

بررسی میزان آزاد شدن پتاسیم در برخی از خاک های استان قزوین

ژیلا شفیعی^۱، کامران افتخاری^۲، احمد حیدری^۳، علی محمدی ترکاشوند^۴، بهارک معتمد وزیری^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۹

چکیده

این پژوهش اهمیت درک پویایی پتاسیم خاک و نیاز به تطبیق شیوه های مدیریت پتاسیم با ویژگی های ذاتی خاک را برای به حداکثر رساندن راندمان مصرف کودهای پتاسیمی برجسته می کند. در این پژوهش ۷ خاک رُخ در تعدادی از واحدهای نقشه خاک منطقه مطالعاتی حفر شد. ویژگی های بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری، کربن آلی، پهاش، سدیم و پتاسیم محلول، گنجایش تبادل کاتیونی خاک، هدایت الکتریکی، آهک، گچ، نیتروژن، فسفر، آهن، مس، منگنز و روی قابل دسترس خاک اندازه گیری شدند. از مطالعات ریزریخت شناسی برای شناسایی کانی های خاک در اجزای بزرگتر از ۲ میلی متر و شناسایی روابط آن ها استفاده شد. مقدار و سرعت آزاد شدن یون پتاسیم از فاز تبدلی و ساختمانی در نمونه های خاک معمولی اندازه گیری شد. خاک ها در گروه خاک های با مقدار پتاسیم تبدلی کم، نسبتاً کم، متوسط، نسبتاً زیاد و زیاد گروه بندی شدند. در گروه خاک های با مقدار پتاسیم تبدلی زیاد مقادیر زیادی فلدسپات های پتاسیم دار همراه با کانی های میکا در اندازه سیلت وجود داشت. ضرایب رگرسیونی زیاد نشان دهنده همبستگی قوی بین کلرورکلسیم اعمال شده و پتاسیم آزاد شده بود. خاک واحد نقشه ۲۰، دارای افزون ترین مقدار مربع ضریب همبستگی ($R^2=0/9887$) بود. با توجه به گنجایش تجدیدشوندگی، واحد نقشه ۲۳، دارای افزون ترین میانگین پتاسیم آزاد شده ($71/7$ میلی گرم بر کیلوگرم) و سطح زیرمنحنی (17208 میلی گرم بر کیلوگرم) بود. واحد نقشه ۳، دارای کمترین گنجایش تجدیدشوندگی با کمترین میانگین پتاسیم آزاد شده ($30/05$ میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین سطح زیر منحنی (7212 میلی گرم بر کیلوگرم) بود.

کلمات کلیدی: پتاسیم تبدلی، گنجایش تجدیدشوندگی، سرعت رهاسازی، زمین ریخت، ریزریخت شناسی، ضریب همبستگی.

^۱ دانشجوی دکتری، گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
Jila.shafiee68@yahoo.com

^۲ استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
Kamran_eftekhari@hotmail.com

^۳ استاد، گروه آموزشی علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران. کرج، ایران.
ahaidari@ut.ac.ir

^۴ دانشیار، گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
m.torkashvand54@yahoo.com

^۵ استادیار، گروه آبخیزداری، دانشکده علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. bm vaziri@gmail.com

مقدمه:

پتاسیم با شعاع یونی $1/33$ آنگستروم و وزن اتمی $39/1$ از جمله مهم‌ترین فلزات قلیایی در طبیعت به‌شمار می‌رود که به‌دلیل تمایل زیادش برای ترکیب با سایر عناصر، هرگز به شکل عنصری در طبیعت یافت نمی‌شود. پتاسیم سومین عنصر پرمصرف پس از نیتروژن و فسفر است که به‌مقدار زیاد در بافت‌های گیاهی وجود دارد. این عنصر نقش مهمی در فروغ‌آمایی گیاه، سرعت تنفس، ساختن پروتئین، گل‌دهی، تجزیه کربوهیدرات‌ها، کنترل تعادل یونی، انتقال یون‌های فلزی، تحمل به سرما، خشکی، بیماری و فعالیت بسیاری از سامانه‌های آنزیمی گیاه دارد [۱]. مقدار پتاسیم قابل‌دسترس خاک تا حد زیادی به رهاسازی آن از انواع کانی‌های دارای پتاسیم نظیر میکا و فلدسپات‌های پتاسیم‌دار و همچنین به‌مقدار تثبیت آن توسط کانی‌های نسبتاً هواده میکا، ورمی‌کولایت و اسمکتیت‌های با بار لایه‌ای زیاد وابسته است [۲، ۳]. پتاسیم در هر دو گروه کانی‌های اولیه و ثانویه (بین‌لایه‌ای) وجود دارد و بیشترین مقدار پتاسیم در این کانی‌ها اندازه‌گیری شده است [۴]. هر قدر که مقدار کانی‌های حاوی این عنصر در خاک بیشتر باشد مقدار پتاسیم قابل‌دسترس خاک نیز بیشتر است [۵]. مهم‌ترین مواد معدنی دارای پتاسیم در خاک‌ها دربرگیرنده فلدسپات‌های قلیایی ($30 - 20$ گرم پتاسیم در هر کیلوگرم)، موسکوویت (میکای حاوی پتاسیم، 60 تا 90 گرم پتاسیم در هر کیلوگرم)، بیوتایت (میکای منیزیم، $36 - 80$ گرم پتاسیم در هر کیلوگرم) و ایلایت ($32 - 56$ گرم پتاسیم در هر کیلوگرم) می‌باشند [۶]. این‌ها منابع طبیعی پتاسیم هستند که یون پتاسیم در اثر هوازگی از آن‌ها آزاد شده و به مصرف گیاه می‌رسد. پتاسیم در خاک به چهار شکل پتاسیم محلول، پتاسیم تبدالی، پتاسیم غیر قابل‌تبادل (تثبیت شده) و پتاسیم ساختمانی است که به‌ترتیب از قابلیت دسترسی آن برای گیاهان کاسته می‌شود [۷]. البته تنها شکل اصلی پتاسیم قابل جذب برای گیاه، انواع پتاسیم محلول و پتاسیم تبدالی است. معمولاً کانی‌های رسی دو به یک لایه مقدار پتاسیم قابل‌دسترس زیادتری دارند. خاک‌هایی که رس کائولینایت افزون‌تری دارند کمترین مقدار پتاسیم قابل‌دسترس را دارا بوده و خاک‌های حاوی کانی اسمکتایت دو به یک لایه معمولاً پتاسیم افزون‌تری را دارا هستند و لایه میانی آن‌ها منبع مناسبی برای تأمین یون پتاسیم قابل‌دسترس در خاک محسوب می‌شود. مقدار پتاسیم قابل‌دسترس در خاک‌های حاوی مخلوط کانی‌های رسی کائولینایت و رس‌های دو به یک لایه در حد متوسط است [۸]. کانی‌های میکا، ایلایت، ورمی‌کولایت، مونت‌موریلونایت، کائولینایت به‌دلیل این‌که پتاسیم را در ساختار شبکه تبلور خود به شکل قابل‌تبادل تثبیت می‌نمایند در مقایسه با کانی‌های فلدسپاته پتاسیم‌دار، پتاسیم بیشتری را در خاک آزاد می‌کنند. دلیل این امر آن است که برای آزاد شدن یون پتاسیم از کانی‌های اولیه هوازگی خیلی افزون‌تر و زمان طولانی‌تری نیاز است [۹]. شرایط اقلیمی (مقدار بارندگی)، نوع و مقدار کانی رسی، شرایط فیزیکی خاک (وجود خُف‌رات به شکل کانال در خاک) و مقدار نیاز غذایی گیاه به این عنصر از جمله عوامل موثر در آزادسازی پتاسیم در خاک محسوب می‌گردند [۱۰]. جذب پتاسیم قابل‌دسترس در خلال رشد

گیاهان یک فرآیند پویا و ناپایدار است که غالباً موجب کمبود این عنصر در ناحیه رشد گیاهان می گردد. بنابراین درک نحوه آزاد شدن یون پتاسیم از کانی های خاک و نرخ آزادسازی آن از منابع گوناگون و ذخایر جذب سطحی شده آن بر روی سطوح، لبه ها و فضای میان لایه ای کانی های گوناگون اعم از کانی های رسی و یا دیگر کانی ها و همچنین پتاسیم ساختمانی از جمله جنبه های بسیار مهم حاصلخیزی خاک محسوب می گردد [۱۱]. جذب و واجذب پتاسیم در آزمایش های گوناگونی مورد مطالعه قرار گرفته و فرآیندهای انجام آن به وسیله دانشمندان گوناگون بررسی شده است. در مطالعات گوناگون نیز مکانیسم پخشیدگی برای جذب پتاسیم توسط ریشه گیاهان مورد تأکید قرار گرفته است. معمولاً مقدار عنصر پتاسیم در خاک بسیار افزون تر از مقدار یون پتاسیم جذب شده توسط گیاهان در خلال دوره رشدشان می باشد. این مقدار عمدتاً در گروه کانی های رسی و به ویژه در کانی ایلیت متمرکز می باشد. مقدار پتاسیم قابل دسترس خاک بیش از آن که تابع مقدار کل پتاسیم موجود در خاک باشد بیشتر تابع سرعت رهاسازی آن از هوادیدگی و انحلال کانی های حاوی این عنصر است [۱۲]. آزمایش های انجام یافته بر روی جذب و واجذب کانی های رسی خالص ساخته شده در آزمایشگاه نظیر اسمکتایت، کائولینایت و هکتورایت نشان داده است که در صورت اشباع این کانی ها از یون پتاسیم آن ها اغلب بخش قابل توجهی از پتاسیم را در فاز محلول آزاد می کنند [۱۳]. دلیل این امر آن است که بخش زیادی از یون های پتاسیم یا بر روی سطوح و لبه های این کانی ها به صورت جذب سطحی شده نگهداری شده و یا این که در مکان های قابل دسترس درون فضای بین لایه ای قرار می گیرند. در مقابل کانی های میکایی بخش زیادی از پتاسیم بین لایه ای خود را تثبیت نموده و در مقابل تبادل یونی از آن ها حفاظت می کنند. فلدسپات های پتاسیمی دچار انحلال گردیده و پیوسته پتاسیم موجود در شبکه بلورین خود را آزاد می کنند [۱۴].

[۱۵]. این پژوهش با هدف مطالعه ترکیب کانی شناسی خاک های محدوده مورد پژوهش اعم از کانی های اولیه، کانی های ثانویه، نوع، مقدار و غالبیت کانی ها، ارتباطشان با فاز محلول خاک و نقششان در تأمین عناصر غذایی برای گیاهان به مورد اجرا گذارده شد. در این پژوهش از مطالعات ریزریخت شناسی^۱ به منظور شناسایی کانی های خاک در اجزای بزرگتر از ۲ میلی متر و شناسایی روابط بین آن ها استفاده شد [۱۶]. این پژوهش بر روی ۱۴ نمونه خاک سطحی و افق دوم خاک نماهای^۲ حفر شده بر روی برخی از واحدهای نقشه خاک منطقه مطالعاتی که ویژگی های اساسی و طبقه بندی آن ها در جدول های ۱، ۲، ۳ و ۴ ارائه شده است به انجام رسیده است. لازم به ذکر است که نتایج به دست آمده از این مطالعه، ویژه انواع خاک و روش استخراج مورد استفاده در این آزمایش بوده و در تفسیر نتایج باید شرایط ویژه و محدودیت های مطالعه در نظر گرفته شود.

1 - Micromorphology

2 - Pedon

مواد و روش‌ها:

ویژگی‌های بیوفیزیکی محدوده مطالعاتی

منطقه مورد پژوهش با مساحت در حدود ۲۶۳۶۷/۵۴ هکتار بخشی از حوزه آبریز رودخانه شور است که در دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی در بین چین‌خوردگی‌های البرز مرکزی در شمال و بخشی از ارتفاعات مرکزی ایران (آنتی‌البرز) مابین مختصات جغرافیایی $30^{\circ} 48'$ تا $51^{\circ} 53'$ طول شرقی و $34^{\circ} 47'$ تا $36^{\circ} 30'$ عرض شمالی و در حد فاصل شهرهای آبیک و قزوین واقع است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی

شاخه‌بندی آبراهه‌ها در محدوده مطالعاتی به گونه‌ای است که شاخه‌های فرعی حالت موازی داشته و شبکه زهکشی آن‌ها تراکم کمی دارد. رودخانه شور مهم‌ترین رودخانه دائمی در محدوده مطالعاتی است. میانگین سالانه دمای روزانه از کمتر از 4°C تا افزون بر 20°C متغیر است. میانگین بارندگی سالانه از ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر متغیر و رژیم بارش مدیترانه‌ای است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک به ترتیب زیریک و مزیک تعیین شد [۱۷]. رسوبات کواترنر و مواد آبرفتی عهد حاضر مهم‌ترین برون‌زدهای منطقه مطالعاتی هستند که عمدتاً از مواد آبرفتی، گنبد‌های نمکی، گدازه‌های آندزیتی، تشکیلات کهر، فیلیش و سنگ آسیاب موجود در ارتفاعات منشاء گرفته‌اند [۱۸].

عملیات میدانی

برای نیل به اهداف این پژوهش ۷ خاک‌رُخ در درون تعدادی از واحدهای نقشه خاک منطقه که به روش خاک-زمین‌ریخت‌شناسی^۱ تهیه شده بود حفر شد [۱۹]. در عملیات میدانی همراه با تفکیک و جدایش اُفق‌های ژنتیکی و خاک‌ساختی^۲ نسبت به مطالعه و بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناسی اُفق‌ها اقدام و نمونه‌های خاک دست خورده و دست نخورده برای مطالعه ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی و هم‌این‌طور

1 - Geopedology approach

2 - Pedogenic

تهیه مقاطع نازک، از اُفق های شناسایی شده تهیه شد [۲۰، ۲۱]. خاک ها با تلفیق اطلاعات مطالعات صحرایی و نتایج تجزیه های آزمایشگاهی، طبق آخرین کلید سامانه جامع طبقه بندی خاک رده بندی شد.

تجزیه های آزمایشگاهی

در این پژوهش توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتری [۲۲]، جرم مخصوص ظاهری خاک به روش کلوخه [۲۳]، مقدار کربن آلی خاک^۱ به روش سوزاندن تر [۲۴]، واکنش گل اشباع خاک به روش پتانسیومتری [۲۵]، سدیم و پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر [۲۶]، گنجایش تبادل کاتیونی خاک^۲ با استفاده از استات سدیم یک نرمال [۲۷]، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک به وسیله دستگاه هدایت-سنج جنوی [۲۸]، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید کلریدریک [۲۵]، ماده آلی خاک به روش هضم تر، گچ به روش استن [۲۸]، نیتروژن کل به روش کجل دال [۲۹]، مقدار فسفر قابل دسترس خاک به روش اُلسن [۳۰]، مقدار آهن، مس، منگنز و روی قابل دسترس خاک با روش دی اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید^۳ و توسط دستگاه جذب اتمی^۴ اندازه گیری شد [۳۱].

