نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره چهارم، ۱۳۹۵
http://jwsc.gau.ac.ir

شکل‌های مختلف پتاسیم خاک‌های مناطق توتون‌کاری شمال کشور

عبدالغفور قلی‌زاده[۱]، *علیرضا کریمی[۲]، رضا خراسانی[۲] و فرهاد خرمالی[۳]

[۱]دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد، [۲]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد،
[۳]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹٤/۹/٤ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۹

چکیده

سابقه و هدف: پتاسیم یکی از عناصر غذایی ضروری و پر مصرف برای رشد و توسعه گیاه توتون می‌باشد. مقدار پتاسیم در برگ توتون همبستگی بالایی با کیفیت برگ توتون دارد و یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها جهت تعیین کیفیت برگ توتون می‌باشد. پتاسیم در خاک به‌ترتیب کاهش قابلیت استفاده برای گیاه شامل بخش‌های محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی می‌باشد. این پژوهش با هدف بررسی شکل‌های مختلف پتاسیم (محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی) به همراه پتاسیم شبه‌کل (عصاره‌گیری شده با تیزاب سلطانی) در خاک‌های مناطق توتون‌کاری استان‌های گلستان، مازندران و گیلان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: در مناطق توتون‌کاری هر یک از استان‌های گلستان، مازندران و گیلان ۳ خاکرخ حفر شد. تمام خاکرخ‌ها تشریح و بر اساس کلید سیستم جامع طبقه‌بندی خاک طبقه‌بندی شدند. شکل‌های مختلف پتاسیم (محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی) به همراه پتاسیم شبه‌کل اندازه‌گیری شده و ارتباط آن‌ها با یکدیگر و با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: در مناطق توتون‌کاری شمال کشور میانگین مقدار پتاسیم محلول، تبادلی، غیر تبادلی، شبه‌کل، ساختمانی و کل به‌ترتیب از صفر تا ۳۸/۲٤، ۷ تا ۵۱۳، ٤٤ تا ۱۹۳۳، ۷۰ تا ٤۲٦۷، ٤۱۱٤ تا ۱۵٦۰۷ و ٤۱٦٦ تا ۱٦۱۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و میانگین درصد پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی، شبه‌کل و ساختمانی به پتاسیم کل به‌ترتیب از صفر تا ۰/۳۲، ۰/۱۲ تا ٤/٤۱، ۰/۸۳ تا ۱۱/۹٦، ۱/۲۱ تا ۳۳/۷۲ و ۸۵/٦۰ تا ۹۸/۹٦ متغیر می‌باشد. خاک‌های مورد مطالعه در استان گیلان کم‌ترین مقدار تمام شکل‌های پتاسیم را دارند و خاک‌های مورد مطالعه در استان مازندران از نظر شکل‌های محلول، تبادلی، غیرتبادلی و شبه‌کل و خاک‌های مورد مطالعه در استان گلستان از نظر شکل‌های ساختمانی و کل دارای بیش‌ترین مقدار هستند. آزمون همبستگی شکل‌های مختلف پتاسیم با اجزای بافت خاک نشان داد که بین شکل‌های مختلف پتاسیم به‌جز پتاسیم محلول رابطه مثبت معنی‌دار با مقدار رس و سیلت و رابطه منفی با مقدار شن در سطح یک درصد وجود دارد. بالاترین ضریب همبستگی مقدار شن و سیلت با پتاسیم غیرتبادلی و مقدار رس نیز با پتاسیم شبه‌کل می‌باشد. همچنین، نتایج آزمون همبستگی نشان داد که بین تمام شکل‌های مختلف پتاسیم همبستگی مثبت معنی‌دار در سطح یک درصد وجود دارد به‌جز پتاسیم محلول که تنها با پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی به‌ترتیب در

* مسئول مکاتبه: karimi-a@um.ac.ir

سطح یک و پنج درصد همبستگی مثبت معنی‌دار دارد. مقایسه مقدار پتاسیم شبه‌کل با شکل‌های مختلف پتاسیم نیز نشان داد که پتاسیم شبه‌کل بین پتاسیم غیرتبادلی و پتاسیم ساختمانی قرار دارد و از نظر مقدار به پتاسیم غیرتبادلی بسیار نزدیک می‌باشد.

نتیجه‌گیری: مقدار پتاسیم قابل دسترس گیاه (پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی) در مناطق توتون‌کاری استان مازندران بیش‌تر از استان‌های گلستان و گیلان بوده و در نتیجه مدیریت کودی پتاسیم در این مناطق با هم متفاوت خواهد بود. پتاسیم شبه‌کل همبستگی خوبی با شکل‌های دیگر پتاسیم داشت و از آن‌جایی که شامل شکل‌های محلول، تبادلی، غیرتبادلی و بخشی از پتاسیم ساختمانی است، می‌تواند نشان‌دهنده قدرت تامین پتاسیم خاک برای گیاه در طول دوره رشد در نظر گرفته شود که نیاز است با آزمایش‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای مورد بررسی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: شکل‌های پتاسیم، توتون، پتاسیم شبه‌کل، پتاسیم قابل استفاده

مقدمه

پتاسیم به‌عنوان سومین عنصر غذایی اصلی برای رشد گیاه مطرح است و نقش اساسی در فعالیت آنزیم‌ها، سنتز پروتئین‌ها و فتوسنتز ایفا می کند (۷). این عنصر حدود ۲/٦ درصد از پوسته زمین را تشکیل می‌دهد و یکی از عناصر غذایی اصلی برای رشد و توسعه توتون می‌باشد. مقدار پتاسیم در برگ توتون همبستگی خیلی بالایی با کیفیت برگ توتون دارد و یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها جهت تعیین کیفیت برگ توتون می‌باشد (۳۹). غلظت پتاسیم در برگ توتون بین ۲ الی ۸ درصد K_2O (۱/٦٦ الی ٦/٦٤ درصد K) در تغییر می‌باشد که بعضی مواقع تا ۱۰ درصد K_2O (۸/۳ درصد K) نیز می‌رسد. علائم کمبود پتاسیم در کم‌تر از ۳ درصد K_2O در برگ ظاهر می شود و در ۲ درصد علائم شدید می‌شود (۱۹).

نقش پتاسیم در خاک‌ها اعجاب‌انگیز و شگرف می‌باشد و این نقش به طبیعت پویای شکل‌های مختلف پتاسیم تحت شرایط متفاوت خاک بستگی دارد (۲۲). در بیش‌تر خاک‌ها، مقدار کل پتاسیم عموماً زیاد است، اما فقط بخش کوچکی از آن سریعاً در دسترس گیاه قرار می‌گیرد. پتاسیم در خاک به‌ترتیب کاهش قابلیت استفاده برای گیاه شامل بخش‌های محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی می‌باشد (۲٦). عوامل فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و اقلیمی زیادی بر اشکال مختلف پتاسیم و تعادل بین آن‌ها در خاک تأثیر می‌گذارند که عموماً به ترکیب کانی‌شناسی خاک مربوط می‌شود (٦). پتاسیم محلول، پتاسیم موجود در محلول خاک است که با پتاسیم تبادلی در حال تعادل است. مقدار پتاسیم موجود در محلول خاک نسبت به پتاسیم کل خاک بسیار ناچیز و از ۰/۱ تا ۲ درصد متغیر می‌باشد. مقدار پتاسیمی که در محلول خاک وجود دارد، بسته به طبیعت گیاه، ساختار خاک، سطح کودی و میزان رطوبت بین ۱۰ و ٦۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است (۳۲). پتاسیم تبادلی پتاسیمی است که توسط بارهای منفی کلوئیدهای آلی و معدنی نگهداری می‌شود. بخش نسبتاً کوچکی از پتاسیم کل خاک، تبادلی است و در خاک‌ها از کم‌تر از ۱۰۰ تا بیش از ۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم تغییر می‌کند مقدار پتاسیمی که در کمپلکس تبادلی نگهداری می‌شود به نوع و مقدار رس، مواد آلی و pH خاک بستگی دارد (۲۳). شکل‌های تبادلی و محلول بخش کوچکی از پتاسیم کل خاک را تشکیل می‌دهند و بقیه این عنصر به‌صورت غیرقابل تبادل و ساختاری در خاک موجود است. رها شدن پتاسیم از بخش غیرتبادلی بستگی به

توزیع اندازه ذرات خاک، نوع کانی‌های خاک و کاهش پتاسیم در اثر جذب گیاه یا آبشویی و افزایش آن در اثر کوددهی دارد (۳۷).

منشأ اصلی پتاسیم در خاک‌ها، هوادیدگی کانی‌های حاوی پتاسیم می‌باشد. این نوع پتاسیم معمولاً به‌عنوان ذخیره پتاسیم خاک محسوب می‌شود. کانی‌های پتاسیم‌دار خاک به‌طور عمده شامل میکاها و فلدسپارها می‌باشند (۲۵). برای حداکثر رشد گیاه، باید پتاسیم محلول و تبادلی خاک، به‌طور مداوم از طریق آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در اثر هوادیدگی یا افزودن کودهای پتاسیمی جایگزین شود (۸).

فرشادی‌راد و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای با هدف تعیین سهم هر یک از اجزاء خاک در آزادسازی پتاسیم و مدیریت کود در تعدادی از خاک‌های لسی و شبه‌لسی استان گلستان به این نتیجه رسیدند که متوسط مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده از جزء رس همه خاک‌ها بیش‌تر از مقدار آن در خاک و جزء سیلت بود و میزان پتاسیم غیرتبادلی استخراج شده از جزء سیلت، نصف مقدار استخراج شده از جزء رس بوده است (۱۳). لوگاناتان و همکاران (۱۹۹۵) جهت تعیین ظرفیت پتاسیم خاک‌های تشکیل شده از مواد مادری گوناگون در دلتای نیجریه، شکل‌های مختلف پتاسیم خاک را تعیین نمودند و نشان دادند که تفاوت در میزان پتاسیم کل و پتاسیم غیرقابل استفاده بین مواد مادری به نوع کانی‌ها و رده خاک ارتباط دارد. خاک‌های اینسپتی‌سول و انتی‌سول تشکیل شده روی رسوبات دارای کانی‌های میکا و فلدسپار بودند و پتاسیم کل و غیرقابل استفاده بالایی داشتند؛ ولی، خاک‌های اولتی‌سول روی رسوبات دارای کانی‌های به‌شدت هوادیده تشکیل شده بودند و دارای پتاسیم کل و غیرقابل استفاده کمی بودند (۲٤).

