی خاک که می‌تواند منجر به آزادسازی بیشتر پتاسیم از کانی‌های خاک شود نسبت داد. بیشترین درصد کاهش سطح پتاسیم با افزایش عمق در درخت ۲۰ ساله مشاهده شد که دلیل این امر را می‌توان به تراکم بیشتر ریشه در اعماق پایین خاک و جذب بالاتر پتاسیم و تخلیه این ناحیه از خاک دانست. زنگ و همکاران بیان کردند که قسمت عمده پتاسیم مورد استفاده در خاک در بخش سطحی تجمع می‌یابد و حرکت رو به پایین این عنصر به آهستگی صورت می‌گیرد. یکی از دلایل احتمالی برای انتقال آهسته پتاسیم در خاک، تبخیر و تعرق زیاد تابستانه و جریان رو به بالای آب در پروفیل خاک است (۳۰).

با افزایش فاصله از درخت، پتاسیم محلول خاک زیر کشت درختان پنج ساله به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد درصورتی که در خاک‌های زیر کشت درختان ۱۰ و ۲۰ ساله اختلاف معنی‌دار آماری وجود ندارد (شکل ۲). کالواروسو و همکاران گزارش کردند که محلول خاک ریزوسفر درختان مورد مطالعه در مقایسه با توده خاک به‌طور معنی‌داری غنی از پتاسیم است و تجمع عناصر غذایی در محلول ریزوسفری را می‌توان به تفاوت مثبت بین ورودی عناصر (به‌طور عمده از طریق هوادیدگی، معدنی شدن مواد آلی و جریان توده‌ای) و خروجی آنها (به‌طور عمده توسط جذب ریشه‌ای) نسبت داد (۴). با این حال، برخی از پژوهشگران نیز تخلیه کاتیون‌هایی مانند پتاسیم را از محلول ریزوسفر در طول رشد درخت گزارش کردند. این پژوهشگران دریافتند که جذب عناصر غذایی توسط گیاهان می‌تواند به کاهش مواد مغذی در ریزوسفر منجر شود (۱ و ۵).



شکل ۲. اثر فاصله از درخت بر پتاسیم محلول خاک‌های زیر کشت درختان پرتقال با سنین متفاوت. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد آماری هستند. R1 و R2 به‌ترتیب ریزوسفر و توده خاک هستند.



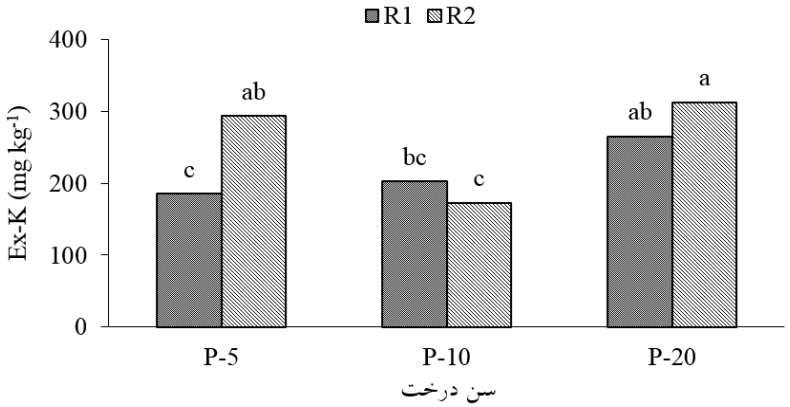
شکل ۳. اثر سن درختان پرتقال بر پتاسیم تبادلی خاک در اعماق مختلف. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد آماری هستند.

پتاسیم تبادلی

میانگین مقادیر پتاسیم تبادلی خاک‌های مورد مطالعه، ۱۸۵ تا ۳۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که بیشترین و کمترین میزان آن به‌ترتیب مربوط به خاک کشت نشده و درخت پنج ساله است. عدم کشت و کار و برداشت پتاسیم خاک توسط گیاه می‌تواند یکی از دلایل افزایش میزان این عنصر در زمین بایر در مقایسه با خاک‌های زیر کشت باشد.

