

The effect of different classification levels and topography on potassium status of Sepidan soils, Fars province

Sayed Mahmoud Enjavinezhad^{*1}, Majid Baghernejad², Seyed Ali Abtahi³,
Reza Ghasemi-Fasaei⁴, Mehdi Zarei⁵

1. Corresponding Author, Ph.D. Student of Management of Soil Resources, Dept. of Soil Science, University of Shiraz, Shiraz, Iran. E-mail: enjavimahmoud@gmail.com
2. Professor, Dept. of Soil Science, University of Shiraz, Shiraz, Iran. E-mail: majidbaghernejad@yahoo.co.uk
3. Professor, Dept. of Soil Science, University of Shiraz, Shiraz, Iran. E-mail: seyedaliabtahi@yahoo.com
4. Professor, Dept. of Soil Science, University of Shiraz, Shiraz, Iran. E-mail: ghasemif@shirazu.ac.ir
5. Associate Prof., Dept. of Soil Science, University of Shiraz, Shiraz, Iran. E-mail: mehdizarei@shirazu.ac.ir

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 08.26.2022

Revised: 02.14.2023

Accepted: 02.19.2023

Keywords:

Classification levels,
Potassium forms,
Soil evolution,
Topography

ABSTRACT

Background and Objectives: The soil characteristics of each region are affected by the topography factor. This factor has direct and indirect effects on the physicochemical properties of soil and even nutrient concentrations. Potassium is one of the most important elements in plant nutrition and is the second major nutrient absorbed by plants. Potassium exists in the soil in four forms, including soluble, exchangeable, non-exchangeable and structural. Many studies conducted on different potassium forms in relation with mineralogy, soil characteristics and classification, climate, and especially topography, but investigating the effect of different physiographic units and different levels of classification had been neglected. Therefore, this study was aimed to investigate the effect of different levels of classification and topography (physiographic units) on the potassium status of Sepidan soils in Fars province.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of topography on the potassium status of Sepidan soils in Fars province, toposequence was applied in Sepidan region of Fars province. After digging and describing the selected profiles in each identified physiographic unit, samples were taken and physical and chemical properties of soils were measured by conventional methods. The different forms of potassium were measured by summary method; and using SPSS16 statistical software and LSD statistical test, the significance of differences in the amount of different forms of potassium were determined at different classification levels and different physiographic units.

Results: Investigation of studied pedons showed that soils were classified as Entisols, Inceptisols and Alfisols based on 2014 taxonomy classification system. Three suborders, four great groups and subgroups were identified. In the study area, soluble, exchangeable, non-exchangeable, structural and total potassium had a mean of 0.96, 279, 510, 3792 and 4583 mg kg⁻¹, respectively. The mean of soluble, exchangeable, non-exchangeable, structural forms and total potassium related to different physiographic units were reported 0.73, 421, 1360, 1405, 15833 mg kg⁻¹ in the colluvial-alluvial fan, 1.21, 236, 565, 2803 and 3603 in piedmont plain, 0.76, 352, 436, 2071, 2860 mg kg⁻¹ in flood plain, 0.73, 270, 372, 2249, 2893 mg kg⁻¹ in river terrace, 0.91, 321, 656, 2541, 3520 mg kg⁻¹ in alluvial plain and

1.17, 172, 88, 2292, 2554 mg kg⁻¹, respectively. Total potassium and also different forms of potassium except soluble potassium in different physiographic units were significantly different from each other (P<0.05). In relation to the effect of different classification levels, there were significant differences (P<0.05) between exchange and non-exchange forms in all the studied levels

Conclusion: The present study showed that topography in the form of different physiographic units by controlling the amount of humidity, received sunlight and also the speed of weathering lead to differences in physicochemical properties and classification of soil. The set of these factors led to observe significant differences in the amount of different forms of potassium in different physiographic units. Due to the lack of application of very significant differences in different classification levels up to the subgroup level, it is suggested that for having better monitoring of the potassium element to obtain sustainable agriculture, at least the classification of soils at the family level should be performed so that the differences are better be understood. Also, it is worth mentioning that the type of parent material, climate, topography and other environmental conditions can affect the accuracy of the study in different areas, which should not be neglected when choosing the accuracy of the study.

Cite this article: Enjavinezhad, Sayyed Mahmoud, Baghernejad, Majid, Abtahi, Seyed Ali, Ghasemi-Fasaei, Reza, Zarei, Mehdi. 2023. The effect of different classification levels and topography on potassium status of Sepidan soils, Fars province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 13 (1), 75-93.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/EJSMS.2023.20544.2071

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



اثر سطوح مختلف رده‌بندی و پستی و بلندی بر وضعیت پتاسیم خاک‌های سپیدان استان فارس

سید محمود انجوی نژاد^{۱*}، مجید باقرنژاد^۲، سید علی ابطحی^۳، رضا قاسمی فسایی^۴، مهدی زارعی^۵

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری تخصصی مدیریت منابع خاک، گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: enjavidmahmoud@gmail.com
۲. استاد گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: majidbaghernejad@yahoo.co.uk
۳. استاد گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: seyedaliabtahi@yahoo.com
۴. استاد گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: ghasemif@shirazu.ac.ir
۵. دانشیار علوم خاک، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: mehdzarei@shirazu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: مشخصات خاک‌های هر منطقه متأثر از عامل پستی و بلندی است. این عامل اثرات مستقیم و غیرمستقیمی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و حتی غلظت عناصر غذایی دارد. پتاسیم از جمله عناصر مهم در تغذیه گیاهان است و دومین ماده غذایی عمده جذب شده توسط گیاهان است. پتاسیم در خاک به چهار شکل محلول، تبادل، غیرتبادل و ساختمانی وجود دارد. پژوهش‌های گسترده‌ای بر روی شکل‌های مختلف پتاسیم در ارتباط با کانی‌شناسی، اقلیم، ویژگی‌های خاک، رده‌بندی خاک و به‌طور ویژه پستی و بلندی صورت گرفته است اما بررسی اثر جداگانه واحدهای مختلف فیزیوگرافی و سطوح مختلف رده‌بندی فراموش شده است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی اثر سطوح مختلف رده‌بندی و پستی و بلندی (واحدهای فیزیوگرافی) بر وضعیت پتاسیم خاک‌های سپیدان استان فارس بود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۴	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۵	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۳۰	
واژه‌های کلیدی:	
پستی و بلندی، تکامل خاک، سطوح رده‌بندی، شکل‌های پتاسیم	مواد و روش‌ها: به منظور تعیین اثر سطوح مختلف رده‌بندی و پستی و بلندی بر وضعیت پتاسیم خاک‌های سپیدان استان فارس، یک ردیف پستی و بلندی در منطقه سپیدان استان فارس اعمال گردید. پس از حفر و تشریح نیم‌رخ انتخابی در هر واحد فیزیوگرافی شناسایی شده و انجام نمونه‌برداری، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به روش‌های معمول اندازه‌گیری شدند. شکل‌های مختلف پتاسیم به روش اجمالی برآورد گردید و با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS16 و آزمون آماری LSD معنی‌داری تفاوت شکل‌های مختلف پتاسیم در سطوح مختلف رده‌بندی و واحدهای مختلف فیزیوگرافی سنجیده شد.