برای آگاهی از وضعیت پتاسیم در خاک از عصاره‌گیرهای گوناگونی استفاده می‌شود. به‌صورت معمول، شکل‌های محلول، تبادلی و غیرتبادلی، به‌ترتیب توسط آب مقطر، استات آمونیوم مولار و اسید نیتریک جوشان اندازه‌گیری می‌شوند. تیزاب سلطانی به‌عنوان یک عصاره‌گیر عمومی برای اندازه‌گیری عناصر سنگین و تهیه اطلس‌های ژئوشیمیایی به‌صورت گسترده استفاده می شود (۲۷، ۳۰، ۳۳). آندرسیت رانگل و همکاران (۲۰۱۰)، از عصاره‌گیر تیزاب سلطانی برای تعیین وضعیت پتاسیم در خاک‌های مرتعی معتدل شمالی اسکاتلند استفاده کردند. آن‌ها نشان دادند که پتاسیم شبه‌کل (عصاره‌گیری شده با تیزاب سلطانی)، همبستگی قابل‌قبولی با پتاسیم موجود در فیلوسیلیکات‌ها به‌جز کانی‌های موسکویت و فلدسپات دارد (٤). حاتمی و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی تأثیر اندازه ذرات و نوع عصاره‌گیر بر شکل‌های مختلف پتاسیم برخی کانی‌های میکایی و فلدسپات پتاسیم نشان دادند که عصاره‌گیر تیزاب سلطانی مقدار زیادی از پتاسیم موجود در کانی‌های سه جایی را آزاد می‌کند (۸۱ گرم بر کیلوگرم) ولی قادر نیست پتاسیم چندانی از کانی‌های موسکویت و فلدسپات خارج کند (حدود ٤ گرم بر کیلوگرم). همچنین، آن‌ها نشان دادند که اندازه ذرات کانی‌ها اثر بسیار مهمی بر آزادسازی شکل‌های مختلف پتاسیم از کانی‌های میکایی و فلدسپات‌ها دارد به‌طوری‌که ذرات ریز پتاسیم بیش‌تری را آزاد می‌نمایند (۱۵).

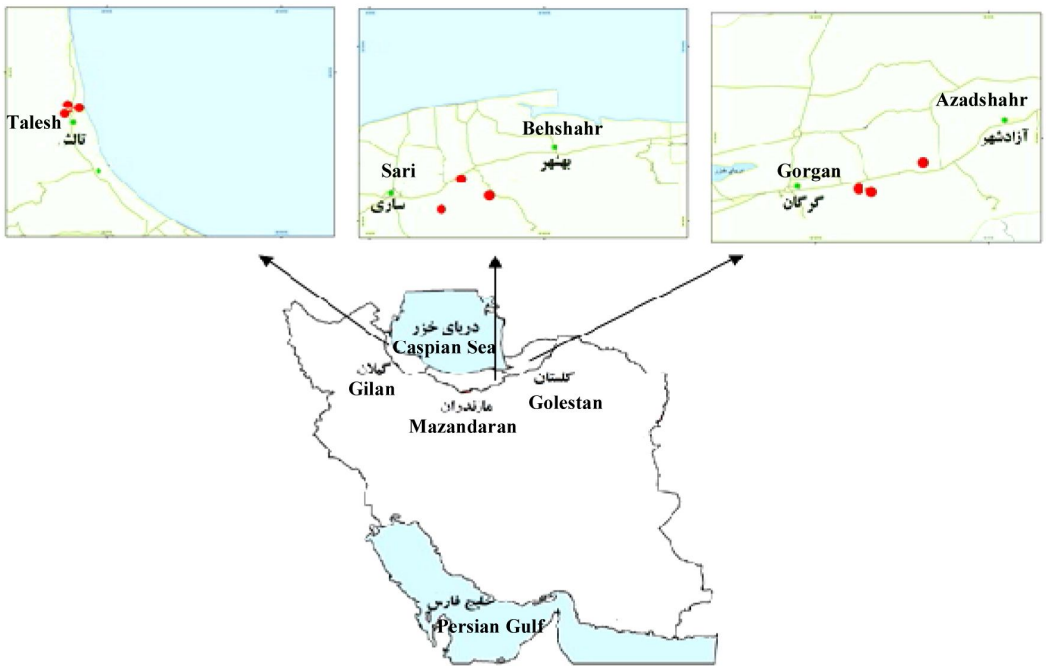
تاکنون پژوهش جامعی درباره شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های مناطق توتون‌کاری شمال ایران انجام نشده است. از سوی دیگر، آندرسیت رانگل و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که پتاسیم قابل عصاره‌گیری با تیزاب سلطانی که تحت‌تأثیر مقدار و نوع کانی‌های پتاسیم‌دار خاک است می‌تواند نشان‌دهنده ذخایر قابل‌دسترس پتاسیم خاک باشد (۲)؛ بنابراین این پژوهش با هدف بررسی وضعیت شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های مناطق توتون‌کاری شمال ایران،

تعیین میزان پتاسیم شبه‌کل خاک با استفاده از روش عصاره‌گیری با تیزاب سلطانی و بررسی ارتباط آن با شکل‌های مختلف پتاسیم انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: حدود ۷۰ درصد سطح زیر کشت توتون در سه استان شمالی کشور، یعنی گلستان، مازندران و گیلان واقع شده است. مساحت کشت توتون تیپ غربی در سه استان شمالی گلستان، مازندران و گیلان به‌ترتیب ۲۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۱٤۰۰ هکتار می‌باشد (۲۰). میانگین بارندگی و دمای سالانه در مناطق توتون‌کاری استان گلستان به‌ترتیب ۷۰۷/۵ میلی‌متر و ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد، استان مازندران ٦۵۱/۱ میلی‌متر و ۱۷/٦ درجه سانتی‌گراد و استان گیلان ۱۰٤۷/٤ میلی‌متر و ۱٦/۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. رژیم رطوبتی خاک‌های استان گلستان و مازندران زریک و استان گیلان یودیک می‌باشد و از نظر رژیم حرارتی بین استان‌ها اختلافی وجود ندارد و هر سه استان دارای رژیم حرارتی ترمیک می‌باشند. میانگین دمای تابستان و زمستان به‌ترتیب در استان گلستان ۲۷/٤۲ و ۸/۵۳ درجه سانتی‌گراد، استان مازندران ۲۷ و ۹/۳۲ درجه سانتی‌گراد و در استان گیلان ۲٦/۱۷ و ۷/۷۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

منطقه توتون‌کاری استان گلستان در شهرستان‌های گرگان و علی‌آباد، استان مازندران در شهرستان‌های ساری و نکا و استان گیلان در شهرستان‌های تالش و آستارا می‌باشد. در هر استان ۳ خاکرخ در مناطق توتون‌کاری مطالعه شد. محل حفر خاکرخ‌ها به‌نحوی انتخاب شدند که در مناطق توتون‌کاری پراکنده باشند و تغییرات خاک‌ها را شامل شوند.



شکل ۱- موقعیت خاکرخ‌ها در منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. Location of soil profiles in the study area.

مواد مادری خاک‌های مورد مطالعه در استان گلستان در خاکرخ شماره‌های یک و دو به‌طور عمده شامل رسوبات لسی در دشت دامنه‌ای و خاکرخ شماره سه از رسوبات کفه رسی (به‌طور عمده رسی، سیلت و ماسه) (٤٠)، در استان مازندران خاکرخ شماره چهار از رسوبات آبرفتی همراه با شن و ماسه درشت و برخی مواد ریز دانه، خاکرخ شماره پنج از رسوبات ماسه‌ای، مارن و ماسه سنگ و خاکرخ شماره شش از ماسه سنگ‌های آهکی، سنگ رس و کمی کنگلومرا (٢١) و در استان گیلان، خاکرخ شماره‌های هفت و هشت بیش‌تر از پادگانه‌های آبرفتی و مخروطه‌افکنه‌ها و خاکرخ شماره نه بیش‌تر از گدازه‌های برشی و توف آندزیتی می‌باشد (٥).

خاکرخ‌های مورد مطالعه (شکل ١) در دشت‌های دامنه‌ای قرار داشتند و ارتفاع آن‌ها از سطح دریا از ٩ متر از سطح دریا در خاکرخ شماره ٧ در استان گیلان تا ١٨٧ متر از سطح دریا در خاکرخ شماره ٢ در استان گلستان متغیر بود. خاکرخ‌ها بر اساس سامانه رده‌بندی خاک (٣٦) تشریح و طبقه‌بندی شدند.

نمونه خاک و آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی: در مجموع تعداد ٥٤ نمونه خاک تهیه شد. همه نمونه‌ها به‌منظور انجام آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی هوا خشک گردید و پس از کوبیده شدن از الک ٢ میلی‌متری عبور داده شدند. جهت توزیع اندازه ذرات کوچک‌تر از ٢ میلی‌متر از روش هیدرومتری (٩)، کربن آلی خاک از روش اکسایش تر (٣٨)، کربنات کلسیم معادل (CCE)، اسیدیته خاک و هدایت الکتریکی از روش پیج و همکاران (١٩٨٢) استفاده شد (٢٨). اندازه‌گیری ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) با استفاده از استات آمونیوم یک مولار در pH =٨/٢ از روش چاپمن (١٩٦٥) استفاده گردید (١٠).

اندازه‌گیری شکل‌های مختلف پتاسیم: پتاسیم محلول خاک در عصاره اشباع، پتاسیم تبادلی به روش عصاره‌گیری با استات آمونیم نرمال در pH=٧، پتاسیم غیرتبادلی به روش عصاره‌گیری با اسید نیتریک مولار جوشان و پتاسیم کل نیز به‌وسیله هضم نمونه در مخلوطی از اسیدهای هیپوکلریک، نیتریک و فلوریدریک تعیین شد (٢٣، ١٦). همچنین، پتاسیم شبه‌کل به روش عصاره‌گیری با استفاده از نسبت ٣:١ اسیدکلریدریک به اسید نیتریک غلیظ انجام شد (٣٥). مقدار پتاسیم در عصاره‌های به‌دست آمده، با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر مدل EEL اندازه‌گیری شد. پتاسیم تبادلی از تفاضل پتاسیم محلول و پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیم، پتاسیم غیرتبادلی از تفاضل پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیم و پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک، پتاسیم ساختمانی از تفاضل پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک و پتاسیم قابل استخراج با اسید هیدروفلوئوریک به‌دست آمدند.