نتایج بیانگر کاهش سطح پتاسیم تبادلی خاک‌های زیر کشت در همه عمق‌ها نسبت به خاک کشت نشده است (شکل ۳). همچنین به نظر می‌رسد با افزایش عمق در همه خاک‌ها پتاسیم تبادلی کاهش یافته است. در همه عمق‌ها نیز بین تیمارهای سن درخت تفاوت معنی‌دار از نظر پتاسیم تبادلی وجود ندارد. افزایش پتاسیم تبادلی در عمق ۳۰- صفر سانتی‌متر نیز می‌تواند مربوط به فعالیت ریشه و همچنین تجزیه بقایای گیاهی باشد که منجر به افزایش حلالیت پتاسیم و در نتیجه افزایش پتاسیم تبادلی می‌شود. الگوی تغییرات پتاسیم تبادلی بین تیمارها تا حد زیادی مشابه تغییرات پتاسیم محلول است.

مطالعه خاک‌های زیرکشت نیشکر در خوزستان توسط بارانی مطلق و ثواقبی فیروز آبادی، کاهش ۵۴ و ۵۶ درصدی پتاسیم تبادلی را به‌ترتیب در عمق‌های ۲۰- صفر و



شکل ۴. اثر فاصله از درخت بر پتاسیم تبادلی خاک‌های زیر کشت درختان پرتقال با سنین متفاوت. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد آماری هستند. R1 و R2 به‌ترتیب ریزوسفر و توده خاک هستند.

۶۰-۲۰ سانتی‌متری خاک‌های کشت شده نسبت به خاک کشت نشده نشان داد (۲). میتال و همکاران با بررسی وضعیت پتاسیم تبادلی خاک‌های زیر کشت ارزن و گندم در هندوستان، کاهش میزان این عنصر از ۶۲۰ به ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار را طی ۱۲ سال کشت فشرده مشاهده کردند (۱۹).

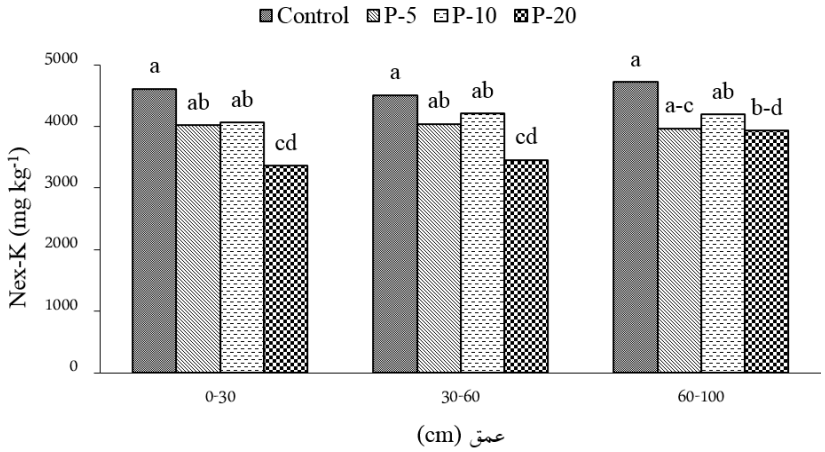
جابجی و جکسون در پژوهشی در ایالت متحده آمریکا نشان دادند که عناصر غذایی از جمله پتاسیم از طریق جذب ریشه‌ای و فعالیت گیاهی از عمق به سطح خاک منتقل می‌شوند که این امر منجر به افزایش سطح پتاسیم تبادلی در خاک سطحی نسبت به قسمت‌های عمقی می‌شود (۱۴). این پژوهشگران در مطالعه دیگری بیان کردند که نقش بقایای گیاهی در افزایش پتاسیم به‌عنوان یکی از عناصر غذایی محدود کننده رشد به خاک سطحی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آنها نشان دادند که مصرف کودهای پتاسه سهم کوچکی از میزان پتاسیم تبادلی در بخش سطحی خاک را به‌خود اختصاص می‌دهد و حدود ۹۰ درصد افزایش ذخیره پتاسیم در خاک سطحی مربوط به پوشش گیاهی، بقایا و لاشبرگ‌های آن است (۱۳).

