

اثر تغییر کاربری مرتع به کشاورزی و پارک جنگلی بر روی شکل‌های متفاوت پتاسیم و کانی‌شناسی رس

شیرزاد جعفری ارگنه^۱، سهیلاسادات هاشمی^{۲*}، شهریار مهدوی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۶)

چکیده

تغییر کاربری اراضی فاکتوری مؤثر بر هدرروی حاصلخیزی خاک، از جمله عناصر غذایی پرمصرف می‌باشد. پتاسیم از جمله عناصر غذایی پرمصرف ضروری برای رشد گیاه است، که توزیع آن در خاک به کانی‌های رس، کوددهی، درجه هوازدگی، نوع کاربری، شرایط اقلیمی و آبشویی بستگی دارد. هدف از این تحقیق بررسی شکل‌های متفاوت پتاسیم در سه کاربری مختلف مرتع، کشاورزی و پارک جنگلی در دو عمق سطحی (۰-۱۵ سانتی‌متری) و زیرسطحی (۱۵-۳۰ سانتی‌متری) در شهر اشترینان واقع در استان لرستان بود. نمونه‌برداری در سه کاربری در ۴۵ نقطه در دو عمق انجام شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و هم‌چنین شکل‌های متفاوت پتاسیم در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند. مطالعات کانی‌شناسی با کمک دستگاه پراش پرتو ایکس انجام شد. نتایج نشان داد که بالاترین میانگین پتاسیم محلول (۱۵/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، غیرتبادلی (۶۲۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و شبه ساختمانی (۳۵۶۳/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در کاربری پارک جنگلی و بالاترین پتاسیم تبادلی (۴۸۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در کاربری مرتع مشاهده شد. تمام شکل‌های پتاسیم به غیر از پتاسیم ساختاری با افزایش عمق، کاهش داشتند، اما عمق اثر معنی‌داری بر روی شکل‌های متفاوت پتاسیم نداشت. اثر کاربری در تمامی شکل‌های پتاسیم دارای تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد بود. نتایج همبستگی نشان داد که پتاسیم محلول تنها با پتاسیم تبادلی رابطه مثبت معنی‌دار دارد. بین پتاسیم شبه ساختاری با پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی رابطه مثبت معنی‌دار دیده شد. هم‌چنین رس و ظرفیت تبادل کاتیونی با پتاسیم تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی رابطه مثبت معنی‌داری در سطح یک درصد نشان دادند. نتایج کانی‌شناسی نیز نشان داد که ورمی‌کولیت و اسمکتیت کانی‌های کنترل‌کننده پتاسیم تبادلی در کاربری مرتع و اسمکتیت و ایلات، کانی‌های اصلی کنترل‌کننده پتاسیم غیرتبادلی و ساختاری در پارک جنگلی هستند. تغییر کاربری اراضی از مرتع به کشاورزی در دراز مدت منجر به کاهش تمام شکل‌های پتاسیم شده، در حالی که تغییر به پارک جنگلی مقدار پتاسیم محلول، غیرتبادلی و ساختاری را افزایش داده است.

واژه‌های کلیدی: ایلات، پتاسیم تبادلی، نوع کاربری، ورمی‌کولایت

جعفری ش.، هاشمی، س. س.، مهدوی ش. ۱۴۰۲. اثر تغییر کاربری مرتع به کشاورزی و پارک جنگلی بر روی شکل‌های متفاوت پتاسیم و کانی‌شناسی رس. جلد ۱۱، شماره ۲، صفحه: ۱-۱۷.

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر

۲. استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر (مکاتبه کننده)

۳. دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر

* پست الکترونیک: s.hashemi@malayeru.ac.ir

مقدمه

تغییر کاربری اراضی از عوامل مهم تخریب خاک بوده و کاهش کیفیت و قدرت باروری خاک از مهم‌ترین پیامدهای آن است. تغییر در مقدار عناصر غذایی خاک، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و تغییر بر کانی‌شناسی خاک در دراز مدت، از جمله اثرات تغییر کاربری اراضی است (Ayobi & Jalalian, 2006). عنصر پتاسیم بعنوان یکی از عناصر غذایی ضروری برای گیاهان تحت کشت می‌باشد. این عنصر، نقش مهمی در چندین فرآیند متابولیکی در گیاه داشته و حدود ۵۰ آنزیم مرتبط با انتقال انرژی و تغییر شکل قند، نشاسته و پروتئین تحت تأثیر حضور پتاسیم در گیاه فعال می‌شوند (et al., 2004). فاکتورهای زیادی در روند تغییرات و مقدار شکل‌های پتاسیم دخالت دارند که مهم‌ترین آنها شکل، اندازه و نوع کانی‌های رسی، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، مقدار ماده آلی خاک، نوع کاربری، رژیم رطوبتی و حرارتی خاک و تکامل خاک است (Srinivasarao et al., 2007). بررسی نوع کانی‌های خاک و شکل‌های مختلف پتاسیم برای درک بهتر ارتباط کانی‌ها با تثبیت و آزادسازی پتاسیم ضروری می‌باشد (Goulding, 1987). مهم‌ترین منابع پتاسیم در خاک‌ها آلومینوسیلیکات‌هایی مانند فلدسپارهای پتاسیم، میکاها و محصولات هوازدگی آن‌ها از جمله ورمی‌کولیت می‌باشند، که ۹۸٪ از پتاسیم خاک را تشکیل می‌دهند (Zubaidi et al., 2008). مرسوم‌ترین نوع کانی‌های حاوی پتاسیم در خاک به ترتیب قابلیت استفاده پتاسیم آنها برای گیاهان بیوتیت، موسکویت، اورتوکلاز و میکروکلین بوده و میکا و فلدسپارها عمده‌ترین کانی‌های پتاسیم‌دار هستند (Sparks, 1980). رضاپور و همکاران (Rezapour et al., 2013) نشان دادند که تغییر اراضی بکر به کشت مداوم آفتابگردان طی پنج دهه باعث کاهش مقدار کربن آلی، پتاسیم محلول، پتاسیم تبدالی، پتاسیم قابل دسترس و افزایش مقدار هدایت الکتریکی و مقدار درصد سدیم تبدالی شده است. ابراهیمی و همکاران (Ebrahimi et al., 2016) با بررسی تغییر کاربری از مرتع به کشاورزی در منطقه تفتان، نشان دادند که تغییر کاربری، موجب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی، افزایش قابلیت استفاده نیتروژن و فسفر و منجر به کاهش مقدار پتاسیم خاک قابل استفاده می‌شود. محمدی

(Mohammadi, 2016) در پژوهشی با عنوان بررسی اثر کاربری‌های مختلف اراضی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک دریافتند که مقدار پتاسیم قابل تبادل در سایت چرای متوسط و سایت قرق ده ساله، دارای بیشترین مقدار می‌باشد. در سایت چرای سنگین، به دلیل فقیر بودن پوشش گیاهی و کوبیدگی بالای خاک و در نتیجه تولید رواناب بیشتر و آبشویی پتاسیم قابل استفاده، کاهش معنی‌دار از پتاسیم قابل تبادل مشاهده شد. در سایت دیمزارهای رها شده و شخم‌خورده، به دلیل تخریب ساختمان و کاهش ماده آلی و افزایش فرسایش-پذیری خاک، باعث عدم نفوذ آب و افزایش رواناب، و در نتیجه پتاسیم قابل استفاده به دلیل قابلیت آبشویی بالا، کاهش بسیاری داشته است. بوستانی و همکاران (Boostani et al., 2019) در تحقیقی دریافتند که پتاسیم تبدالی در خاک جنگل و پتاسیم غیرتبدالی در خاک باغ به طور معنی‌داری بیشتر از سایر کاربری‌ها بود. آنان بیان کردند که در مدیریت اراضی کشاورزی منطقه، باید تغییرات پتاسیم خاک، که در نتیجه تغییر کاربری بوجود آمده، مورد توجه قرار گیرد. آزادی و شاکری (Azadi & Shakeri, 2020) گزارش کردند که شکل‌های پتاسیم محلول و قابل تبادل، دارای تفاوت معنی‌داری در کاربری‌های مختلف زمین هستند، به طوری که بالاترین سطح پتاسیم محلول و تبدالی به ترتیب در کاربری گندم و سپس اراضی جنگلی مشاهده شد. بالاترین سطح پتاسیم غیرتبدالی را در کاربری جنگل و بالاترین مقدار پتاسیم کل و ساختمانی را در کاربری شالیزار گزارش کردند. هاشمی (Hashemi, 2020) نیز نشان داد که تغییر کاربری اراضی بایر به باغات انگور در طولانی مدت باعث کاهش در مقدار پتاسیم غیرتبدالی و ساختاری شده است. اما تفاوت معنی‌داری در پتاسیم محلول و تبدالی ایجاد نشده است. با توجه به نقش تغییر کاربری اراضی بر بسیاری از ویژگی‌های خاک، مانند قابلیت استفاده عناصر غذایی از جمله پتاسیم، بر آن شدیم که تحقیق حاضر را در منطقه اشترینان از توابع شهرستان بروجرد استان لرستان، انجام دهیم. طبق مطالعات صورت گرفته در منطقه، مساحتی از اراضی مرتع منطقه، طی ۱۵ سال به مناطق پارک جنگلی تبدیل شده است. تحقیق-های بسیاری در زمینه بررسی عناصر خاک در اثر تغییر کاربری جنگل و مرتع به کشاورزی صورت گرفته است، منتها در

منطقه دارای متوسط بارندگی سالیانه ۴۶۶ میلی‌متر، میانگین دمای ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد، میانگین روزهای یخبندان ۶۶ روز و مقدار رطوبت نسبی ۴۷ درصد می‌باشد. اراضی منطقه از نظر زمین‌شناسی دارای واحدهای شیل، ماسه‌سنگ و واحد آهک کرتاسه می‌باشد. این اراضی از لحاظ ژئومورفولوژی در دشت دامنه‌ای قرار می‌گیرد و دارای اقلیم نیمه‌خشک با زمستان‌های سرد و تابستان‌های ملایم و خشک است (نتایج حاصله از ایستگاه سینوپتیک هواشناسی شهرستان بروجرد).