مطالعات ریزریخت شناسی

برای انجام مطالعات ریزریخت شناسی^۵ از کلیه اُفق های خاک واحدهای^۶ حفر شده به کمک جعبه های کوبینا^۷ به صورت دست نخورده نمونه برداری و همگی نمونه ها با روش های استاندارد در شرایط خلاء با رزین اپوکسی تلقیح^۸ و پس از طی فرآیند سخت شدن^۹، مقاطع نازک خاک تهیه و بر اساس نظام واژگان مورفی و استوپز تفسیر گردیدند [۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۷، ۳۸، ۳۹، ۴۰].

رها سازی پتاسیم از فاز جامد خاک

مقدار و سرعت آزاد شدن یون پتاسیم از فاز تبدالی و ساختمانی در نمونه های خاک معمولی اندازه گیری شد [۱۲، ۴۰، ۱۴، ۱۵]. برای اندازه گیری مقدار آزاد شدن پتاسیم از خاک، ۲ گرم خاک معمولی هر بار به مدت ۲۴ ساعت با ۳۰ میلی لیتر محلول کلرور کلسیم ۱ مولار دارای پ هاش حدود ۵/۰۲ در داخل لوله های سانتریفیوژ ۵۰ میلی لیتری در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد هم زده شد. نمونه ها به مدت ۱۱ روز متوالی به صورت پشت سر هم اشباع و سانتریفیوژ گردید و عصاره های حاصل به صورت جداگانه در داخل ارلن مایر جمع آوری و در خاتمه مقدار پتاسیم موجود در ارلن ها اندازه گیری شد [۴۱].

1 - Organic carbon

2 - Cation exchange capacity (CEC)

3 - Dietylen triamin penta acetic acid (DTPA)

4 - Atomic absorption spectrometry

5 - Micromorphology

6 - Pedon

7 - Cubina box

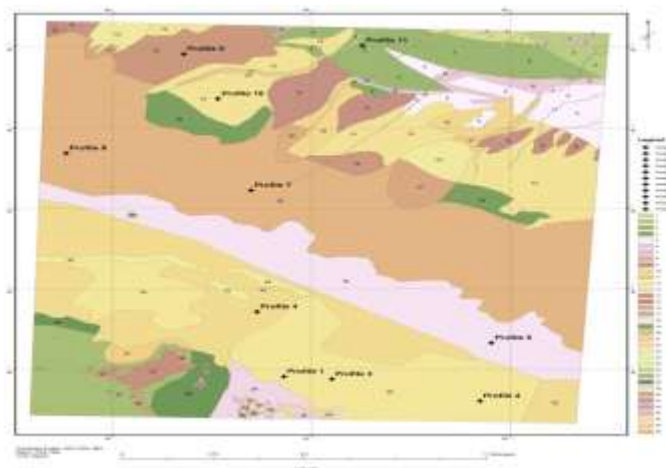
8 - Impregnate

9 - Curring

نتایج و بحث

در شکل ۲ نقشه خاک‌شناسی و طبقه‌بندی اراضی منطقه مطالعاتی که بر روی آن مکان‌های حفر خاک‌رُخ‌های مطالعاتی نیز جانمایی شده همراه با گسترش جغرافیایی خاک‌ها، روابط خاک‌ها با یکدیگر و با زمین‌ریخت‌های شناسایی شده ارائه شده است (جدول ۱). برخی از ویژگی‌های ریخت‌شناسی خاک‌رُخ‌های مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. خاک‌رُخ ۱ در زمین‌ریخت دشت‌سر فوقانی با ارتفاع متوسط و تموج زیاد و موادمادری شامل بازالت خاکستری تیره-تراکی بازالت-آندزیتیک بازالت، بازالت‌های فوئیددار مربوط به دوران سنوزوئیک، دوره پالئوژن و عهد ائوسن با سن نسبی بین ۳۵ تا ۵۵ میلیون سال می‌باشد. خاکی است با ضخامت بیش از ۱۲۰ سانتی‌متر که در سطح سلسله مراتبی فامیل با نام Coarse-loamy, mixed, active, mesic Gypsic Haploxerepts رده‌بندی شده است. اُفق‌های شناسایی شده در آن شامل A، Crk1، Crk2، Crk3، Crk4 بوده و رنگ خاک در حالت مرطوب 7.5YR4/3 می‌باشد. ساختمان در اُفق سطحی مُکعبی گرد و در اُفق‌های زیرین توده‌ای است و بافت خاک در اُفق‌های فوقانی لوم شنی و در اُفق‌های زیرین به‌صورت متناوب از نوع لومی و لوم شنی می‌باشد. خاک‌رُخ ۲ در زمین‌ریخت دشت‌سر فوقانی با ارتفاع کم و موادمادری شامل آب‌رفت‌های تراس‌های جوان مربوط به دوران سنوزوئیک، دوره کواترنر و عهد هلوسن با سن نسبی زمین‌شناسی بین ۰ تا ۱۰۰ هزار سال می‌باشد. خاکی است با ضخامت بیش از ۱۲۰ سانتی‌متر که در سطح سلسله مراتبی فامیل با نام Loamy over sandy, mixed, active, calcareous, mesic Typic Xerorthents رده‌بندی شده است. اُفق‌های شناسایی شده در آن شامل A، C، Ck1، Ck2، Ck3 بوده و رنگ خاک در حالت مرطوب 7.5YR4/3 می‌باشد. ساختمان در اُفق سطحی مُکعبی گرد و در اُفق‌های زیرین توده‌ای است و بافت خاک در اُفق‌های بالایی لوم شنی و در اُفق‌های زیرین به‌صورت متناوب از نوع شنی لومی، لومی و لوم شنی می‌باشد. خاک‌رُخ ۳ در زمین‌ریخت دشت‌سر فوقانی با ارتفاع کم و موادمادری شامل آب‌رفت‌های تراس‌های جوان مربوط به دوران سنوزوئیک، دوره کواترنر و عهد هلوسن با سن نسبی زمین‌شناسی بین ۰ تا ۱۰۰ هزار سال می‌باشد. خاکی است با ضخامت بیش از ۱۲۰ سانتی‌متر که در سطح سلسله مراتبی فامیل با نام Fine-loamy, mixed, active, mesic Typic Haploxerepts رده‌بندی شده است. اُفق‌های شناسایی شده در آن شامل Ap، Bw، Ck1، Ck2 بوده و رنگ خاک در حالت مرطوب 7.5YR4/3 می‌باشد. ساختمان در اُفق سطحی مُکعبی گرد و در اُفق‌های زیرین مُکعبی گرد و توده‌ای است و بافت خاک در اُفق‌های بالایی لوم رسی شنی و در اُفق‌های زیرین به‌صورت متناوب از نوع لوم رسی شنی و لوم شنی می‌باشد. خاک‌رُخ ۴ در زمین‌ریخت دشت‌سر میانی با ارتفاع کم و موادمادری شامل آب‌رفت‌های رسی-سیلتی صاف مربوط به دوران سنوزوئیک، دوره کواترنر و عهد هلوسن با سن نسبی زمین‌شناسی بین ۰ تا ۱۰۰ هزار سال می‌باشد. خاکی است با ضخامت بیش از ۱۲۰ سانتی‌متر که در سطح سلسله مراتبی فامیل با نام Fine-loamy, mixed, active, mesic Typic Calcixerepts رده‌بندی شده است. اُفق‌های شناسایی شده در آن شامل Ap، Bw، Bk، Cr1، Cr2 بوده و رنگ خاک در حالت مرطوب 7.5YR4/3 می‌باشد. ساختمان در اُفق سطحی مُکعبی گرد و در اُفق‌های زیرین مُکعبی گرد و توده‌ای است و بافت خاک در اُفق‌های بالایی لوم رسی و در اُفق‌های زیرین به‌صورت متناوب از نوع لوم رسی،

لوم و لوم شنی می باشد. خاک رُخ ۵ در زمین ریخت دشت سر میانی با ارتفاع متوسط و موادمادری شامل آبرفت های تراس های جوان مربوط به دوران سنوزوئیک، دوره کواترنر و عهد هلوسن با سن نسبی زمین شناسی بین ۰ تا ۱۰۰ هزار سال می باشد. خاکی است با ضخامت بیش از ۱۲۰ سانتی متر که در سطح سلسله مراتبی فامیل با نام Loamy, mixed, active, mesic Typic Haploxerepts رده بندی شده است. اُفق های شناسایی شده در آن شامل Ap, Bw1, Bw2, Bw3 بوده و رنگ خاک در حالت مرطوب 7.5YR4/3 می باشد. ساختمان در اُفق سطحی مُکعبی گرد و در اُفق های زیرین نیز مُکعبی گرد است و بافت خاک در اُفق های بالایی لوم و در اُفق های زیرین نیز از نوع لومی می باشد. خاک رُخ ۶ در زمین ریخت دشت سر انتهایی با ارتفاع زیاد و موادمادری شامل آبرفت های رسی-سیلنتی صاف مربوط به دوران سنوزوئیک، دوره کواترنر و عهد هلوسن با سن نسبی زمین شناسی بین ۰ تا ۱۰۰ هزار سال می باشد. خاکی است با ضخامت بیش از ۱۲۰ سانتی متر که در سطح سلسله مراتبی فامیل با نام Fine, mixed, active, mesic Gypsic Haploxerepts رده بندی شده است. اُفق های شناسایی شده در آن شامل Ap, Bw, By, Cry بوده و رنگ خاک در حالت مرطوب 7.5YR5/3 می باشد. ساختمان در اُفق سطحی مُکعبی گرد و در اُفق های زیرین مُکعبی گرد و توده ای است و بافت خاک در اُفق بالایی لوم رسی و در اُفق های زیرین به صورت متناوب از نوع رسی، لوم و لوم شنی می باشد. خاک رُخ ۷ در زمین ریخت دشت سر انتهایی با ارتفاع متوسط و موادمادری شامل آبرفت های رسی-سیلنتی تحت کشت مربوط به دوران سنوزوئیک، دوره کواترنر و عهد هلوسن با سن نسبی زمین شناسی بین ۰ تا ۱۰۰ هزار سال می باشد که در سطح سلسله مراتبی فامیل با نام Fine, mixed, active, mesic Gypsic Haplosalids رده بندی شده است. اُفق های شناسایی شده در آن شامل Ap, Bw, Bk1, Bk2, Cr بوده و رنگ خاک در حالت مرطوب 7.5YR4/3 می باشد. ساختمان در اُفق سطحی مُکعبی گرد و در اُفق های زیرین مُکعبی گرد و توده ای است و بافت خاک در اُفق های بالایی لوم رسی و در اُفق های زیرین به صورت متناوب از نوع لوم رسی، لوم و لوم رسی شنی می باشد.



شکل ۲: گسترش جغرافیایی خاک ها و مکان های حفر خاک رُخ های مطالعه شده در منطقه مطالعاتی

جدول ۱: خلاصه راهنمای نقشه خاک‌شناسی و طبقه‌بندی اراضی منطقه مطالعاتی برای واحدهای خاکی که نقاط مشاهداتی این پژوهش در آن‌ها حفر و مطالعه شده است

زمین نما	پستی و بلندی/قالب	ترکیب سنگ‌شناسی	لندفرم	علامت واحد نقشه	نوع واحد نقشه	نام خاک غالب	مساحت هکتار	درصد
Piedmont plain (Pi)	High glacis (Pi1)	Dark gray basalt_Tracybasalt_andesitic basalt locally foild bearing basalt (Pi13)	High middle glacis (Pi131)	۳	Association	Loamy, mixed, mesic Typic Calcixerepts	۱۲۳۳	۴/۷
		Young terrace (Pi1-13)	High low glacis (Pi1-13-1)	۱۳	Association	Loamy, mixed, mesic Typic Haploxerepts	۲۳۶۶	۸/۹
		Young terrace_cultivated (Pi1-14)	High low glacis (Pi1-14-1)	۱۴	Consociation	Loamy, mixed, mesic Typic Calcixerepts	۸۸۶	۳/۴
	Middle glacis (Pi2)	Silt and clay flat (Pi24)	Middle low glacis (Pi241)	۱۸	Association	Coarse-loamy, mixed, mesic Typic Haploxerepts	۲۵۸۷	۹/۸
		Young terrace_cultivated (Pi26)	Middle middle glacis (Pi261)	۲۰	Consociation	Loamy over sandy, mixed, mesic Typic Haploxerepts	۶۴۴۱	۲۴/۵
Low glacis (Pi3)	Silt and clay flat (Pi32)	Low high glacis (Pi321)	۲۲	Association	Fine-loamy, mixed, mesic Typic Haploxerepts	۳۰۳۳	۱۱/۵	
	Silt and clay flat_cultivated (Pi33)	Low middle glacis (Pi331)	۲۳	Undifferentiated group	Fine-loamy, mixed, mesic Typic Haploxerepts	۳۰۸۳	۱۱/۷	
جمع کل							۱۹۶۲۹	۷۴/۵

□ مجموع مساحت‌ها و درصد‌های ارائه شده صرفاً مربوط به واحدهای نقشه خاک مرتبط با نتایج ارائه شده در این مقاله است.

درک همبستگی بین ویژگی‌های گوناگون خاک می‌تواند بینش افزونی را در مورد عملکرد و مدیریت زیست‌بوم‌های خاک ارائه داده و در پیش‌بینی ویژگی‌های رفتاری خاک مفید باشد. در جدول ۵ همبستگی بین ویژگی‌های گوناگون خاک دربرگیرنده کربنات کلسیم (CaCO_3)، مجموع کلسیم و منیزیم محلول خاک ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$)، گنجایش تبادل کاتیونی (CEC)، مقدار رس، مقدار درصد سدیم تبادلی خاک (ESP)، گچ، نیتروژن، مواد آلی، پ‌هاس، فسفر قابل‌دسترس، شوری، مقدار شن، مقدار سیلت و مقدار سدیم محلول ارائه شده است. ضریب همبستگی (r) از -۱ تا ۱ متغیر است. مقدار ۱ نشان دهنده همبستگی مثبت کامل بین دو متغیر، مقدار صفر نشان‌دهنده عدم همبستگی و مقدار -۱ نشان‌دهنده همبستگی منفی کامل است. مقادیر p نشان‌دهنده احتمال مشاهده همبستگی تصادفی است. مقدار p کمتر از ۰/۰۵ به‌طور کلی معنی‌دار در نظر گرفته شد. با توجه به جدول ملاحظه می‌گردد که ویژگی گنجایش تبادل زمین‌ریخت دشت‌سر انتهایی با ارتفاع زیاد (Pi321) می‌تواند قابل مشاهده است.