نتایج همچنین حاکی از این بود که با افزایش فاصله از درخت، میزان پتاسیم تبادلی توده خاک در مقایسه با ریزوسفر در خاک‌های زیر کشت درختان ۵ و ۲۰ ساله افزایش و در شرایط درختان ۱۰ ساله کاهش می‌یابد. اگر چه تنها اختلاف معنی‌دار آماری در سطح پنج درصد متعلق به درخت پنج ساله است (شکل ۴). به‌نظر می‌رسد که تجمع بیشتر ریشه‌های موین در فاصله نزدیک به تنه درختان منجر به جذب بیشتر پتاسیم و کاهش میزان آن در خاک ریزوسفر شده است. تعدادی از پژوهشگران نیز غنی بودن خاک ریزوسفر از پتاسیم تبادلی را نسبت به توده خاک در گونه‌هایی از درختان مانند صنوبر گزارش کردند (۴ و ۶).

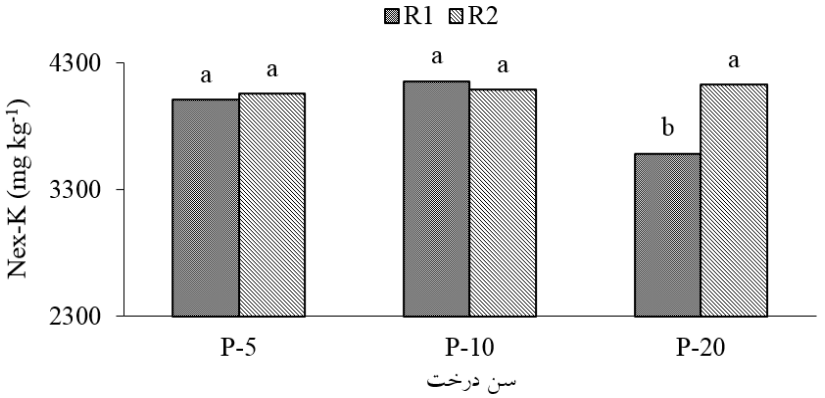
پتاسیم غیرتبادلی

میانگین مقادیر پتاسیم غیرتبادلی خاک‌های مورد مطالعه از ۳۵۰۰ تا ۴۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تغییر می‌کند و بیشترین و کمترین میزان آن به‌ترتیب مربوط به خاک‌های کشت نشده و خاک‌های زیر کشت درختان ۲۰ ساله است. درختان ۲۰ ساله در طی سال‌های متمادی به‌علت نیاز بیشتر به پتاسیم در مقایسه با سنین دیگر، از طریق ترشحات ریشه‌ای قادر به آزاد کردن پتاسیم بین لایه‌ای کانی‌های موجود در خاک بوده‌اند و لذا میزان این عنصر در خاک ریزوسفری این درختان کمتر از خاک‌های زیر کشت سایر سنین است.

آزمون مقایسه میانگین بیانگر این است که پتاسیم غیرتبادلی در عمق‌های ۳۰- صفر و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری خاک‌های زیر کشت درختان ۲۰ ساله، کاهش معنی‌داری نسبت به خاک‌های



شکل ۵. اثر سن درختان پرتقال بر پتاسیم غیرتبادلی خاک در اعماق مختلف. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد آماری هستند.