یافته‌ها: بررسی خاک‌رخ‌های مطالعاتی نشان داد که خاک‌ها در راسته‌های انتی‌سول، اینسپتی‌سول و آلفی‌سول با توجه به سیستم طبقه‌بندی تاکسونومی ۲۰۱۴ قرار گرفتند. تعداد سه زیر راسته، چهار گروه بزرگ و زیرگروه شناسایی شدند. در منطقه مطالعاتی پتاسیم محلول، تبدالی، غیرتبدالی، ساختمانی و کل به ترتیب دارای میانگین ۰/۹۶، ۲۷۹، ۵۱۰، ۳۷۹۲ و ۴۵۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بودند. میانگین شکل‌های پتاسیم محلول، تبدالی، غیرتبدالی، ساختمانی و پتاسیم کل مرتبط با واحدهای مختلف فیزیوگرافی به ترتیب ۰/۷۳، ۴۲۱، ۱۳۶۰، ۱۴۰۵، ۱۵۸۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در واریزه‌های بادبزی ثقیل-آبرفتی، ۱/۲۱، ۲۳۶، ۵۶۵، ۲۸۰۳ و ۳۶۰۳ در دشت دامنه‌ای، ۰/۷۶، ۳۵۲، ۴۳۶، ۲۰۷۱، ۲۸۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در دشت سیلابی، ۰/۷۳، ۲۷۰، ۳۷۲، ۲۲۴۹، ۲۸۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تراس رودخانه‌ای، ۰/۹۱، ۳۲۱، ۶۵۶، ۲۵۴۱، ۳۵۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در دشت رسوبی و ۱/۱۷، ۱۷۲، ۸۸، ۲۲۹۲، ۲۵۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شد. پتاسیم کل و هم‌چنین شکل‌های مختلف پتاسیم به‌جز پتاسیم محلول در واحدهای مختلف فیزیوگرافی با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ($P < 0/05$) داشتند. در رابطه با اثر سطوح مختلف رده‌بندی، در تمامی سطوح مورد بررسی شکل‌های تبدالی و غیرتبدالی دارای تفاوت معنی‌دار ($P < 0/05$) بودند.

نتیجه‌گیری: مطالعه حاضر نشان داد که پستی و بلندی در قالب واحدهای مختلف فیزیوگرافی با کنترل میزان رطوبت، تابش خورشید دریافت شده و هم‌چنین سرعت هوادیدگی به ایجاد تفاوت‌هایی در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رده‌بندی خاک منجر شود. مجموعه این عوامل سبب مشاهده تفاوت‌های معنی‌دار در میزان شکل‌های مختلف پتاسیم در واحدهای مختلف فیزیوگرافی شد. به دلیل عدم کاربرد اختلافات بسیار فاحش در سطوح مختلف رده‌بندی تا سطح زیرگروه پیشنهاد می‌گردد که به‌منظور پایش بهتر عنصر پتاسیم برای دستیابی به کشاورزی پایدار حداقل از طبقه‌بندی خاک‌ها در سطح فامیل استفاده نمود تا تفاوت‌ها بهتر درک شود. هم‌چنین لازم به ذکر است که نوع ماده مادری، اقلیم، توپوگرافی و دیگر شرایط محیطی می‌تواند بر میزان دقت مطالعه در مناطق مختلف اثر بگذارند که آن‌ها را نباید در هنگام انتخاب میزان دقت مطالعه فراموش نمود.

استناد: انجوی‌نژاد، سید محمود، باقرنژاد، مجید، ابطحی، سید علی، قاسمی فسایی، رضا، زارعی، مهدی (۱۴۰۲). اثر سطوح مختلف رده‌بندی و پستی و بلندی بر وضعیت پتاسیم خاک‌های سپیدان استان فارس. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۳ (۱)، ۷۵-۹۳.

DOI: 10.22069/EJSMS.2023.20544.2071



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

در قرن هفدهم برای نخستین بار در هلند KNO_3 به عنوان یک ماده غذایی مهم برای گیاهان شناخته شد که سبب شد پتاسیم (K) نیز به عنوان یک عنصر مهم برای رشد گیاه معرفی گردد (۱۰). پتاسیم از جمله عناصر مهم در تغذیه گیاهان است و بعد از نیتروژن دومین ماده غذایی عمده جذب شده توسط گیاهان است (۱۱). هم‌چنین می‌توان بیان نمود که پتاسیم فراوان‌ترین عنصر موجود در خاک می‌باشد که با توجه به ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مقادیر آن از مکانی به مکان دیگر در خاک تغییر می‌کند (۱۲). این واقعیت در انتقال محصولات فتوسنتزی و انرژی به گیاه، تحریک رشد لگوم‌ها و در دسترس بودن عناصری مانند پتاسیم و نیتروژن نقشی اساسی را بازی می‌کند (۱۳ و ۱۴). پتاسیم به بهبود فتوسنتز، کنترل باز شدن روزنه‌ها، بهبود استفاده از نیتروژن و افزایش انتقال برای افزایش عملکرد محصول کمک می‌کند (۱۵). این عنصر در خاک به چهار شکل محلول، تبادل‌ی، غیرتبادل‌ی و پتاسیم کل یافت می‌شود (۱۶). توزیع این شکل‌ها در عمق و فضای خاک وابسته به برخی از عوامل مهم محیطی و خاکی متفاوت است (۱۷). در بین شکل‌های مختلف پتاسیم واکنش‌های تعادلی پویایی وجود دارد که آزادسازی و یا تثبیت آن را با توجه ویژگی‌ها و فرآیندهای بیولوژیکی می‌کنند (۱۸). عوامل زراعی - زیست‌محیطی مذکور شامل ماده مادری خاک، درجه هوادیدگی خاک، توپوگرافی، و تعادل مواد غذایی می‌باشد (۱۹، ۲۰، ۲۱ و ۲۲). مناطق خاصی از جهان، مانند استرالیا، چین و ایران به دلیل شرایط خاص اقلیمی یا کوددهی طولانی‌مدت کمبود پتاسیم در محصولات زراعی را در مناطق وسیع نشان می‌دهند، در حالی که پتاسیم فراوانی طبیعی در خاک‌ها دارد (۱۵، ۲۳، ۲۴). با این حال در اروپا با وجود گزارش‌های کمبود یا