نمونه‌برداری

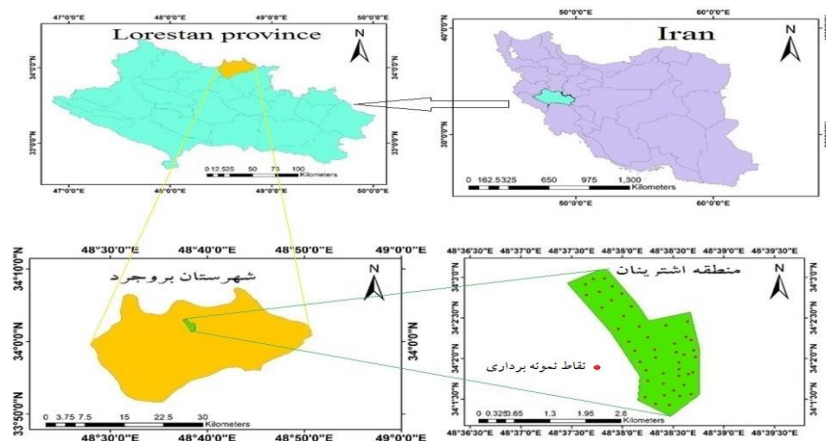
نمونه‌برداری از سه کاربری مرتع، پارک جنگلی و کشاورزی در دو عمق ۰-۱۵ (سطحی) و ۱۵-۳۰ سانتی‌متری (زیر سطحی) در ۴۵ نقطه (۱۵ نقطه در هر کاربری) انجام گرفت. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله، بافت خاک به روش هیدرومتر (Gee & Bauder, 1986)، مقدار کربنات کلسیم معادل با روش تیتراسیون (Allison & Chapman, 1962)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) (Chapman, 1965)، pH خاک در سوسپانسیون ۱:۵ خاک و آب مقطر (Thomas, 1996)، مقدار مواد آلی با روش والکلی- بلک اصلاح شده توسط نلسون و سامرز (Nelson & Summers, 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره سوسپانسیون ۱:۵ خاک و آب مقطر (Rhoades, 1996)، اندازه‌گیری شدند.

تحقیق حاضر عکس آن یعنی تبدیل اراضی مرتع به پارک جنگلی مد نظر است. اینکه بینیم تغییر کاربری به یک کاربری حفاظتی چه تغییراتی را در مقدار عنصر غذایی پتاسیم بهمراه خواهد داشت. کاربری جنگل در تحقیق حاضر طبیعی نبوده و کاملاً جهت حفاظت خاک منطقه ایجاد شده است. هم‌چنین وسعت بالایی از منطقه به اراضی کشاورزی جهت کشت گندم و جو در طی ۳۰ سال اخیر، اختصاص یافته است. لذا هدف در این پژوهش بررسی شکل‌های متفاوت پتاسیم در دو کاربری متفاوت ایجاد شده (پارک جنگلی و کشاورزی) و مقایسه آن با کاربری مرتع است. بدلیل نقش مهم کانی‌های رسی در تغییرات پتاسیم خاک، کانی‌شناسی رس در سه کاربری نیز مورد توجه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان لرستان شهرستان بروجرد محدوده اراضی شهر اشترینان، قرار دارد. منطقه شامل سه کاربری مرتع با پوشش گیاهان علفی یکساله، کشاورزی شامل کشت گندم و جو و پارک جنگلی مربوطه شامل پوشش درختان کاج، سرو و افاقیا می‌باشد. منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه ایران در محدوده جغرافیایی، ۳۴ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۳ دقیقه شمالی و ۴۸ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی واقع شده است (شکل ۱). این



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان لرستان، شهرستان بروجرد

Figure 1. The location of studied areas in Lorestan province and Brojerd city

تعیین شکل‌های مختلف پتاسیم

پتاسیم محلول خاک توسط آب مقطر، با نسبت ۱ به ۵ خاک به آب، پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم، توسط عصاره گیری با استات آمونیوم ۱ نرمال صورت گرفت، مقدار پتاسیم تبدلی از تفاضل مقدار پتاسیم قابل استخراج بوسیله استات آمونیوم و پتاسیم محلول بدست آمد (Helmke & Sparks, 1996). پتاسیم غیر تبدلی توسط اسید نیتریک جوشان ۱ نرمال تعیین گردید (Knudsen *et al.*, 1982)، و از تفاضل مقدار پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم و قابل استخراج با اسید نیتریک، مقدار پتاسیم غیرتبدلی محاسبه گردید. پتاسیم ساختمانی از روش اسید نیتریک ۴ نرمال اندازه گرفته شد (Sposito *et al.*, 1982). که در حقیقت مقدار پتاسیم شبه‌ساختمانی را نشان می‌دهد. اندازه‌گیری مقدار پتاسیم در عصاره‌های حاصل به روش شعله‌سنجی با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر مدل Corning 405 انجام گرفت.

مطالعه کانی‌شناسی رس

از بین ۹۰ خاک مربوط به عمق‌های سطحی و زیرسطحی در سه کاربری، هشت نمونه برای مطالعات کانی‌شناسی انتخاب شدند. جهت آماده‌سازی نمونه مربوط به کانی‌شناسی رس خاک‌ها، حذف کربنات‌ها و نمک‌های محلول، مواد آلی و اکسیدهای آهن به ترتیب انجام گرفت (Kittrick and Hope, 1963). چهار اسلاید اشباع با منیزیم، اشباع با منیزیم و اتیلن-گلیکول، اشباع با پتاسیم و اشباع با پتاسیم و حرارت ۵۵۰ درجه سلسیوس، آماده و جهت شناسایی نمونه‌ها، از دستگاه اشعه ایکس مدل Unisantix ۳۰۰ با توقف ۰/۵ ثانیه و زاویه ۵ تا ۴۰ درجه با کاند مسی استفاده شد. تعیین درصد نسبی مقدار رس‌ها با کمک برنامه High Score انجام گرفت.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 20.0 انجام شد. طرح به صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملا

تصادفی انجام گرفت. فاکتورهای مورد بررسی شامل نوع کاربری (سه کاربری) و عمق خاک (دو عمق) بودند. نمونه-برداری کاملا بطور تصادفی انجام شد. مواد مادری، اقلیم و توپوگرافی منطقه کم و بیش یکسان لحاظ شد. جهت مقایسه میانگین از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) استفاده گردید.

نتایج و بحث

همانگونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود بافت خاک در سه کاربری در بیشتر موارد لومی‌شنی (در عمده نقاط مورد مطالعه) تعیین شد. محتوی شن از حداقل ۴۵ درصد در کاربری پارک جنگلی تا حداکثر ۶۳/۷ درصد در کاربری کشاورزی تغییر کرد. مقدار سیلت از حداقل ۸/۸ درصد در کاربری کشاورزی تا ۲۵/۸ درصد در کاربری پارک جنگلی در عمق زیرسطحی، و مقدار رس از حداقل ۱۷ درصد در مرتع زیرسطحی تا ۲۹/۲ درصد در کاربری جنگل تغییر یافتند. تغییرات کربن از حداقل ۱/۹ درصد در کاربری کشاورزی زیرسطحی تا حداکثر ۲/۸ درصد در کاربری مرتع مشاهده شد. بیشترین مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی در کاربری مرتع (۴۱/۶ سانتی‌مول بر کیلوگرم)، و کمترین آن در عمق زیرسطحی کشاورزی (۲۲/۱ سانتی‌مول بر کیلوگرم) مشهود بود. تغییرات ماده-آلی در کنار نوع کانی‌های رسی موجود در خاک و تا حدودی نیز میزان رس، می‌تواند از پارامترهای مهم برای تغییرات مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی موجود به خصوص در کاربری مرتع (Najafi *et al.*, 2011) باشد. بوستانی و همکاران (Boostani *et al.*, 2019) نشان دادند که ظرفیت تبادل کاتیونی و ماده آلی در باغات بسیار کمتر از کاربری مرتع و جنگل است. تغییرات مقدار کربنات کلسیم در سه کاربری از ۳۲/۸ تا ۴۰/۵ درصد متغییر بود. تغییرات میزان شوری و اسیدیته بسیار اندک و در هر سه کاربری تقریبا در یک دامنه قرار داشتند.