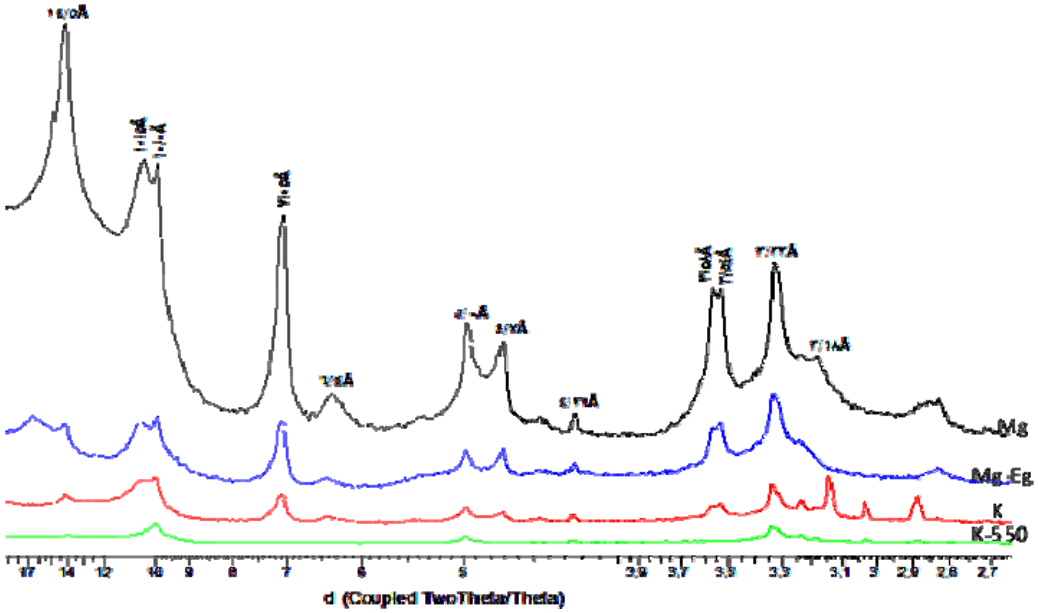


شکل ۶. اثر فاصله از درخت بر پتاسیم غیرتبادلی خاک‌های زیر کشت درختان پرتقال با سنین متفاوت. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد آماری هستند. R1 و R2 به‌ترتیب ریزوسفر و توده خاک هستند.

کشت نشده و خاک‌های زیر کشت درختان سایر سنین در سطح پنج درصد دارد ولی خاک‌های زیر کشت درختان ۵ و ۱۰ ساله اختلاف معنی‌دار آماری ندارند (شکل ۵). همچنین در عمق ۱۰۰-۶۰ سانتی‌متر نیز تنها خاک‌های زیر کشت درختان ۲۰ ساله کاهش معنی‌دار نسبت به خاک کشت نشده نشان می‌دهد.

نتایج مشابهی از کاهش پتاسیم غیرتبادلی در باغ‌های پسته با گروه‌های سنی متفاوت در رفسنجان توسط حسینی‌فرد و همکاران (۲۰۱۰) گزارش شد (۱۲). با این حال، برخی از مطالعات قادر به نشان دادن هیچ‌گونه کاهشی در غلظت پتاسیم غیرتبادلی در نتیجه کشت‌وکار نبودند (۱۰).

بررسی میزان پتاسیم غیرتبادلی در ریزوسفر و توده خاک‌های زیر کشت درختان پرتقال نشان داد که تنها اختلاف معنی‌دار آماری در سطح پنج درصد مربوط به خاک‌های زیر کشت درختان ۲۰ ساله است و توده خاک از مقدار بیشتری پتاسیم در مقایسه با خاک ریزوسفر برخوردار است (شکل ۶). علت کاهش پتاسیم در ریزوسفر را می‌توان به فعالیت، ترشحات و میزان بیشتر ریشه‌های مویین و در نتیجه مصرف پتاسیم کانی‌های خاک در این فاصله نسبت داد.



شکل ۷. پراش نگاشت‌های پرتو ایکس تیمارهای اشباع با منیزیم (Mg)، اشباع با منیزیم و اتیلن‌گلیکول (Mg-Eg)، اشباع با پتاسیم (K) و اشباع با پتاسیم تحت حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد (K-۵۵۰) بخش رس در عمق ۳۰- صفر سانتی‌متری خاک ریزوسفری درخت پرتقال پنج ساله

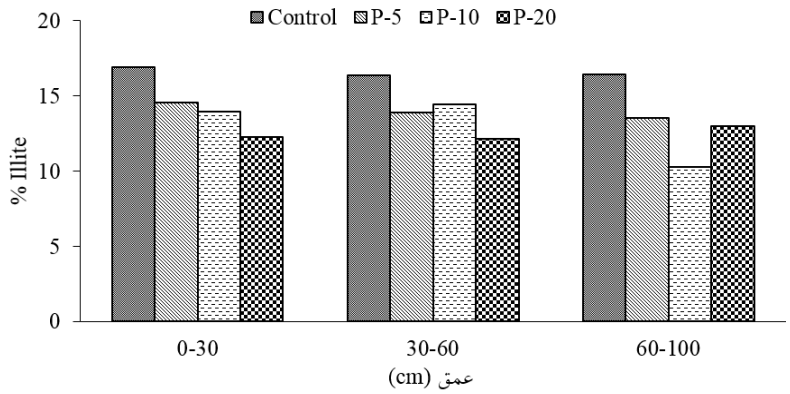
کانی‌های رسی خاک و تغییرات آنها در خاک‌های زیر کشت پرتقال با سنین مختلف

منحنی‌های پرتو ایکس ذرات رس خاک‌های مورد مطالعه نشان داد که کانی‌های رسی خاک‌ها مشابه بوده و مقدار آنها به‌صورت نسبی، کمی متفاوت است. به‌طور عمده کانی‌های کلریت، اسمکتیت، ایلیت، پالیگورسکایت، کائولینیت، کانی مختلط ایلیت– اسمکتیت، کوارتز و فلدسپار در این خاک‌ها مشاهده شد (شکل ۷). خاک‌ها بر اساس طبقه‌بندی خاک آمریکایی (۲۴) در تحت گروه Typic Calciustepts قرار دارند.