تغییرات خاک‌های یک زمین‌نما با توجه به اقلیم، موجودات زنده، ماده مادری، پستی و بلندی و زمان صورت می‌پذیرد (۱). مشخصات خاک‌های هر منطقه متأثر از عامل پستی و بلندی است. این عامل شامل پیکره‌بندی سطح زمین است که خود شکل کلی و تفاوت در ارتفاع موقعیت‌ها را شامل نیز می‌شود (۲). در مناطقی که پستی و بلندی متأثر از عامل پستی و بلندی است، چندین آزمایش فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی خاک به منظور مشخصه‌سازی خاک و بررسی پیدایش آن صورت می‌پذیرد (۳ و ۴). به طور کلی پستی و بلندی می‌تواند در سطح گروه بزرگ و سری رده‌بندی خاک‌های یک منطقه را تحت‌تأثیر قرار دهد (۵). تفاوت در موقعیت هیدرولوژی و ویژگی‌های خاک ممکن است به علت اختلاف کمی در ارتفاع (چند متر) صورت پذیرد. این ویژگی‌ها با تأثیر غیرمستقیم روی چگونگی تابش خورشید، چگونگی آب و هوا، بارش و باد، توسعه و تکامل خاک را نیز تحت‌تأثیر قرار می‌دهند (۶). پستی و بلندی خاک همانند سایر عوامل تشکیل‌دهنده خاک ارتباط بسیار نزدیکی با ویژگی‌های خاک دارند. بنابراین به‌منظور تشخیص ویژگی‌های خاک شکل ناپیوستگی‌های سطح زمین می‌توان از آن به عنوان بهترین شاخص یاد کرد (۷). به همین جهت اثرات مستقیم و غیرمستقیمی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله درصد رس، ماده آلی، واکنش خاک، کربنات کلسیم، کانی‌شناسی، میزان رطوبت رنگ و حتی غلظت عناصر غذایی مانند فسفر و آهن مشهود خواهد بود (۸). بررسی اثر موقعیت‌های پستی و بلندی مختلف بر ویژگی‌های خاک در هند نشان داد که مقادیر رس، نیتروژن، پتاسیم و فسفر در دسترس بالاتری در اراضی پست نسبت به موقعیت‌های میانی و اراضی مرتفع وجود دارد (۹).

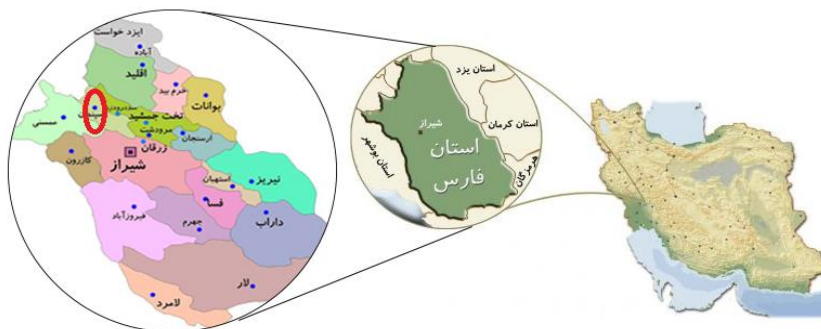
مواد و روش‌ها

استان فارس با مساحتی در حدود ۱۲۲۶۰۸ کیلومتر مربع در جنوب ایران واقع شده است. سپیدان با وسعت ۲۸۴۶ کیلومتر مربع از شهرستان‌های مهم استان فارس در تامین محصولات زراعی و باغی است و رژیم حرارتی و رطوبتی آن به ترتیب مزیک و زیریک می‌باشد. ردیف پستی و بلندی مورد مطالعه در این شهرستان در موقعیت جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۱ دقیقه ۴۹/۳۴ ثانیه شمالی تا ۳۰ درجه و ۱۲ دقیقه ۳۶/۸۶ ثانیه شمالی و ۵۲ درجه و ۱ دقیقه ۲۴/۵۸ ثانیه شرقی تا ۵۲ درجه و ۲ دقیقه ۵۳/۵۳ ثانیه شرقی بود و بر روی آن تعداد ۸ خاک‌رخ حفر گردید (شکل ۱). تشریح نیم‌رخ خاک بر اساس راهنمای تشریح خاک صورت پذیرفت (۳۲) و از افق‌های مشخصه به میزان کافی نمونه خاک برداشته و پس از انتقال به آزمایشگاه نمونه‌ها هوا خشک شدند و از الک ۲ میلی‌متری جهت بررسی‌های بعدی عبور داده شد. به منظور انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتر (۳۳) برآورد شد. کربنات کلسیم معادل (CCE) توسط خشتی‌سازی با اسید هیدروکلریدیک (۳۴) و کربن آلی (O.C) به روش اکسیداسیون تر (۳۵) اندازه‌گیری شدند. پ‌هاش و قابلیت هدایت الکتریکی خاک به ترتیب در گل اشباع و عصاره تهیه شده از آن و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش جایگزینی کاتیون‌های قابل تبادل با استات سدیم برآورد شدند (۳۶). محتوای پتاسیم حاضر در شکل‌های مختلف با استفاده از روش‌های اجمالی به شرح زیر اندازه‌گیری شد (۳۷): پتاسیم محلول با استفاده از تعلیق ۱:۵ (آب: خاک) عصاره‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری پتاسیم تبادلی از عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ نرمال پ‌هاش ۷ استفاده شد. مقدار پتاسیم تبادلی پس از کسر مقدار پتاسیم محلول از مقدار پتاسیم استخراج شده توسط استات آمونیوم محاسبه گردید. پتاسیم غیرتبادلی پس از کسر