جدول ۱- مقایسه میانگین بعلاوه انحراف معیار برخی از ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

Table 1. Comparison of mean± standard deviation values of selected physicochemical characteristics of the soil studied

Soil properties	Depth (cm)	Forest Park	Rangeland	Agriculture
Clay(%)	Surface	28.4± 5.4	27.4± 4.9	16.3± 3.5
	Subsurface	29.2± 5.7	17± 3.2	17± 3.3
Silt(%)	Surface	23±13.9	13.6± 9.1	20± 3.1
	Subsurface	25.8± 5.1	23± 6.7	18.8± 4.1
Sand(%)	Surface	48.6±13.4	59± 10.4	63.7± 4.4
	Subsurface	45± 10.8	60± 5.3	64.2± 7.1
Saturation(%)	Surface	37.9± 11.4	36.6± 7.8	38.9± 9.8
	Subsurface	39.2± 13.2	39.4± 12.5	37.9± 10.5
CCE(%)	Surface	40.3± 5.4	36.5± 6.8	34.9± 7.7
	Subsurface	40.5± 3.7	36.9± 4.5	32.8± 6.1
PH	Surface	7.9± 1.7	7.7±1.6	7.7± 1.4
	Subsurface	7.9± 1.6	7.7± 1.6	7.5± 1.3
EC (dSm ⁻¹)	Surface	1.7± 0.3	1.5± 0.2	1.3± 0.3
	Subsurface	1.3± 0.1	1.3± 0.2	1.4± 0.2
CE(cmolkg ⁻¹)C	Surface	37.8± 7.5	41.6± 5.1	26.9± 8.3
	Subsurface	31.7± 6.5	35.6± 3.2	22.1± 7.8
O.C(%)	Surface	2.3± 0.6	2.6± 0.4	2.1± 0.3
	Subsurface	2.1± 0.3	2.8± 0.1	1.9± 0.2

2011). مقایسه داده‌ها نشان داد که بالاترین مقدار پتاسیم محلول، غیرتبادلی و شبه‌ساختاری در کاربری پارک جنگلی و بالاترین مقدار پتاسیم تبادلی در کاربری مرتع است. بالا بودن پتاسیم تبادلی در کاربری مرتع را می‌توان به بازگشت بقایای گیاهی موجود در پوشش علفی یکساله مرتع نسبت داد. چرخش پتاسیم توسط جذب آن بوسیله گیاهان مرتعی از افق‌های زیرسطحی به افق‌های سطحی و انتقال آن همراه آب از خاک‌های بین گیاهان به سمت ریشه در قسمت‌های سطحی دلیل این امر است (Najafi et al., 2015). بالا بودن میزان کربن آلی در مرتع نسبت به دو کاربری دیگر، و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی آن، دلیل دیگر بالا بودن پتاسیم تبادلی در این کاربری است (Najafi et al., 2011). بالا بودن میزان پتاسیم غیرتبادلی و ساختاری در پارک جنگلی را می‌توان به بالا بودن رس موجود در آن نسبت داد. افزایش میزان رس و محتوی کانی‌های رسی موجود، خود عاملی برای بالا رفتن پتاسیم غیرتبادلی و ساختاری در کاربری پارک جنگلی است

بررسی مقادیر شکل‌های متفاوت پتاسیم و مقایسه میانگین آنها در سه کاربری و دو عمق متفاوت

محتوی پتاسیم محلول از حداقل ۹/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در کاربری کشاورزی تا ۱۹/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در کاربری پارک جنگلی متغیر است (جدول ۲). مقدار پتاسیم تبادلی از حداقل ۲۸۴/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در عمق سطحی کاربری کشاورزی تا ۵۱۷/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در عمق سطحی مرتع تغییر کرد. پتاسیم غیرتبادلی از حداقل ۱۳۷/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در عمق زیرسطحی کاربری کشاورزی تا ۴۴۲/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در عمق سطحی پارک جنگلی و پتاسیم شبه‌ساختاری از حداقل ۳۰۷۳/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در کاربری کشاورزی سطحی تا ۳۵۴۳/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در عمق سطحی کاربری پارک جنگلی تغییر یافتند. در برخی از نقاط مورد مطالعه در مرتع میزان پتاسیم تبادلی بالاتر از پتاسیم غیرتبادلی محاسبه شد. دلیل اصلی بالا بودن پتاسیم تبادلی را می‌توان به میزان بالای ظرفیت تبادل کاتیونی و محتوی بالای کربن آلی در مرتع نسبت داد (Najafi et al.,)

کاربری‌های مورد بررسی بیشتر بوده و مقدار این شکل از پتاسیم در کاربری زراعی به شدت کاهش پیدا کرده است. آنها تاثیر عملیات کشاورزی و آبیاری‌های صورت گرفته را در این خصوص موثر دانستند. مقایسه شکل‌های پتاسیم در دو عمق نیز نشان داد که محتوی پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی با افزایش عمق کاهش، اما مقدار پتاسیم ساختاری با افزایش عمق در تمام کاربری‌ها افزایش داشته است. نتایج سایر محققان نیز با این یافته هم‌خوانی دارد (Najafi *et al.*, 2011; Gholizadeh *et al.*, 2016; Shahrokh *et al.*, 2019; Najafi *et al.*, 2019). بحیرا و همکاران (Behera *et al.*, 2015) نیز گزارش کردند که در ۶ اکوسیستم مورد بررسی، تمام شکل‌های پتاسیم در بخش سطحی نسبت به زیرسطحی بیشتر است و با افزایش عمق محتوی پتاسیم خاک کاهش خواهد یافت.

(Najafi *et al.*, 2011). تحقیقات بسیاری تایید کننده یافته‌های بدست آمده در زمینه کاربری پارک جنگلی هستند (Azadi & Shakeri, 2020; Najafi *et al.*, 2011; Sharma *et al.*, 2006; Mesut *et al.*, 2004). کاربری کشاورزی در هر چهار شکل پتاسیم کمترین میزان را بخود اختصاص داده است. کشت و کار گندم و جو بطور مدام طی بیش از سه دهه در منطقه می‌تواند عامل اصلی کاهش شکل‌های متفاوت پتاسیم در کاربری کشاورزی باشد. رضاپور و همکاران (Rezapour *et al.*, 2013) نشان دادند که کشت آفتابگردان طی پنج دهه بطور مداوم باعث کاهش میزان پتاسیم محلول (۱۹۷٪-۴۷٪) و تبادلی (۳۴٪-۲۱٪) در اراضی کشت شده نسبت به اراضی بکر کناری شده است. غلامی و همکاران (Gholami *et al.*, 2020) گزارش کردند که مقدار پتاسیم محلول در کاربری مرتع نسبت به سایر

جدول ۲- مقایسه میانگین و انحراف معیار شکل‌های متفاوت پتاسیم در سه کاربری و دو عمق خاک

Table 2. Comparison of the mean± standard deviation of different K forms in three land uses and two soil depths

Land use	Depth (cm)	Soluble K mg kg ⁻¹ (Range) CV%	Exchangeable K mg kg ⁻¹ (Range) CV%	Non-exchangeable K mg kg ⁻¹ (Range) CV%	Structure K mg kg ⁻¹ (Range) CV%
Forest Park	Surface	19.3± 5.2 (12.8-27.9) 26.8	399.8± 105.9 (212.3-685.4) 26.5	442.6± 129.4 (270.7-727.5) 29.2	3543.1± 755.5 (1564.5-4875.1) 21.3
	Subsurface	12.1±7.4 (4.7-23.8) 61.7	313± 49.2 (254-398.8) 15.7	369.8± 128.2 (270.7-588.5) 34.7	3583.2± 668.6 (2527.8-4694.6) 18.7
Rangeland	Surface	17.1± 9.1 (5.7-29.9) 53.4	517.1± 79.9 (377.6-659.2) 15.4	391.3± 169.9 (151.6-588.5) 43.4	3214± 640.5 (2227-4694.6) 19.9
	Subsurface	14.7± 9.5 (3.7-33.9) 65.1	450.8± 64.5 (370.1-615.4) 14.3	182.5± 141.0 (72.1-489.2) 77.3	3242± 853.6 (2347.1-4875.2) 26.3
Agriculture	Surface	9.8± 3 (4.7-13.8) 30.7	284.8± 80 (181.1- 415.8) 28.1	326.4± 99.6 (131.7-469.3) 30.5	3073.6± 423.4 (2527.8-3791.8) 13.8
	Subsurface	10.5± 4.8 (3.7-23.8) 45.4	439± 64.4 (320.6-580.8) 14.7	137.1± 118.6 (32.4-370.1) 86.5	3097.2± 457.9 (2106.5-3551.1) 15.6

که مقدار پتاسیم در بخش سطحی اراضی شالیزار به دلیل وجود برخی از کانی‌های رسی بیشتر از عمق زیرسطحی است (Azadi & Shakeri, 2020). بر همکنش دو فاکتور کاربری و عمق نیز تنها برای پتاسیم‌های تبادلی و غیرتبادلی دارای اثر معنی‌دار شد (جدول ۳).