جدول ۲: برخی از ویژگی های ریخت شناسی در خاک رُخ های مطالعه شده

شماره واحد نقشه	شماره خاک رُخ	۱-زمین نما، ۲-پستی و بلندی/قالب، ۳-مواد مادری، ۴-لندفرم
		۱-دشت دامنه ای، ۲-دشت سر فوقانی، ۳-بازالت خاکستری تیره-تراکی بازالت-آندزیتیک بازالت، بازالت های فوئیددار، ۴-دشت سر فوقانی با ارتفاع متوسط و موج زیاد
		Loamy, mixed, mesic Typic Calcixerepts
۳	۱۱	آفق عمق ۰-۲۰ CS مرز آفق رنگ توده ای بافت لوم رسی شرح آفق آکریک Crk1 عمق ۲۰-۳۵ CS مرز آفق رنگ توده ای بافت لوم رسی آکریک
		۱-دشت دامنه ای، ۲-دشت سر فوقانی، ۳-رسوبات آب رفتی تراس های جوان، ۴-دشت سر فوقانی با ارتفاع کم
		Sandy, mixed, mesic Typic Calcixerepts
۱۳	۱۰	آفق عمق ۰-۲۰ CS مرز آفق رنگ مکیب گرد بافت لوم شرح آفق آکریک Cr عمق ۲۰-۴۰ CS مرز آفق رنگ توده ای بافت لوم شنی آکریک
		۱-دشت دامنه ای، ۲-دشت سر فوقانی، ۳-رسوبات آب رفتی تراس های جوان، ۴-دشت سر فوقانی با ارتفاع کم
		Loamy, mixed, mesic Typic Calcixerept
۱۴	۹	آفق عمق ۰-۲۰ CS مرز آفق رنگ مکیب گرد بافت لوم رسی شرح آفق آکریک Bw عمق ۲۰-۴۵ GS مرز آفق رنگ مکیب گرد بافت لوم رسی کمبیک
		۱-دشت دامنه ای، ۲-دشت سر میانی، ۳-رسوبات آب رفتی رسی سیلتی، ۴-دشت سر میانی با ارتفاع کم
		Loamy, mixed, mesic Calcic Haploxerept
۱۸	۵	آفق عمق ۲۰-۰ CS مرز آفق رنگ مکیب گرد بافت لوم رسی شرح آفق آکریک Bw عمق ۵۵-۲۰ CS مرز آفق رنگ مکیب گرد بافت لوم رسی کمبیک
		۱-دشت دامنه ای، ۲-دشت سر میانی، ۳-رسوبات آب رفتی تراس های جوان، ۴-دشت سر میانی با ارتفاع متوسط
		Fine, mixed, mesic Typic Haploxerepts
۲۰	۷	آفق عمق ۰-۲۰ CS مرز آفق رنگ توده ای بافت لوم رسی شرح آفق آکریک Bw1 عمق ۲۰-۶۵ GS مرز آفق رنگ مکیب مدور بافت لوم رسی کمبیک
		۱-دشت دامنه ای، ۲-دشت سر انتهایی، ۳-رسوبات آب رفتی رسی سیلتی، ۴-دشت سر انتهایی با ارتفاع زیاد
		Very-fine, mixed, mesic Gypsic Haploxerepts
۲۲	۴	آفق عمق ۰-۲۰ CS مرز آفق رنگ دانای بافت رسی شرح آفق آکریک Bw عمق ۲۰-۶۰ GS مرز آفق رنگ توده ای بافت رسی آفق کمبیک دارای بلورهای گچ ثانویه به مقدار خیلی کم (۰-۰/۳) خیلی ریز، نرم و به شکل نامنظم
۲۳	۱	۱-دشت دامنه ای، ۲-دشت سر انتهایی، ۳-رسوبات آب رفتی رسی سیلتی، ۴-دشت سر انتهایی با ارتفاع متوسط

شماره واحد نقشه		شماره خاک رُخ		۱-زمین نما، ۲-پستی و بلندی/قالب، ۳-مواد مادری، ۴-لندفرم			
Fine, mixed, mesic Calcic Haploxerepts							
آفق	عمق	مرز آفق	رنگ	ساختمان	بافت	توضیح	
Ap	۰-۲۰	CS	(7.5YR5/3)	دانه‌ای	رسی	آبریک	
Bw	۲۰-۴۰	CS	(7.5YR4/3)	مُکعبی گرد	لوم رسی/لوم رس سیلتی	کمبیک	

جدول ۳: نتایج تجزیه‌های آزمایشگاهی نمونه‌های خاک خاک رُخ‌های مطالعه شده در منطقه مطالعاتی

واحد نقشه	شماره خاک رُخ	آفق	عمق cm	ECe m.dS ₁	pH ex.	اجزاء بافت خاک (درصد)			پتاسیم تبادل‌ی Mg/k g	کاتیون‌های محلول meq.l ⁻¹			CaCO ₃ %	OC %	عناصر غذایی قابل دسترس خاک mg.kg ⁻¹			CEC cmol(+).k g ⁻¹	Gyp. %
						ر س	سیل	بافت خاک		Na ⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	K ⁺			N	P	K		
۳	۱۱	A	۰-۲۰	۲/۲۵	۷/۸۲	۷	۳۵	لوم شنی	۱۸۹	۰/۳	۳۰/۵	۰/۳۱	۳۳/۵	۱/۱۸	۰/۱	۵	۱۰	۲۷	۱۱
						۷	۲۵	لوم شنی	۱۳۲	۰/۲	۲۸/۸	۰/۷۲	۲۴/۷۵	۰/۶۷	۰/۰۶	۲	۸	-	۸
۱۳	۱۰	A	۰-۲۰	۰/۵۲	۷/۸۶	۱۲	۳۴	لوم شنی	۱۴۲	۰/۲	۵/۱	۰/۸۳	۱۸/۵	۰/۲۷	۰/۰۲	۶/۵	۷	۱۵	۰/۵
						۷	۵	لومی	۱۳۰	۰/۴	۶	۱/۰۷	۲	۰/۰۶	۰/۰۰۶	۵	۱۴	-	۱
۱۴	۹	Ap	۰-۲۰	۰/۴۱	۷/۷۱	۲۸	۲۶	لوم رس شنی	۴۳۲	۰/۲	۴/۶	۰/۳۹	۱۰/۷۵	۰/۲۴	۰/۰۲	۹	۹	۲۰	۰/۸
						۳۵	۱۹	لوم رس شنی	۲۶۹	۰/۱	۴/۹	۱/۰۶	۲۰/۷۵	۰/۲۸	۰/۰۳	۷	۴	-	۰
۱۸	۵	Ap	۰-۲۰	۲/۹۸	۷/۹۸	۳۲	۳۴	لوم رسی	۴۶۵	۰/۴	۱۹/۹	۱۰/۱	۱۷	۰/۷۴	۰/۰۷	۱۴	۱۷	۲۱	۰/۸
						۳۲	۳۲	لوم رسی	۳۸۲	۰/۲	۷/۵	۶/۹	۱۸/۲۵	۰/۵۲	۰/۰۵	۶	۹	-	۰/۱
۲۰	۷	Ap	۰-۲۰	۳/۷۹	۷/۴۴	۲۲	۴۳	لومی	۵۲۵	۰/۷	۳۱/۸	۶/۰۲	۲۰/۷۵	۰/۵۹	۰/۰۶	۲۱	۲۸	۱۹	۱
						۲۴	۳۸	لومی	۴۳۸	۰/۶	۲۹/۹	۷/۵	۱۵/۷۵	۰/۲۶	۰/۰۳	۱۹	۲۳	-	۰/۸
۲۲	۴	Ap	۰-۲۰	۱۴/۵	۷/۰۲	۳۲	۴۶	لوم رسی	۴۱۷	۰/۶	۸۱	۸۳/۷	۳۱	۰/۶۳	۰/۰۶	۱/۵	۲۵	۱۹	۵
						۵۸	۳۲	رسی	۴۰۶	۰/۴	۳۹/۵	۲۴/۴	۲۹/۵	۰/۲۷	۰/۰۳	۵	۱۵	-	۱/۲
۲۳	۱	Ap	۰-۲۰	۳۲/۸	۷/۵۵	۳۱	۳۹	لوم رسی	۹۹۰	۳/۷	۶۹	۲۷/۷۵	۹۴۰	۱/۰۲	۰/۱	۳۳	۱۴۶	۱۸	۱۲
						۳۹	۳۱	لوم رسی	۴۸۶	۰/۹	۶۷	۷۳۰	۲۵/۵	۰/۷۱	۰/۰۷	۱۰	۳۶	-	۵

اختصارات: ECe = هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک؛ pH_{ex} = واکنش عصاره اشباع خاک؛ CaCO₃ = کربنات کلسیم؛ OC = کربن آلی خاک؛ CEC = گنجایش تبادل کاتیونی خاک؛ Gyp. = گچ.

جدول ۴: میانگین وزنی ویژگی های خاک دو اُفق اوّل و دوّم خاک رُخ های مطالعه شده در منطقه مطالعاتی

واحد نقشه	شماره خاک رُخ	عمق cm	ECe m ¹ .dS	pH ex.	اجزاء بافت خاک (درصد)			بافت خاک	پتاسیم تبادلی mg/kg	کاتیون های محلول (meq.l ⁻¹)			CaCO ₃ %	OC %	عناصر غذایی قابل دسترس خاک mg.kg ⁻¹				CEC cmol(+).kg ⁻¹	Gyp. %
					رس	سیلت	شن			K ⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Na ⁺			N	P	K			
۳	۱۱	۰-۳۵	۲/۲۱	۷/۷۹	۷	۳۱	۶۲	لوم شنی	۱۶۵	۰/۲۴	۳۰	۰/۴۹	۳۰	۰/۹۶	۰/۰۸	۳/۷۱	۹/۱۴	۲۷	۹/۷۱	
۱۳	۱۰	۰-۴۰	۰/۶۱	۷/۸۲	۱۰	۱۹	۷۱	لوم شنی	۱۳۶	۰/۲۶	۶	۰/۹۵	۱۰	۰/۱۷	۰/۰۱	۵/۷۵	۱۰/۵	۱۵	۰/۷۵	
۱۴	۹	۰-۴۵	۰/۵۱	۷/۹۲	۳۲	۲۲	۴۶	لوم رس شنی	۳۴۱	۰/۱۷	۵	۰/۷۶	۱۶	۰/۲۶	۰/۰۳	۷/۸۹	۶/۳۲	۲۰	۰/۳۶	
۱۸	۵	۰-۵۵	۲/۰۳	۷/۹۴	۳۲	۳۳	۳۵	لوم رسی	۴۱۲	۰/۳۱	۱۲	۸/۰۶	۱۸	۰/۶	۰/۰۶	۸/۹۱	۱۱/۹۱	۲۱	۰/۳۵	
۲۰	۷	۰-۶۵	۳/۵۵	۷/۷۷	۲۳	۴۰	۳۷	لومی	۴۶۵	۰/۶۳	۳۰	۷/۰۴	۱۷	۰/۳۶	۰/۰۴	۱۹/۶۲	۲۴/۵۴	۱۹	۰/۸۶	
۲۲	۴	۰-۶۰	۸/۳۹	۷/۰۹	۴۹	۳۷	۱۴	رسی	۴۱۰	۰/۴۷	۵۳	۴۴/۱۷	۳۰	۰/۳۹	۰/۰۴	۳/۸۳	۱۸/۳۳	۱۹	۲/۴۷	
۲۳	۱	۰-۴۰	۳۰/۴۵	۷/۴۲	۳۵	۲۵	۳۰	لوم رسی	۷۳۸	۲/۳۲	۶۸	۸۳۵	۲۷	۰/۸۷	۰/۰۹	۲۱/۵	۹۱	۱۸	۸/۵	

اختصارات: ECe = هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک؛ pH_{ex} = واکنش عصاره اشباع خاک؛ CaCO₃ = کربنات کلسیم؛ OC = کربن آلی خاک؛ CEC = گنجایش تبادل کاتیونی خاک؛ Gyp. = گچ.

جدول ۵: همبستگی ویژگی های نمونه های خاک به روش پیرسون (نرم افزار استاتگرافیک سننوربون، نسخه ۱۹)

آهک	کلس+منیز	گت ک	رس	دست	گچ	ازت کل	م.آ.	فسفر	پهائش	شوری	شن	سیلت	س.م
آهک	۰/۷۳۵۶	۰/۴۱۰۳	-۰/۲۳۸۷	۰/۰۶۶۴	۰/۸۰۱۹	۰/۷۵۱۷	۰/۷۷۸۱	-۰/۰۴۹۹	-۰/۴۳۳۴	۰/۴۶۹۷	-۰/۱۴۱۲	۰/۶۴۹۱	۰/۳۰۶۹
آهن	۰/۰۵۹۵	۰/۳۶۰۶	۰/۸۸۷۶	۰/۰۳۰۱	۰/۰۵۱۳	۰/۰۳۹۳	۰/۰۱۵۵	۰/۰۳۱۳	۰/۰۲۸۷۶	۰/۰۶۲۶	۰/۱۱۴۶	۰/۱۱۴۶	۰/۵۰۳۲
کلس+منیز	۰/۷۳۵۶	-۰/۰۱۲۷	۰/۴۳۸۶	۰/۵۴۹۶	۰/۶۰۲۹	۰/۵۸۵۱	۰/۵۰۸۴	۰/۲۳۵۵	-۰/۸۸۴۸	۰/۸۰۴۸	-۰/۸۳۹۲	۰/۷۹۲۳	۰/۵۷۴۹
گت ک	۰/۴۱۰۳	-۰/۰۱۲۷	-۰/۲۳۸۷	-۰/۲۳۷۹	۰/۴۴۵۳	۰/۵۶۸۱	۰/۶۵۳۶	-۰/۲۴۵۲	۰/۲۰۷۸	-۰/۲۳۷۷	۰/۲۲۰۱	-۰/۱۴۵۸	-۰/۲۳۵۰
رس	۰/۹۷۸۵	۰/۴۸۷۵	۰/۶۲۳۱	۰/۳۱۶۸	۰/۱۸۳۳	۰/۱۱۱۳	۰/۵۹۶۱	۰/۶۲۳۳	۰/۴۸۴۰	۰/۷۵۵۰	۰/۶۱۱۹	۰/۳۶۷۶	۰/۳۶۷۶
دست	۰/۶۰۶۳	۰/۲۲۴۹	۰/۴۸۷۵	۰/۰۹۳۸	۰/۷۶۴۴	۰/۹۹۵۲	۰/۷۸۵۱	۰/۴۳۶۹	۰/۳۷۵۴	۰/۲۷۲۸	۰/۰۱۱۱	۰/۶۹۲۸	۰/۴۱۷۳
گچ	۰/۰۶۶۴	۰/۵۴۹۶	-۰/۲۳۷۹	۰/۶۷۸۵	۰/۲۹۳۰	۰/۴۴۴۷	۰/۳۱۳۴	۰/۸۷۵۵	۰/۸۲۸۸	۰/۸۴۵۹	-۰/۶۵۶۲	۰/۳۵۷۰	۰/۸۶۳۹
گچ	۰/۸۰۱۹	۰/۶۰۲۹	۰/۴۴۵۳	-۰/۱۴۰۲	۰/۳۹۳۰	۰/۸۳۱۱	۰/۸۵۴۱	۰/۳۰۴۰	-۰/۱۵۵۶	۰/۶۷۲۹	-۰/۰۱۳۹	۰/۲۴۳۹	۰/۶۶۵۳