کاهش پتاسیم خاک در مقیاس منطقه‌ای به ویژه در کشورهای اطراف دریای بالتیک و انگلستان کمبود آن گسترده نیست (۲۵ و ۲۶). تغییرات قابل‌توجهی در شکل‌های پتاسیم کل، غیرتبادلی و تبادلی در امتداد موقعیت‌های مختلف پستی و بلندی شیب خاک توسط هواپدگی کانی‌ها و شرایط ژئومورفولوژیکی صورت می‌پذیرد (۲۷). در همین راستا، مطالعه تأثیر کاربری زمین بر روی شکل‌های مختلف پتاسیم خاک در نیجریه نشان داد که مقدار پتاسیم کل، غیرتبادلی، تبادلی، محلول و هم‌چنین پ‌هاش در موقعیت‌های پستی و بلندی از موقعیت‌های فوقانی به میانی به پایین تغییر می‌کند (۲۸). نجفی قیری و همکاران (۲۹) با بررسی ارتباط رده‌بندی خاک و میزان ذخیره پتاسیم بیان داشتند هیستوسول‌ها و انتی‌سول‌های درشت بافت کم‌ترین و آلفی‌سول‌ها و ورتی‌سول‌ها بیشترین مقدار ذخیره پتاسیم را دارند. مشاهده تفاوت در ویژگی‌های شیمیایی مانند پتاسیم غیرتبادلی در دو راسته خاک اینسپتی‌سول و آلفی‌سول که به ترتیب بر روی یک دشت مرتفع و دشت دامنه‌ای قرار گرفته بودند نیز مهر تأییدی بر این ادعاست (۳۰). مطالعه ارتباط شکل‌های مختلف پتاسیم با تکامل خاک در برخی خاک‌های استان فارس نشان داد که خاک‌های دارای تکامل بیشتر، بیش‌ترین مقدار در تمام شکل‌های مختلف پتاسیم به جز پتاسیم محلول را نسبت به خاک‌های دارای تکامل کم‌تر دارند (۳۱). بنابراین با توجه به تغییر ویژگی‌ها و رده‌بندی خاک با عامل پستی و بلندی، اهمیت پتاسیم به عنوان یک عنصر پرمصرف در تغذیه گیاهان و هم‌چنین سابقه کشاورزی در منطقه سپیدان استان فارس، هدف از انجام این مطالعه بررسی اثر سطوح مختلف رده‌بندی و پستی و بلندی بر وضعیت پتاسیم خاک‌های منطقه سپیدان استان فارس می‌باشد.

در انتها میزان پتاسیم با دستگاه شعله‌سنج مدل Jenway PFP7 قرائت شد. تمامی تجزیه و تحلیل آماری توسط نرم‌افزار SPSS16 صورت پذیرفت. هم‌چنین مقایسه میانگین شکل‌های مختلف پتاسیم در رابطه با سطوح مختلف رده‌بندی و پستی و بلندی یا استفاده از آزمون آماری LSD صورت پذیرفت.

مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده توسط اسید نیتریک جوشان از پتاسیم عصاره‌گیری شده توسط استات آمونیوم محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری پتاسیم کل از محلول تیزآب سلطانی جهت عصاره‌گیری استفاده شد. پتاسیم ساختمانی نیز توسط کسر مقدار پتاسیم تمامی عصاره‌ها از مقدار پتاسیم کل محاسبه گردید.



شکل ۱- منطقه مطالعاتی.

Figure 1. Study area.

شوری در خاک‌ها به دلیل شستشوی املاح محلول می‌باشد که وابسته به بارندگی مناسب در منطقه مورد مطالعه است. بنابراین بیش‌ترین میزان این خصوصیت خاک در افق‌های پایینی خاک‌رخ‌های مورد مطالعه مشاهده شد. درصد کربنات کلسیم خاک در دامنه بین ۶۸/۸۶-۲۹/۸۴ با میانگین ۵۲/۹۹ درصد متغیر بود که نمایانگر آهکی بودن خاک‌های مورد مطالعه بود و این خصوصیت خاک در اکثر خاک‌رخ‌های مورد مطالعه با افزایش عمق روند افزایشی داشت. درصد کربن آلی در بازه ۱/۱۷-۰/۰۵ با میانگین ۰/۴۳ درصد قرار گرفت. ظرفیت تبادل کاتیونی منطقه مورد مطالعه کم بوده و در حدود ۸/۶۴ تا ۱۹/۲۲ با میانگین ۱۴/۷۲ سانتی‌مول بر گیلوگرم بوده که با کم بودن میزان رس فعال و کربن آلی همخوانی دارد. خاک‌های مورد مطالعه در این منطقه طبق رده‌بندی تاکسونومی در راسته‌های انتی‌سول^۱، اینسپتی‌سول^۲ و آلفی‌سول^۳ قرار گرفتند.

نتایج و بحث

بررسی تکامل خاک‌رخ‌های مورد مطالعه: در شهرستان سپیدان تعداد ۸ خاک‌رخ مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱). واحدهای فیزیوگرافی مورد بررسی با استفاده تصاویر ماهواره‌ای نرم‌افزار Google Earth و نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ بر اساس اختلاف در میزان شیب و ارتفاع، شناسایی شد که شامل واریزه‌های بادبزنی ثقلی-آبرفتی، دشت دامنه‌ای، دشت رسوبی، دشت سیلابی، تراس رودخانه‌ای، تپه می‌باشند. بافت خاک متوسط منطقه لوم رسی بوده که با توجه به فیزیوگرافی منطقه ممکن است هم‌چنین درجه تکامل خاک و آبشویی خاک، بافت‌های لوم، لوم شنی یا لوم سیلتی رسی در خاک‌رخ‌ها مشاهده گردد. پ‌هاش خاک‌ها به دلیل بارندگی خوب منطقه مطالعاتی خنثی تا کمی قلیایی و در گستره ۷/۶-۷/۲۸ با میانگین ۷/۳۷ قرار دارد که تغییرات این ویژگی خاک با عمق نامنظم می‌باشد. قابلیت هدایت الکتریکی خاک‌ها در گستره ۰/۵۲-۰/۲۶ با میانگین ۰/۳۸ دسی‌زیمنس بر متر قرار دارد که بیانگر عدم وجود مسأله

- 1- Entisols
- 2- Inceptisols
- 3- Alfisols

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌های مطالعاتی و طبقه‌بندی آن‌ها بر اساس رده‌بندی تاکسونومی ۲۰۱۴ (۳۲).

Table 1. Physicochemical properties of studied soil profiles and their classification based on taxonomy 2014 (32).