نتایج و بحث

خصوصیات پایه: میانگین و دامنه تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاکرخ‌های مناطق توتون‌کاری شمال ایران در جدول ١ نشان داده شده است. pH خاک‌های مورد مطالعه دارای دامنه تغییرات زیادی می‌باشند به‌طوری‌که کمینه pH خاک برابر ٥/٢٧ و بیشینه آن ٧/٥١ می‌باشد. دامنه تغییرات pH خاک در خاک‌های استان مازندران به‌دلیل تنوع زیاد مواد مادری نسبت به دو استان

دیگر بیش‌تر می‌باشد. میانگین pH خاک‌های استان گلستان بیش‌تر از ۷ و استان مازندران و گیلان کم‌تر از ۷ می‌باشد. میزان هدایت الکتریکی خاک‌ها کم‌تر از یک دسی‌زیمنس بر متر است و بین خاک‌ها اختلاف زیادی وجود ندارد ولی یک روند نزولی از استان گلستان به مازندران و گیلان مشاهده می‌شود که عامل آن افزایش بارندگی است. همین روند در مورد کربن آلی خاک مشاهده می‌شود و کربن آلی خاک در خاک‌های استان گیلان بیش‌تر از مازندران است و کم‌ترین مقدار کربن آلی مربوط به استان گلستان می‌باشد. دامنه تغییرات کربن آلی در خاک‌های مورد مطالعه از صفر تا ۲/٦٥ درصد می‌باشد. دامنه تغییرات درصد شن خاک‌ها از ۷ تا ۹۷، سیلت بین صفر تا ٦۰ و رس بین ۳ تا ۵۱ درصد می‌باشد. خاک‌های گیلان دارای میانگین شن بیش‌تر و مازندران دارای رس و سیلت زیادتری می‌باشند. دامنه تغییرات درصد اندازه ذرات در خاک‌های استان مازندران کم‌تر از دو استان دیگر می‌باشد و از نظر بافت خاک پایداری بیش‌تری دارد که عامل آن عدم وجود لایه‌های شنی در خاکرخ می‌باشد در حالی‌که در خاکرخ شماره سه در استان گلستان و خاکرخ‌های شماره هشت و نه در استان گیلان دارای لایه‌های شنی در عمق‌های پایین بودند. دامنه تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی خاک از ۸/۸٤ تا ۵۳/۰۵ سانتی‌مول بار در کیلوگرم خاک می باشد که می‌توان به درصد کربن آلی خاک و رس نسبت داد زیرا که تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی مشابه درصد کربن آلی می‌باشد. به این صورت که ظرفیت تبادل کاتیونی از گلستان به مازندران و گیلان روند صعودی دارد. دامنه تغییرات کربنات کلسیم معادل خاک از صفر تا ٤۰/۲۵ درصد و مجموع کلسیم و منیزیم خاک از ۹/۲ تا ٤٤/۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد تغییرات کربنات‌کلسیم معادل و مجموع کلسیم و منیزیم عکس تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی و درصد کربن آلی خاک بوده و از گلستان به مازندران و گیلان به‌صورت کاهشی می‌باشد که عامل آن نیز می‌تواند بیش‌تر بودن میزان بارندگی در استان گیلان باشد. دامنه تغییرات درصد اشباع در خاک‌های مورد مطالعه از ۲٦/۰۷ تا ٦۵/٦۵ درصد می‌باشد. بیش‌ترین میانگین آن در خاک‌های استان مازندران و کم‌ترین آن در خاک‌های استان گلستان می‌باشد. خاک‌های استان گیلان دارای میانگین درصد شن و ماده آلی بیش‌تری در مقایسه با خاک‌های استان گلستان است ولی دارای میانگین درصد رطوبت اشباع بیش‌تری در مقایسه با خاک‌های استان گلستان می‌باشد که این نتایج نشان می‌دهد درصد رطوبت اشباع در این خاک‌ها بیش‌تر تحت‌تأثیر درصد ماده آلی قرار دارد.

جدول ۱- برخی از خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی خاکرخ‌ها.

Table 1. Some morphological, physical and chemical properties of studied soil profiles.

استان Province	افق Horizon	عمق Depth (cm)	شن Sand (%)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	pH	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC ($cmol_+/kg$)	کربن‌آلی OC (%)	کربنات کلسیم معادل $CaCO_3$ (%)	کلسیم و منیزیم Ca+Mg (meq/l)	درصد رطوبت اشباع خاک SP
خاکرخ ۱ (Profile 1) 54° 37′ 21.3″ N, 36° 51′ 12.2″ E (Calcic Haploxeralfs)												
گلستان Golestan	Ap1	0-18	19	33	48	7.42	0.65	29.22	1.37	0.75	19.2	50.48
	Ap2	18-32	19	33	48	7.46	0.65	27.30	1.56	2.25	20	51.32
	Btk1	32-47	9	41	50	7.3	0.78	31.52	0.88	1.00	24.4	51.77
	Btk2	47-72	19	41	40	7.31	0.54	23.45	0.53	14.75	43.2	46.02
	Bk1	72-84	23	35	42	7.44	0.5	22.68	0.20	20.00	32.4	43.64
	Bk2	84-126	23	33	44	7.41	0.53	19.22	0.37	26.75	32.4	43.61
	BCk	>126	21	27	52	7.34	0.59	18.45	0.00	27.50	30.8	41.24
خاکرخ ۲ (Profile 2) 54° 39′ 0.7″ N, 36° 50′ 58.5″ E (Typic Haploxeralfs)												
	Ap	0-30	13	37	50	7.04	0.6	31.14	1.52	0.25	17.2	49.24
	Bt1	30-56	13	51	36	6.86	0.74	25.37	1.33	0.00	19.6	48.20
	Bt2	56-76	19	47	34	7.01	0.54	24.22	0.64	0.00	12	46.19
	Bt3	76-99	17	41	42	6.95	0.47	21.91	0.59	4.75	15.2	42.64
	Bt4	99-105	17	37	46	6.98	0.47	19.99	0.43	0.00	26	41.42
	C	105-126	39	41	20	6.92	0.6	15.38	0.29	0.00	16.4	32.36
	Ck	>126	37	31	32	7.47	0.64	17.68	0.49	6.75	29.6	41.20
خاکرخ ۳ (Profile 3) 54° 48′ 54.6″ N, 36° 55′ 43.8″ E(Calcic Haploxeralfs)												
	Ap	0-25	19	29	52	7.32	0.85	21.14	1.27	23.00	30.4	45.15
	Bw	25-47	17	33	50	7.42	0.65	21.91	1.01	23.75	31.2	42.11
	Bt	47-76	19	37	44	7.4	0.64	20.38	0.68	24.25	29.6	40.92
	Bk	76-118	33	27	40	7.51	0.59	19.22	0.78	27.50	29.6	42.74
	BCk	>118	59	17	24	7.44	0.7	8.84	0.49	40.25	26.4	26.33
	Minimum کمینه		9	17	20	6.86	0.47	8.84	0.00	0.00	12	26.33
	Maximum بیشینه		59	51	52	7.51	0.85	31.52	1.56	40.25	43.2	51.77
	Average میانگین		22.9	35.3	41.8	7.26	0.62	22.05	0.76	12.87	25.6	43.50

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

استان Province	افق Horizon	عمق Depth (cm)	شن Sand (%)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	pH	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (cmol+/kg)	کربن‌آلی OC (%)	کربنات کلسیم معادل $CaCO_3$ (%)	کلسیم و منیزیم Ca+Mg (meq/l)	درصد رطوبت اشباع خاک SP
خاکرخ ٤ (Profile 4) 53° 15′ 16.1″ N, 36° 37′ 32″ E (Calcic Haploxeralfs)												
مازندران Mazandaran	Ap	0-19	19	29	52	7.04	0.69	29.99	1.66	1.00	16	49.08
	Bt1	19-42	17	41	42	7.08	0.58	30.76	0.90	1.25	11.6	55.36
	Bt2	42-63	15	41	44	7.1	0.74	29.60	0.49	1.75	19.2	56.82
	Btk	63-91	33	33	34	6.99	0.58	17.68	0.33	32.75	32	47.41
	BCk	91-113	25	29	46	7.34	0.58	19.61	0.21	29.50	35.2	45.88
	Ck	>113	27	31	42	7.24	0.59	28.45	0.25	28.50	30.4	45.89
خاکرخ ٥ (Profile 5) 53° 12′ 8.2″ N, 36° 32′ 11.1″ E (Typic Fragixeralfs)												
	Ap	0-15	9	39	52	5.63	0.64	32.68	1.50	0.00	11.6	55.20
	Bx	15-48	9	37	54	5.37	0.49	30.76	1.07	0.00	9.2	51.81
	Bt1	48-73	7	33	60	5.27	0.45	28.45	1.25	0.25	11.6	53.48
	Bt2	73-105	9	41	50	5.75	0.59	33.45	0.41	0.00	9.6	53.42
	Bt3	105-	13	43	44	5.47	0.67	33.06	0.37	0.00	13.2	53.96
خاکرخ ٦ (Profile 6) 53° 21′ 8.4″ N, 36° 34′ 43.1″ E (Calcic Haploxeralfs)												
	Ap	0-16	11	41	48	6.99	0.65	35.37	1.40	15.25	17.71	62.97
	Btg1	16-37	9	49	42	7.38	0.54	31.91	1.17	16.00	32.8	65.65
	Btg2	37-69	15	47	38	7.47	0.58	30.37	0.62	14.25	32	63.27
	Bt1	69-107	9	47	44	7.34	0.62	30.76	0.59	7.75	44.8	63.27
	Bt2	107-	13	45	42	7.21	0.48	33.06	0.39	2.50	13.6	60.25
	C	>140	13	47	40	7.27	0.56	34.22	0.33	1.75	18.8	64.05
Minimum کمینه			7	29	38	5.27	0.48	17.68	0.21	0	9.2	45.88
Maximum بیشینه			33	49	60	7.47	0.74	35.37	1.66	32.75	44.8	65.65
Average میانگین			14.9	39.6	45.5	6.70	0.59	30.01	0.76	8.97	21.14	55.75

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

استان Province	افق Horizon	عمق Depth (cm)	شن Sand (%)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	pH	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC ($cmol_+/kg$)	کربن‌آلی OC (%)	کربنات کلسیم معادل $CaCO_3$ (%)	کلسیم و منیزیم Ca+Mg (meq/l)	درصد رطوبت اشباع خاک SP
خاکرخ ۷ (Profile 7) 48° 54′ 59.6″ N, 37° 53′ 28.7″ E (Calcic Haploxeralfs)												
گیلان Gilan	Ap	0-18	39	17	44	6.26	0.45	51.51	2.65	2.75	18.8	57.65
	Bw1	18-32	23	19	58	6.34	0.43	52.28	1.35	3.50	24.8	53.58
	Bw2	32-52	53	17	30	6.32	0.37	32.29	1.19	3.50	18.8	47.56
	Bw3	52-87	73	7	20	6.25	0.4	39.98	0.47	4.25	17.6	35.99
	Bt1	87-125	63	17	20	6.67	0.59	53.05	0.33	3.75	18.8	43.57
	Bt2	>125	67	21	12	6.74	0.42	49.98	0.37	7.50	18.8	44.35
خاکرخ ۸ (Profile 8) 48° 53′ 59.9″ N, 37° 54′ 4.6″ E (Typic Hapludalfs)												
	Ap	0-26	59	17	24	6.88	0.53	49.21	1.99	2.00	16.8	52.01
	Bw1	26-52	59	19	22	6.4	0.43	49.21	0.74	1.25	21.2	51.89
	Bw2	52-68	67	19	14	6.36	0.35	12.30	0.20	2.25	16	28.15
	Bt1	68-81	59	21	20	6.28	0.38	43.83	0.62	1.25	16	41.73
	Bt2	81-107	35	25	40	6.27	0.41	48.44	0.80	2.75	24	55.21
	Bt3	107-145	43	23	34	6.21	0.39	51.51	0.57	0.50	21.6	48.74
خاکرخ ۹ (Profile 9) 48° 53′ 44.6″ N, 37° 53′ 25″ E (Typic Hapludalf)												
	Ap	0-20	45	25	30	6.6	0.54	46.90	1.54	0.50	18	45.80
	Bw	20-36	49	21	30	6.54	0.45	46.13	1.35	0.00	20.4	48.90
	Bt1	36-57	41	31	28	6.58	0.37	47.67	1.03	2.50	18.4	54.47
	Bt2	57-70	43	29	28	6.47	0.42	46.13	1.13	2.50	18	47.03
	C1	70-98	97	3	0	6.98	0.45	11.15	0.16	3.25	13.6	26.07
	C2	98-140	97	3	0	7.16	0.36	22.30	0.27	0.00	13.6	28.14
	Minimum کمینه		23	3	0	6.21	0.35	11.15	0.16	0	13.6	26.07
	Maximum بیشینه		97	31	58	7.16	0.59	53.05	2.65	7.50	24.8	57.65
	Average میانگین		56.2	16.8	25.2	6.52	0.43	41.88	0.93	2.44	18.62	45.05