بررسی تجزیه واریانس نشان داد که تغییر کاربری بر روی شکل‌های متفاوت پتاسیم دارای اثر معنی‌دار است ($p < 0.01$) (جدول ۳). در صورتی که عمق تنها برای پتاسیم غیرتبادلی اثر معنی‌دار را نشان داد ($p < 0.01$). آزادی و شاکری نیز طی مطالعه‌ی بررسی مقدار پتاسیم غیرتبادلی، نشان دادند

جدول ۳ - تجزیه واریانس شکل‌های متفاوت پتاسیم در سه کاربری و دو عمق متفاوت

Table 3. The variance analysis of different K forms in three land uses and two depths

Mean square					
Source of variation	D.F	Soluble K	Exchangeable K	Non-exchangeable K	Structural K
variation	14	14.79 ^{ns}	11655.17 ^{ns}	0.001 ^{ns}	964273.6**
Land use	2	58.58**	155970.3**	0.02**	2364602**
Depth	1	38.25 ^{ns}	2.53 ^{ns}	0.06**	11632.6 ^{ns}
Depth*Land use	2	5.17 ^{ns}	133955.3**	0.008**	72975.1 ^{ns}
Error	70	11.01	4611.6	0.001	316273.4
Total	89	12.84	11975.7	0.002	455345.002
CV(%)	-	17.6	16.94	3.03	17.22

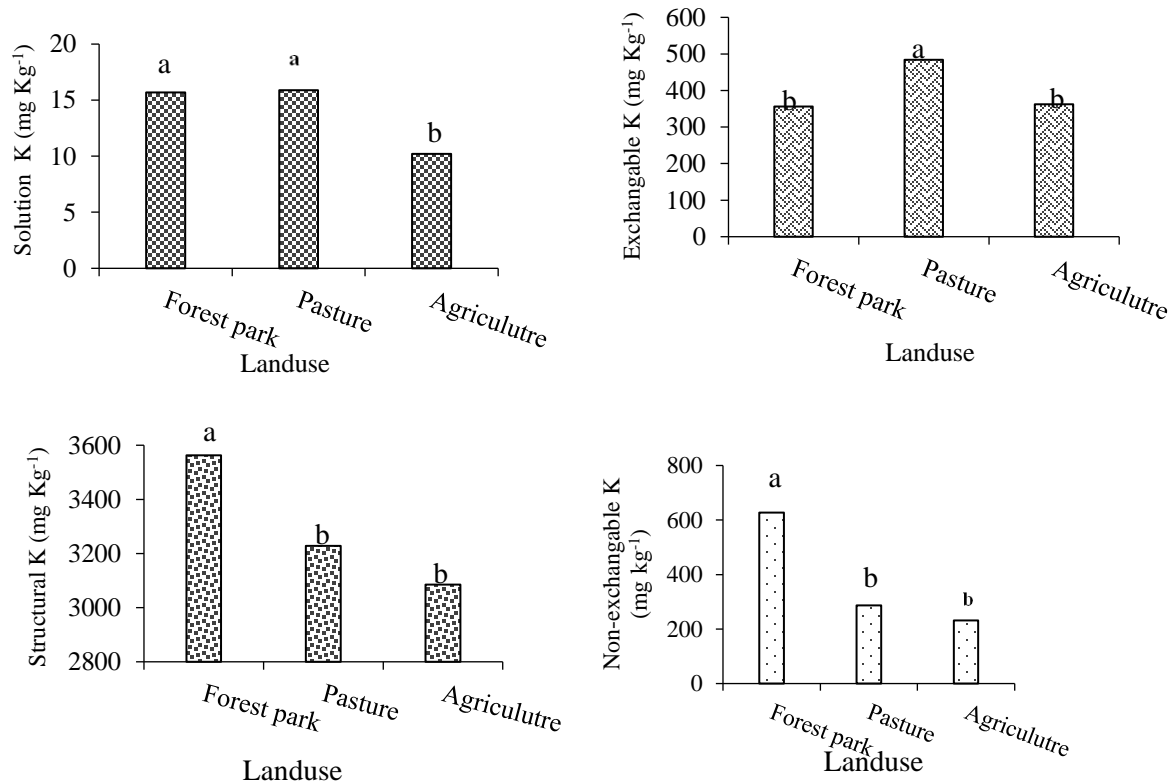
** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد؛ ^{ns}: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

بیشتر پتاسیم در شکل‌های محلول و تبادلی شده است. همانگونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، تغییر کاربری مرتع به پارک جنگلی تغییری در مقدار پتاسیم محلول ایجاد نکرده است. در صورتی که مقدار آن در کاربری کشاورزی کاهش داشته و این تفاوت با دو کاربری دیگر معنی‌دار است ($p < 0.01$). مصرف پتاسیم محلول توسط گندم و جو عامل اصلی کاهش این شکل پتاسیم است. پتاسیم محلول شکل قابل استفاده و سهل الوصول برای نیاز گیاهان می‌باشد و هم‌چنین براحتی تحت عملیات کشاورزی و آبشویی، شسته می‌شود (Havline et al., 1999). مقایسه میانگین پتاسیم تبادلی نشان داد که تغییر کاربری از مرتع به کشاورزی و پارک جنگلی باعث کاهش این شکل پتاسیم شده، و تفاوت معنی‌داری را با کاربری مرتع نشان داده است ($p < 0.01$). هر چند این تفاوت بین دو کاربری کشاورزی و پارک جنگلی معنی‌دار نشد (شکل ۲). این شکل پتاسیم عمدتاً توسط رسها و مواد آلی، جذب شده و به راحتی می‌تواند وارد فاز محلول خاک شود و جذب ریشه گیاه گردد. لذا مصرف آن توسط گیاهان زارعی و درختان کشت شده در پارک جنگلی دلیل کاهش آن نسبت به کاربری مرتع است. مطالعات بسیاری نشان دادند که عملیات کشت و کار منجر به کاهش

دلیل عدم معنی‌دار شدن عمق در سه شکل دیگر پتاسیم را می‌توان تا حدودی تفاوت عمق مطرح کرد. بدلیل اینکه فعالیت ریشه عمده گیاهان (گندم و جو) در عمق ۳۰ سانتی‌متری صورت می‌گیرد، و در این عمق ریشه گیاهان موجود، به مقدار تقریباً برابری نیاز خود را از پتاسیم قابل استفاده، برآورده می‌کند، می‌توان گفت فاکتور عمق بخوبی نتوانسته است اثر خود را بر مقدار پتاسیم محلول و تبادلی نشان دهد. اگر عمق بیشتری لحاظ می‌شد، این تغییرات بهتر خود را نشان می‌داد (Shahrokh et al., 2019). هم‌چنین تفاوت در نوع کانی‌های رسی نیز در این عمق بسیار کم اتفاق می‌افتد، که بر مقدار پتاسیم اثرگذار باشند. شاهرخ و همکاران (Shahrokh et al., 2019) طی تحقیقی در خاک‌های زیر کشت پرتغال در سه عمق ۰ تا ۳۰، ۳۰ تا ۶۰ و ۶۰ الی ۱۰۰ سانتی‌متری شکل‌های متفاوت پتاسیم را بررسی کردند. تفاوت معنی‌داری بین پتاسیم محلول و تبادلی در هر سه عمق گزارش شد. آنان گزارش کردند که ریزوسفر گیاهان طی ۲۰ سال کشت درختان کاهش پتاسیم بیشتری را نسبت به توده خاک داشته، و دلیل آن را مصرف پتاسیم و هوادیدگی کانی‌های پتاسیم‌دار در ناحیه ریزوسفر دانستند. جذب ریشه‌ای در عمق‌های پایین‌تر باعث کاهش

کاملاً معنی‌دار شد. همانطور که در قسمت بررسی شکل‌های پتاسیم قید شد، عامل اصلی در تفاوت مقدار پتاسیم غیرتبادلی و ساختاری مربوط به رس (Gholizadeh *et al.*, 2016) و نوع کانی‌های رس موجود در خاک است (Sharma 2016) و رس خاک و کانی ایلیت (محدوده ۴۰ درصد) در پارک جنگلی می‌تواند بیانگر این تفاوت از پتاسیم غیرتبادلی و ساختاری باشد، که در مبحث کانی‌شناسی بیشتر توضیح داده شده است. هاشمی (Hashemi, 2020) نشان داد که پتاسیم محلول و تبادلی بین دو کاربری باغات انگور و اراضی بایر با هم تفاوت معنی‌دار نداشته، اما پتاسیم غیرتبادلی و ساختاری دارای تفاوت معنی‌دار بودند. ایشان بالا بودن مقدار پتاسیم کل و ساختمانی در خاک را تحت تاثیر نوع کانی‌های رسی خاک دانستند. علمداری و همکاران (Alamdari *et al.*, 2016) بیان کردند که دشت‌های با کاربری مرتع به دلیل داشتن مقدار بالایی از کانی ایلیت و اسمکتیت، دارای مقادیر بالاتری از پتاسیم ساختمانی هستند.