افق Horizon	عمق Depth (cm)	کلاس بافتی Textural class	رس Clay (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	کربن آلی O.C (%)	کربنات کلسیم معادل CCE (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC ($\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}^{-1}$)	قابلیت هدایت الکتریکی EC (dS/m^{-1})	پ‌هاش pH
۱ خاک‌رخ / Profile 1: Typic Haploxerepts										
واریزه بادبزنی ثقلی-آبرفتی / Physiographic unit: Colluvial-alluvial fan / واحد فیزیوگرافی										
A	0-22	Clay loam	27.80	23.00	49.20	2.53	22.32	18.74	0.47	7.3
Bw	22-45	Silty clay loam	36.70	19.50	43.80	0.58	20.90	20.46	0.43	7.37
C	45-80	Clay loam	36.70	23.00	40.30	0.58	19.33	22.4	0.40	7.36
۲ خاک‌رخ / Profile 2: Typic Haploxerepts										
دشت دامنه‌ای / Physiographic unit: Piedmont plain / واحد فیزیوگرافی										
Ap	0-15	Loam	24.20	33.70	42.10	2.53	36.66	17.66	0.69	7.6
Bw	15-35	Clay loam	27.80	24.80	47.40	1.07	44.18	15.04	0.53	7.22
Cr	35-65	Clay loam	33.10	30.10	36.80	0.78	29.14	19.10	0.56	7.25
۳ خاک‌رخ / Profile 3: Mollic Haploxeralfs										
دشت رسوبی / Physiographic unit: Alluvial plain / واحد فیزیوگرافی										
A	0-15	Clay loam	27.80	24.80	47.40	1.65	26.32	17.20	0.47	7.34
Bt	15-45	Clay loam	36.70	21.20	42.10	0.87	15.50	22.46	0.39	7.37
Cr	45-80	Clay loam	33.10	28.40	38.50	0.87	15.50	18.28	0.41	7.39
۴ خاک‌رخ / Profile 4: Typic Haploxerepts										
دشت سیلابی / Physiographic unit: Flood plain / واحد فیزیوگرافی										
A	0-15	Clay loam	27.80	42.60	29.60	2.92	32.43	20.44	0.57	7.35
Bw	15-40	Loam	26.00	43.00	31.00	0.78	53.58	16.56	0.40	7.51
C	40-65	Clay loam	27.80	40.80	31.40	0.39	52.64	14.68	0.43	7.34
۵ خاک‌رخ / Profile 5: Typic Haploxerepts										
تراس رودخانه‌ای / Physiographic unit: River trace / واحد فیزیوگرافی										
A	0-15	Loam	22.40	33.70	43.90	1.17	46.06	14.44	0.46	7.28
Bw	15-40	Clay loam	27.80	30.10	42.10	0.39	38.54	15.68	0.35	7.30
C	40-85	Clay loam	34.90	26.60	38.50	0.39	38.54	19.22	0.33	7.40
۶ خاک‌رخ / Profile 6: Typic Calcixerepts										
دشت رسوبی / Physiographic unit: Alluvial plain / واحد فیزیوگرافی										
Ap	0-23	Loam	26.00	35.50	38.50	0.97	29.84	16.98	0.52	7.48
Bk	23-45	Loam	26.00	35.50	38.50	0.48	54.28	15.56	0.46	7.34
C	45-85	Clay loam	27.80	39.10	33.10	0.29	50.29	16.42	0.40	7.29
۷ خاک‌رخ / Profile 7: Typic Calcixerepts										
تپه / Physiographic unit: Hill / واحد فیزیوگرافی										
Ap	0-20	Loam	26.00	31.90	42.10	0.48	58.51	14.26	0.40	7.39
Bk1	20-60	Clay loam	27.80	23.00	49.20	0.19	55.69	15.48	0.30	7.32
Bk2	60-100	Clay loam	31.40	30.10	38.50	0.25	59.69	17.26	0.32	7.37
C	100-130	Clay loam	29.60	35.50	34.90	0.05	59.69	15.9	0.26	7.45
۸ خاک‌رخ / Profile 8: Typic Xerorthents										
تپه / Physiographic unit: Hill / واحد فیزیوگرافی										
A	0-25	Sandy loam	18.90	56.90	24.20	0.39	60.16	10.23	0.42	7.36
C1	25-60	Loam	18.90	43.00	38.10	0.19	68.86	9.53	0.39	7.36
C2	60-110	Sandy loam	17.10	57.20	25.70	0.05	68.58	8.64	0.28	7.40

شکل از پتاسیم در قالب واحد فیزیوگرافی، روند دشت دامنه‌ای (۱/۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < تپه (۱/۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < دشت رسوبی (۰/۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < دشت سیلابی (۰/۷۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < تراس رودخانه‌ای = واریزه‌های بادبزنی ثقلی-آبرفتی (۰/۷۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) یافت شد. پتاسیم تبادلی در بازه ۱۶۴ تا ۴۶۶ با میانگین ۲۷۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در منطقه مطالعاتی متغیر بود که در حدود ۱/۹۱ تا ۱۷/۰۸ و به طور میانگین ۸/۸۴ درصد از پتاسیم کل را شامل گردید. مقادیر کمینه و بیشینه این شکل به ترتیب در افق‌های C خاک‌رخ ۸ و A خاک‌رخ ۴ یافت شد که به احتمالاً به دلیل بیشبود و کمبود مقادیر رس در این افق‌ها و هم‌چنین مقادیر بالای کربن آلی است. هم‌چنین می‌تواند به علت نوع کانی‌رسی، ظرفیت تبادل کاتیونی، نوع و میزان کاتیون‌های جانشین این اتفاق رخ داده باشد (۴۱). در ارتباط با اثر پستی و بلندی بر روی این شکل از پتاسیم در قالب واحد فیزیوگرافی، روند واریزه‌های بادبزنی ثقلی-آبرفتی (۴۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < دشت سیلابی (۳۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < دشت رسوبی (۳۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < تراس رودخانه‌ای (۲۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < دشت دامنه‌ای (۲۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < تپه (۱۷۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) یافت شد.

بررسی کلی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌رخ‌های مطالعه شده و تکامل خاک آن‌ها نشان داد که از توپوگرافی می‌توان به عنوان فاکتور کنترل‌کننده غالب در منطقه مطالعاتی نام برد، به طوری که شیب توزیع خاک را توسط فرسایش و تأثیر بر ویژگی‌های خاک سرعت می‌بخشد (۳۸). بنابراین در این مناطق اراضی مرتفع، دارای خاک‌های جوان و فاقد تکامل پروفیلی یا دارای تکامل پروفیلی اندک بوده‌اند، در حالی که در اراضی کم‌ارتفاع شامل خاک‌های تکامل‌یافته‌تر با افق‌های کلسیک^۱ و آرجیلیک^۲ بوده‌اند. مطالعه تأثیر پستی و بلندی در تحول و تکامل خاک‌های منطقه بیضا در استان فارس نیز چنین مشاهداتی را تأیید کرد (۳۹).