میزان شکل‌های مختلف پتاسیم: بررسی میزان شکل‌های مختلف پتاسیم در خاکرخ‌ها نشان می‌دهد (جدول ۲) که دامنه تغییرات و میانگین مقدار پتاسیم محلول از صفر تا ۳۸/۲٤ و ٤/٤٥، پتاسیم تبادلی از ۷ تا ۵۱۳ و ۱۷٤/۸٦، پتاسیم غیرتبادلی از ٤٤ تا ۱۹۳۳ و ۷۰۱/۷٦، پتاسیم شبه‌کل از ۷۰ تا ٤۲٦۷ و ۱۹۵٤/۹، پتاسیم ساختمانی از ٤۱۱٤ تا ۱۵٦۰۷ و ۱۰۱۹۳/۷ و پتاسیم کل از ٤۱٦٦ تا ۱٦۱۵۷ و ۱۱۰۷٤/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. در بررسی فرشادی‌راد و همکاران (۱۳۹۰) مقادیر پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی و کل در تعدادی از خاک‌های لسی و شبه‌لسی استان گلستان به‌ترتیب از ۱۵ تا ۳۲، ۱۰۳ تا ٤۷٦، ٦۳۲ تا ۱۲۰۰ و ۱۲۰۰۰ تا ۱۷۸۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک متغیر بوده است (۱۳) دلیل اختلاف در حد پایین دامنه تغییرات به نوع مطالعه مربوط می‌باشد زیرا در این مطالعه فقط عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری مورد مطالعه قرار گرفته است این در حالی است که حد بالای دامنه تغییرات اختلاف کمی دارند. دردی‌پور و همکاران (۱۳۹۰) هم در بررسی قابلیت استفاده و فرم‌های مختلف پتاسیم خاک در منطقه گرگان نشان دادند که مقدار پتاسیم محلول در خاک‌های مورد مطالعه از ۱۱/۸ تا ٤۰/۳، پتاسیم تبادلی از ۵۳/۰ تا ۲۱۹/۵، پتاسیم غیرتبادلی از ٦۹۵/٤ تا ۱۳۱٦/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و پتاسیم کل از ۱/۹ تا ۲/۳ درصد متغیر بود (۱۲). حسینی‌فرد و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی شکل‌های مختلف پتاسیم در منطقه رفسنجان نشان دادند که میانگین تغییرات پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی به‌ترتیب از ۰/۰۵ تا ۲/۷، ٥٤ تا ٤۷۳، ۱۸۸ تا ۱۷۰۱ و ۹۱۸۲ تا ۱۵۲۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بودند (۱۷) بیش‌ترین اختلاف مشاهده شده در شکل پتاسیم محلول می‌باشد دلیل آن نیز احتمالاً به‌میزان بالای کودهای پتاسیمی مصرف شده در مناطق توتون‌کاری مربوط باشد و همچنین به‌میزان رطوبت بالای خاک منطقه توتون‌کاری نیز می‌تواند ارتباط داشته باشد زیرا طبق تعریف، مقدار پتاسیم محلول به طبیعت گیاه، ساختار خاک، سطح کودی و میزان رطوبت خاک بستگی دارد (۳۲). در مطالعه آندرسیت رانگل و همکاران (۲۰۱۰) در کشور اسکاتلند میانگین پتاسیم شبه‌کل بین ۵۰۰ و ۹۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود (٤). در مقایسه سه روش، جهت برآورد پتاسیم ۱۰ نمونه از خاک‌های با مواد مادری مختلف نشان داده شد که پتاسیم شبه‌کل، ۳۱۸۰/۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد که این مقدار برای عصاره‌گیرهای HNO_3-$HCLO_4$-HF و $HCLO_4$-HNO_3 به‌ترتیب برابر ٤۸۰۹/۹ و ۱۲۰٦/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود این مطالعه در کشور گینه‌نو بر روی خاکی با pH کم‌تر از ٦، کربن آلی بین ۳ الی ۱۵ درصد و ظرفیت تبادل کاتیونی بین ۲ الی ۱۲ میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم خاک و پتاسیم قابل دسترس بین ٦ تا ۳۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم انجام گرفت در مجموع خاک‌های مورد مطالعه در سه رده اولتی‌سول، آلفی‌سول و اینسپتی‌سول طبقه‌بندی شدند (۲۹).

جدول ۲- مقدار و درصد شکل‌های مختلف پتاسیم خاکرخ‌ها.

Table 2 - The amount and percentage of potassium forms in the studied soil profiles.

Province	Number	Horizon	Potassium forms (mg kg^{-1})						Potassium forms (% totalK)					
			Kso	Kexch	Knexch	Kmin	Ktotal	شبه کل Kaqua	Kso	Kexch	Knexch	Kmin	شبه کل Kaqua
گلستان Golestan	1	Ap1	15.53	406	1686	12960	15067	2706	0.10	2.69	11.19	86.01	17.96
		Ap2	12.99	381	1933	13830	16157	4267	0.08	2.36	11.96	85.60	26.41
		Btk1	7.46	299	1421	13611	15339	3776	0.05	1.95	9.26	88.74	24.62
		Btk2	4.12	161	844	11605	12614	2632	0.03	1.28	6.69	92.00	20.86
		Bk1	1.53	125	443	13679	14249	1324	0.01	0.88	3.11	96.00	9.29
		Bk2	2.72	91	396	13486	13977	1651	0.02	0.65	2.83	96.49	11.81
		BCk	0.00	83	267	14444	14794	1324	0.00	0.56	1.81	97.63	8.95
	2	Ap	11.12	307	1131	10893	12341	3504	0.09	2.48	9.16	88.26	28.39
		Bt1	3.00	249	1096	13173	14522	3940	0.02	1.72	7.55	90.71	27.13
		Bt2	2.88	102	1204	11850	13159	2741	0.02	0.78	9.15	90.05	20.83
		Bt3	1.49	76	792	11744	12614	2305	0.01	0.61	6.28	93.11	18.27
		Bt4	0.00	72	598	12762	13432	2523	0.00	0.54	4.45	95.01	18.78
		C	0.00	62	489	15607	16157	2032	0.00	0.38	3.02	96.59	12.58
		Ck	0.00	56	734	14822	15612	1978	0.00	0.36	4.70	94.94	12.67
	3	Ap	4.04	216	610	7696	8526	1869	0.05	2.53	7.16	90.27	21.92
		Bw	2.62	141	766	7344	8254	1978	0.03	1.70	9.28	88.98	23.96
		Bt	3.66	140	806	8939	9889	1978	0.04	1.41	8.15	90.40	20.00
		Bk	2.66	130	617	5324	6073	1542	0.04	2.14	10.17	87.65	25.38
		BCk	4.51	84	222	8488	8799	1269	0.05	0.96	2.52	96.47	14.42
Minimum		کمینه	0.00	56	222	5324	6073	1269	0.00	0.36	1.81	85.60	8.95
Maximum		بیشینه	15.53	406	1933	15607	16157	4267	0.10	2.69	11.96	97.63	28.39
Average		میانگین	4.23	167	845	11698	12714	2386	0.03	1.37	6.76	91.84	19.17

ادامه جدول ۲-

Continue Table 2 .

Province	Number	Horizon	Potassium forms (mg kg^{-1})						Potassium forms (% total K)					
			Kso	Kexch	Knexch	Kmin	Ktotal	شبه کل Kaqua	Kso	Kexch	Knexch	Kmin	شبه کل Kaqua
مازندران Mazandaran	4	Ap	9.74	172	1566	13046	14794	3504	0.07	1.16	10.59	88.19	23.68
		Bt1	1.94	332	1214	12701	14249	3558	0.01	2.33	8.52	89.13	24.97
		Bt2	1.99	430	1156	11843	13432	3722	0.01	3.20	8.61	88.18	27.71
		Btk	0.00	94	536	9531	10161	2359	0.00	0.93	5.27	93.80	23.22
		BCk	1.61	98	770	8747	9616	2087	0.02	1.02	8.01	90.96	21.70
		Ck	0.00	100	610	8634	9344	2141	0.00	1.07	6.53	92.40	22.92
	5	Ap	7.95	304	1256	10773	12341	1869	0.06	2.47	10.18	87.29	15.14
		Btd	7.46	147	1254	10388	11796	1378	0.06	1.24	10.63	88.06	11.68
		Bt1	3.33	156	1249	11205	12614	2305	0.03	1.24	9.90	88.83	18.27
		Bt2	0.42	121	868	11625	12614	2523	0.00	0.96	6.88	92.16	20.00
		Bt3	0.00	116	973	10162	11251	2904	0.00	1.03	8.65	90.32	25.81
	6	Ap	38.24	514	916	10328	11796	3395	0.32	4.36	7.77	87.55	28.78
		Btg1	11.25	306	931	9730	10979	2250	0.10	2.79	8.48	88.63	20.50
		Btg2	0.49	208	880	11525	12614	1106	0.00	1.65	6.98	91.37	8.77
		Bt1	0.49	230	978	12768	13977	3068	0.00	1.65	7.00	91.35	21.95
		Bt2	0.00	230	1038	10255	11524	3885	0.00	2.00	9.01	88.99	33.72
		C	0.00	236	1213	12528	13977	4267	0.00	1.69	8.68	89.64	30.53
Minimum	کمینه		0.00	94	536	8634	9344	1106	0.00	0.93	5.27	87.29	8.77
Maximum	بیشینه		38.24	514	1566	13046	14794	4267	0.32	4.36	10.63	93.80	33.72
Average	میانگین		5.00	223	1024	10929	12181	2725	0.04	1.81	8.33	89.81	22.31

ادامه جدول ۲-

Continue Table 2 .