مقدار پتاسیم قابل دسترس در خاک می‌گردد و این یافته‌ها را تصدیق می‌کنند (Rezapor *et al.*, 2013; Ebrahimi *et al.*, 2020; Shahrokh *et al.*, 2019; Gholami *et al.*, 2020). همانطور که در قسمت قبل نیز بیان شد محتوی کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی بالا در مرتع عامل اصلی تفاوت معنی‌دار پتاسیم تبادلی در کاربری مرتع با کاربری کشاورزی است (Najafi *et al.* 2019; Boostani *et al.*, 2019). همبستگی مثبت معنی‌دار بین کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی با پتاسیم تبادلی بدست آمده که در قسمت بعدی گزارش شده است. نتایج مقایسه میانگین پتاسیم غیرتبادلی نیز بیانگر تفاوت معنی‌دار بین کاربری پارک جنگلی با کاربری‌های مرتع و کشاورزی بوده است ($p < 0.01$). کاربری مرتع دارای مقادیر بالاتری پتاسیم غیرتبادلی نسبت به کاربری کشاورزی بود، اما تفاوت معنی‌دار نشد (شکل ۲). مقایسه پتاسیم شبه‌ساختمانی بیانگر بالا بودن آن در کاربری پارک جنگلی، مرتع و سپس کشاورزی است. این تفاوت بین کاربری پارک جنگلی با دو کاربری دیگر در سطح یک درصد



شکل ۲-مقایسه میانگین اشکال متفاوت پتاسیم در کاربری‌های جنگل، مرتع و کشاورزی (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر)
 Figure 2. Mean comparison of different K forms in forest park, rangeland and agriculture land uses (0-30cm)

رابطه معنی‌دار بودند. در مطالعات مشابهی می‌سوت و همکاران (Mesut *et al.*, 2004) در بررسی خاک‌های جنوب ترکیه منشأ پتاسیم غیرتبادلی منطقه گواش ترکیه را اغلب ناشی از بخش رسی خاک (کانی ایلیت) دانستند. شایان توجه است که بین تمامی شکل‌های پتاسیم با مقدار سیلت نیز همبستگی مثبت مشاهده می‌شود، اما معنی‌دار نیستند (جدول ۴). قلی‌زاده و همکاران (Gholizadeh *et al.*, 2016) در تحقیقی نشان دادند که بین تمام شکل‌های پتاسیم با رس و سیلت رابطه مثبت و با شن رابطه منفی معنی‌داری دیده می‌شود.

بررسی نتایج کانی‌شناسی رس در سه کاربری و دو عمق
براساس مطالعات کانی‌شناسی رس در هشت نمونه از خاک‌های سطحی و زیرسطحی در سه کاربری که در جدول (۵) نشان داده شده است، کاربری پارک جنگلی دارای بالاترین مقدار کانی رسی ایلیت و سپس اسمکتیت است. دلیل بالا بودن اسمکتیت در این کاربری را می‌توان به عملیات خاک‌ورزی که در سال‌های قبل برای ایجاد جنگل حفاظت شده در منطقه صورت گرفته است، دانست (شکل ۳، C). هرچند مقدار اسمکتیت موجود در این کاربری با کاربری مرتع برابری می‌کند. جنگل مورد مطالعه، منطقه بایری بوده که جهت حفاظت از خاک تغییری کاربری داده شده است و به پارک جنگلی تبدیل شده است، بنابراین عملیات شخم و کشت درختان سرو و افاقیا در این کاربری تا حدودی باعث آزادسازی پتاسیم و تغییر کانی ایلیت به اسمکتیت در سطح خاک شده است. رضاپور (Rezapor, 2014) در تحقیقی بر روی سه کاربری کشت زراعی مداوم، علفزار و جنگل، عمده کانی‌های که تحت تاثیر قرار گرفته بودند را ایلیت و اسمکتیت معرفی کرد. بیشترین مقدار اسمکتیت را در کاربری جنگل و سپس به ترتیب علفزار و کشت مداوم مشاهده کردند. روند مقدار کانی ایلیت عکس حالت قبل را نشان داد. لذا هدروی پتاسیم را دلیل اصلی تبدیل ایلیت به اسمکتیت در کاربری جنگل و منشاء به ارث رسیده از سنگ مادر (فلدسپار) را عامل حضور ایلیت دانستند. در تحقیق حاضر پس از جنگل، کاربری مرتع نیز حاوی ایلیت و سپس ورمی‌کولیت بالای بود. کاهش پراش فراز ۱۰/۱ آنگسترومی در شکل ۳ و افزایش پراش

بررسی تأثیر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر شکل‌های متفاوت پتاسیم

بررسی همبستگی بین اشکال پتاسیم نشان داد که پتاسیم محلول تنها با پتاسیم تبادلی در سطح یک درصد ارتباط مثبت معنی‌داری دارند ($r=0/4^{**}$). این شکل از پتاسیم با سایر شکل‌ها و ویژگی‌های خاک ارتباط ضعیفی را داشت. نجفی‌قیری و همکاران (Najafi *et al.*, 2011) بیان داشتند که این شکل پتاسیم با سایر شکل‌ها رابطه‌ای را به همراه ندارد. بین پتاسیم شبه ساختمانی با تبادلی ($r=0/4^{**}$) و غیرتبادلی ($r=0/3^*$) ارتباط مثبت معنی‌داری در سطح یک و پنج درصد مشاهده شد (جدول ۴). هم‌چنین بین پتاسیم تبادلی با کربن آلی خاک ($r=0/35^{**}$)، ظرفیت تبادل کاتیونی ($r=0/44^{**}$) و کربنات کلسیم ($r=0/4^*$) در سطح یک درصد همبستگی مثبت معنی‌داری مشاهده شد. نجفی‌قیری و همکاران (Najafi *et al.*, 2019) در بررسی شکل‌های متفاوت پتاسیم در خاک‌های آهکی گزارش کردند که ارتباط مثبت و معنی‌داری بین پتاسیم تبادلی با مقدار رس و ظرفیت تبادل کاتیونی برای خاک‌های سطحی و زیرسطحی وجود دارد، در حالی که مقدار کربنات کلسیم خاک‌ها ارتباط منفی با مقدار پتاسیم تبادلی داشت. ایشان نشان دادند که با افزایش هر واحد رس در خاک‌های سطحی مقدار پتاسیم تبادلی بیشتر از خاک‌های زیرسطحی افزایش می‌یابد. دلیل آن را انباشت بیشتر مواد آلی در افق‌های سطحی دانستند. بین پتاسیم غیرتبادلی با ظرفیت تبادل کاتیونی خاک ($r=0/3^*$)، مقدار رس ($r=0/4^{**}$) و درصد کربنات کلسیم ($r=0/3^*$) نیز همبستگی معنی‌داری در سطح پنج درصد دیده شد. مطالعه بوستانی و همکاران (Boostani *et al.*, 2019) بر روی کاربری جنگل، مرتع و باغات نشان داد که بین پتاسیم تبادلی و ظرفیت تبادل کاتیونی رابطه مثبت معنی‌داری دیده می‌شود. اما آنان همبستگی بین مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی با مقدار پتاسیم غیر تبادلی را منفی و معنی‌دار گزارش کردند. بین پتاسیم شبه‌ساختمانی و مقدار رس خاک نیز ارتباط مثبت معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده گردید ($r=0/36^*$). به‌طور کل تمامی شکل‌های پتاسیم با رس رابطه مثبتی داشته، و تنها پتاسیم غیرتبادلی و شبه ساختمانی داری

پتاسیم خاک، کانی ایلیت کاهش و بر مقدار کانی رسی اسمکتیت افزوده شده است. آنان نشان دادند که کمترین میزان کانی ایلیت در خاک‌های زیر کشت درختان ۲۰ ساله و بیشترین مقدار آن در اراضی کشت نشده و برای کانی اسمکتیت عکس حالت قبل مشاهده شده است. این تغییرات کانی شناسی در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری و منطقه ریزوسفر بارزتر بود (Shahrokh *et al.*, 2019). مقدار کانی پالی-گورسکایت تقریباً در تمامی کاربری‌ها از سطح به عمق بیشتر می‌شود. مقدار کلرایت نیز در تمامی کاربری‌ها دارای روند ثابتی است. کوارتز بدلیل خالص‌سازی بسیار ناچیز و کمتر از ۵ درصد است. محتوی کانی‌های مختلط در تمامی کاربری‌ها کمتر از ۱۵ درصد بیان شده است. عمده کانی‌های مختلط در این تحقیق شامل ورمی‌کولیت-اسمکتیت و ایلیت-ورمی‌کولیت می‌باشد. الگوی کانی‌شناسی بدست آمده با نتایج سایر محققین در مناطق نیمه خشک ایران مطابقت دارد (Khormali & Abtahi, 2003; Najafi *et al.*, 2011; Rezapour *et al.*, 2013).