۰/۳۰۱	۰/۱۵۱۹	۰/۳۱۶۸	۰/۷۶۴۴	۰/۳۸۳۱	۰/۰۲۰۵	۰/۰۱۴۴	۰/۵۰۷۵	۰/۷۴۲۳	۰/۰۹۷۶	۰/۹۷۶۵	۰/۵۹۸۱	۰/۱۰۲۹
۰/۷۵۱۷	۰/۵۵۸۱	۰/۵۶۸۱	۰/۰۰۲۸	۰/۴۴۴۷	۰/۸۳۱۱	۰/۹۸۶۱	۰/۴۲۲۰	۰/۰۰۶۹۶	۰/۵۶۰۳	۰/۳۰۷۳	۰/۴۰۷۷	۰/۵۲۳۷
۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷
۰/۵۱۳	۰/۱۶۷۶	۰/۱۸۳۳	۰/۹۹۵۲	۰/۳۱۷۵	۰/۰۲۰۵	۰/۰۰۰۰	۰/۳۴۵۷	۰/۸۸۲۱	۰/۱۹۰۸	۰/۶۵۵۶	۰/۳۶۴۰	۰/۳۲۷۷
۰/۷۷۸۱	۰/۵۰۸۴	۰/۶۵۳۶	۰/۱۲۷۶	۰/۳۱۳۴	۰/۸۵۴۱	۰/۹۸۶۱	۰/۳۰۸۸	۰/۰۰۹۵	۰/۴۶۸۶	۰/۰۶۴۹	۰/۳۲۶۱	۰/۴۴۵۱
۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷
۰/۰۳۹۳	۰/۲۴۴۰	۰/۱۱۱۳	۰/۷۸۵۱	۰/۴۹۳۸	۰/۰۱۴۴	۰/۰۰۰۰	۰/۵۰۰۳	۰/۹۸۳۸	۰/۲۸۸۸	۰/۸۹۰۰	۰/۴۷۵۳	۰/۳۱۷۰
۰/۰۴۹۹	۰/۲۲۵۵	۰/۲۴۵۲	۰/۳۵۳۳	۰/۸۷۵۵	۰/۳۰۴۰	۰/۴۲۲۰	۰/۳۰۸۸	۰/۰۴۲۵	۰/۶۵۰۶	۰/۳۴۴۶	۰/۱۳۹۵	۰/۷۸۳۹
۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷
۰/۹۱۵۵	۰/۶۱۱۳	۰/۵۹۶۱	۰/۴۳۶۹	۰/۰۰۹۸	۰/۵۰۷۵	۰/۳۴۵۷	۰/۵۰۰۳	۰/۹۲۸۰	۰/۱۱۳۶	۰/۴۴۹۲	۰/۷۶۵۵	۰/۰۳۷۰
۰/۴۳۳۴	۰/۷۸۴۸	۰/۲۰۷۸	۰/۳۹۸۹	۰/۲۸۴۸	۰/۱۵۳۶	۰/۰۰۶۹۶	۰/۰۰۹۵	۰/۰۴۲۵	۰/۴۴۶۱	۰/۶۹۱۷	۰/۷۵۹۲	۰/۱۷۴۶
۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷
۰/۳۳۱۳	۰/۰۲۶۶	۰/۶۵۴۸	۰/۳۷۵۴	۰/۵۳۵۹	۰/۷۴۲۳	۰/۸۸۲۱	۰/۹۸۳۸	۰/۹۲۸۰	۰/۳۱۵۸	۰/۰۸۵۱	۰/۴۷۸	۰/۰۴۷۸
۰/۴۶۹۷	۰/۸۰۴۸	۰/۲۳۷۷	۰/۴۸۲۵	۰/۸۴۵۹	۰/۶۷۲۹	۰/۵۶۰۳	۰/۴۶۸۶	۰/۶۵۰۶	۰/۴۴۶۱	۰/۰۰۴۴	۰/۴۵۶۷	۰/۹۴۴۹
۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷
۰/۲۸۷۶	۰/۰۲۹۰	۰/۶۲۳۳	۰/۲۷۲۸	۰/۰۱۶۵	۰/۰۹۷۶	۰/۱۹۰۸	۰/۲۸۸۸	۰/۱۱۳۶	۰/۳۱۵۸	۰/۱۵۰۵	۰/۳۰۲۹	۰/۰۰۱۳
۰/۱۴۱۲	۰/۰۷۹۲	۰/۳۲۰۱	۰/۸۶۹۲	۰/۰۶۵۶۲	۰/۰۱۳۹	۰/۰۰۷۳	۰/۰۰۶۴۹	۰/۳۴۴۶	۰/۶۹۱۷	۰/۰۰۴۴	۰/۰۶۴۶۰	۰/۳۹۱۳
۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷
۰/۷۶۲۶	۰/۰۵۷۷	۰/۴۸۴۰	۰/۰۱۱۱	۰/۰۰۹۴	۰/۹۷۶۵	۰/۶۵۵۶	۰/۸۹۰۰	۰/۴۴۹۲	۰/۰۸۵۱	۰/۱۵۰۵	۰/۱۱۷۰	۰/۳۸۵۴
۰/۶۴۹۱	۰/۷۹۲۳	۰/۱۴۵۸	۰/۱۸۴۱	۰/۲۵۷۰	۰/۲۴۳۹	۰/۴۰۷۷	۰/۳۲۶۱	۰/۱۳۹۵	۰/۷۵۹۲	۰/۴۵۶۷	۰/۰۶۴۶۰	۰/۳۱۰۴
۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷
۰/۱۱۴۶	۰/۰۲۳۷	۰/۷۵۵۰	۰/۶۹۲۸	۰/۵۷۷۹	۰/۵۹۸۱	۰/۳۶۴۰	۰/۴۷۵۳	۰/۷۶۵۵	۰/۰۴۷۸	۰/۳۰۲۹	۰/۱۱۷۰	۰/۶۵۰۷
۰/۳۰۶۹	۰/۵۷۴۹	۰/۳۳۵۰	۰/۳۶۷۶	۰/۸۶۳	۰/۶۶۵۳	۰/۵۲۳۷	۰/۴۴۵۱	۰/۷۸۳۹	۰/۱۷۴۶	۰/۹۴۴۹	۰/۳۹۱۳	۰/۳۱۰۴
۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷
۰/۵۰۳۲	۰/۱۷۷۰	۰/۶۱۱۹	۰/۴۱۷۳	۰/۰۱۲۲	۰/۰۰۲۹	۰/۲۳۷۷	۰/۳۱۷۰	۰/۰۳۷۰	۰/۰۸۰	۰/۰۰۱۳	۰/۳۸۵۴	۰/۶۵۰۷

اختصارات: کلس.+منیز.= مجموع کلسیم و منیزیم محلول؛ گ. ت. ک.= گنجایش تبادل کاتیونی؛ د. س. ت.= درصد سدیم تبادلی؛ م. آ.= ماده آلی خاک؛ فسفر= فسفر قابل دسترس خاک؛ س. م.= سدیم محلول کاتیونی همبستگی منفی ضعیفی با مقدار ویژگی رس خاک ($r=-0/3177$) و همبستگی مثبت قوی با ویژگی مقدار ماده آلی خاک ($r=0/6536$) دارد. افزون‌براین، همبستگی منفی بین مقدار ویژگی شن خاک و مقدار ویژگی درصد سدیم تبادلی خاک ($r=-0/7392$) نیز به‌خوبی قابل رویت است. از سوی دیگر، مقدار ویژگی رس خاک دارای همبستگی مثبت قوی با مقدار ویژگی درصد سدیم تبادلی خاک ($r=0/6785$) و همبستگی مثبت کم با مقدار ویژگی فسفر قابل دسترس خاک ($r=0/3533$) و هم‌این‌طور دارای همبستگی منفی قوی با مقدار ویژگی شن خاک ($r=-0/8692$) است. وجود همبستگی منفی بین مقدار شن و مقدار رس نشان‌دهنده رابطه معکوسی است که پیامدهایی را برای حاصلخیزی خاک، گنجایش نگهداری آب و مقدار فرسایش خاک دارد.

میانگین وزنی ویژگی های اندازه گیری شده خاک در دو افق اول و دوم خاک رُخ ها در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به جدول، واحدهای نقشه خاک مورد مطالعه در این پژوهش از نظر مقدار رس، سیلت، شن، بافت خاک، گنجایش تبادل کاتیونی، مقدار پتاسیم قابل دسترس و مقدار پتاسیم تبدلی با یکدیگر ناهمسانی های فاحش دارند. مقدار رس خاک در واحدهای نقشه مطالعه شده از حداقل ۷ درصد در واحد نقشه شماره ۳ که دربرگیرنده خاک های به وجود آمده بر روی زمین ریخت دشت سر فوقانی با ارتفاع متوسط و تموج زیاد است (Pi131) تا ۴۹ درصد در واحد نقشه شماره ۲۲ که دربرگیرنده خاک های به وجود آمده بر روی

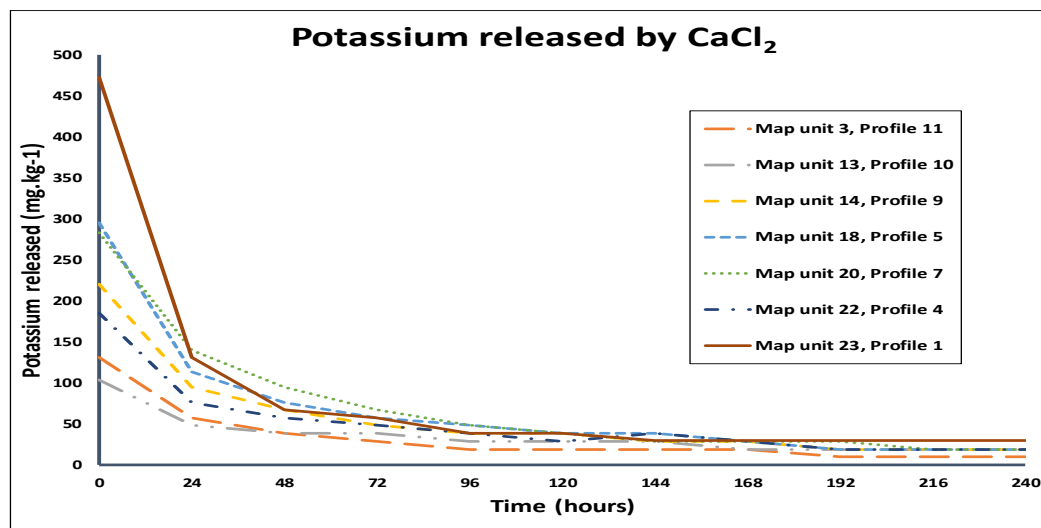
نتایج مربوط به مقدار غلظت یون پتاسیم قابل دسترس خاک طی ۲۴۰ ساعت (۱۱ روز) عصاره گیری با محلول کلرورکلسیم ۱ نرمال مربوط به افق های سطحی ۷ خاک رُخ مطالعه شده در واحدهای نقشه خاک منطقه مطالعاتی (۱) در هر بار عصاره گیری در ۲۴ ساعت (MP) و (۲) به شکل تجمعی در طول ۱۱ روز عصاره گیری (AP) در

جدول ۶، شکل ۳ و شکل ۴ ارائه شده است.

جدول ۶: نتایج رهاسازی پتاسیم در نمونه های خاک (میلی گرم بر کیلوگرم)

زمان (ساعت)	واحد نقشه ۳		واحد نقشه ۱۳		واحد نقشه ۱۴		واحد نقشه ۱۸		واحد نقشه ۲۰		واحد نقشه ۲۲		واحد نقشه ۲۳	
	پروفیل ۱۱		پروفیل ۱۰		پروفیل ۹		پروفیل ۵		پروفیل ۷		پروفیل ۴		پروفیل ۱	
	AP	MP	AP	MP	AP	MP	AP	MP	AP	MP	AP	MP	AP	MP
۰	۱۳۱	۱۳۱	۱۰۴	۱۰۴	۲۲۰	۲۲۰	۲۹۵	۲۹۶	۲۸۳	۲۸۳	۱۸۵	۱۸۵	۴۷۲	۴۷۳
۲۴	۵۷	۱۸۹	۴۸	۱۵۲	۹۵	۳۱۴	۱۱۳	۴۰۹	۱۴۰	۴۲۳	۷۶	۲۶۱	۱۳۱	۶۰۴
۴۸	۳۸	۲۲۷	۳۸	۱۹۰	۶۷	۳۸۱	۷۶	۴۸۵	۹۵	۶۱۸	۵۷	۳۱۸	۶۷	۶۷۱
۷۲	۲۹	۲۵۶	۳۸	۲۲۹	۴۸	۴۲۹	۵۷	۵۴۲	۶۷	۵۸۵	۴۸	۳۶۶	۵۷	۷۲۸
۹۶	۱۹	۲۷۵	۲۹	۲۵۸	۳۸	۴۶۸	۴۸	۵۹۰	۴۸	۶۳۳	۳۸	۴۰۵	۳۸	۷۶۶
۱۲۰	۱۹	۲۹۵	۲۹	۲۸۷	۳۸	۵۰۶	۳۸	۶۲۸	۳۸	۶۷۱	۲۹	۴۳۴	۳۸	۸۰۵
۱۴۴	۱۹	۳۱۴	۲۹	۳۱۶	۳۸	۵۳۵	۳۸	۶۶۷	۲۹	۷۰۰	۳۸	۴۷۲	۳۰	۸۳۵
۱۶۸	۱۹	۳۳۳	۱۹	۳۳۵	۲۹	۵۶۴	۲۹	۶۹۶	۲۹	۷۲۹	۲۹	۵۰۱	۳۰	۸۶۵
۱۹۲	۱۰	۳۴۳	۱۹	۳۵۴	۱۹	۵۸۳	۱۹	۷۱۵	۲۹	۷۵۸	۱۹	۵۲۰	۳۰	۸۹۵
۲۱۶	۱۰	۳۵۳	۱۹	۳۷۳	۱۹	۶۰۳	۱۹	۷۳۴	۱۹	۷۷۷	۱۹	۵۴۰	۳۰	۹۲۵
۲۴۰	۱۰	۳۶۲	۱۹	۳۹۳	۱۹	۶۲۲	۱۹	۷۵۴	۱۹	۷۹۶	۱۹	۵۵۹	۳۰	۹۵۴

اختصارات: MP = غلظت پتاسیم اندازه گیری شده در هر ۲۴ ساعت; AP = مقادیر تجمعی پتاسیم اندازه گیری شده در طی ۱۱ روز