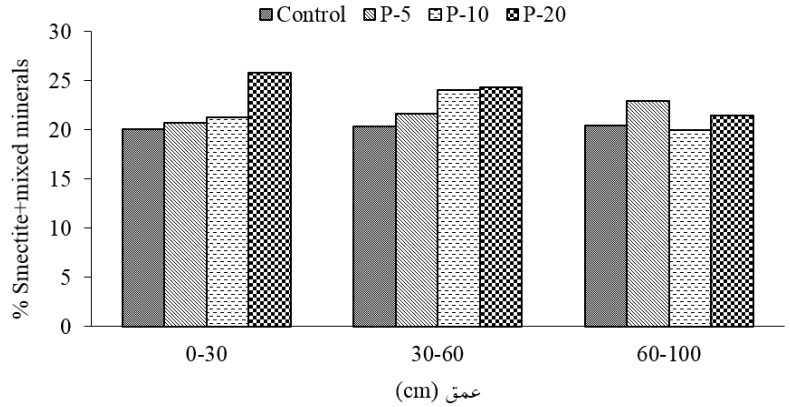
آنالیز نیمه کمّی کانی‌های رسی نشان داد که کمترین میزان کانی ایلیت در خاک‌های زیر کشت درختان پرتقال ۲۰ ساله و بیشترین مقدار نیز در خاک کشت نشده وجود دارد (شکل ۸). همچنین بالاترین درصد کانی‌های اسمکتیت و مختلط در خاک‌های زیر کشت درختان ۲۰ ساله و کمترین درصد این کانی‌ها نیز در خاک کشت نشده وجود دارد (شکل ۹). تقریباً در تمام نمونه‌ها مقدار پتاسیم غیرتبادلی خاک با شدت پیک ۱۰ آنگستروم مربوط به کانی‌های میکایی یا ایلیت، رابطه مستقیم و با شدت پیک ۱۴/۲ آنگستروم به‌عنوان شاخصی از وجود کانی‌های گروه اسمکتیت، رابطه عکس دارد.

تغییرات کانی‌شناسی مذکور از نظر کاهش مقدار ایلیت و افزایش اسمکتیت در عمق ۳۰- صفر سانتی‌متر و همچنین در ریزوسفر درختان ۲۰ ساله از سایر تیمارها بارزتر است، درحالی که در خاک کشت نشده مقادیر این دو کانی با عمق ثابت بوده و تغییری نشان نمی‌دهد. عدم مصرف پتاسیم محلول و تبادلی در خاک‌های کشت نشده به‌دلیل عدم وجود گیاه و جذب ریشه‌ای، باعث شده است که تغییرات کانی شناسی در این خاک نسبت به خاک‌های دیگر مشاهده نشود. گیاهان قادرند که سطح پتاسیم محلول خاک را در منطقه ریشه کاهش داده و در نتیجه باعث تحریک آزادسازی پتاسیم بین لایه‌ای شوند (۲۰).

خاک‌های زیر کشت درختان پرتقال از نظر میزان کانی ایلیت همگی نسبت به خاک‌های کشت نشده کاهش و از لحاظ



شکل ۸. مقایسه مقادیر کانی ایلیت در عمق‌های مختلف خاک‌های زیر کشت پرتقال با سنین مختلف
میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد آماری هستند.