۱۴/۷ آنگسترومی در تیمار منیزیوم و اتیلن گلیکول حضور ورمی‌کولیت را تایید می‌کند (شکل ۳، a). در الگوی پراش اشعه‌ی ایکس افزایش شدت فراز ۱۰ آنگستروم در تیمار اشباع با پتاسیم و هم‌چنین محو فراز ۱۴ آنگستروم وجود ورمی‌کولیت را نشان می‌دهد. فراز ۱/۴ نانومتر در تیمار اشباع با منیزیوم که در اثر تیمار اتیلن گلیکول به ۱/۴۵ تا ۱/۵ نانومتر افزایش یافته است، نشان دهنده حضور ورمی‌کولیت است (Barnhisel & Bersch, 1989). عدم کشت و کار و عملیات خاک‌ورزی در کاربری مرتع منجر به عدم تغییر کانی ایلیت شده است. در واقع عدم هوادیدگی باعث شده که مقدار کمتری از ایلیت به کانی اسمکتیت تبدیل شود. افشاری و همکاران نیز با مطالعه کانی شناسی رس در اثر تغییر کاربری اراضی، نشان دادند که کاربری مرتع نسبت به کشاورزی مقدار بالاتری کانی ایلیت و ورمی‌کولیت را داراست و تغییر کاربری به زراعی باعث کاهش محتوی هر دو کانی شده است (Afshari *et al.*, 2019). بالا بودن کانی اسمکتیت در کاربری کشاورزی بدلیل عملیات شخم و هوازدگی بیشتر از دو کاربری دیگر است. محتوی کانی اسمکتیت با افزایش عمق کاهش یافته است، که دلیل آن کاهش مقدار هوادیدگی است. کاهش شدت فراز ۱۰ آنگسترومی مربوط به ایلیت که در شکل مشخص شده است و افزایش شدت فراز ۱۵/۵ آنگسترومی نشانگر افزایش میزان اسمکتیت است (شکل ۳، b). در تحقیقی نشان داده شده است که کشت مداوم آفتابگردان طی پنجاه سال توانسته است بر روی کانی ایلیت و اسمکتیت اثر بگذارد. و منجر به تبدیل ایلیت به اسمکتیت شود.

محققان نیاز بالای پتاسیم آفتابگردان و رطوبت قابل دسترس در منطقه ریشه بدلیل کشت مداوم را عامل اصلی برای تبدیل ایلیت به اسمکتیت بر شمردند (Rezapour *et al.*, 2013). تغییر کاربری مرتع به کشاورزی و عملیات کشت گندم و جو طی ۳۰ سال، منجر به آزادسازی بیشتر پتاسیم در منطقه شده است. و میزان سطح اسمکتیت بالاتر مشاهده شد. نتایج مشابهی در منطقه غرب ایران بر اثر تغییر کاربری مرتع به کشاورزی گزارش شده است (Afshari *et al.*, 2019). شاهرخ و همکاران طی مطالعه خود نشان دادند که با افزایش سن درختان پرتغال، گسترش سیستم ریشه‌ای و جذب بیشتر

جدول ۴- همبستگی بین برخی ویژگی‌های خاک و شکل‌های متفاوت پتاسیم در تمام خاک‌های مورد مطالعه

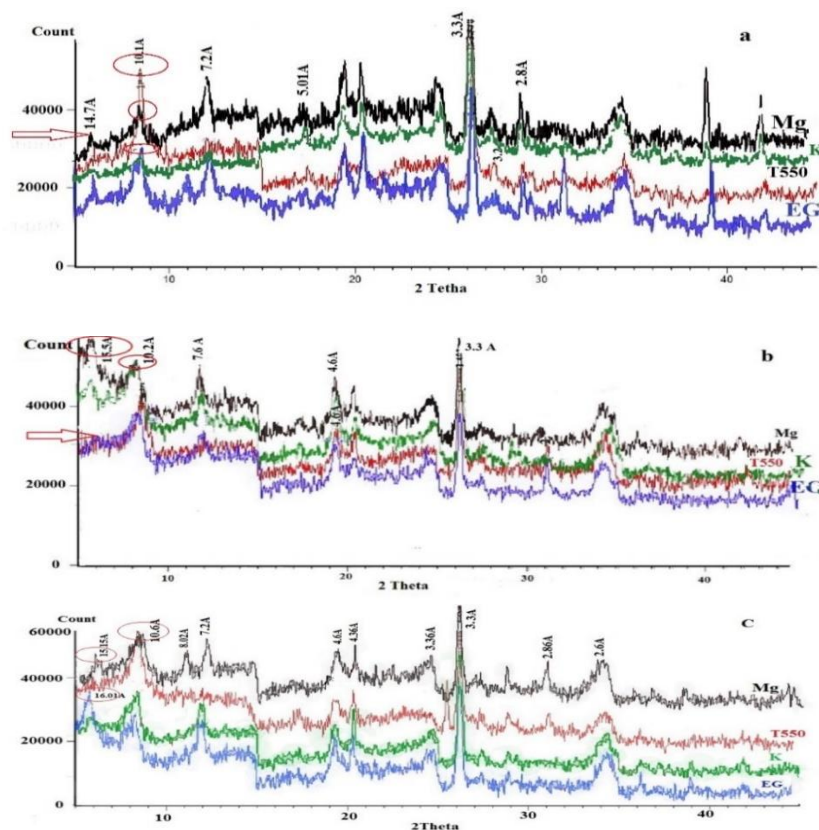
Table 4. Correlation between some soil properties and different K forms in soil studied

Properties	Soluble K mgkg ⁻¹	Exchangeable K mgkg ⁻¹	Non exchangeable K	Structure K mgkg ⁻¹	O.C %	CEC Cmol _c kg ⁻¹	EC dSm ⁻¹	CCE %	Saturation moist%	Sand %	Silt %	Clay %
Soluble K	1	0.4**	0.2 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.3*	0.22 ^{ns}	-0.12 ^{ns}	-0.31*	0.27 ^{ns}	0.1 ^{ns}
Exchange. K		1	0.05 ^{ns}	0.4**	0.35*	0.44**	0.11 ^{ns}	0.4*	0.44 ^{ns}	-0.037	0.2 ^{ns}	0.1 ^{ns}
Non-Exchange. K			1	0.3*	0.03	0.3*	-0.2 ^{ns}	0.3*	-0.37 ^{ns}	-0.2 ^{ns}	0.26 ^{ns}	0.4*
Structure K				1	-0.11 ^{ns}	0.13 ^{ns}	-0.73 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.001 ^{ns}	-0.2	0.2 ^{ns}	0.36*
O.C%					1	0.24 ^{ns}	-0.12	0.24 ^{ns}	0.74 ^{ns}	0.08 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	0.18 ^{ns}
CEC						1	-0.13 ^{ns}	-0.18*	0.8**	-0.27	0.33**	0.12 ^{ns}
EC							1	-0.13 ^{ns}	-0.65 ^{ns}	-0.16	0.21 ^{ns}	-0.09 ^{ns}
CCE%								1	0.1 ^{ns}	-0.3 ^{ns}	0.33 ^{ns}	-0.11 ^{ns}
Saturation %Sand									1	-0.4 ^{ns}	0.63 ^{ns}	-0.7 ^{ns}
Silt %										1	-0.92**	-0.3 ^{ns}
Clay %											1	-0.1 ^{ns}

CCE: Calcium Carbonate Equivalent; CEC: Cation Exchange Capacity; EC: Electrical Conductivity;

** : معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد؛ * معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد. ^{ns}: عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

*and ** show significance of correlation coefficient at level of 5 and 1 %, ^{ns}: don't significant.



شکل ۳- نمونه ای از پراش پرتوی ایکس کاربری مرتع زیرسطحی (شماره ۸۸) (a)، کشاورزی سطحی (شماره ۳۵) (b) و پارک جنگلی زیرسطحی (شماره ۲۶) (c)

Figure 3. Sample of X-ray diffraction of subsurface rangeland (88 no.) (a), surface agriculture (35 no.) (b) and surface forest park (26 no.) (c) land uses

مراعات به ترتیب دارای بالاترین مقدار می‌باشند. به‌طور کلی افزایش مقدار پتاسیم تبدلی در کاربری مرتع را می‌توان تحت تاثیر مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی، کربن آلی خاک و هم‌چنین محتوی بالاتر رس ورمی کولیت دانست (Khormali *et al.*, 2008; Najafi *et al.*, 2019; Srinivasarao *et al.*, 2007). ورمی کولیت دارای ظرفیت تبادل کاتیونی بالا در میان کانی‌های رسی خاک می‌باشد (Hongo *et al.*, 2012). در کاربری پارک جنگلی پتاسیم محلول میانگین بالاتری را در بر دارد. در این کاربری، عمده کانی‌های حاوی پتاسیم هوازده شده و به کانی رسی اسمکتیت تبدیل شده و می‌توان دلیل اصلی بالابودن پتاسیم محلول را نیز هوادیدگی ورمی کولیت و تبدیل آن به اسمکتیت دانست.