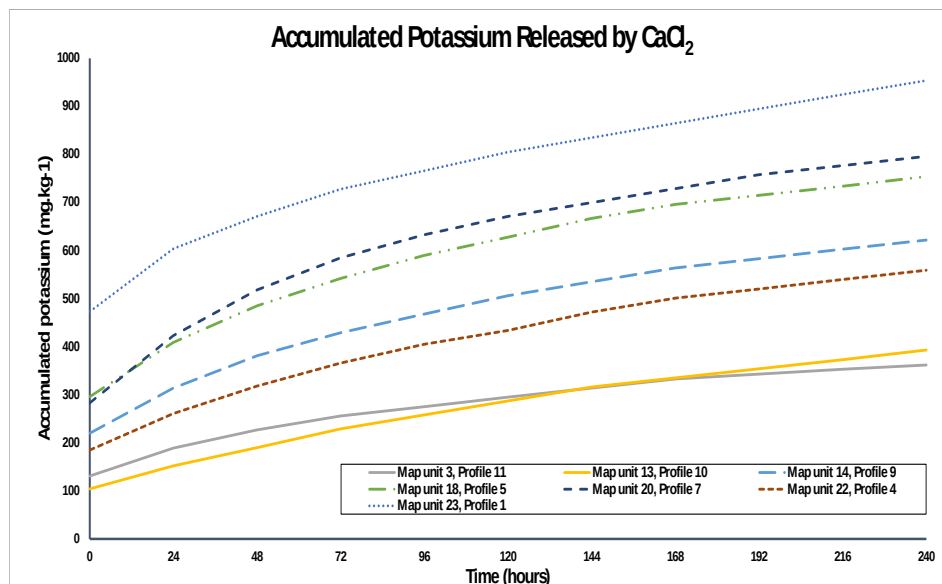


شکل ۳: مقایسه مقدار پتاسیم رهاسازی شده از خاک افق‌های سطحی خاک‌رُخ‌های مورد مطالعه در ۷ واحد نقشه خاک منطقه مطالعاتی

شکل ۳ نمودار غلظت پتاسیم آزاد شده از نمونه‌های خاک واحدهای نقشه خاک و خاک‌رُخ‌های شاهد آن‌ها بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم است. با توجه به شکل مقدار پتاسیم آزاد شده از نمونه‌های خاک در طول زمان برای کلیه واحدهای نقشه خاک دارای روندی کاهشی است و افزون‌ترین مقدار آزادسازی در ابتدای آزمایش (در زمان ۰) مشاهده می‌شود. از نظر ناهمسانی بین واحدهای نقشه خاک و خاک‌رُخ‌ها، می‌توان مشاهده کرد که واحد نقشه ۲۳ (خاک‌رُخ ۱) با مقدار ۴۷۲ میلی گرم بر کیلوگرم پتاسیم قابل‌دسترس افزون‌ترین مقدار غلظت پتاسیم آزاد شده را در شروع استخراج یعنی زمان صفر و در طول زمان آزمایش داشت. این نشان می‌دهد که این خاک در ابتدای آزمایش دارای غلظت افزون‌تری از مقدار پتاسیم قابل‌دسترس بود. واحدهای نقشه خاک ۱۸ و ۲۰ دارای مقادیر نسبتاً مشابهی از مقدار پتاسیم قابل‌دسترس اولیه بودند. غلظت پتاسیم اولیه آزاد شده از سایر انواع خاک به‌طور کلی کمتر بود و بقیه واحدهای نقشه خاک از نظر مقدار پتاسیم قابل‌دسترس خاک با توجه به مقادیرشان به ترتیب عبارتند از واحد نقشه ۱۴، واحد نقشه ۲۲، واحد نقشه ۳ و واحد نقشه ۱۳ که با مقدار ۱۰۴ میلی گرم بر کیلوگرم پتاسیم قابل‌دسترس کمترین مقدار پتاسیم اولیه در دسترس را در منطقه مطالعاتی داشت. این نتایج را می‌توان به ویژگی‌های گوناگون خاک، مانند بافت خاک، مقدار مواد آلی خاک، گنجایش تبادل کاتیونی و نوع و ویژگی‌های کانی‌های خاک نسبت داد.

مقدار تجمعی پتاسیم آزاد شده طی ۱۱ روز می‌تواند درک فراگیرتری از مقدار پتاسیم موجود در انواع گوناگون خاک و توان خاک برای تجدید این عنصر ارائه دهد. شکل ۴ نمودار تجمعی غلظت پتاسیم آزاد شده از واحدهای گوناگون نقشه خاک را نشان می‌دهد. با توجه به شکل غلظت پتاسیم آزاد شده تجمعی با گذشت زمان برای همگی واحدهای نقشه خاک افزایش می‌یابد. این روند کاملاً قابل انتظار است زیرا محلول کلرورکلسیم به‌کارگیری شده می‌تواند برای آزادسازی پتاسیم از مواد معدنی خاک از طریق

فرآیندهای تبادل یونی کمک کند. با توجه به شکل مقدار پتاسیم تجمعی اندازه گیری شده در بین واحدهای گوناگون نقشه خاک دگرگونه بود. واحد نقشه ۲۳ (خاک رُخ ۱) افزون ترین مقدار غلظت پتاسیم آزاد شده تجمعی را در بین همگی واحدهای نقشه خاک آزمایش شده نشان داد و پس از آن واحد نقشه ۲۰ (خاک رُخ ۷) و واحد نقشه ۱۸ (خاک رُخ ۵) قرار گرفت.



شکل ۴: مقایسه مقدار پتاسیم تجمعی در خاک اُف‌های سطحی خاک رُخ‌ها در ۷ واحد نقشه خاک منطقه مطالعاتی

این واحدهای نقشه خاک دارای مقدار رس افزون تری هستند و گنجایش تبادل کاتیونی نسبتاً زیادی دارند. از این رو، از گنجایش افزون تری برای نگهداری و آزادسازی یون‌های پتاسیم برخوردار هستند. از سوی دیگر، واحدهای نقشه خاک ۱۳ (خاک رُخ ۱۰) و ۳ (خاک رُخ ۱۱) مقدار پتاسیم تجمعی کمتری داشتند که نشان‌دهنده محدودیت بیشتر این خاک‌ها برای تامین نیاز پتاسیم گیاهان و توان کمتر آنها برای تجدید مقدار پتاسیم قابل‌دسترس خاک است. شایان ذکر است که مقدار پتاسیم قابل‌دسترس تجمعی ممکن است شاخص مناسبی برای نشان دادن مقدار کل پتاسیم موجود برای گیاهان نباشد. زیرا انواع گوناگون خاک و گیاهان ساختارهای جذب و نیازهای دگرگونه‌ای برای پتاسیم دارند. با این حال، این نتایج می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را در مورد فراهمی نسبی عنصر غذایی پتاسیم در میان انواع گوناگون خاک داشته و به اقدامات مدیریتی خاک نظیر کوددهی و انتخاب محصول کمک نماید.

به‌منظور انجام ارزیابی‌های دقیق‌تر از داده‌ها و نتیجه‌گیری‌های بهتر، از تجزیه واریانس^۱ برای تعیین این که آیا ناهمسانی قابل‌توجهی در غلظت پتاسیم آزاد شده در بین انواع گوناگون خاک و در طول زمان وجود دارد یا نه، استفاده شد. در جدول ۷ نتایج تجزیه واریانس مربوط به غلظت پتاسیم آزاد شده در حالت (۱) ذکر شده در بالا، دربرگیرنده ناهمسانی خاک‌های موجود در واحدهای نقشه خاک از نظر دو عامل مقدار پتاسیم رهاسازی شده و زمان ارائه شده است. این پردازش نشان داد که هر دوی این عوامل

1 - Analysis of variance (ANOVA)

با مقادیر $p=0/0087$ و $p=0/0000$ دارای اثر معنی‌دار بر غلظت پتاسیم آزاد شده در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند. با توجه به جدول، نسبت F برای عامل واحد نقشه خاک ۳/۱۹ و برای عامل زمان ۲۲/۱۹ است. نسبت‌های F نسبت واریانس ناشی از عامل به واریانس ناشی از خطا را اندازه‌گیری می‌کنند. هر چه نسبت F بزرگتر باشد، احتمال این که عامل تأثیر قابل توجهی بر نتیجه داشته باشد بیشتر است. میانگین مربعات خطای باقیمانده ۱۳۳۴/۸۸ است که برای محاسبه نسبت‌های F استفاده می‌شود. مجموع مجذورات باقی‌مانده نشان‌دهنده تغییرپذیری غیرقابل توضیح در داده‌ها پس از محاسبه تغییراتی است که توسط عوامل مورد آزمایش ایجاد شده است. به‌طور کلی، جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که در این مطالعه هر دو عامل نوع خاک و زمان از جمله عوامل مهمی هستند که باید هنگام مطالعه غلظت پتاسیم آزاد شده از خاک با استفاده از عصاره‌گیر کلرورکلسیم در نظر گرفته شوند.

جدول ۷: نتایج تجزیه واریانس غلظت پتاسیم آزاده شده با محلول کلرورکلسیم (نرم‌افزار استتگراف سنتوریون، نسخه ۱۹)

منبع	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مربعات	نسبت اف (F-ratio)	حدود احتمال (P-Value)
اثرات اصلی					
الف) واحد نقشه خاک	۲۵۵۷۸/۳	۶	۴۲۶۳/۰۴	۳/۱۹	۰/۰۰۸۷
ب) زمان	۲۹۶۱۵۴/۰	۱۰	۲۹۶۱۵/۴	۲۲/۱۹	۰/۰۰۰۰
باقیمانده	۸۰۰۹۲/۹	۶۰	۱۳۳۴/۸۸		
کل (اصلاح شده)	۴۰۱۸۲۵/۰	۷۶			

□ نسبت‌های اف بر اساس مجذور مربعات خطا هستند.

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس و رد شدن انگاره صفر یعنی برابر بودن میانگین غلظت پتاسیم آزاد شده در بین انواع گوناگون خاک و در طول زمان، برای اثبات وجود ناهمسانی‌های معنی‌دار در بین واحدهای نقشه خاک و گروه‌بندی آن‌ها از نظر مقدار پتاسیم رهاسازی شده توسط کلرورکلسیم از آزمون کمترین ناهمسانی معنی‌دار^۱ استفاده شد (جدول ۸). این آزمون، ناهمسانی‌های معنی‌داری را بین واحدهای نقشه خاک از نظر مقدار غلظت پتاسیم رها شده و زمان، با احتمال ۹۵ درصد نشان داد. در این پژوهش واحدهای نقشه خاک شماره ۳ و ۱۳ که به‌ترتیب بر روی واحدهای زمین‌ریخت دشت‌سر فوقانی با ارتفاع متوسط (Pi131) و دشت‌سر فوقانی با ارتفاع کم (Pi1-13-1) قرار دارند با مقدار رس خاک در حدود ۷ و ۱۰ درصد،

جدول ۸: نتایج آزمون کمترین مربعات و گروه بندی واحدهای نقشه خاک (نرم افزار استتگراف سنتوریون، نسخه ۱۹)

تعداد	□ میانگین حداقل مجزورات	□ □ حداقل مجزورات انحراف معیار	گروه ها	واحد نقشه خاک
۱۱	۳۲/۸۱۸۲	۱۱/۰۱۶	X	واحد نقشه ۳، خاک رخ ۱۱
۱۱	۳۵/۵۴۵۵	۱۱/۰۱۶	X	واحد نقشه ۱۳، خاک رخ ۱۰
۱۱	۵۰/۶۳۶۴	۱۱/۰۱۶	XX	واحد نقشه ۱۴، خاک رخ ۹
۱۱	۵۶/۴۵۴۵	۱۱/۰۱۶	XXX	واحد نقشه ۱۸، خاک رخ ۵
۱۱	۶۸/۲۷۲۷	۱۱/۰۱۶	XX	واحد نقشه ۲۰، خاک رخ ۷
۱۱	۷۲/۳۶۳۶	۱۱/۰۱۶	XX	واحد نقشه ۲۲، خاک رخ ۴
۱۱	۸۶/۶۳۶۴	۱۱/۰۱۶	X	واحد نقشه ۲۳، خاک رخ ۱

هر دو با بافت خاک سطحی لوم شنی و مقادیر پتاسیم تبدالی ۱۶۵ و ۱۳۶ میلی گرم بر کیلوگرم خاک در گروه خاک های با مقدار پتاسیم تبدالی کم، واحد نقشه خاک شماره ۱۴ واقع بر روی واحد زمین ریخت دشت سر فوقانی با ارتفاع کم (Pi1-14-1) با بافت خاک سطحی لوم رس شنی و با مقدار رس در حدود ۳۲ درصد و مقدار پتاسیم تبدالی ۳۴۱ میلی گرم بر کیلوگرم خاک در گروه خاک های با مقدار پتاسیم تبدالی نسبتاً کم، واحد نقشه خاک شماره ۱۸ که بر روی دشت سر میانی با ارتفاع کم (Pi241) با بافت خاک سطحی لوم رسی با مقدار رس ۳۲ درصد و مقدار پتاسیم تبدالی ۴۱۲ میلی گرم بر کیلوگرم خاک در گروه خاک با مقدار پتاسیم تبدالی متوسط، واحدهای نقشه خاک شماره ۲۰ و ۲۲ که به ترتیب بر روی واحدهای زمین ریخت دشت سر میانی با ارتفاع متوسط (Pi261) و زمین ریخت دشت سر انتهایی با ارتفاع زیاد (Pi321) با بافت خاک سطحی لومی و رسی، به ترتیب با مقدار رس ۲۳ و ۴۹ درصد که مقدار پتاسیم تبدالی آن ها به ترتیب ۴۶۵ و ۴۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک است در گروه خاک های با مقدار پتاسیم تبدالی نسبتاً زیاد و واحد نقشه خاک شماره ۲۳ که بر روی واحد دشت سر انتهایی با ارتفاع متوسط (Pi331) با بافت خاک سطحی لوم رسی با دارا بودن مقدار رس در حدود ۳۵ درصد و مقدار پتاسیم تبدالی در حدود ۷۳۸ میلی گرم بر کیلوگرم خاک در گروه خاک های با مقدار پتاسیم تبدالی زیاد قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصله افزون بر تأثیر مقدار رس بر مقدار پتاسیم تبدالی خاک، نوع و ترکیب کانی های خاک نیز در مقدار پتاسیم خاک ها تأثیر دارد. با توجه به جدول ۵ ملاحظه می گردد که هر قدر بر مقدار کانی رس در این خاک ها افزوده شده بر مقدار پتاسیم تبدالی خاک نیز افزوده شده است. در خاک های واحدهای نقشه خاک ۲۲ و ۲۳ این وضعیت کاملاً برعکس بوده و با وجود این که خاک واحد نقشه ۲۲ در مقایسه با خاک واحد نقشه ۲۳ از مقدار رس بیشتری برخوردار است اما مقدار پتاسیم تبدالی آن بسیار کمتر از خاک واحد نقشه ۲۳ است. با توجه به موارد فوق و نتایج ارائه شده در جدول های همبستگی و تجزیه واریانس و برای روشن تر شدن نقش کانی های خاک نتایج تفسیر مقاطع نازک تهیه شده در جدول ۹ ارائه شده است. در این جدول شکل های (الف و ب) مربوط به خاک واحدهای نقشه با مقدار پتاسیم قابل دسترس کم، شکل (ج) مربوط به خاک واحد نقشه با مقدار پتاسیم

قابل دسترس نسبتاً کم، شکل (د) مربوط به خاک واحد نقشه با مقدار پتاسیم قابل دسترس متوسط، شکل‌های (ه و و) مربوط به خاک واحد نقشه با مقدار پتاسیم قابل دسترس نسبتاً زیاد و شکل (ز) مربوط به خاک واحد نقشه با مقدار پتاسیم قابل دسترس زیاد است.