Province	Number	Horizon	Potassium forms (mg kg^{-1})						Potassium forms (% total K)					
			Kso	Kexch	Knexch	Kmin	Ktotal	شبه کل Kaqua	Kso	Kexch	Knexch	Kmin	شبه کل Kaqua
گیلان Gilan	7	Ap	14.59	319	536	9564	10434	1269	0.14	3.06	5.13	91.67	12.16
		Bw1	1.88	76	233	9305	9616	234	0.02	0.79	2.42	96.77	2.43
		Bw2	0.00	67	184	9365	9616	779	0.00	0.70	1.91	97.39	8.10
		Bw3	0.00	18	73	8707	8799	888	0.00	0.20	0.83	98.96	10.09
		Bt1	0.00	34	117	8920	9071	615	0.00	0.38	1.29	98.33	6.78
		Bt2	0.00	29	102	8940	9071	724	0.00	0.32	1.13	98.55	7.98
	8	Ap	13.16	294	603	8707	9616	1324	0.14	3.05	6.27	90.54	13.77
		Bw1	1.82	212	356	8501	9071	561	0.02	2.34	3.93	93.71	6.18
		Bw2	1.75	180	169	6813	7163	506	0.02	2.51	2.36	95.11	7.07
		Bt1	3.74	259	287	9611	10161	1705	0.04	2.55	2.83	94.58	16.78
		Bt2	7.95	359	343	8361	9071	1487	0.09	3.96	3.78	92.17	16.39
		Bt3	8.35	364	418	7464	8254	1760	0.10	4.41	5.06	90.43	21.32
	9	Ap	5.35	154	311	7238	7709	397	0.07	2.00	4.03	93.90	5.15
		Bw	11.04	40	260	7670	7981	343	0.14	0.50	3.26	96.11	4.29
		Bt1	3.38	25	182	6408	6618	452	0.05	0.38	2.75	96.81	6.82
		Bt2	1.65	22	148	6992	7163	670	0.02	0.30	2.06	97.61	9.35
		C1	0.00	7	44	4114	4166	125	0.00	0.17	1.06	98.77	2.99
		C2	0.22	7	64	5730	5801	70	0.00	0.12	1.11	98.77	1.21
Minimum	کمینه		0.00	7	44	4114	4166	70	0.00	0.12	0.83	90.43	1.21
Maximum	بیشینه		14.59	364	603	9611	10434	1760	0.14	4.41	6.27	98.96	21.32
Average	میانگین		4.16	137	246	7912	8299	773	0.05	1.54	2.84	95.57	8.83

ترتیب شکل‌های مختلف پتاسیم از نظر مقدار و درصد، در تمام خاکرخ‌های مورد مطالعه مشابه و به‌صورت ساختمانی> شبه‌کل > غیرتبادلی> تبادلی> محلول می‌باشد. جایگاه پتاسیم شبه‌کل بین پتاسیم غیرتبادلی و پتاسیم ساختمانی می‌باشد که این نشان می‌دهد که این روش توانایی زیادی در استخراج پتاسیم نسبت به پتاسیم استخراجی با اسید نیتریک (غیرقابل تبادل) دارد که این موضوع در مطالعات آندرسیت رانگل و همکاران (۲۰۱۰) و حاتمی و همکاران (۱۳۹۲) نیز نشان داده شده است (٤، ۱۵). به‌عبارت دیگر، تیزاب سلطانی قاره به عصاره‌گیری شکل‌های محلول، تبادلی، غیرتبادلی و بخشی از پتاسیم ساختمانی است. هضم نمونه اغلب یک مرحله ضروری قبل از تعیین غلظت عناصر غذایی به‌خصوص پتاسیم در خاک‌ها می‌باشد روش هضم با تیزاب سلطانی (نسبت ۳ به ۱ از HCl به HNO_3) که بیش‌تر به‌عنوان یک روش دقیق برای تعیین مقدار شبه‌کل عناصر سنگین در خاک‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفت، جهت تخمین حداکثر قابلیت استفاده عناصر غذایی برای گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد و مقدار عنصر باقی‌مانده در خاک که توسط روش تیزاب سلطانی آزاد نمی‌شود اغلب با کانی‌های سیلیکاته پیوند داشته و از نظر قابلیت استفاده برای گیاه اهمیتی ندارد. در مطالعات حاصلخیزی خاک پتاسیم کل همان پتاسیمی است که از طریق عصاره‌گیر تیزاب سلطانی حاصل می‌شود (۱۱).

همچنین بررسی میزان شکل‌های مختلف پتاسیم در خاکرخ‌ها نشان می‌دهد که میزان پتاسیم ساختمانی و کل در خاک‌های مورد مطالعه در استان گلستان و میزان پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی و شبه‌کل در خاک‌های مورد مطالعه استان مازندران دارای بیش‌ترین مقدار بودند و خاک‌های مورد مطالعه در استان گیلان نیز از نظر تمام شکل‌های مختلف پتاسیم دارای کم‌ترین مقدار بودند. پایین بودن شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های گیلان را می‌توان به پایین بودن درصد رس و سیلت نسبت به شن ارتباط داد (جدول ۱). که دلیل آن را می‌توان به سطح ویژه بالاتر رس نسبت داد رس‌ها به‌دلیل داشتن بار منفی قادر به جذب کاتیون‌های بیش‌تری در سطح خود می‌باشند (۲۳). حسین‌پور و همکاران (۱۳۷۹) بیش‌ترین میزان پتاسیم غیرتبادلی را در خاک‌هایی گزارش کردند که دارای بیش‌ترین درصد رس و اسمکتیت زیاد بودند (۱۸).

گزارش‌های ارائه شده از اداره کل امور تحقیقات شرکت دخانیات ایران نشان می‌دهد که توتون‌های استان گلستان دارای کیفیت پایینی از نظر سوزش نسبت به توتون‌های استان‌های مازندران و گیلان می‌باشد و با توجه به این‌که پتاسیم یک عنصر کیفی مثبت و کلر یک عنصر کیفی منفی برای توتون می‌باشد (۱۹). زیاد بودن میزان پتاسیم در خاک‌های استان مازندران در شکل‌های محلول، تبادلی و غیرتبادلی می‌تواند باعث جذب بیش‌تر پتاسیم توسط گیاه توتون شده و باعث افزایش کیفیت گردد. دلیل بالا بودن کیفیت توتون‌های استحصالی استان گیلان نسبت به توتون‌های گلستان، با وجود پایین بودن میزان پتاسیم در شکل‌های مختلف آن، پایین بودن درصد کلر آن‌ها می‌باشد زیرا مقدار کلر بیش‌تر از یک درصد باعث کاهش کیفیت توتون می‌شود (١٤).

همبستگی بین شکل‌های مختلف پتاسیم: ضرایب همبستگی (r) بین شکل‌های مختلف پتاسیم در خاکرخ‌ها نشان می‌دهد (جدول ۳) که همبستگی پتاسیم محلول با پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی به‌ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار می‌باشد در حالی‌که همبستگی بین پتاسیم محلول با پتاسیم شبه‌کل، ساختمانی و کل معنی‌دار نمی‌باشد. چون پتاسیم محلول با پتاسیم تبادلی در حال تعادل است در نتیجه پتاسیم محلول با پتاسیم تبادلی همبستگی بالایی در سطح یک درصد دارد و همچنین، چون پتاسیم غیرتبادلی نیز در زمان کاهش غلظت پتاسیم تبادلی آزاد می‌شود و با پتاسیم محلول و تبادلی ارتباط داشته و همبستگی پیدا می‌کند. این‌که پتاسیم غیرتبادلی با پتاسیم محلول در سطح پنج درصد معنی‌دار شده و با شکل‌های دیگر معنی‌دار نمی‌باشد نشان‌دهنده ارتباط کم پتاسیم محلول با پتاسیم غیرتبادلی و دیگر شکل‌های پتاسیم می‌باشد.

جدول ۳- ضریب همبستگی (r) بین شکل‌های مختلف پتاسیم و خصوصیات خاک.

Table 3. Correlation coefficient ® between different potassium forms and the physical and chemical properties of soil.

درصد اشباع خاک	کربنات‌کلسیم معادل	ظرفیت‌تبادل کاتیونی	کربن آلی	هدایت الکتریکی	اسیدیته	رس	سیلت	شن	شبه کل	کل	ساختمانی	غیرقابل تبادل	قابل تبادل	محلول	
SP	$CaCO_3$	CEC	OC	EC	pH	Clay	Silt	Sand	K_{aqua}	K_{total}	K_{min}	K_{nexch}	K_{exch}	K_{so}	
0.35**	-0.07^{ns}	0.23^{ns}	0.62**	0.17^{ns}	-0.0^{ns}	0.07^{ns}	0.26^{ns}	-0.19^{ns}	0.22^{ns}	0.10^{ns}	0.02^{ns}	0.32*	0.67**	1	K_{so}
0.58**	-0.18^{ns}	0.19^{ns}	0.45**	0.33*	0.05^{ns}	0.36**	0.40**	-0.43^{ns}	0.58**	0.35**	0.24^{ns}	0.58**	1		K_{exch}
0.51**	-0.18^{ns}	-0.18^{ns}	0.31*	0.58**	0.12^{ns}	0.68**	0.65**	-0.74**	0.83**	0.69**	0.58**	1			K_{nexch}
0.26**	-0.10^{ns}	-0.24^{ns}	-0.04^{ns}	0.42**	0.21^{ns}	0.61**	0.47**	-0.60**	0.62**	0.99**	1				K_{min}
0.34*	-0.13^{ns}	-0.23^{ns}	-0.03^{ns}	0.48**	0.2^{ns}	0.67**	0.53**	-0.67**	0.71**	1					K_{total}
0.45**	-0.07^{ns}	-0.24^{ns}	0.07^{ns}	0.60**	0.26^{ns}	0.74**	0.55**	-0.71**	1						K_{aqua}

**، * و ^{ns} به‌ترتیب در سطح یک و پنج درصد آماری معنی‌دار و عدم معنی‌داری.

K_{so}: Soluble potassium: پتاسیم محلول، K_{exch}: Exchangeable potassium: پتاسیم تبادلی، K_{nexch}: Non-exchangeable potassium: پتاسیم غیرتبادلی، K_{min}: Mineral potassium: پتاسیم ساختمانی، K_{total}: Total potassium: پتاسیم کل و K_{aqua}: aqua-regia potassium: پتاسیم شبه کل