همانگونه که در جدول (۵) نشان داده شده است سه کانی اصلی کنترل کننده مقدار پتاسیم در سه کاربری کانی‌های ایلیت، اسمکتیت و ورمی کولیت می‌باشند. هاشمی (Hashemi, 2020) در مطالعه شکل‌های متفاوت پتاسیم در باغات انگور در دو بافت شنی و رسی بیان کردند که کانی‌های ایلیت و اسمکتیت بعنوان یکی از عوامل اصلی کنترل کننده پتاسیم در منطقه شنی و کانی‌های رسی ورمی کولیت و تا حدودی ایلیت نیز بعنوان یکی از کنترل کننده‌های پتاسیم در منطقه رسی هستند. ایشان کانی‌های مختلط ایلیت-ورمی کولیت و ایلیت-اسمکتیت را کانی‌های کنترل کننده پتاسیم در بخش سیلت خاک دانستند. همانگونه که در جدول ۲ مشاهده شد، بالاترین شکل پتاسیم تبدلی مربوط به کاربری مرتع است. نتایج کانی‌شناسی رس نشان داد که مقدار کانی ورمی کولیت در

جدول ۵- مقدار کمی کانی‌های رسی خاک در برخی خاک‌های مورد مطالعه
Table 5. Quantitative value of clay minerals in some studied soils

Soil. no	Land use	*Clay minerals							
		Chl.	Ill.	Sm.	Ver.	Pal.	Kaol.	Qu.	Mix.
11	Surface Forest Park	6	41	18	15	4	5	Tr	11
26	Subsurface Forest Park	10	43	19	10	5	3	Tr	10
31	Surface Agriculture	15	22	19	12	12	6	2	12
35	Surface Agriculture	16	18	19	13	12	6	4	12
50	Subsurface Agriculture	14	23	27	9	14	3	3	7
55	Subsurface Agriculture	14	21	30	18	13	3	2	8
73	Surface Rangeland	7	32	14	21	8	4	3	9
88	Subsurface Rangeland	8	35	15	27	7	3	2	3

*Tr: Trace, Kaol: Kaolinite, Pal: Palygorskite, Verm: Vermiculite, Sm: Smectite, Ill: Illite, Chl: Chlorite.

ایلیت و ایلیت-اسمکتیت بیان کردند. همانگونه که در مقایسه میانگین‌ها نیز بیان شد، بالاترین مقدار پتاسیم شبه ساختاری در بین سه کاربری مربوط به کاربری پارک جنگلی و سپس مرتع است، که با افزایش عمق نیز بدلیل عدم هوازدگی، بیشتر برآورد شده است. در مرتع بدلیل عدم شخم و زیر و رو شدن خاک، مقدار هوازدگی کانی‌ها کمتر صورت گرفته است و لذا عمده کانی‌ها به همان حالت کانی‌های اولیه مانند میکا باقی مانده‌اند. حضور کانی رسی ایلیت را در کاربری پارک جنگلی و مرتع می‌توان دلیل اصلی بالا بودن پتاسیم شبه‌ساختاری دانست (Najafi *et al.*, 2011; Khormali *et al.*, 2008). هاشمی و عباسلو (Hashemi & Abbaslou, 2016) نیز بیان نمودند که شکل‌های متفاوت پتاسیم به محتوی ورمی‌کولیت و ایلیت در خاک وابسته هستند. کمتر بودن پتاسیم ساختاری در کاربری کشاورزی را می‌توان بدلیل مصرف بالاتر پتاسیم آزاد شده طی چندین سال توسط کشت گندم و جو نام برد. آزادسازی پتاسیم در این کاربری بیشتر صورت گرفته و پتاسیم وارد فازهای دیگری شده است. نجفی‌قیری و

هم‌چنین بالا بودن پتاسیم غیرتبادلی در این کاربری را می‌توان به بالا بودن محتوی رس ایلیت نسبت داد، چرا که عامل اصلی تثبیت پتاسیم است. علمداری و همکاران هم ارتباط بین ایلیت و پتاسیم غیرتبادلی را مثبت گزارش کردند و بیان کردند که این شکل پتاسیم از لبه‌ها و فضای بین لایه‌ای ایلیت آزاد شده است (Alamdari *et al.*, 2016). رضاپور و همکاران (Rezapour *et al.*, 2017) در تحقیقی نشان دادند که عملیات جنگل‌زدایی مالی‌سولهای پیرانشهر، و کشت و کار منجر به ناپدید شدن فراز اسمکتیت در مقایسه با کاربری جنگل می‌گردد. آنان گزارش کردند که افزایش محتوی پتاسیم خاک (محلول و تبادلی) و داخل شدن یون پتاسیم به داخل لایه‌های اسمکتیت منجر به تبدیل آن به ایلیت شده است. همین اتفاق را برای ورمی-کولیت و تبدیل آن به ایلیت گزارش کردند. هاشمی و عباسلو (Hashemi & Abbaslou, 2016) طی مطالعه‌ای نشان دادند که در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، بین پتاسیم غیرتبادلی و ایلیت ارتباط معنی‌داری وجود دارد. آن‌ها عامل اصلی نگهداری پتاسیم در خاک را رس‌های

شکل‌های اثر معنی‌دار نداشت. اما تیمار کاربری دارای اثر معنی‌داری بود. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شکل‌های پتاسیم بغیر از پتاسیم محلول با محتوی رس خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی مشاهده شد. عامل کنترل‌کننده پتاسیم در کاربری مرتع کانی ورمی‌کولیت و در پارک جنگلی ایلات و اسمکتیت شناخته شد. محتوی اسمکتیت در کاربری کشاورزی، عملیات آبیاری و نیاز گیاه، کنترل‌کننده شکل‌های پتاسیم است. بدلیل فعالیت ریشه در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک و استفاده از پتاسیم خاک توسط گیاه، می‌توان گفت عمق‌های انتخاب شده بخوبی نتوانستند تفاوت در شکل‌های پتاسیم را نشان دهند. لذا توصیه می‌گردد که برای بدست آوردن نتایج بهتر از عمق‌های پایین تری استفاده گردد. تغییر کاربری مرتع به کاربری کشاورزی دارای اثر منفی نسبت به تغییر کاربری به پارک جنگلی در بحث شکل‌های متفاوت پتاسیم، بوده است. کشت مداوم گندم و جو در منطقه از نظر تخلیه عنصری پتاسیم بسیار مخرب بوده، در حالی‌که تغییر کاربری اراضی مرتع به پارک جنگلی بسیار سودمند واقع شده است. بنابراین برای حفاظت از پتاسیم خاک در مناطق کشت شده زراعی و جهت تامین عنصر، استفاده از کودهای آلی و کشت آیش بطور موقت توصیه می‌گردد.

همکاران (Najafi *et al.*, 2019) نیز بیان نمودند که پتاسیم تبدالی در خاک‌ها با مقدار اسمکتیت و پتاسیم غیرتبدالی با ایلات ارتباط دارند، در حالی‌که پتاسیم ساختمانی و کل در خاک‌های با مقدار اسمکتیت و ایلات بالاتر، به‌طوری‌معنی - دارای بیش از سایر خاک‌ها بوده است. خرمالی و همکاران (Khormali *et al.*, 2008) نیز بالاتر بودن مقدار مقدار رس و غالب بودن کانی‌رسی اسمکتیت را دلیل اصلی بالا بودن شکل‌های پتاسیم در خاک‌های ورتی‌سولز دانستند. ایشان نشان دادند که پتاسیم ساختاری در نمونه‌های با ایلات بالاتر، بیشتر است.

نتیجه‌گیری کلی

محاسبه مقدار شکل‌های متفاوت پتاسیم نشان داد که حداکثر پتاسیم محلول، غیرتبدالی و ساختاری در کاربری پارک جنگلی و پتاسیم تبدالی در کاربری مرتع است. کاربری کشاورزی در تمامی شکل‌ها دارای مقادیر کمتری است. هم‌چنین نتایج نشان داد که در شکل محلول، تبدالی و غیرتبدالی با افزایش عمق محتوی پتاسیم کاهش یافته، و تنها در شکل شبه ساختاری با افزایش عمق، افزایش پتاسیم مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که عمق تنها در پتاسیم تبدالی دارای اثر معنی‌داری است و در سایر

Reference

- Afshari M, Hashemi S.S, and Attaeian B. 2019. Land use change effect on physical, chemical, and mineralogical properties of calcareous soils in western Iran. *ECOPERSIA*, 7(1):47-57.
- Alamdari P., Kamrani V., and Mohammadi M.H. 2016. Clay mineralogy relationships with Potassium forms in different physiographic units. *J. of Water and Soil*, 29: 6.1578-1589. (In Persian)
- Allison L.E., and Moodi C.D. 1962. Carbonates. In: Black C.A. (Ed), *Methods of Soil Analysis. Part 2, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI.* pp. 1379-1396.
- Al-Zubaidi A., Yanni S., and Bashour I. 2008. Potassium status in some Lebanese soils. *Lebanese Science Journal*, 9: 81-97.
- Ayoubi Sh. and Jalalian A. 2006. *Land Evaluation (Agriculture and Natural Resources)*. Isfahan University of Technology Publishing, Isfahan, Iran, 398p. (In Persian).
- Azadi A., and Shakeri S. 2020. Effect of various land uses on potassium forms and some soil properties in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province, Southwest Iran. *Iran Agricultural Research*, 39(1): 121-131.
- Behera S., Krishna chaitanya A., Ghosh S.K., and Patra P.K. 2015. Distribution of potassium fractions in different land use system in some soil series of west Bengal. *The Bioscan*, 10(4): 1549-1553.
- Boostani H.R., Najafi-Ghiri M., and Mahmoodi A.R. 2019. Effect of land use change on potassium chemical fractions and availability of some soil nutrients in Darab region, Fars province. *Applied Soil Research*, 7(3):180-191. (In Persian)