شکل‌های مختلف پتاسیم در ارتباط با پستی و بلندی: همان‌طور که شکل‌های مختلف پتاسیم خاک‌رخ‌های منطقه مطالعاتی در جدول ۲ نشان داده شده است، مقدار پتاسیم محلول در بازه ۰/۳۹ تا ۳/۹۰ با میانگین ۰/۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم تغییر داشت که در حدود ۰/۰۰۴ تا ۰/۲۱۰ با میانگین ۰/۰۳۷ درصد از پتاسیم کل منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود. مقادیر کمینه و بیشینه این شکل از پتاسیم به ترتیب در افق C و افق Btk2 خاک‌رخ ۷ یافت شد. دلیل مشاهده میانگین پایین این شکل از پتاسیم می‌تواند تداوم وجود رطوبت در خاک برای شستشوی آن از خاک‌رخ باشد. به طور کلی سطح پتاسیم محلول خاک به تخلیه این عنصر در هنگام جذب توسط گیاه، آبخوبی، رهاسازی و جایگزینی شکل‌های دیگر پتاسیم از کانی‌های خاک وابسته است (۴۰). در ارتباط با اثر پستی و بلندی بر روی این

1- Calcic
2- Argilic

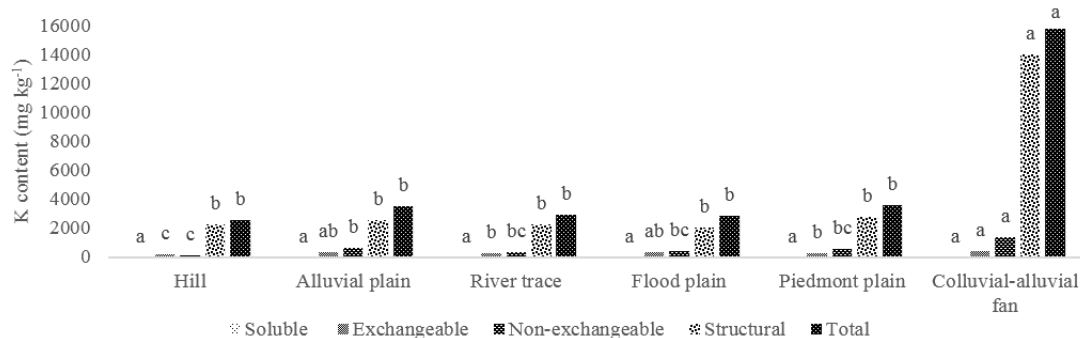
جدول ۲- شکل‌های مختلف پتاسیم و درصد نسبی آن‌ها در ارتباط با پستی و بلندی.

Table 2. Potassium forms contents and their relative percentage in relation with topography.

		شکل‌های پتاسیم خاک Soil potassium forms				
		پتاسیم محلول Soluble potassium	پتاسیم تبادلی Exchangeable potassium	پتاسیم غیرتبادلی Non-exchangeable potassium	پتاسیم ساختمانی Structural potassium	پتاسیم کل Total potassium
واحد فیزیوگرافی Physiographic unit		میلی‌گرم بر کیلوگرم (درصد نسبی) mg kg ⁻¹ (relative percentage)				
واریزه بادبزنی Colluvial-alluvial fan	کمینه Minimum	0.64 (0.003)	380 (1.91)	1120 (5.74)	3663 (65.42)	5600 (100)
	بیشینه Maximum	0.78 (0.011)	456 (8.14)	11480 (26.43)	20491 (92.30)	22400 (100)
	میانگین Mean	0.73 (0.006)	421 (4.00)	1360 (12.93)	14051 (83.06)	15833 (100)
دشت دامنه‌ای Piedmont plain	کمینه Minimum	1.17 (0.032)	200 (5.41)	372 (9.79)	2334 (70.33)	3320 (100)
	بیشینه Maximum	1.28 (0.035)	304 (9.16)	680 (20.48)	3220 (84.76)	3800 (100)
	میانگین Mean	1.21 (0.033)	236 (6.66)	565 (15.89)	2803 (77.42)	3606 (100)
دشت رسوبی Alluvial plain	کمینه Minimum	0.78 (0.017)	236 (7.38)	168 (7.88)	1633 (62.69)	2060 (100)
	بیشینه Maximum	1.17 (0.038)	428 (12.52)	1200 (27.29)	3226 (84.71)	4660 (100)
	میانگین Mean	0.91 (0.028)	321 (9.43)	656 (16.41)	2541 (74.13)	3520 (100)
دشت سیلابی Flood plain	کمینه Minimum	0.64 (0.023)	258 (9.15)	240 (8.51)	1913 (61.71)	2660 (100)
	بیشینه Maximum	0.88 (0.029)	466 (15.03)	720 (23.23)	2321 (82.32)	3100 (100)
	میانگین Mean	0.76 (0.027)	352 (12.22)	436 (14.94)	2071 (72.81)	2860 (100)
تراس رودخانه‌ای River trace	کمینه Minimum	0.64 (0.023)	244 (7.58)	312 (11.73)	2037 (76.59)	2660 (100)
	بیشینه Maximum	0.78 (0.029)	310 (11.65)	432 (13.42)	2543 (78.98)	3220 (100)
	میانگین Mean	0.73 (0.26)	270 (9.48)	372 (12.81)	2249 (77.68)	2893 (100)
تپه Hill	کمینه Minimum	0.39 (0.008)	164 (3.60)	68 (1.75)	726 (75.56)	960 (100)
	بیشینه Maximum	3.90 (0.210)	192 (17.08)	128 (8.00)	4567 (94.63)	4860 (100)
	میانگین Mean	1.17 (0.067)	172 (9.62)	88 (4.75)	2292 (85.56)	2556 (100)
منطقه مطالعاتی Study area	کمینه Minimum	0.39 (0.004)	164 (1.91)	68.00 (1.75)	726 (61.71)	960 (100)
	بیشینه Maximum	3.90 (0.210)	466 (17.08)	1480 (27.29)	20491 (94.63)	22400 (100)
	میانگین Mean	0.96 (0.037)	279 (8.84)	510 (12.06)	3792 (79.07)	4583 (100)

میلی گرم بر کیلوگرم) < دشت رسوبی (۲۵۴۱ میلی گرم بر کیلوگرم) < تپه (۲۲۹۲ میلی گرم بر کیلوگرم) < تراس رودخانه‌ای (۲۲۴۹ میلی گرم بر کیلوگرم) < دشت سیلابی (۲۰۷۱ میلی گرم بر کیلوگرم) یافت شد. پتاسیم کل در بازه ۹۶۰ تا ۲۲۴۰۰ با میانگین ۴۵۸۳ میلی گرم بر کیلوگرم در منطقه مطالعاتی متغیر بود. مقادیر کمینه و بیشینه این شکل به ترتیب در افق‌های C2 خاک‌رخ ۸ و A خاک‌رخ ۱ یافت شد. دلیل این مشاهده هوادیدگی مناسب است. در ارتباط با اثر پستی و بلندی بر روی این شکل از پتاسیم در قالب واحد فیزیوگرافی، روند واریزه‌های بادبزی ثقلی-آبرفتی (۱۵۸۳۳ میلی گرم بر کیلوگرم) < دشت دامنه‌ای (۳۶۰۶ میلی گرم بر کیلوگرم) < دشت رسوبی (۳۵۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم) < تراس رودخانه‌ای (۲۸۹۳ میلی گرم بر کیلوگرم) < دشت سیلابی (۲۸۶۰ میلی گرم بر کیلوگرم) < تپه (۲۵۵۴ میلی گرم بر کیلوگرم) یافت شد. مشاهدات به طور کلی نشان داد پستی و بلندی با کنترل رطوبت (مقدار بارندگی یا رواناب سطحی)، میزان دریافت تابش خورشید و همچنین سرعت بخشیدن به فرآیند هوادیدگی در قالب افزایش عمق و تکامل خاک بر مقدار پتاسیم منطقه و شکل‌های آن اثر گذاشته است. باتوجه به شکل ۲، پتاسیم کل و مقادیر تمامی شکل‌های پتاسیم به جز شکل محلول در واحدهای فیزیوگرافی مختلف دارای تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) بودند. یافته‌های حاضر نشان داد که پستی و بلندی می‌تواند توزیع شکل‌های مختلف پتاسیم تغییر دهد. مطالعات پیشین نیز تغییرات قابل‌توجهی در شکل‌های مختلف پتاسیم در امتداد موقعیت‌های مختلف پستی و بلندی شیب خاک را مرتبط با تفاوت هوادیدگی کانی‌ها و شرایط ژئومورفولوژیکی دانسته‌اند (۲۷).