فرشادی‌راد و همکاران (۱۳۹۰) نشان دادند که بین پتاسیم محلول با پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی ارتباط معنی‌داری به‌ترتیب در سطح یک و پنج درصد آماری و با پتاسیم ساختمانی عدم معنی‌داری وجود دارد (۱۳). همبستگی بین پتاسیم تبادلی با پتاسیم غیرتبادلی، کل و شبه‌کل، همبستگی بین پتاسیم غیرتبادلی با پتاسیم ساختمانی، کل و شبه‌کل، همبستگی پتاسیم ساختمانی با پتاسیم کل و شبه‌کل و همچنین همبستگی پتاسیم کل با پتاسیم شبه‌کل در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد. همبستگی بالا بین شکل‌های مختلف پتاسیم غیر از پتاسیم محلول نشان‌دهنده ارتباط بیش‌تر بین این شکل‌ها می‌باشد. از سوی دیگر، چون پتاسیم محلول و پتاسیم تبادلی بخش بسیار کوچکی از پتاسیم کل را تشکیل می‌دهند و مقدار پتاسیم که در مکان‌های تبادلی نگهداری می‌شود به نوع و مقدار رس، مواد آلی و pH خاک بستگی دارد (۳۱)، بنابراین مقدار پتاسیم محلول و تبادلی کم‌تر تحت‌تأثیر شکل‌های دیگر پتاسیم قرار گرفته و بیش‌تر تحت‌تأثیر سایر عوامل از جمله هوادیدگی، کربن آلی خاک، عملیات زراعی و مصرف کودهای شیمیایی پتاسیمی قرار می‌گیرد. برابری ضریب همبستگی پتاسیم غیرتبادلی و شبه‌کل با پتاسیم تبادلی (r=۰/۵۸) و همچنین همبستگی بالای پتاسیم غیر تبادلی با شبه‌کل (r=۰/۸۳) در مقایسه با شکل‌های دیگر نشان‌دهنده ارتباط نزدیک بین پتاسیم غیرتبادلی و شبه‌کل می‌باشد که این ارتباط در محل قرار گرفتن شبه‌کل از نظر مقدار پتاسیم که بین پتاسیم ساختمانی و غیرتبادلی قرار دارد نیز مشاهده می‌شود. البته از نظر مقدار نیز پتاسیم شبه‌کل خیلی نزدیک‌تر به پتاسیم غیرتبادلی می‌باشد به‌عنوان مثال در خاکرخ یک افق Ap1، مقادیر پتاسیم غیرتبادلی، شبه‌کل و ساختمانی به‌ترتیب ۱٦۸٦، ۲۷۰٦ و ۱۲۹٦۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک می‌باشد که پتاسیم شبه‌کل بسیار نزدیک به پتاسیم غیرتبادلی می‌باشد. اندرو (۱۹۸۹) در مطالعه خود در ایالات متحده آمریکا بر روی خاک‌های با کانی‌غالب کائولینیت، مخلوط و اسمکتیت به این نتیجه رسید در تمام خاک‌ها به‌جز خاک با کانی غالب کائولینیت بین شکل‌های مختلف پتاسیم ارتباط معنی‌دار وجود دارد (۱). نکته قابل‌توجه این می‌باشد که پتاسیم شبه‌کل با تمام شکل‌های مختلف پتاسیم (به‌جز پتاسیم محلول) همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد داشتند. رائو و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه خود بر روی دو نوع خاک آتشفشانی و غیرآتشفشانی و مقایسه ۳ نوع عصاره‌گیر نشان داد که پتاسیم شبه‌کل در هر دو نوع خاک همبستگی بالایی با عصاره‌گیر HNO_3-$HClO_4$-HF دارد که این همبستگی در خاک‌های آتشفشانی و غیرآتشفشانی به‌ترتیب ۸۸/٤ و ۹۸/۵ درصد بود. در حالی‌که عصاره‌گیر $HClO_4$-HNO_3 در خاک‌های آتشفشانی دارای همبستگی ۸۸/۵ درصد بود ولی در خاک‌های غیرآتشفشانی دارای همبستگی یک درصد بودند (۲۹)

همبستگی شکل‌های مختلف پتاسیم با خصوصیات خاک: ضرایب همبستگی (r) بین شکل‌های مختلف پتاسیم با خصوصیات خاک در خاکرخ‌ها نشان می‌دهد (جدول ۳) که همبستگی درصد شن با تمام شکل‌های پتاسیم، منفی و جز شکل محلول در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد. اما همبستگی درصد سیلت و رس با تمام شکل‌های پتاسیم، مثبت و جز شکل محلول در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد. ضریب همبستگی درصد شن و سیلت با پتاسیم غیرتبادلی به‌ترتیب با ۰/۷٤- و ۰/٦۵+ و درصد رس نیز با پتاسیم شبه‌کل با ۰/۷٤+ بالاترین مقدار می‌باشد. دردی‌پور و همکاران (۱۳۹۰) نشان دادند که بین مقادیر پتاسیم محلول و غیرتبادلی با درصد رس خاک‌های منطقه گرگان ارتباط معنی‌داری وجود داشت (۱۲). اما آندریست رانگل (۲۰۰۸) در مطالعات خود بر روی

خاک‌های ۱۲ منطقه کشاورزی اسکاتلند و ۸ منطقه کشاورزی سوئد نشان داد که بافت خاک یک متغیر قابل قبول جهت توضیح قابلیت عصاره‌گیری نمی‌باشد (۳). اسیدیته خاک‌ها با هیچ کدام از شکل‌های مختلف پتاسیم همبستگی معنی‌داری ندارد. هدایت الکتریکی خاک‌ها با تمام شکل‌های مختلف پتاسیم جز شکل محلول همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد که این معنی‌داری با پتاسیم تبادلی در سطح پنج درصد ولی با پتاسیم غیر تبادلی، ساختمانی، کل و شبه‌کل در سطح یک درصد می‌باشد. درصد کربن آلی خاک‌ها با شکل‌های پتاسیم محلول و تبادلی در سطح یک درصد و با پتاسیم غیرتبادلی در سطح پنج درصد هبستگی مثبت و معنی‌دار دارد اما با شکل‌های پتاسیم ساختمانی، کل و شبه‌کل همبستگی معنی‌دار آماری ندارد. دلیل معنی‌داری بالای درصد کربن آلی با پتاسیم محلول و تبادلی به محل نگهداری پتاسیم تبادلی ارتباط دارد زیرا طبق تعریف نادسن و همکاران (۱۹۸۲)، پتاسیم تبادلی پتاسیمی است که توسط بارهای منفی کلوئیدهای آلی و معدنی نگهداری می‌شود (۲۳)، و چون مقدار پتاسیمی که در مکان‌های تبادلی نگهداری می‌شود به مقدار مواد آلی خاک بستگی دارد بنابراین پتاسیم تبادلی با کربن آلی خاک همبستگی بالایی دارد و چون پتاسیم محلول نیز با پتاسیم تبادلی در حال تعادل است در نتیجه پتاسیم محلول نیز با کربن آلی خاک همبستگی بالایی پیدا می‌کند. این‌که پتاسیم غیرتبادلی با درصد کربن آلی خاک در سطح پنج درصد معنی‌دار شده است نشان‌دهنده ارتباط کم پتاسیم تبادلی با پتاسیم غیرتبادلی در مقایسه با پتاسیم محلول می‌باشد. اندرو (۱۹۸۹) در مطالعه خود به این نتیجه رسید که بین کربن آلی خاک و شکل‌های مختلف پتاسیم همبستگی وجود ندارد (۱). ظرفیت تبادل کاتیونی و درصد مواد خنثی‌شونده خاک‌ها با هیچ‌کدام از شکل‌های مختلف پتاسیم همبستگی معنی‌دار آماری ندارد. دلیل عدم معنی‌داری ظرفیت تبادل کاتیونی با شکل‌های مختلف پتاسیم بر خلاف درصد ماده آلی خاک، تأثیر بیش‌تر کلوئیدهای معدنی در مقایسه با کلوئیدهای آلی روی ظرفیت تبادل کاتیونی می‌باشد. توفیقی (۱۳۷٤) در مطالعه خود به این نتیجه رسید که بین ظرفیت تبادل کاتیونی و شکل‌های مختلف پتاسیم همبستگی وجود ندارد (۳۷).

اندرو (۱۹۸۹) نتیجه گرفت که در خاک‌های با کانی غالب کائولینیت بین ظرفیت تبادل کاتیونی و شکل‌های مختلف پتاسیم همبستگی وجود ندارد اما در خاک‌های با کانی مخلوط ظرفیت تبادل کاتیونی با شکل‌های ساختمانی و کل و در خاک‌های با کانی غالب اسمکتیت با تمام شکل‌های پتاسیم همبستگی معنی‌دار وجود دارد (۱).

تغییرات شکل‌های مختلف پتاسیم با عمق: بررسی تغییرات شکل‌های مختلف پتاسیم در خاکرخ‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که در بیش‌تر خاکرخ‌ها میزان و درصد پتاسیم محلول از سطح خاکرخ به عمق کاهش می‌یابد و فقط در خاکرخ‌هایی که لایه‌های زیرین آن دارای درصد شن زیاد و درصد رس و سیلت کمی می‌باشند این روند پس از کاهش از سطح به عمق مجدد افزایش می‌یابد مثل خاکرخ شماره ۳ در استان گلستان که درصد شن در افق BCk نسبت به افق قبلی ۲٦ درصد افزایش و درصد رس و سیلت به‌ترتیب ۱۰ و ۱٦ درصد کاهش یافته است که این امر باعث شده است که میزان پتاسیم محلول در این افق نیز نسبت به افق قبلی حدود ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش نشان دهد. مشابه این حالت در خاکرخ شماره ۸ در افق Bt3 نیز مشاهده می‌شود که چون نسبت به افق قبلی دارای درصد شن بیش‌تر و درصد رس و سیلت کم‌تری می‌باشد بنابراین میزان و درصد پتاسیم محلول بالایی نیز نسبت به افق قبلی دارد.