با توجه به جدول ۹، نحوه آرایش، اندازه، شکل و فراوانی اجزای سازنده متن^۱ خاک در مقاطع نازک تهیه شده از دسته‌های گوناگون از نظر مقدار پتاسیم قابل دسترس کاملاً با یکدیگر متمایز است. در دسته خاک‌های با مقدار پتاسیم قابل دسترس کم که از نظر زمین ریخت، بر روی واحد دشت سر فوقانی قرار دارند مواد سازنده خاک از نوع غیر خاک دانه‌ای^۲ بوده و ریز ساختمان از نوع ریز خاک دانه‌های محصور مابین اجزاء دانه‌ای^۳ است (جدول ۹، شکل‌های الف و ب). این خاک‌ها با توجه به موقعیت جغرافیاییشان، ارتفاع و شیب اراضی دارای فرسایش نسبتاً زیادی هستند و معمولاً مواد از آن‌ها به واحدهای کم ارتفاع تر انتقال می‌یابند. از این رو مقدار اجزاء ریز آن‌ها در مقایسه با سایر واحدها کمتر بوده و خاک‌ها از تحول و تکامل چندان زیادی برخوردار نیستند. در دسته خاک‌های با مقدار پتاسیم قابل دسترس نسبتاً کم و متوسط که از نظر زمین ریخت، بر روی واحد دشت سر فوقانی با ارتفاع کم و دشت سر میانی با ارتفاع کم قرار دارند مواد سازنده خاک از نوع خاک دانه‌ای^۴ بوده و ریز ساختمان از نوع دارای حفره‌های گرد و مدور مابین اجزای دانه‌ای^۵ است (جدول ۹، شکل‌های ج و د). این خاک‌ها با توجه به موقعیت جغرافیاییشان، ارتفاع و شیب اراضی نسبت به اراضی فوقانی دارای فرسایش کمتری هستند و معمولاً مواد انتقال یافته از واحدهای بالایی در آن‌ها رسوب گذاری می‌گردند. چون از نظر فرسایش پایداری هستند لذا اجزاء ریز آن‌ها در مقایسه با واحدهای فوقانی افزون تر بوده و خاک‌ها در مقایسه با خاک واحدهای بالایی از تحول و تکامل افزون تری برخوردار هستند.

جدول ۹: ویژگی‌های ریز ریخت شناسی نمونه‌های خاک (بزرگ نمایی ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ برابر)

تفسیر مقاطع نازک مطالعه شده نمونه‌های خاک			
الف) واحد نقشه ۳	خاک رُخ ۱۱	عمق خاک ۲۰-۰ سانتی متر	XP L
PP L			

خاک با مقدار پتاسیم قابل دسترس کم:



ریز ساختمان از نوع ریز خاک دانه‌های محصور مابین اجزاء دانه‌ای، با $C/f: 5/5$ ؛ تا ۳۵ درصد ذرات درشت از نوع کانی گچ و حدود ۱۰ درصد قطعات بازالتی حاوی کانی‌های الیوین، پیروکسن و فلدسپارها در اندازه‌های ریز به صورت پورفیری؛ گچ با اشکال متنوع و به صورت یک جا و پراکنده در متن خاک در کنار عوارض اکسیداسون و احیاء با حاشیه‌های کاملاً مشخص؛ وجود قطعات سنگی گرانیتی و دیوریتی همراه با کانی‌های اپک؛ خاک دانه‌ها با ساختمان توده‌ای و مکعبی گرد و مدور همراه با وجود کانی‌های فلدسپات در متن خاک به مقدار ۴ تا ۵ درصد.

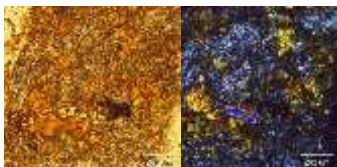
- 1 - Fabric
- 2 - Apedal soil materials
- 3 - Intergrain microaggregate structure
- 4 - Pedal soil materials
- 5 - Intergrain vesicular pore structure

تفسیر مقاطع نازک مطالعه شده نمونه های خاک

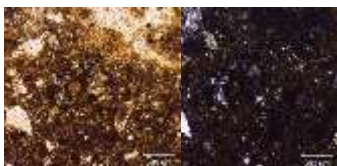
PP L	XP L	عمق خاک ۲۰-۰ سانتی متر	خاک رُخ ۱۰	ب) واحد نقشه ۱۳
				خاک با مقدار پتاسیم قابل دسترس کم: ریز ساختمان از نوع ریزخاک دانه های محصور مابین اجزاء دانه ای، با $C/f: 7/3$؛ وجود حدود ۵۰ درصد قطعات درشت سنگی متشکل از بازالت، دیوریت و گرانیت و حدود ۵ تا ۱۰ درصد بلورهای ریز لوزی شکل گچ در درون حفرات خاک، وجود قطعات گچ با رُخ هلالی و دارای بی فابریک ذره محور همراه با بلورهای گچی تقریباً بی شکل و هوازده و بلورهای گچ پوشش یافته با مواد آلی و اکسیدهای آهن؛ بخش نرم متن خاک کمتر از ۵۰ درصد با ساختمان تک دانه ای؛ قطعات گرانیت و دیوریت عمدتاً بلوری در درون بلورهای ریزتر با الگوی بافت نرم؛ وجود قطعات دیوریتی هوادیده همراه با سنگ های گرانیتی کاملاً متبلور به مقدار زیاد، در بعضی نقاط وجود سنگ های گرانیتی با هوادیدگی کم حاوی بلورهای کوارتز در اندازه کوچک همراه با دیگر قطعات سنگی درشت دارای پوشش هایی از پوسته های آهکی؛ وجود تکه هایی از کلسیت و فلدسپار در داخل بعضی از سنگ های رسوبی با قطر حدود ۳ میلی متر؛ وجود کانی های کلریت، آپاتیت، افسیدین و میکا در متن خاک که در حالت نور معمولی دارای خاصیت چند رنگی با رنگ های بسیار زیبا و واضح در متن خاک؛ وجود گرهک های ماسه سنگ و فلدسپارها به همراه قطعات سنگی گرانیتی همراه با آهک ثانویه در اطرافشان.



PP L	XP L	عمق خاک ۲۰-۰ سانتی متر	خاک رُخ ۹	ج) واحد نقشه ۱۴
				خاک با مقدار پتاسیم قابل دسترس نسبتاً کم: ریز ساختمان از نوع دارای حفره های گرد و مدور مابین اجزای دانه ای، با $C/f: 4/6$؛ قطعات درشت و سنگی حدود ۲۰ درصد متشکل از بازالت، شیشه آتشفشان، دیوریت و آهک نسبتاً هوادیده، ۱۰ درصد کانی های فلدسپاری همراه با مقادیری کوارتز، گچ و سایر کانی ها با الگوی پراکنش پورفریک نزدیک به هم، قطعات درشت عمدتاً از نوع مخلوط سنگ های رسوبی و آذرین بوده و از ماد استون، بازالت، دیوریت و سنگ آهک همراه با بلورهای گچ و نمک به وجود آمده است، در متن خاک کانی های ریز سفید و براق کوارتز همراه با کانی لوزی شکل گچ پراکنده هستند که همراه با مقادیر کمی از کانی های فلدسپار در اندازه کوچک به صورت پراکنده قابل رویت هستند؛ متن خاک دارای ساختمان توده ای همراه با ۵۰ درصد ساختمان دانه ای.



PP L	XP L	عمق خاک ۲۰-۰ سانتی متر	خاک رُخ ۵	د) واحد نقشه ۱۸
				خاک با مقدار پتاسیم قابل دسترس متوسط: ریز ساختمان از نوع دارای حفره های گرد و مدور مابین اجزای دانه ای، با $C/f: 4/6$؛ حدود ۲۰ درصد کانی های فلدسپار پتاسیم، کلسیم، سدیم و ۵ درصد قطعات سنگی رسوبی و بازالتی، گچ و کانی های اپک؛ ساختمان مکعبی نیمه زاویه دار با درجه وضوح متوسط و نسبتاً قوی؛ کانی فلدسپار نسبتاً بزرگ با قطر حدود ۰/۶ میلی متر و در اندازه های کوچکتر در حد ابعاد سیلت. قطعات سنگی نسبتاً درشت با جهت یافتگی رس بر روی آن و قطعات سیلتی در داخل متن خاک؛ متنی خاکستری متشکل از بلورهای ریز پراکنده کوارتز در داخل آن؛ وجود کانی های سفید و ریز براق از جمله فلدسپارها (ارتوکلاز و پلاژیوکلاز)، کوارتز و گچ به صورت پراکنده در متن خاک.

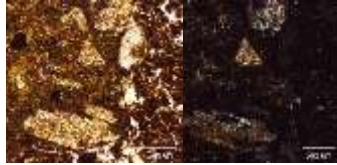


تفسیر مقاطع نازک مطالعه شده نمونه‌های خاک

ه) واحد نقشه ۲۰	خاک رُخ ۷	عمق خاک ۰-۲۰ سانتی‌متر	XP L	PP L
-----------------	-----------	------------------------	---------	---------

خاک با مقدار پتاسیم قابل‌دسترس زیاد:

ریزساختمان از نوع دارای حفرات وگی شکل، با $C/f: 7/3$ ؛ وجود قطعات سنگی درشت از نوع رسوبی، ماسه‌سنگ با دانه‌های بلوری دگرگونه گرد شده که خمیره آن‌ها سیلتی و کربناتی است و بررویشان کانی‌های اپک، پیروکسن، آمفیبول، اولیوین قرار دارد همراه با سنگ‌های آذرآوری نظیر توف؛ وجود کانی‌های فلدسپاری به مقدار نسبتاً زیاد همراه با قطعات سنگی بازالتی و سنگ آهک در متن خاک؛ دارای ساختمان گرانولار با حفرات زیاد و واضح اما در متن خاک ساختمان توده‌ای بیشتر قابل رویت است؛ وجود ساختمان مکعبی گرد و مدور ضعیف در برخی مناطق؛ وجود قطعات درشت به مقدار خیلی زیاد؛ وجود نسبتاً زیاد کانی‌های تیره به مقدار ۱۰ تا ۱۵ درصد و وجود عوارض هواپدیدی.



و) واحد نقشه ۲۲	خاک رُخ ۴	عمق خاک ۰-۲۰ سانتی‌متر	XP L	PP L
-----------------	-----------	------------------------	---------	---------

خاک با مقدار پتاسیم قابل‌دسترس زیاد:

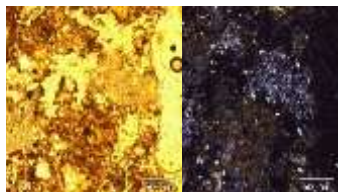
ریزساختمان از نوع دارای حفرات وگی شکل، با $C/f: 2/8$ ؛ بخش عمده ذرات درشت از نوع گچ و نمک ثانویه بوده و مقدار کانی‌های فلدسپاری و پلاژیوکلاز کم است. حدود ۱۰ درصد کانی‌ها را فلدسپارها تشکیل می‌دهند؛ کانی‌های ثانویه لوزی شکل گچ در ابعاد ریز همراه با کانی کوارتز به صورت پراکنده در متن خاک وجود دارند؛ ساختمان در کل توده‌ای است اما در داخل توده‌ها ساختمان گرانولار نیز مشاهده می‌شود.



ز) واحد نقشه ۲۳	خاک رُخ ۱	عمق خاک ۰-۲۰ سانتی‌متر	XP L	PP L
-----------------	-----------	------------------------	---------	---------

خاک با مقدار پتاسیم قابل‌دسترس خیلی زیاد:

ریزساختمان از نوع کرامبی، با $C/f: 4/6$ ؛ در حدود ۲۰ درصد گچ، ۱۵ درصد کانی‌های فلدسپاری از جمله پلاژیوکلازها، ارتوکلازها و فلدسپارهای کلسیم و منیزیم‌دار، کوارتز در حدود ۴ تا ۵ درصد؛ ساختمان میکروسکوپی گرانولار یا دانه‌ای؛ وجود بلورهای گچ به شکل لانه‌ای و عدسی شکل به صورت پرشدگی به شکل رزت و یا پراکنده در داخل حفرات و در متن خاک؛ هم‌چنین وجود بلورهای گچ به صورت پراکنده در متن خاک به علت انجام عملیات شخم زمین، متوسط مقدار اندازه گچ موجود در حفره‌ها در حدود ۱ میلی‌متر؛ اندازه بزرگترین بلور گچ در متن خاک در حدود ۱۰۰ میکرون و کوچکترینش حدود ۵ تا ۱۰ میکرون؛ وجود کانی‌های اپک و قطعات الیوین و پیروکسن به رنگ تیره در متن خاک؛ وجود کانی فلدسپات هم در اندازه‌های بزرگ و هم در اندازه ریز در متن خاک با هواپدیدی لکه‌ای و خطی؛ بخش کریستالیک و خرده بلوری بیشتر از نوع میکا در اندازه سیلت است.



در دسته خاک‌های با مقدار پتاسیم قابل‌دسترس زیاد که از نظر زمین‌ریخت، بر روی واحد دشت‌سر میانی با ارتفاع متوسط و دشت‌سر انتهایی با ارتفاع زیاد قرار دارند مواد سازنده خاک از نوع خاک‌دانه‌ای بوده و ریزساختمان از نوع ساختمان دارای حفرات وگی^۱ شکل است (جدول ۹، شکل‌های ه و و). این خاک‌ها با توجه به موقعیت جغرافیایشان، ارتفاع و شیب اراضی دارای فرسایش بسیار کمی هستند و معمولاً مواد واحدهای مرتفع‌تر به آن‌ها انتقال می‌یابند. از این‌رو مقدار اجزاء ریز آن‌ها در مقایسه با سایر

واحدها خیلی افزون تر بوده و به دلیل پایداریشان در آن ها خاک ها از تحوّل و تکامل افزون تری برخوردار هستند.