- Barnhisel R.I., and Bersch, P.M. 1989. Chlorite and hydroxyl interlayered vermiculite and smectite. *In* Dixon J.B., and Weed S.B. (Eds.), Minerals in soil environment. Society of American Agronomy, Madison, WI, pp: 129-788.
- Chapman H.D. 1965. Cation exchange capacity. *In* Black C.A. (ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties. Society of American Agronomy, Madison, WI, pp. 891-901.
- Ebrahimi M., Kashani S., and Rouhimoghaddam E. 2016. Effect of land use change from rangeland to agricultural land on soil fertility in Taftan region. *Water and Soil Science*, 26(1): 31-44.
- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle-size Analysis. *In*: Klute A. (Ed.), Methods of Soil Analysis Part I, Physical and Mineralogical Methods. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 383-412.
- Gholami A., Baghernejad M., Azadi A., and Shakeri S. 2020. Effect of long term rice cultivation on potassium status, clay mineralogy and some physicochemical properties of calcareous soils in Fars province. *Soil and Water research*, 52 (1): 123-141.
- Gholizade Gh., Karimi A.R., Khorasani R., and Khormali F. 2015. Different forms of soil potassium in tobacco cultivated areas of northern Iran. *J of Water and Soil Conservation*, 23(4): 1-23. (In Persian)
- Goulding K.W.T. 1987. Potassium fixation and release. Switzerland: Colloquium of the international Potash Institute. pp: 134- 156.
- Hashemi S.S. and Abbaslou H. 2016. Potassium reserves in soils with arid and semi-arid climate in southern Iran: a perspective based on potassium fixation. *Iran Agriculture Research*, 35: 2. 88-95.
- Hashemi S.S. 2020. Study on the effect of long term cultivation of grape on mineralogy of soil fractions and different potassium forms in two regions of Malayer. *Soil Research Journal* 34(2): 183-198. (In Persian)
- Havlin J., Beaton J., Tisdale S., and Nelson W. 1999. Soil Fertility and Fertilizers. Ed. Prentice Hall, New Jersey, 503p.
- Helmke P.A. and Sparks D.L. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium and cesium. *In*: Sparks D.L. (Ed.), Method of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods. No. 5 American society of agronomy, Madison, WI, pp. 551-574.
- Hongo T., Yoshino T., Yamazaki A., and Satokawa S. 2012. Mechanochemical treatment of Vermiculite in vibration milling and its effect on Lead (II) adsorption ability. *Clay Science*, 70: 74-78.
- Kittrick J.A., and Hope E.W. 1963. A procedure for the particle size separation of soils for X-ray diffraction analysis. *Proceedings Soil Science Society of America (former title)*, 37: 201-205.
- Khormali F., and Abtahi A. 2003. Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semiarid soils of Fars province, southern Iran. *Clay Mineral*, 38: 511-527.
- Khormali, F., Nabiollahy, K., Bazargan, K., and Eftekhari, K. 2008. Potassium status in different soil orders of Kharkeh research station Kurdistan. *J. Agric. Sci. Natur. Resource*, 14: 5. 1-9.
- Knudsen D., Peterson G.A., and Pratt P.F. 1982. Lithium, sodium and potassium. *In*: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeny, (Ed.), Methods of Soil Analysis, part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp.225-246.
- Loppert R.H. and Suarez D.L. 1996. Carbonate and gypsum. *In*: Sparks D.L. (eds.) Method of soil analysis. Part III. 3rd Ed. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 437-474,
- Mc-Lean E.O. 1982. Soil pH and Lime requirement. Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, pp. 199-224.
- Mesut Cimrin K., Akca E., Senol M., Buyuk G., and Kapur, S. 2004. Potassium potential of the soils of the Gevas region in eastern Anatolia. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 28 (14): 259-266.
- Mohamadi S. 2016. Investigation of different land use effect on some soil chemical properties in Jmalabad area, Baft city. *Journal of range land and watershed Management*, 69(4): 1063-1073. (In Persian)
- Najafi-Ghiri M., Abtahi A., Owliaie H., Hashemi S.S., and Koohkan, H., 2011. Factors affecting potassium pools distribution in calcareous soils of southern Iran. *Arid Land Research and Management*, 25(4): 313-327.

- Najafi-Ghiri M., Mahmoodi A., and Askari Sh. 2015. Effect of three halophytes species on some soil properties and different potassium forms in saline soils. *Journal of Water and Soil Science*, 72: 1-9. (In Persian)
- Najafi-Ghiri M., Owliaie H. R. and Boostani, H. R. 2019. Factors affecting potassium pools distribution in some calcareous soils of Kohgilouye and Boyerahmad province. *Applied Soil Research*, 7(2): 196-207. (In Persian)
- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1996. Total carbon and organic matter. In: Sparks D.L. (Ed.) *Methods of Soil Analysis, Part III, 3rd Ed.*, American Society of Agronomy, Madison, WI. USA. pp. 961-1010.
- Rezapour S. 2014. Response of some soil attributes to different land use types in calcareous soils with Mediterranean type climate in north-west of Iran. *Environmental Earth Sciences*, 71:2199–2210.
- Rezapour S., and Alipour, O. 2017. Degradation of Mollisols quality after deforestation and cultivation on a transect with Mediterranean condition. *Environmental Earth Sciences*, 76:755.
- Rezapour S., and Taghipour A., and Samadi A. 2013. Modifications in selected soil attributes as influenced by long-term continuous cropping in a calcareous semiarid environment. *Natural Hazards*, 69:1951–1966.
- Rhoades J.D. 1996. Salinity: Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids. In: Sparks D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part III, 3rd Ed.*, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 417-436.
- Shahrokh V., Khademi H., and Shariatmadari H. 2019. Changes in Different Forms of Potassium and Clay Minerals in Soils as Influenced by Different Aged Orange Trees (*Citrus sinensis*) in Darab, Fars Province. *Journal of Water and Soil Science*, 23(2): 13-26. (In Persian)
- Sharma B.D., Mukhopadhyay S.S. and Sawhney J.S. 2006. Distribution of potassium fractions in relation to landforms in a Himalayan catena. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 52(4): 469–476.
- Sparks D.L. 1987. Potassium dynamics in soils. *Adv. Soil Science*, 6: 1-63.
- Sposito G., Lun L.J., and Chang A.C. 1982. Trace metal chemistry in arid zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phases. *Soil Science Society American Journal*, 46: 260-264.
- Srinivasarao C., Singh R.N., Ganeshamurthy A.N., Singh G., and Masood A. 2007. Fixation and recovery of added phosphorus and potassium in different soil types of pulse growing regions of India. *Communication Soil Science Plant Analysis*, 38: 449-460.

The Effect of Land Use Change of Rangeland to Agriculture and Forest Park Land Use on Different Potassium Forms and Clay Mineralogy

Shirzad Jafari Arganeh¹, Soheila sadat Hashemi^{*2}, Shahryar Mahdavi³

(Received: October 2022 Accepted: June 2023)

Abstract

Land use change is a factor that affects the loss of soil fertility such as macronutrient. Potassium (K) is an essential macro-nutrient for the growth of plant that its distribution in soil depends on clay minerals, manure, degree of weathering, land use type, climate condition and leaching. The purpose of this research was an investigation of different K forms in three agricultures, rangeland and forest park land uses in surface (0-15 cm) and subsurface (15-30 cm) depths in Oshtorninan region (Lorestan province). Soil sampling was done in 45 points in three land use and two depths. Some soil physicochemical and different K forms were determined in laboratory. Mineralogical study was carried out with X-ray diffraction. Results showed that the mean contents of soluble (15.9 mgkg^{-1}), non-exchangeable (627.5 mgkg^{-1}) and structural K ($3563.2 \text{ mg kg}^{-1}$) in the forest park and the content of exchangeable K (484 mgkg^{-1}) in the rangeland was higher than other land uses. All K forms (except structural K) were higher in the surface soils compared to the subsurface soils. Land use had significant effects ($p < 0.01$) on all K forms, but depth had no significant effect on them. Soluble K only had a positively significant correlation with exchangeable K. Positively significant correlations between structural K with exchangeable and non-exchangeable K were observed. Also, clay and cation exchange capacity had positively significant relationships with exchangeable, non-exchangeable and structural K. Mineralogical studies showed that vermiculite and smectite control the content of exchangeable K in the rangeland and the smectite and illite are important minerals that control the non-exchangeable and structural K in the forest park. The change in land use from rangeland to agricultural land may induces the long-term reduction of all K forms, while the change to forest park increases soluble, non-exchangeable and structural K forms.

Keywords: Illite, Exchangeable K, Land use type, Vermiculite

Jafari Sh., Hashemi S.S., Mahdavi Sh. 2024. The effect of land use change of rangeland to agriculture and forest park land use on different potassium forms and clay mineralogy. *Applied Soil Research*. 11(3):1-17.

1. MSc Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran

2. Assistant Professor. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran

3. Association Professor. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran

* Corresponding Author E-mail: s.hashemi@malayeru.ac.ir