شکل ۹. مقایسه مقادیر کانی‌های اسمکتیت و مختلط در عمق‌های مختلف خاک‌های زیر کشت پرتقال با سنین مختلف
میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد آماری هستند

مقدار کانی‌های مختلط و اسمکتیت افزایش نشان می‌دهند. دلیل این امر را می‌توان وجود گیاه، جذب ریشه‌ای و توانایی خروج پتاسیم غیرتبادلی از فضای بین لایه‌ای کانی‌های بیوتیت یا ایلیت و تبدیل این کانی‌ها به کانی‌های اسمکتیت و مختلط دانست. ارزیابی مقادیر کانی‌های رسی و پتاسیم غیرتبادلی در سنین متفاوت درختان پرتقال نشان داد که با افزایش سن درختان، از میزان کانی ایلیت کاسته و به‌میزان کانی‌های اسمکتیت و مختلط افزوده می‌شود. نتایج بیانگر این است که در خاک درختان با سنین بالاتر به‌دلیل رشد بیشتر درخت، افزایش ترشحات ریشه، دوره طولانی‌تر مصرف پتاسیم، خروج بیشتر این عنصر از بخش غیرتبادلی و هوادیدگی بیشتر کانی‌های رسی، تغییرات کانی‌های خاک شدیدتر بوده است.

تغییرات پتاسیم غیرتبادلی و همچنین کانی‌شناسی خاک نشان می‌دهد کوددهی پتاسیم در این خاک‌ها کمتر صورت گرفته و حداقل نتوانسته است مانع کاهش پتاسیم غیرتبادلی خاک شود، درحالی که می‌توان گفت پتاسیم غیرتبادلی نقش مهمی در تأمین نیاز درختان ایفا کرده است. در این رابطه احتمالاً بتوان توصیه کرد کوددهی پتاسیم در مدیریت کودی مورد توجه قرار گیرد.

حسینی‌فرد با بررسی کانی‌شناسی رسی و ویژگی‌های مختلف خاک باغ‌های پسته با سنین متفاوت در رفسنجان گزارش کرد که پسته‌کاری ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و بخش

رس را افزایش داده است که این افزایش با تغییرات کانی‌شناسی و پتاسیم غیرتبادلی خاک هماهنگ است. پراش‌نگاشت‌های پرتو ایکس بخش رس افق‌های مختلف در درختان پسته با سن متفاوت نشان داد که شدت پیک ۱۰ آنگستروم مربوط به ایلیت کاهش یافته و شدت پیک ۱۴/۲ آنگستروم مربوط به کانی اسمکتیت در مقادیر متفاوت افزایش داشته است (۱۱). گومرس و همکاران افزایش نسبت پیک ۱/۴ نانومتر به ۱/۰ نانومتر تحت تأثیر ریزوسفر نهال بید در مدت هفت هفته آزمایش در غلظت‌های پایین پتاسیم محلول را به تشکیل کانی ورمیکولیت از فلوگوپیت نسبت دادند (۸).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که میانگین پتاسیم محلول و تبادلی خاک‌های زیر کشت درختان پرتقال کمتر از خاک‌های کشت نشده است. میزان پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های زیر کشت درختان ۲۰ ساله نسبت به درختان دیگر و خاک‌های کشت نشده کاهش نشان می‌دهد که احتمالاً فعالیت ریشه‌ای در طی ۲۰ سال باعث هوادیدگی، تجزیه کانی‌های پتاسیم‌دار و در نتیجه مصرف پتاسیم کانی‌های خاک شده است. غلظت پتاسیم محلول و تبادلی موجود در ریزوسفر و توده خاک در درختان پنج ساله تفاوت معنی‌دار دارند. پتاسیم غیرتبادلی ریزوسفر درختان ۲۰ ساله به‌طور معنی‌داری نسبت به توده خاک کاهش نشان می‌دهد. نتایج همچنین حاکی از این است که الگوی تغییرات پتاسیم تبادلی نسبت به فاصله از درخت مشابه تغییرات پتاسیم محلول خاک است. در تمام خاک‌های مورد مطالعه با افزایش عمق از میزان پتاسیم محلول و تبادلی کاسته می‌شود در صورتی که پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های زیر کشت درختان پنج ساله با افزایش عمق، روند کاهشی و در دیگر خاک‌ها روند افزایشی نشان می‌دهد. به‌نظر می‌رسد که کاربرد کود و بازگشت بقایا و لاشبرگ درختان به سطح خاک سبب افزایش شکل‌های محلول و تبادلی در سطح شده و همچنین جذب ریشه‌ای در عمق‌های بیشتر منجر به کاهش این شکل‌های پتاسیم با افزایش عمق خاک شده است. پراش‌نگاشت‌های پرتو ایکس و آنالیز نیمه‌کمّی کانی‌های رسی نشان داد که بیشترین میزان کانی ایلیت و کمترین مقدار کانی‌های اسمکتیت و مختلط ایلیت- اسمکتیت متعلق به خاک‌های کشت نشده و کمترین درصد کانی ایلیت و بیشترین درصد کانی‌های اسمکتیت و مختلط نیز متعلق به خاک‌های زیر کشت درختان پرتقال ۲۰ ساله است. با افزایش سن درختان و گسترش سیستم ریشه‌ای و جذب بیشتر پتاسیم خاک، از میزان کانی ایلیت و در نتیجه پتاسیم غیرتبادلی خاک کاسته و به‌میزان کانی‌های اسمکتیت و مختلط افزوده می‌شود. لذا بر اساس نتایج به‌دست آمده، به‌منظور جلوگیری از کاهش بیش از حد ذخیره پتاسیم در خاک‌های زیر کشت درختان پرتقال به‌ویژه در باغ‌های با سنین بیشتر، بر کوددهی پتاسیم متناسب با آزمون خاک در منطقه مورد مطالعه تأکید می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Bakker, M. R., A. Dieffenbach and J. Ranger. 1999. Soil solution chemistry in the rhizosphere of roots of sessile oak (*Quercus petraea*) as influenced by lime. *Plant and Soil* 209: 209-216.
2. Barani Motlagh, M. and G. Sevaghebi. 2005. Study of soil K depletion under sugarcane cropping in Khuzestan. *Iranian Journal of Agricultural Science* 36(5):1185–1196 (In Farsi).
3. Burt, R. 1992. Soil Survey Laboratory Methods Manual. USDA, Washington.
4. Calvaruso, C., C. Collignon, A. Kies and M. Turpault. 2014. Seasonal evolution of the rhizosphere effect on major and trace elements in soil solutions of Norway spruce (*Picea abies* Karst) and beech (*Fagus sylvatica*) in an acidic forest soil. *Open Journal of Soil Science* 4: 323-336.
5. Dieffenbach, A., A. Göttlein and E. Matzner. 1997. *In-situ* soil solution chemistry in an acid forest soil as influenced by growing roots of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.). *Plant and Soil* 192: 57-61.
6. Dieffenbach, A. and E. Matzner. 2000. *In-situ* soil solution chemistry in the rhizosphere of mature Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) trees. *Plant and Soil* 222: 149-161.