در مقطع نازک تهیه شده از خاک رُخ حفر شده در واحد نقشه ۲۳ (خاک رُخ ۱) که بر روی واحد دشت سر انتهایی با ارتفاع متوسط قرار دارد ریز ساختمان از نوع ساختمان کرامبی^۱ بوده و مقادیر زیادی فلدسپات- های پتاسیم دار در برگیرنده اورتوکلاز به همراه مقادیر زیادی کانی های میکا در اندازه سیلت رویت شده است (جدول ۹، ز). بررسی نتایج گنجایش تبادل کاتیونی خاک در واحد نقشه شماره ۳ که در گروه خاک های با مقدار پتاسیم تبدالی کم قرار دارد نشان می دهد که مقدار این ویژگی در نمونه خاک مربوط به این واحد ۲۷ سانتی مول بار مثبت بر کیلوگرم خاک اندازه گیری شده است. این مقدار در مقایسه با مقدار آن در خاک بقیه واحدهای نقشه خاک زیاد است. بررسی ویژگی های آزمایشگاهی و ریزریخت- شناسی در مقطع نازک تهیه شده از افق سطحی این خاک نشان می دهد که مقادیر زیادی بلورهای گچ و آهک در متن^۲ این خاک وجود دارد که به احتمال خیلی زیاد در فرآیند اندازه گیری گنجایش تبادل کاتیونی خاک تداخل ایجاد نموده است (جدول ۹، الف و جدول ۵).

بین گنجایش تجدیدشوندگی پتاسیم خاک^۳ و سرعت رهاسازی پتاسیم از خاک ناهمسانی وجود دارد. گنجایش تجدیدشوندگی پتاسیم خاک به توانایی خاک برای مقاومت در برابر دگرگونی پتاسیم قابل- دسترس خاک اشاره دارد، در حالی که نرخ آزادسازی پتاسیم به سرعتی اشاره دارد که طی آن پتاسیم برای جذب گیاه، در خاک قابل دسترس می شود. پژوهش ها نشان داده اند که خاک هایی که گنجایش تجدیدشوندگی افزون تری دارند، نرخ آزادسازی پتاسیم کمتری دارند، در حالی که خاک های با گنجایش تجدیدشوندگی کمتر، نرخ آزادسازی پتاسیم افزون تری دارند. دلیل این امر آن است که خاک های با گنجایش تجدیدشوندگی افزون می توانند پتاسیم را محکم تر نگه دارند و آن را برای جذب گیاه کمتر در دسترس قرار می دهند. از سوی دیگر، خاک هایی که گنجایش تجدیدشوندگی کمتری دارند، مکان های اتصال کمتری برای پتاسیم دارند که آن را برای جذب گیاه قابل دسترس تر می سازد [۴۲، ۴۳].

به منظور تعیین سرعت آزادسازی پتاسیم برای هر نوع خاک در طول زمان از یک قالب رگرسیون با زمان به عنوان متغیر مستقل و غلظت پتاسیم آزاد شده به عنوان متغیر وابسته استفاده و ضرایب رگرسیون با یکدیگر مقایسه شد. خوب بودن برازش قالب های رگرسیون با استفاده از معیار ضرایب همبستگی^۴ ارزیابی شد (شکل ۵). مقایسه گنجایش تجدیدشوندگی خاک ها از نظر عنصر غذایی پتاسیم از طریق تعیین مساحت سطح زیر منحنی های انطباق داده شده به داده ها^۵ با استفاده از اصول مربوط به قاعده تراپزوئیدال^۶ امکان پذیر گردید و از این طریق میانگین پتاسیم آزاد شده در طی دوره آزمایش به دست آمد. سطح زیر

1 - Crumb structure

2 - Soil matrix

3 - Soil potassium buffering capacity

4 - R-squared

5 - Area under curve

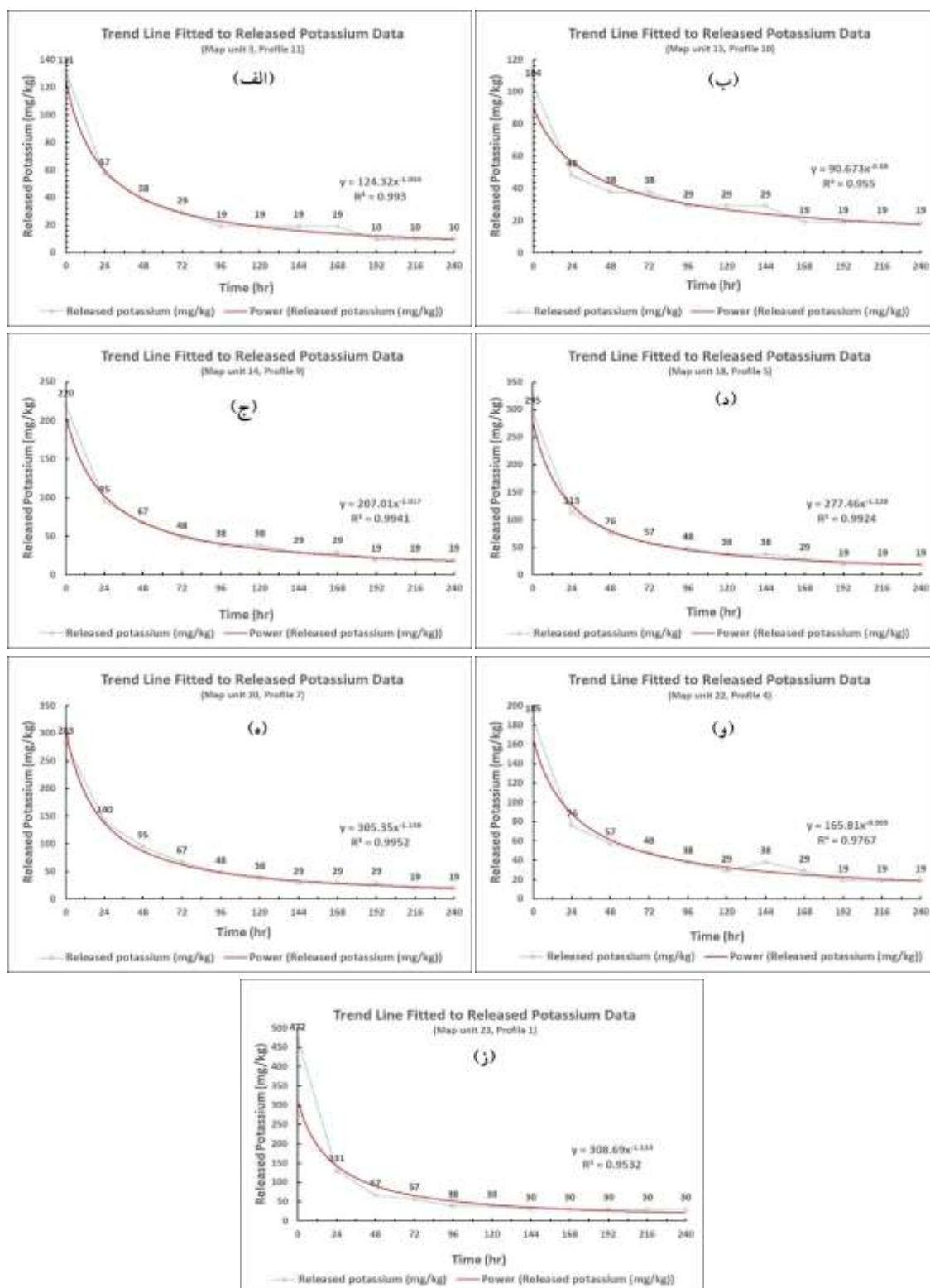
6 - Trapezoidal rule

منحنی تخمینی از مقدار کل پتاسیم آزاد شده در دوره ۱۱ روزه را ارائه می‌دهد و می‌تواند برای مقایسه گنجایش تجدیدشوندگی پتاسیم خاک استفاده شود. خاکی که افزون‌ترین مقدار سطح زیرمنحنی را دارد، افزون‌ترین گنجایش تجدیدشوندگی پتاسیم را دارد، در حالی که خاکی که کمترین مقدار سطح زیرمنحنی را دارد، کمترین گنجایش تجدیدشوندگی پتاسیم را دارد. بنابراین سرعت رهاسازی با معادله و مقدار مربع R و گنجایش تجدیدشوندگی خاک همراه با میانگین پتاسیم آزاد شده با سطح زیر منحنی ارتباط دارد. در جدول ۱۰ نتایج محاسبات انجام یافته برای هر یک از واحدهای نقشه خاک به‌طور خلاصه ارائه شده است.

با توجه به جدول، میانگین آزادسازی پتاسیم در دوره ۲۴۰ ساعته (۱۱ روز) در هر یک از واحدهای نقشه خاک از حدود حداقل ۳۰/۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در ساعت تا حداکثر حدود ۷۱/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در ساعت متغیر بود. سطح زیر منحنی برای هر یک از واحدهای نقشه خاک محاسبه شد که از حداقل حدود ۷۲۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم تا حداکثر ۱۷۲۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک متغیر بود.

جدول ۱۰: ویژگی‌های آزادسازی پتاسیم هفت نمونه خاک

نام واحد نقشه	معادله خط رگرسیون توانی انطباق داده شده به داده‌ها	ضریب رگرسیون	میانگین پتاسیم آزاد شده در طی ۲۴۰ ساعت (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	سطح زیر منحنی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
واحد نقشه ۳، خاک رُخ ۱۱	$y = 124/32x^{1/0.54}$	$R^2 = 0.9659$	۳۰/۰۵	۷۲۱۲
واحد نقشه ۱۳، خاک رُخ ۱۰	$y = 90/67x^{1/0.68}$	$R^2 = 0.9550$	۳۳/۹	۸۱۳۶
واحد نقشه ۱۴، خاک رُخ ۹	$y = 20.7/0.1x^{1/0.17}$	$R^2 = 0.9859$	۵۱/۱	۱۲۲۶۴
واحد نقشه ۱۸، خاک رُخ ۵	$y = 377/46x^{1/1.28}$	$R^2 = 0.9827$	۶۰/۳۵	۱۴۴۸۴
واحد نقشه ۲۰، خاک رُخ ۷	$y = 30.5/35x^{1/1.48}$	$R^2 = 0.9887$	۶۵/۴۵	۱۵۷۰۸
واحد نقشه ۲۲، خاک رُخ ۴	$y = 165/81x^{1/0.9}$	$R^2 = 0.9767$	۴۶/۴۵	۱۱۱۴۸
واحد نقشه ۲۳، خاک رُخ ۱	$y = 30.8/69x^{1/1.14}$	$R^2 = 0.9183$	۷۱/۷	۱۷۲۰۸



شکل ۵: معادلات رگرسیون برازش داده شده به داده های پتاسیم رهاسازی شده در تیمارهای اشباع شده با کلرور کلسیم برای خاک های مورد آزمایش

از نتایج، می‌توان مشاهده کرد که همه واحدهای نقشه خاک دارای مقادیر ضرایب رگرسیونی افزونی هستند، که نشان‌دهنده وجود همبستگی قوی بین کلرورکلسیم اعمال شده و پتاسیم آزاد شده است. واحد نقشه ۲۰، دارای افزون‌ترین مقدار مربع ضریب همبستگی ($R^2=0/9887$) است که نشان‌دهنده وجود یک رابطه قوی بین تیمار کلرورکلسیم اعمال شده و پتاسیم آزاد شده است. وجود مقادیر ضرایب همبستگی افزون، نشان می‌دهد که پتاسیم به طور موثر استخراج شده و نتایج قابل اعتماد هستند. با توجه به گنجایش تجدیدشوندگی، واحد نقشه ۲۳، دارای افزون‌ترین میانگین پتاسیم آزاد شده به مقدار ۷۱/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و سطح زیرمنحنی به مقدار ۱۷۲۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. این نشان می‌دهد که این خاک گنجایش تجدیدشوندگی افزونی دارد و می‌تواند مقدار قابل توجهی از یون پتاسیم را بدون رهاسازی در خود نگه دارد. خاک‌هایی که گنجایش تجدیدشوندگی افزونی دارند، معمولاً می‌توانند منبع پتاسیم خود را بهتر از خاک‌های با گنجایش تجدیدشوندگی کم حفظ کنند. این خاک‌ها از قابلیت تثبیت پتاسیم افزون‌تری برخوردار بوده و به‌طور بالقوه می‌توانند در رقابت با ریشه گیاه برای جذب پتاسیم باشند و به این طریق موجب گردند که گیاهان کاشته شده در آن‌ها علائم کمبود پتاسیم را نشان دهند [۴۴].

از سوی دیگر، واحد نقشه ۳، دارای کمترین گنجایش تجدیدشوندگی با کمترین میانگین پتاسیم آزاد شده به مقدار ۳۰/۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین سطح زیر منحنی به مقدار ۷۲۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. این خاک گنجایش کمی برای نگهداری پتاسیم دارد و پتاسیم مصرفی در آن به راحتی می‌تواند آزاد شده و قابل استفاده گیاهان شود. خاک‌هایی که گنجایش تجدیدشوندگی کمی دارند بیشتر مستعد شستشوی پتاسیم هستند. این امر می‌تواند منجر به بروز مشکلات زیست‌محیطی و کاهش پتاسیم خاک شود [۴۵].

نتیجه‌گیری

پتاسیم یک درشت مغذی ضروری برای رشد و نمو گیاهان است. غلظت پتاسیم آزاد شده از خاک‌ها در این مطالعه می‌تواند برای ارزیابی بهره‌وری نهانی خاک از نظر رشد و نمو گیاه مورد استفاده قرار گیرد. همان‌گونه که نتایج این پژوهش نشان داده است میزان دسترسی پتاسیم در خاک به عوامل دگرگونه‌ای از جمله نوع خاک، پهاش، درون‌مایه مواد آلی و گنجایش تبادل کاتیونی خاک بستگی دارد [۴۶]. نمونه‌های خاک مورد استفاده در این پژوهش از نظر نوع، واحدهای زمین‌ریخت و نوع موادمادری که خاک‌ها بر روی آن‌ها تشکیل یافته کاملاً با یکدیگر دگرگونه بودند. خاک‌ها دگرگونی‌های تکاملی را طی کرده و در شرایط حاکم دماپویایی^۱ به تعادل رسیده‌اند. ناهمسانی‌های رفتاری خاک‌ها نسبت به عنصر غذایی پتاسیم کاملاً قابل مشاهده و درک بود. ناهمسانی‌های ترکیب کانی‌شناسی خاک‌ها در نتایج ویژگی همچون گنجایش تبادل کاتیونی خاک قابل مشاهده است. در این پژوهش گنجایش تبادل کاتیونی خاک