تغییرات پتاسیم تبادلی از سطح به عمق مشابه پتاسیم محلول بوده و در بیش‌تر خاک‌ها روند کاهشی دارد ولی در خاکرخ شماره چهار میزان و درصد پتاسیم تبادلی از افق اول تا سوم افزایش و با کاهش شدید در افق چهارم، در افق‌های بعدی تقریباً ثابت می‌ماند که این تغییرات می‌تواند به‌دلیل تغییرات درصد شن و رس باشد به‌طوری‌که درصد شن از ۱۹ درصد در افق اول به ۱۵ درصد در افق سوم کاهش یافته و سپس به ۳۳ درصد در افق چهارم رسیده است. همچنین درصد رس از ۲۹ درصد در افق اول تا ٤۱ درصد در افق سوم افزایش یافته و سپس به ۳۳ درصد در افق چهارم رسیده است. که افزایش ۱۸ درصدی شن و کاهش ۸ درصدی رس باعث کاهش میزان پتاسیم تبادلی از ٤۳۰ به ۹٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم شده است. همچنین در خاکرخ شماره هشت میزان پتاسیم تبادلی از افق اول تا سوم کاهش می‌یابد و سپس از افق چهارم تا ششم افزایش می‌یابد که این تغییرات می‌تواند به‌دلیل تغییرات درصد شن و سیلت باشد که درصد شن از افق اول تا سوم از ۵۹ درصد به ٦۷ درصد افزایش و سپس در افق ششم به ٤۳ درصد کاهش می‌یابد در حالی‌که درصد سیلت از ۲٤ درصد در افق اول به ۱٤ درصد در افق سوم کاهش می‌یابد و سپس این مقدار به ۳٤ درصد در افق ششم می‌رسد. افزایش درصد شن و کاهش درصد سیلت از افق اول تا سوم باعث کاهش میزان پتاسیم تبادلی از ۲۹٤ به ۱۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم شده است. همچنین کاهش درصد شن و افزایش درصد سیلت از افق چهارم تا ششم نیز باعث افزایش میزان پتاسیم تبادلی از ۲۵۹ به ۳٦٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم شده است. البته هرگاه تغییرات پتاسیم تبادلی در خاکرخ هشت با واحد درصد پتاسیم تبادلی به پتاسیم کل بررسی شود مشاهده می‌شود که درصد پتاسیم تبادلی برخلاف میزان پتاسیم تبادلی از افق دوم تا ششم افزایش می‌یابد و خیلی تحت‌تأثیر اجزای مختلف بافت خاک قرار نمی‌گیرد. در بیش‌تر خاکرخ‌ها افق اول یا افق‌های اول و دوم دارای بیش‌ترین مقدار پتاسیم محلول و تبادلی می‌باشند و یا به‌عبارت دیگر بیش‌ترین تغییرات پتاسیم محلول و تبادلی از سطح خاک تا عمق حدود ٤۰ سانتی‌متری می‌باشد که نشان می‌دهد میزان پتاسیم محلول و تبادلی بیش‌تر تحت‌تأثیر هوادیدگی، عملیات زراعی و مصرف کودهای شیمیایی پتاسیمی می‌باشد. البته وجود کربن آلی زیاد در افق‌های سطحی نیز می‌تواند عامل دیگر زیاد بودن پتاسیم محلول و تبادلی باشد همچنانکه همبستگی بالای پتاسیم محلول و تبادلی با کربن آلی خاک که در جدول ۳ نشان داده شده است نیز بیانگر این موضوع می‌باشد. شارپلی و اسمیت (۱۹۸۸) یکنواختی شکل‌های مختلف پتاسیم در لایه شخم و تغییرات شدید در زیر لایه شخم را به مصرف کودهای شیمیایی و عملیات زراعی کشت و کار در لایه شخم مرتبط می‌داند (۳٤).

تغییرات پتاسیم غیرتبادلی از سطح به عمق در حالت کلی دارای یک روند کاهشی می‌باشد ولی همانند پتاسیم محلول و تبادلی منظم نیست. در این شکل از پتاسیم نیز بیش‌ترین میزان در افق‌های سطحی و تا عمق حدود ۷۰ سانتی‌متری می‌باشد. پتاسیم غیرتبادلی در بین شکل‌های مختلف پتاسیم دارای بیش‌ترین ضریب همبستگی با اجزای بافت خاک بوده که این همبستگی با درصد شن منفی و درصد رس و سیلت مثبت می‌باشد.

تغییرات پتاسیم شبه‌کل با عمق کم و نامنظم می‌باشد و تفاوتی که با پتاسیم غیرتبادلی دارد این است که بین افق‌ها اختلاف کمی در میزان پتاسیم وجود دارد. تغییرات کم پتاسیم شبه‌کل با عمق نشان می‌دهد که قدرت استخراج پتاسیم توسط این عصاره‌گیر (تیزاب سلطانی) بیش‌تر از عصاره‌گیر اسید

نیتریک بوده و قادر است پتاسیم را در انواع مختلف کانی‌ها استخراج نماید (با فرض این‌که نوع و میزان کانی در عمق‌های مختلف خاک به‌دلیل هوادیدگی خاک در لایه‌های سطحی متغیر باشد) و میزان استخراج به نوع کانی‌های رسی بستگی نداشته و به درصد رس خاک بستگی دارد. وجود بیش‌ترین همبستگی پتاسیم شبه‌کل در بین شکل‌های مختلف پتاسیم با درصد رس بیانگر این موضوع می‌باشد.

تغییرات پتاسیم ساختمانی با عمق دارای نظم خاصی نبوده و همانند پتاسیم شبه‌کل اختلاف بین افق‌ها نیز آن‌چنان بالا نمی‌باشد در بعضی از خاکرخ‌ها میزان پتاسیم ساختمانی از سطح به عمق افزایش می‌یابد مثل خاکرخ‌های ۱، ۲، ۳، ۵ و ٦ ولی در بعضی از خاکرخ‌ها که میزان پتاسیم از سطح به عمق دارای روند کاهشی می‌باشد در همین خاکرخ‌ها درصد پتاسیم از سطح به عمق افزایش می‌یابد که این حالت بیش‌تر در خاکرخ‌های حفر شده در استان گیلان مشاهده می‌شود. پس به‌طورکلی می‌توان گفت که پتاسیم ساختمانی بر خلاف سایر شکل‌های مختلف پتاسیم از سطح به عمق دارای یک روند افزایشی در میزان و یا درصد می‌باشد. شارپلی و اسمیت (۱۹۸۸) در بررسی توزیع شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های کشت شده و کشت نشده آمریکا نشان داد که تغییرات پتاسیم کل و پتاسیم ساختمانی و غیرتبادلی با عمق مشابه هم بوده و بسیار کم می‌باشد در حالی‌که مقدار پتاسیم تبادلی با عمق کاهش می‌یابد (۳٤).

درصد شکل‌های مختلف پتاسیم: عموماً اعتقاد بر این است که هرگاه مقدار پتاسیم استخراج شده در خاک‌های مختلف بیش‌تر باشد آن خاک، خاکی با قدرت تامین پتاسیم بالاتر معرفی می‌شود ولی نتایج این پژوهش نشان داد که هرگاه پتاسیم استخراج شده بر اساس نسبت مقدار پتاسیم استخراج شده به پتاسیم کل بیان شود رتبه‌بندی خاک‌ها با قدرت تامین پتاسیم متفاوت خواهد شد. هرگاه پتاسیم استخراج شده بر اساس میلی‌گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک بیان شود یک عدد معرفی می‌شود و مشخص نمی‌شود که این میزان پتاسیم استخراج شده از چه مقدار پتاسیم موجود در خاک بوده است. هم‌چنان که درصد شکل‌های مختلف پتاسیم به پتاسیم کل در خاکرخ‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است درصد پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی، شبه‌کل و ساختمانی به پتاسیم کل به‌ترتیب از صفر تا ۰/۳۲، ۰/۱۲ تا ٤/٤۱، ۰/۸۳ تا ۱۱/۹٦، ۱/۲۱ تا ۳۳/۷۲ و ۸۵/٦۰ تا ۹۸/۹٦ متغیر بوده است. در مطالعه خان و همکاران (۱۹۹۳) درصد پتاسیم تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی به پتاسیم کل به‌ترتیب از ۰/۲٦ تا ۱/۰۲، ۱/۰۷ تا ۸/۳۳ و ۹۳ تا ۹۹ متغیر بود (۲۲). در مطالعه اندریست رانگل و همکاران (۲۰۰٦) درصد پتاسیم شبه‌کل (حاصل از عصاره‌گیر تیزاب سلطانی) و اسید کلریدریک به پتاسیم کل به‌ترتیب از ۵ تا ٤۵ و ۱ تا ۱۷ درصد متغیر بود (۲). همچنین آندریست رانگل (۲۰۰۸) نشان داد که پتاسیم شبه‌کل، ۵ تا ٦۰ درصد از پتاسیم کل در خاک‌های اسکاتلند و ٤ تا ٤۵ درصد از پتاسیم کل خاک‌های سوئد را می‌تواند حل کند. همچنین نشان دادند که نسبت پتاسیم شبه‌کل به پتاسیم کل با پتاسیم در فلدسپارهای پتاسیم‌دار همبستگی منفی و با پتاسیم در فیلوسیلیکات‌های آهن‌دار همبستگی مثبت دارد (۳). طبق نتایج به‌دست آمده، خاک‌های استان مازندران از نظر درصد شکل‌های پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی و خاک‌های گیلان از نظر درصد شکل‌های پتاسیم محلول و ساختمانی دارای بالاترین بودند این در حالی است که مقدار تمام شکل‌های پتاسیم خاک‌های گیلان کم‌ترین بود. ولی اختلافی که بین درصد شکل‌های مختلف پتاسیم با میزان شکل‌های پتاسیم مشاهده می‌شود مربوط به خاک‌های گیلان

می‌باشد که با وجود این‌که این خاک‌ها نسبت به خاک‌های گلستان دارای میزان پتاسیم محلول، تبادلی و ساختمانی کم‌تری بودند ولی نسبت این شکل‌ها به پتاسیم کل بیش‌تر از خاک‌های گلستان می‌باشند و این موضوع نیز می‌تواند دلیل کیفیت بالای توتون‌های استحصالی در استان گیلان نسبت به خاک‌های گلستان باشد زیرا بالا بودن درصد پتاسیم محلول و تبادلی و ساختمانی باعث جذب بیش‌تر پتاسیم شده و باعث افزایش کیفیت توتون‌های استحصالی در استان گیلان شود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که از نظر مقدار پتاسیم، خاک‌های استان گلستان دارای بیش‌ترین شکل‌های پتاسیم کل و ساختمانی و خاک‌های استان مازندران دارای بیش‌ترین شکل‌های پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی و شبه‌کل بودند و خاک‌های استان گیلان نیز از نظر تمام شکل‌های مختلف پتاسیم دارای کم‌ترین مقدار بود. در حالی‌که از نظر درصد پتاسیم، خاک‌های استان گلستان دارای بیش‌ترین درصد غیرتبادلی و خاک‌های گیلان دارای بیش‌ترین درصد شکل‌های محلول و ساختمانی بودند. بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌گردد که مقدار جذب پتاسیم توسط گیاه توتون در خاک‌های فوق نیز مطالعه شود تا مشخص شود که میزان جذب توسط گیاه توتون به مقدار پتاسیم خاک بستگی دارد یا به درصد پتاسیم در خاک؟

همچنین بررسی ترتیب شکل‌های مختلف پتاسیم از نظر مقدار و درصد نشان داد که پتاسیم شبه‌کل بین پتاسیم غیرتبادلی و پتاسیم ساختمانی قرار می‌گیرد که این نشان‌دهنده قدرت بالای عصاره‌گیر پتاسیم شبه‌کل (تیزاب سلطانی) در استخراج پتاسیم نسبت به عصاره‌گیر پتاسیم غیرتبادلی (اسید نیتریک) می‌باشد و از طرفی نیز بررسی همبستگی بین شکل‌های مختلف پتاسیم نشان داد که پتاسیم شبه‌کل با تمام شکل‌های مختلف پتاسیم به غیر از پتاسیم محلول در سطح یک درصد همبستگی معنی‌دار آماری دارد بنابراین پیشنهاد می‌شود که همبستگی بین پتاسیم موجود در گیاه توتون با شکل‌های مختلف پتاسیم از جمله پتاسیم شبه‌کل تعیین شود.

منابع

1.Andrew, N.S. 1989. Relationship between Soil potassium forms and mineralogy. Soil Sci. Soc. Amer. J. 52: 1023-1028.

2.Andrist-Rangel, Y., Simonsson, M., Andersson, S., Öborn, I., and Hillier, S. 2006. Mineralogical budggeting of potassium in soil: A basis for understanding standard measures of reserve potassium. J. Plant Nutr. Soil Sci. 169: 605-615.