7. Fotouhi Ghazvini, R. 2006. *Citrus culture* in Iran. Guilan University Press, Iran. (In Farsi).
8. Gommers, A., Y. Thiry and B. Delvaux. 2005. Rhizospheric mobilization and plant uptake of radiocesium from weathered micas: I. Influence of potassium depletion. *Journal of Environmental Quality* 34: 2167-2173.
9. Harris, W. and G. N .White. 2008. X-ray diffraction techniques for soil mineral identification. *Methods of Soil Analysis* 5: 81-115.
10. Hebsur, N. and T. Satyanarayana. 2002. Potassium status and clay mineralogical composition of some sugarcane soils of North Karnataka. *In:* Proceeding of the 17th World Congress of Soil Science. Bangkok, Thailand.
11. Hosseinifard, S. J. 2010. Mineralogical and chemical transformations of selected K-bearing minerals in pistachio and wheat root zone. PhD. Thesis, Isfahan University of Technology, Isfahan (In Farsi).
12. Hosseinifard, S. J., H. Khademi and M. Kalbasi. 2010. Different forms of soil potassium as affected by the age of pistachio (*Pistacia vera* L.) trees in Rafsanjan, Iran. *Geoderma* 155: 289-297.
13. Jobbágy, E. G. and R. B. Jackson. 2001. The distribution of soil nutrients with depth: Global patterns and the imprint of plants. *Biogeochemistry* 53: 51-77.
14. Jobbágy, E. G. and R. B. Jackson. 2004. The uplift of soil nutrients by plants: biogeochemical consequences across scales. *Ecology* 85: 2380-2389.
15. Khayamim, F., H. Khademi and M. R. Sabzalian. 2009. The ability of two types of Geramineae to take up potassium from phlogopite. In: Proceeding of the 11th Soil Science Congress of Iran. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. (In Farsi).
16. Knudsen, D., G. A. Peterson and P. F. Pratt. 1982. Lithium, sodium and potassium. PP: 225-246. *In:* A. L. Page (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2 .Chemical and Microbiological Properties. Madison, WI: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
17. Markewitz, D. and D. D. Richter .2000. Long-term soil potassium availability from a Kanhapludult to an aggrading loblolly pine ecosystem. *Forest Ecology and Management* 130: 109-129.
18. Mirza, M. and Z. Baher Nik. 2006. The Role of deterpination on the essential oil composition of *Citrus sinensis* (L.) osbeck. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 22: 250-255 (In Farsi).
19. Mittal, S. B., R. Singh, S. C. Mehta and M. Singh. 1990. Potassium depletion under long-term fertilization in a semi-arid soil in India. *The Journal of Agricultural Science* 115: 173-178.
20. Mutscher, H. 1995. Measurement and Assessment of Soil Potassium. International Potash Institute, Basel (Switzerland), IPI Research Topics.
21. Norouzi, S. and H. Khademi. 2007. Vermiculitization of selected micaceous minerals as influenced by the alfalfa rhizosphere. *In:* Proceeding of the 15th Symposium of Crystallography and Mineralogy of Iran. Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Farsi).
22. Shady, M., I. Ibrahim and A. Afify. 1984. Mobilization of elements and their effects on certain plant growth characteristics as influenced by some silicate bacteria. *Egyptian Journal of Botany* 27: 17-30.
23. Snapp, S., R. Koide and J .Lynch. 1995. Exploitation of localized phosphorus-patches by common bean roots. *Plant and Soil* 177: 211-218.
24. Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
25. Sparks, D. L. 2000. Bioavailability of soil potassium. PP: D38-D53. *In:* M. E. Sumner (Ed.), Handbook of Soil Science. CRC Press. Boca Raton. FL.
26. Swarup, A. and R. K. Chhillar. 1986. Build up and depletion of soil phosphorus and potassium and their uptake by rice and wheat in a long-term field experiment. *Plant and Soil* 91: 161-170.
27. Trehan, S. P., H. El Dessougi and N. Classen. 2005. Potassium efficiency of 10 potato cultivars as related to their capability to use nonexchangeable soil potassium by chemical mobilization. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 36: 1809-1822.
28. USDA-NRCS. 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report (SSIR), USDA, Lincoln, Nebraska.
29. 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.
30. Zeng, D. Q., P. H. Brown and B. A. Holtz. 1999. Effects of potassium fertilization on soil potassium distribution and balance in pistachio orchards. *Better Crops* 83: 24–26.