به عنوان معیاری برای سنجش توانایی خاک در نگهداری و آزادسازی کاتیون هایی همانند پتاسیم مورد استفاده قرار گرفته است. این ویژگی همانند مقدار پتاسیم قابل دسترس خاک تحت تأثیر ترکیب کانی شناسی و درون مایه رس خاک قرار دارد [۱۱]. با توجه به مقادیر به دست آمده از نتایج تجزیه های فیزیکی، شیمیایی، تشریح مقاطع نازک خاک، اندازه، شکل و نحوه توزیع کانی های پتاسیم دار و غلظت های اندازه گیری شده پتاسیم برای خاک ها می توان نتیجه گرفت که مقدار آزادسازی پتاسیم از افزون ترین به کمترین به ترتیب در واحد نقشه ۲۳ (خاک رُخ ۱) به دلیل وجود افزون ترین مقدار کانی های فلدسپاری و کمترین مقدار قطعات سنگی درشت با غلظت پتاسیم ۴۷۲/۵ میلی گرم بر کیلوگرم، واحد نقشه ۱۸ (خاک رُخ ۵) با غلظت پتاسیم ۲۹۵/۵ میلی گرم بر کیلوگرم، واحد نقشه ۲۰ (خاک رُخ ۷) با غلظت پتاسیم ۲۸۳/۱ میلی گرم بر کیلوگرم، واحد نقشه ۱۴ (خاک رُخ ۹) با غلظت پتاسیم ۲۱۹/۷۸ میلی گرم بر کیلوگرم، واحد نقشه ۲۲ (خاک رُخ ۴) با غلظت پتاسیم ۱۸۴/۹۵ میلی گرم بر کیلوگرم، واحد نقشه ۳ (خاک رُخ ۱۱) با غلظت پتاسیم ۱۳۱/۳۵ میلی گرم بر کیلوگرم، و کمترین مقدار واحد نقشه ۱۳ (خاک رُخ ۱۰) با غلظت ۱۰۳/۹۵ میلی گرم بر کیلوگرم است. اختلاف در میزان رهاسازی پتاسیم در خاک ها به دلیل شکل های گوناگون پتاسیم در خاک می باشد. در مقاطع نازک تهیه شده از خاک واحد نقشه ۲۳ که دارای افزون ترین مقدار پتاسیم قابل دسترس است افزون ترین مقدار کانی های فلدسپارهای پتاسیم دار دیده شد. در این واحد نقشه خاک در مقایسه با بقیه واحدهای نقشه قطعات درشت سنگی کمتری موجود بود. مطالعات ریزریخت شناسی نشان داد که متن خاک از نوع ساختمان بلورین نیست. اما در واحد نقشه ۱۳ شرایط کاملاً دگرگونه بوده و افزون بر این که در مطالعات ریزریخت شناسی انواع کانی های پتاسیم دار در خاک مشاهده نشده بلکه ساختمان متن خاک نیز از نوع بلورین بود و به همین دلیل مقدار ذخایر پتاسیم خاک برای جبران پتاسیم مصرف شده در خاک کافی نیست. بنابراین میزان دسترسی پتاسیم برای گیاهان به مقدار ناچیزی صورت گرفته و برای جبران کمبود پتاسیم مورد نیاز قطعاً نیاز به افزودن مقادیر مناسبی از کودهای حاوی پتاسیم به خاک خواهد بود. بر اساس نتایج در کلیه واحدهای نقشه خاک همه خاک ها در تیمار کلرورکلسیم بیش از ۹۰ درصد از پتاسیم قابل دسترس خود را در طول زمان ۷۲ ساعت رهاسازی کرده اند که به نظر می رسد بخش عمده آن مربوط پتاسیم های آزاد شده از مواد آلی خاک و یا پتاسیم های قرار گرفته در لبه ها و سطوح بلورین کانی های خاک باشند. چون مقدار مواد آلی خاک در ناحیه مورد پژوهش کم است لذا به نظر می رسد که بخشی از پتاسیم پس از طی این زمان مربوط به آزاد شدن پتاسیم از مکان های تثبیت شده بین لایه های و پتاسیم ساختمانی است.

منابع

- [۱] A. Mohammadi Turkashvand, F. Neary and N. Khakipu, Soil fertility and plant nutrition: Nutrients of high consumption, vol. 1, Tehran, Tehran: Islamic Azad University Publications, Science and Research Branch, 2017.
- [۲] E. Portela, F. Monteiro, M. Fonseca and M. M. Abreu, "Effect of soil mineralogy on potassium fixation in soils developed on different parent material," *Geoderma*, vol. 343, pp. 226-234, 2019.
- [۳] M. Salem Akhtar, "Potassium Availability as Affected by Soil Mineralogy K Availability of Soils in West Asia and North Africa, Status and Perspectives," in *Proceedings of the Regional Symposium Held in Tehran, Iran. June 19-22, Basel, International Potash Institute, 1993*, p. 283.
- [۴] D. F. Lapidus and I. Winstanley, *Collins dictionary of geology*, D. R. Coates and I. Winstanley, Eds., London: Collins publisher, 1990, p. 565 pages.
- [۵] M. H. Zia, "Clay minerals & fertilizer management," *DAWN Groups of Newspapers*, 24 April 2006. [Online]. Available: <https://www.dawn.com/news/189092/clay-minerals-fertilizer-management>. [Accessed 04 February 2024].
- [۶] F. B. Salisbury and C. W. Ross, *Plant Physiology, Hormones and Plant Regulators: Auxins and Gibberellins*. 4th Edition, vol. 25, Belmont, California: Wadsworth Publishing, 1992, pp. 357-381.
- [۷] K. Mengel, "Dynamics and availability of major nutrients in soils," in *Advances in Soil Science*, vol. 2, New York, NY: Springer, 1985, pp. 65-131.
- [۸] L. R. Hossner, "Dissolution for total elemental analysis," in *Methods of soil analysis. Part 3, chemical methods*, Madison, Soil Sci. Soc. of America, 1996, pp. 49-64.
- [۹] J. Beek, G. H. Bolt, M. G. M. Bruggenwert, F. A. M. De Haan, A. Kamphorst, I. Novozamsky, N. Van Bremen, R. Brinkman and P. J. Zwerman, *Soil chemistry: A basic element*, vol. 1, New york, NY: Elsevier Scientific Publishing Company, 1976, p. 281.
- [۱۰] M. Liaqat et al. (eds.), "Study of clay mineralogy and micromorphology of soil cavities in the west of Golestan province and their role in the degree of potassium supply," vol. 16, no. 61, 2012.
- [۱۱] N. C. Brady and R. R. Weil, *The nature and properties of soils* (14th ed.), Pearson Education, 2010.
- [۱۲] D. L. Sparks, "Potassium dynamics in soils," in *Advances in Soil Science*, vol. 6, New York, NY: Springer, 1987, pp. 1-63.
- [۱۳] W. Li, S. Wang, J. Ding, G. Yu, D. Wang, P. Hung, H. Liu, Q. Gu and X. Xu, "Study on Micro Morphology of Potassium Dihydrogen Phosphate Crystals Grown at Elevated Temperatures," *Crystals*, vol. 7, no. 118, 2017.

- [۱۴] P. M. Huang, L. S. Crossan and D. A. Rennie, "Chemical dynamics of K-release from potassium minerals common in soils," in 9th International Congress Soil Science Transactions, Adelaide, International Society of Soil Science and Angus and Robertson, 1968, pp. 705-712.
- [۱۵] S. Feigenbaum, R. Edelstein and I. Shainber, "Release rate of potassium and structural cations from micas to ion exchangers in dilute solutions," Soil Science Society of America journal, vol. 45, no. 3, pp. 501-506, 1981.
- [۱۶] G. Stoops, Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections. USA. p.184., Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America, Inc., 2003, p. 184.
- [۱۷] M. H. Banaeei, Map of moisture and thermal regimes of Iranian soils with 1:2500000 scale, Tehran, Tehran: Soil and Water research Institute, 1977.
- [۱۸] Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Geological map of Iran with one millionth scale, Tehran: Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, 1977.
- [۱۹] M. R. Carter (Ed) and E. G. Gregorich, Soil sampling and methods of analysis (2nd edition), Boca Raton: Lewis publishers, 2007, p. 1264.
- [۲۰] P. J. Schoeneberger, D. A. Wysocki, E. C. Benham and W. D. Broderson, Field book for describing and sampling soils, 3 ed., Lincoln, NE.: Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, 2021.
- [۲۱] J. A. Zinck, G. Metternicht, G. Bocco and H. F. Del , Geopedology, an integration of geomorphology and pedology for soil and landscape studies, New York, NY: Springer, 2016, pp. 1-550.
- [۲۲] G. W. Gee, "Particle-size analysis," in Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods, Madison, WI, Monograph 9. ASA and SSSA, 2002, pp. 255-293.
- [۲۳] P. Bullock, N. Fedorof, A. Jongerius, G. Stoops and T. Tursina, Handbook for Soil Thin Section Description, Wolverhampton: Waine Research Publishers, 1986, p. 182.
- [۲۴] D. W. Nelson and L. E. Sommers, "Total carbon, organic carbon and organic matter," in Methods of Soil Analysis, Part III, 3th ed, Madison, WI: Am. Soc. Agron, 1996, pp. 961-1010.
- [۲۵] G. W. Thomas, "Soil pH and soil acidity," in Methods of soil analysis, Part 3, Chemical methods. Agronomy Monograph. No, 9, Madison, WI: ASA and SSSA, 1996, pp. 475-490.
- [۲۶] P. A. Helmke and D. L. Sparks, "Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium," in Method of Soil Analysis, Part 3, 3th ed. Chemical analysis, Madison, WI: Am. Soc. Agron, 1996, pp. 551-574.
- [۲۷] M. E. Sumner and W. P. Miller, "Cation exchange capacity and exchange coefficients," in Methods of Soil Analysis, Part III, 3rd ed. Chemical analysis, Madison, WI: Am. Soc. Agron., 1996, pp. 1201-1229.
- [۲۸] J. D. Rhoades, "Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids," in Methods of Soil Analysis, Part III, 3rd ed, Chemical analysis, Madison, WI: Am. Soc. Agron, 1996, pp. 417-436.

- [۲۹] J. M. Bremner and C. S. Mulvancy, "Nitrogen-total. In , Madison, , USA: .," in Methods of soil analysis, Madison, Wisconsin: SSSA and ASA, 1982, pp. 595-622.
- [۳۰] S. Kuo, "Phosphorus," in Methods of soil analysis, Part 3., Chemical methods. Agronomy Monograph No, 9, Madison, WI: ASA and SSSA, 1996, pp. 869-920.
- [۳۱] M. Ali Ahyayi and A. A. Behbahanizadeh , Description of soil chemical analysis methods, Tehran: Soil and Water Research Institute, 1993.
- [۳۲] W. L. Kubiena, The principal of micropedology, Amesterdam, Iowa: Collegiate Press Inc., 1938, p. 243.
- [۳۳] R. Brewer, Fabric and mineral analysis of soils, New York, NY: John Wiley & Sons Inc., 1964, p. 470.
- [۳۴] J. G. Cady, L. P. Wilding and L. R. Drees, "Petrographic microscope techniques," in Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd ed, Agron. Monogr. 9., Madison, WI: ASA and SSSA, 1986, pp. 198-204.
- [۳۵] E. A. Fitzpatrick, Micromorphology of soils, London: Chapman and Hall, Ltd, 1984, p. 434.
- [۳۶] p. Bullock, N. Fedoroff, A. Jongerius, G. Stoops and T. Tursina, Handbook for soil thin section description, Walverhampton: Waine Res.Publ, 1985, p. 152.
- [۳۷] C. P. Murphy, Thin section preparation of soils and sediments, Berkhamstrd: A. B. Academic Publisher, 1986, p. 149.
- [۳۸] E. A. Fitzpatrick, Soil microscopy and micromorphology, New York, NY: John Wiley and Sons, 1993, p. 316.
- [۳۹] C. A. Fox and L. E. Parent, "Micromorphology methodology for organic soils," in Soil sampling and methods of analysis, Boca Raton, Lewis Publisher, 1993, pp. 473-485.
- [۴۰] K. Mengel and K. Uhlenbecker, "Determination of available interlayer potassium and its uptake by ryegrass," Soil Science Society of America Journal, vol. 57, no. 3, pp. 761-766, 1993.
- [۴۱] Y. Pal, R. J. Gilkes and M. T. F. Wong, "Mineralogy and potassium release form some western Australian soils and their size fractions," Australian journal of soil research, vol. 39, no. 4, pp. 813-822, 2001.
- [۴۲] I. Cakmak, V. Römheld and H. Marschner , "Volatilization of mercury from plant leaves and its importance in the mercury cycle," Biogeochemistry, vol. 27, no. 3, pp. 141-150, 1995.
- [۴۳] J. Wang, X. Lu, J. Mao, D. Xie, X. Liu and Y. Wang, "Spatial variability of soil potassium and its affecting factors in a small watershed in the black soil region of Northeast China," Journal of Soils and Sediments, vol. 12, no. 3, pp. 401-411, 2012.
- [۴۴] K. Mengel and E. A. Kirkby, Principles of plant nutrition (2nd ed.), Bern: International Potash Institute, 1982.
- [۴۵] D. L. Sparks, Environmental soil chemistry, ELSEVIER Academic Press, 1995.
- [۴۶] P. B. Barraclough and R. A. Leigh, The growth and nutrition of field crops, Edward Arnold, 1984.

Evaluation of Potassium Release from Selected Soils of Qazvin Province

Zhila Shafiee^۱, Kamran Eftekhari^۲, Ahmad Heidari^۳,
Ali Mohammadi Thorkashvand^۴, Baharak Motammed Vaziri^۵

Abstract

This study emphasizes the importance of comprehending the dynamics of soil potassium and the necessity of customizing potassium management practices to the inherent characteristics of the soil to maximize the effectiveness of potassium fertilizers. To attain the objectives of this research, seven soil pedons were excavated in different soil map units of the study region, according to Geopedology approach. Necessary soil characteristics were measured. Micromorphological analyses were conducted to identify soil minerals in components larger than 2 mm and to determine their relationships. The amount and rate of potassium ion release from the exchange and structural phases were measured in natural soil samples. Based on the laboratory findings, the soils were classified into groups of low, moderately low, moderate, relatively high, and high exchangeable potassium, respectively. The soil thin sections in the high exchangeable potassium content soil group revealed significant amounts of potassium feldspars containing orthoclase along with significant quantities of silt-sized mica minerals. All soil map units had high regression coefficient values, indicating a strong correlation between applied CaCl_2 and released potassium. Map unit 20 had the highest correlation coefficient square value ($R^2=0.9887$). Based on the soil potassium buffering capacity, map unit 23 had the highest average of released potassium at 71.7 mg/kg and the area under the curve at 17208 mg/kg. Map unit 3 had the lowest soil potassium buffering capacity with the lowest average of released potassium (30.05 mg/kg) and the lowest area under the curve (7212 mg/kg).

Keywords: Exchagenable potassium, potassium buffering capacity, potassium release rate, geoform, micromorphology, correlation coefficient.

¹ PhD. Student, Research & Development Branch, Islamic Azad University, Tehran-Iran. Jila.shafiee68@yahoo.com

² Retired Assistant Prof., Soil and Water Research Institute; Agricultural Research, Education and Extension organization (AREEO), Tehran, Iran. Kamran_Eftekhari@hotmail.com

³Professore, Soil Science Department, Faculty of Agriculture Technology and Engineering, Agriculture and Natural Resource Paradis, Tehran University, Tehran, Iran. ahaidari@ut.ac.ir

⁴ Associate Prof., Soil and Water Department, Research & Development Branch, Islamic Azad University, Tehran-Iran. m.torkashvand54@yahoo.com

⁵ Assistant Prof., Watershed Management Department Research & Development Branch, Islamic Azad University, Tehran-Iran. bmvaziri@gmail.com