پتاسیم غیرتبادلی در بازه ۶۸۰۰ تا ۱۴۸۰ با میانگین ۵۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم در منطقه مطالعاتی متغیر بود که در حدود ۱/۷۵ تا ۲۷/۲۹ و به طور میانگین ۱۲/۰۶ درصد از پتاسیم کل را شامل گردید. مقادیر کمینه و بیشینه این شکل به ترتیب در افق Bw خاک‌رخ ۲ به دلیل آبشویی و نوع رس و افق A خاک‌رخ ۱ به دلیل هوادیدگی نسبتاً قوی کانی‌های حاوی پتاسیم در خاک سطحی یافت شد. این شکل از پتاسیم به راحتی در دسترس گیاه قرار نمی‌گیرد اما با سطح ذخایر پتاسیم قابل تبادل و محلول خاک در ارتباط است (۴۲). همچنین این شکل از پتاسیم در بین لایه‌های کانی‌های ۲:۱ محبوس شده و می‌تواند به تدریج آزاد شود (۴۳). در ارتباط با اثر پستی و بلندی بر روی این شکل از پتاسیم در قالب واحد فیزیوگرافی، روند واریزه‌های بادبزی ثقلی-آبرفتی (۱۳۶۰ میلی گرم بر کیلوگرم) < دشت رسوبی (۶۵۶ میلی گرم بر کیلوگرم) < دشت دامنه‌ای (۵۶۵ میلی گرم بر کیلوگرم) < دشت سیلابی (۴۳۶ میلی گرم بر کیلوگرم) < تراس رودخانه‌ای (۳۷۲ میلی گرم بر کیلوگرم) < تپه (۸۸ میلی گرم بر کیلوگرم) یافت شد. پتاسیم ساختمانی در بازه ۷۲۶ تا ۲۰۴۹۱ با میانگین ۳۷۹۲ میلی گرم بر کیلوگرم در منطقه مطالعاتی متغیر بود که در حدود ۶۱/۷۱ تا ۹۴/۶۳ و به طور میانگین ۷۹/۰۷ درصد از پتاسیم کل را شامل گردید. مقادیر کمینه و بیشینه این شکل به ترتیب در افق‌های C2 خاک‌رخ ۸ و A خاک‌رخ ۱ یافت شد که این اختلاف به دلیل افزایش هوادیدگی و تکامل خاک و کاهش این شکل از پتاسیم در اثر ناپایداری کانی‌های میکا و کاهش آن‌هاست (۴۴). در ارتباط با اثر پستی و بلندی بر روی این شکل از پتاسیم در قالب واحد فیزیوگرافی، روند واریزه‌های بادبزی ثقلی-آبرفتی (۱۴۰۵۱ میلی گرم بر کیلوگرم) < دشت دامنه‌ای (۲۸۰۳)



شکل ۲- مقایسه شکل‌های مختلف پتاسیم در ارتباط با واحد فیزیوگرافی. حروف مختلف بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد است.

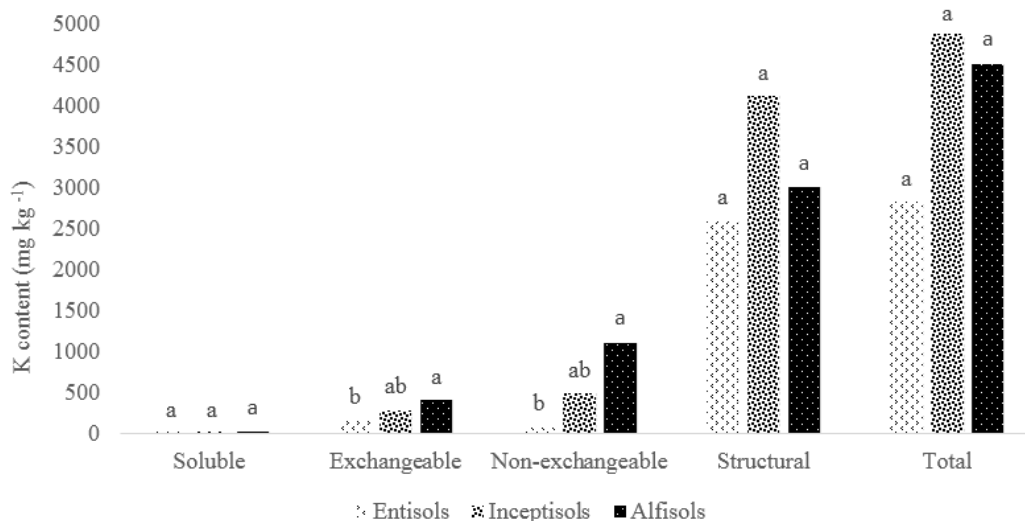
Figure 2. Different K forms comparison in relation with physiographic units. Means followed by different letters are significantly different at $P < 0.05$.