3.Andrist-Rangel, Y. 2008. Quantifying mineral sources of potassium in agricultural soils. Doctoral Thesis Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala. 126p.

4.Andrist-Rangel, Y., Hillier, S., Öborn, I., Lilly, A., Towers, W., Edwards, A., and Paterson, E. 2010. Assessing potassium reserves in northern temperate grassland soils: A perspective based on quantitative mineralogical analysis and aqua-regia extractable potassium. Geoderma. 158: 303-314.

5.Asadian, O. 2003. Khalkhal-Rezvanshahr geology map, 1:100,000 scale. National Geological Organization of Iran. (In Persian)

6.Barre, P., Velde, B., Fontaine, C., Catel, N., and Abbadie, L. 2008. Which 2:1 clay minerals are involved in the soil potassium reservoir? Insights from potassium addition or removal experiments on three temperate grassland soil clay assemblages.Geoderma. 146: 216-223.

7.Basak, B., and Biswas, D. 2009. Influence of potassium solubilizing microorganism (*Bascillus mucilaginosus*) and waste mica on potassium uptake dynamics by Sudan grass (*Sorghum vulgare* Pers.) grown under two Alfisols. Plant Soil. 317: 235-255.
8.Bertsch, P.M., and Thomas, G.W. 1985. Potassium status of temperate region soils, P 131-162. In: R.D. Munson (Ed.), Potassium in Agriculture, ASA. CSSA. SSSA. Madison, WI.
9.Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agron. J. 54: 464-465.
10.Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. In: Methods of soil analysis. Part 2. Black, C.A. (ed.). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
11.Chen, M., and Ma, L.Q. 2001. Comparison of three aqua regia digestion methods for 20 Florida soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 65: 491-499.
12.Dordipour, E., Khormali, F., and Alaeddin, M.Z. 2012. Investigating the availability and different forms of potassium in Gorgan region. Research Publication, No. 90-2-354. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian)
13.Farshadirad, A., Dordipour, E., Khormali, F., and Kiani, F. 2011. Potassium forms in soil and its separates in some loess and loess-like soils of Golestan providence. J. Water Soil Cons. 18: 3. 1-16. (In Persian)
14.Gholizadeh, A. 2014. Yield evaluation of flue-cured tobacco genotypes with low chlorine absorption in Aliabad area, Golestan Province. Tirtash Research and Education Center. Iranian Tobacco Company. (In Persian)
15.Hatami, H., Karimi, A.R., Fotovat, A., and Khademi, H. 2013. Investigating the effect of grain size and extractant type on the different forms of potassium in micaceous minerals and potassium feldspars. J. Water Soil Cons. 20:1. 115-132. (In Persian)
16.Helmke, P.A., and Sparks, D.L. 1996. Lithium, sodium and potassium, P 551-574. In: Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Sultanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Jhonston, C.T. and Sumner, M.E. (eds.), Methods of soil analysis, part 2, Chemical and microbiological properties. Soil Science Society of America. WI. USA.
17.Hosseinifard, S.J., Khademi, H., and Kalbasi, M. 2010. Different forms of soil potassium as affected by the age of pistachio (*Pistacia vera* L.) trees in Rafsanjan, Iran. Geoderma. 155: 289-297.
18.Hosseinpur, A., Kalbasy, M., and Khademy, H. 2000. Release rate of nonexchaneable potassium from soils of Gillan Province. Iran. J. Agric. Sci. 35: 2. 347-355. (In Persian)
19.International Potash Institute Bulletin 11. 1988. Fertilizing for high quality and yield tobacco. International Potash Institute. Bern/ Switzerland.
20.Iranian Tobacco Company. 2014. Agricultural Statistics Iranian Tobacco Company. (In Persian)
21.Khabbaz-Nia, A.R., and Sadeghi, A. 2003. Sari geology map, 1:100,000 scale. National Geological Organization of Iran. (In Persian)
22.Khan, H.R., Chowdhury, M.S., Elahi, S.F., Hussain, M.S., and Adachi, T. 1993. Potassium status and release characteristics of twelve floodplain soils of Bangladesh. Soil phys. Cond. Plant Growth. Jpn. 68: 15-24.
23.Knudsen, D., Peterson, G.A., and Pratt, P.F. 1982. Lithium, sodium and potassium. P 225-246. In: A.L. Page et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2, American Society of Agronomy, Madison, WI.
24.Loganathan, P., Dickson, A.A., and Isirimah, N.O. 1995. Potassium supplying capacity of soils formed on different geological deposits in the Niger delta region of Nigeria. Geoderma. 65: 109-120.
25.Malakouti, M.J., and Homaee, M. 2003. Soil Fertility of arid and semi-arid regions. Second edition. Tarbiat Modares University Press, 494p. (In Persian)
26.Martin, H.W., and Sparks, D.L. 1985. On the behavior of non exchangeable potassium in soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 16: 133-162.

27.Mc Grath, S.P., and Loveland, P.J. 1992. The soil geochemical atlas of England and wales. Blackie Academic and Professional, Glasgow.
28.Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. Methods of soil analysis, chemical and microbiological properties, Part 2. Agronomy Monographs, ASA-SSA, Madison, WI. Pp: 581-593.
29.Rao, B.K.R., Bailey, J., and Wingwafi, R.W. 2011. Comparison of three digestion methods for total soil potassium estimation in soils of Papua New Guinea derived from varying parent materials. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 42: 1259-1265.
30.Reiman, C., Siewers, U., Tarvainen, T., Bityukova, L., Eriksson, J., Giucis, A., Gregorauskiene, V., Lukashev, V.K., Matinian, N.N., and Pasieczna, A. 2003. Agricultural soils in northern Europe. A geochemical atlas. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, Germany, 279p.
31.Richards, J.E., and Bates, T.E. 1989. Studies on the potassium-supplying capacities of southern Ontario soils: III. Measurement of available K. Can. J. Soil Sci. 69: 596-610.
32.Salardini, A.A. 2006. Soil Fertility. University of Tehran Press. 434p. (In Persian)
33.Salminen, R., Chekushin, V., Tenhola, M., Bogatyrev, I., Fedotova, E., Tomilina, O., Zhdanova, L., Glavatskikh, S.P., Selenok, I., Gregorauskiene ,V., Kashulina, G., Niskavaara, H., Polischuok, A., and Rissanen, K. 2004. Geochemical Atlas of Eastern Barents Region. Elsevier, Amsterdam.
34.Sharpley, N.A., and Smith, S.J. 1988. Distribution of potassium forms in virgin and cultivated soils of the U.S.A. Geoderma. 42: 317-329.
35.Smolders, E., Brans, K., Foldi, A., and Merckx, R. 1999. Cadmium fixation in soils measured by isotopic dilution. Soil Sci. Soc. Amer. J. 63: 78-85.
36.Soil Survey Staff. 2010. Keys to soil taxonomy, eleventh edition. U.S., Department of Agriculture. NRCS.
37.Tophighy, H. 1995. Kinetics of nonexchangable potassium release from paddy soils of north ofIran. Comparison and evaluation kinetics equations of first order, zero order and parabolic diffusion. Iran. J. Agric. Sci. 4: 26. 27-40. (In Persian)
38.Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37: 29-38.
39.Yang, T.Z., Ming, L.L., Wei, X., and Jin-hua, F. 2007. Characteristics of potassium-enriched, flue-cured tobacco genotype in potassium absorption, accumulation and in-ward potassium currents of root cortex. Agricultural Sciences in China. 6: 12. 1479-1486.
40.Zamani Pedram, M., and Hosseini, H. 2004. Gorgan geology map, 1:100,000 scale. National Geological Organization of Iran. (In Persian)

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(4), 2016
http://jwsc.gau.ac.ir

Different forms of soil potassium in tobacco cultivated areas of northern Iran

A.Gh. Gholizadeh[1], *A.R. Karimi[2], R. Khorasani[2] and F. Khormali[3]

[1]Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad,
[2]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad,
[3]Professor, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Received: 11/25/2015; Accepted: 10/30/2016

Abstract

Background and Objectives: Potassium (K) is one of the major essential nutrients for growth of tobacco. Tobacco leaf K content is highly correlated with tobacco leaf quality and is an important index reflecting tobacco leaf quality. The forms of soil K in the order of their availability for plants are soil soluble, exchangeable, non-exchangeable and structural potassium. This study aimed to investigate the forms of soil potassium (soluble, exchangeable, non-exchangeable and structural) and aqua-regia extractable potassium in tobacco cultivated areas of Golestan, Mazandaran and Gilan provinces.

Materials and Methods: Three soil profiles were described and sampled in each tobacco cultivated areas of Golestan, Mazandaran and Gilan provinces. All soil profiles were described and classifid according to Keys to Soil Taxonomy. The soluble, exchangeable, non-exchangeable, structural and aqua-regia extractable potassium were measured and their relationships with each other and soil physical and chemical characteristics were investigated.

Results: Mean concentrations of soluble, exchangeable, non-exchangeable, aqua-regia extractable, structural and total potassium in studied soils were 0 to 38.24, 7 to 513, 44 to 1933, 70 to 4267, 4114 to 15607 and 4166 to 16157 mg kg^{-1}, and the percentage of mean concentarions of soluble, exchangeable, non-exchangeable, aqua-regia and structural potassium to total potassium varied from 0 to 0.32, 0.12 to 4.41, 0.83 to 11.96, 1.21 to 33.72 and 85.60 to 98.96 %, respectively. The lowest concentrations of all potassium forms were measured in the studied soils of Gilan Province. The highest concentrations of soluble, exchangeable, non-exchangeable and aqua-regia extractable K occurred in the studied soils of Mazandaran Province and structural and total potassium in the studied soils of Golestan Province. The correlation analyses indicated the positive significant correlation ($P<0.01$) between forms of potassium except soluble form with clay and silt contents and significant negative correlation with sand content. The highest correlation coefficient was observed between non-exchangeable K with sand and silt content and also clay content with aqua-regia extractable potassium. Also, the correlation analysis showed that there was significant positive correlation between all the different potassium forms at 1 %, except soluble potassium, that only had significant positive correlation with exchangeable and non-exchangeable potassium at 1 and 5 %, respectively. The amount of aqua-regia extractable potassium was between non-exchangeable and structural potassium and was close to non-exchangeable potassium.

Conclusion: Plant available potassium (soluble, exchangeable and non-exchangeable potassium) in Mazandaran province tobacco cultivated areas was more than that in Golestan and Gilan provinces. Therefore, potassium fertilizer management should be different in these areas. Aqua-regia potassium had a good correlation with other forms of potassium. Since contains soluble, exchangeable, non-exchangeable and part of the structural potassium, could show the soil potassium ability for plants during the growing season to be considered, greenhouse and field experiments that need to be examined.

Keywords: Potassium forms, Tobacco, Pseudototal potassium, Available potassium

* Corresponding Author; Email: karimi-a@um.ac.ir