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 23, No. 2, Summer 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Changes in Different Forms of Potassium and Clay Minerals in Soils as Influenced by Different Aged Orange Trees (*Citrus sinensis*) in Darab, Fars Province

V. Shahrokh, H. Khademi* and H. Shariatmadari[1]

(Received: May 6-2017 ; Accepted: January 30-2018)

Abstract

Despite the great importance of potassium applied as a fertilizer in the orange orchards, no information is currently available regarding the rate of potassium release from rhizosphere and the bulk soils of such trees. The objectives of this study were to investigate the weathering of micaceous minerals and their non-exchangeable K release and also, to examine the status of different forms of K in the rhizosphere and bulk soils of orange orchards with different ages in Darab, Fars Province. Samples were, accordingly, taken from the rhizosphere and bulk soils of orange orchards with the ages of 5, 10 and 20 years; also, virgin soils (control) were obtained from three soil depths including 0–30, 30–60, and 60–100 cm. Water soluble, exchangeable and nonexchangeable K, and the clay mineralogy of the soils were determined. The results demonstrated that the concentration of soluble and exchangeable K in the cultivated soils was less than that in the control soil and that the concentration of nonexchangeable K in the soils of 20-year-old orchards was less, than that in other soils. Soluble and exchangeable K values decreased with depth in all soils. Clay mineralogy investigation also showed that the quantity of illite decreased and that of smectite and illite-smectite increased as the age of orange trees was raised. With increasing the age of orange trees and root development, more potassium could be taken up from soil and more changes occurred in the soil minerals. In order to avoid a very high decline in the reserved K in the soils under orange trees, particularly in the orchards with older trees, K fertilization has to be taken more seriously based on the soil testing results.

Keywords: Potassium, Rhizosphere, Clay minerals, Orange orchard (*Citrus Sinensis*)

1. Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: hkhademi@cc.iut.ac.ir