میلی‌گرم بر کیلوگرم) < انتی سول (۷۲/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. این شکل از پتاسیم در بین لایه‌های کانی‌های ۲:۱ محبوس شده و می‌تواند به تدریج آزاد شود. اگرچه آبشویی، نوع رس غالب و هم‌چنین میزان هواپایدگی هر یک به صورت جداگانه بر تغییرات مقادیر پتاسیم غیرتبادلی اثر می‌گذارد اما هنگام تفسیر مشاهدات، اثر تلفیقی تغییرات آن‌ها را باید مدنظر قرار داد. توزیع شکل ساختمانی به صورت اینسپتی‌سول (۴۱۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < آلفی سول (۲۹۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < انتی سول (۲۵۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. مشاهده چنین روندی احتمالاً به دلیل ناپایداری میکا و کاهش آن در راسته‌های مورد بررسی است (۴۴). علی‌رغم این‌که هواپایدگی نیز می‌تواند تأثیر به‌سزایی روی این روند داشته باشد، عواملی هم‌چون ماده مادری آهکی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه نیز در این مشاهده مزید بر علت هستند. هم‌چنین تفاوت میزان رطوبت دریافتی سالانه (به شکل رواناب از بالا دست یا به شکل بارندگی و آبیاری) روی نقاط مختلف ردیف پستی و بلندی مورد بررسی و تفاوت زهکشی آن‌ها می‌تواند سبب تغییر میزان هواپایدگی خاک و در نهایت توزیع شکل ساختمانی پتاسیم گردد. از آن‌جایی‌که قسمت عمده پتاسیم کل خاک را پتاسیم ساختمانی تشکیل می‌دهد،

شکل‌های مختلف پتاسیم در ارتباط با سطوح مختلف رده‌بندی: به منظور بررسی ارتباط سطوح مختلف رده‌بندی با توزیع شکل‌های مختلف پتاسیم، چهار سطح راسته، زیرراسته، گروه بزرگ و زیرگروه انتخاب شدند. در ارتباط با سطح رده‌بندی راسته، سه راسته خاک انتی‌سول، اینسپتی‌سول و آلفی‌سول در منطقه شناسایی شد که این سه راسته در توزیع پتاسیم کل و شکل‌های مختلف پتاسیم به جز شکل‌های تبادلی و غیرتبادلی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) نداشتند (شکل ۳). روند توزیع شکل محلول به صورت اینسپتی‌سول (۰/۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < آلفی‌سول = انتی‌سول (۰/۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. چنین مشاهده‌ای احتمالاً به دلیل قرار گرفتن خاک‌رخ‌های مطالعه شده روی نقاط پایدار و ناپایدار ژئومورفیک که آبشویی پتاسیم محلول را از بدنه خاک کنترل می‌کند، رخ داده است. روند توزیع شکل تبادلی به صورت آلفی‌سول (۳۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < اینسپتی‌سول (۲۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < انتی‌سول (۱۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود که احتمالاً به دلیل وجود تفاوت در مقادیر کربن آلی، مقادیر رس و توزیع کانی‌های رسی این راسته‌ها باشد (۴۱). روند توزیع شکل غیرتبادلی به صورت آلفی‌سول (۱۱۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < اینسپتی‌سول (۴۸۵

بود (۳۱). عدم مشابهت کامل نتایج فعلی با مطالعات پیشین می‌تواند به دلیل اثر توپوگرافی در ایجاد تفاوت معنی‌دار توزیع شکل‌های مختلف پتاسیم باشد.

روند توزیع مشابه با شکل ساختمانی یافت شد. روند افزایش شکل‌های مختلف پتاسیم استخراج شده در رابطه با تکامل خاک در راسته‌های مختلف خاک تا حدودی در راستای تأیید یافته‌های مطالعات پیشین



شکل ۳- مقایسه شکل‌های مختلف پتاسیم در ارتباط با سطح رده‌بندی (راسته). حروف مختلف بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد است.

Figure 3. Different K forms comparison in relation with classification levels (order). Means followed by different letters are significantly different at $P < 0.05$.

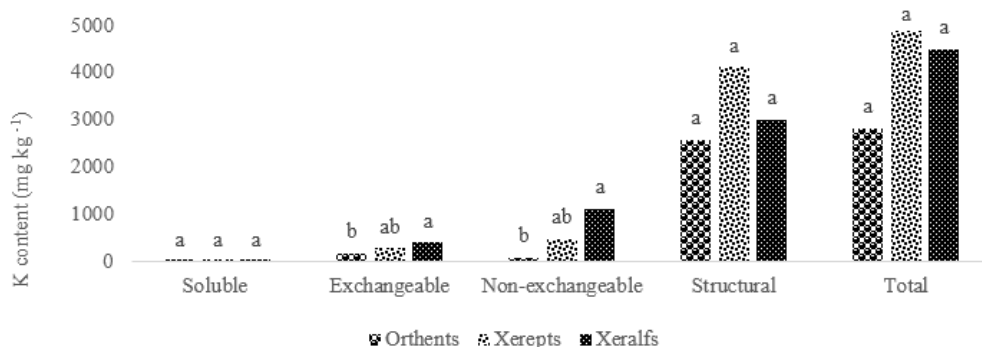
بنابراین از آنجایی که رژیم‌های رطوبتی و حرارتی (عامل اقلیم) در یک منطقه با مقیاس کوچک تغییرات گسترده‌ای ندارند، می‌توان بیان نمود که این مشاهده منطقی به نظر می‌رسد. روند توزیع شکل محلول به صورت زیرپتیز (۰/۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < زرآلفز = اُرتنتز (۰/۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و روند توزیع شکل تبدالی به صورت زرآلفز (۳۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < زرپتیز (۲۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < اُرتنتز (۱۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشند. روند برای توزیع شکل غیرتبدالی به صورت زرآلفز (۱۱۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < زرپتیز (۴۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < اُرتنتز (۷۲/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و روند برای توزیع شکل ساختمانی به صورت زرپتیز (۴۱۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < زرآلفز (۲۹۹۳ میلی‌گرم بر

در ارتباط با سطح رده‌بندی زیرراسته، سه زیرراسته خاک اُرتنتز^۱، زرپتیز^۲ و زرآلفز^۳ در منطقه شناسایی شد که این سه زیرراسته در توزیع پتاسیم کل و شکل‌های مختلف پتاسیم به جز شکل‌های تبدالی و غیرتبدالی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) نداشتند (شکل ۴). دلیل این مشاهده می‌تواند به این موضوع برگردد که در سطح رده‌بندی زیرراسته عمده تغییرات و نام‌گذاری‌ها بر مبنای اقلیم و وجود یا عدم وجود آب‌گرفتگی می‌باشد مگر در موارد خاصی مانند راسته ایریدی‌سول‌ها^۴ که از افق‌های مشخصه نیز در نام‌گذاری زیرراسته به عنوان مبنای استفاده می‌شوند.

- 1- Othents
- 2- Xerepts
- 3- Xeralfs
- 4- Aridisols

سطح زیرراسته نیز با دلایل ذکر شده در مورد راسته قابل توجه است.

کیلوگرم) < آرنتنز (۲۵۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. پتاسیم کل نیز روند مشابه با شکل ساختمانی را نشان داد. روندهای مشاهده شده در



شکل ۴- مقایسه شکل‌های مختلف پتاسیم در ارتباط با سطح رده‌بندی (زیرراسته). حروف مختلف بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد است.

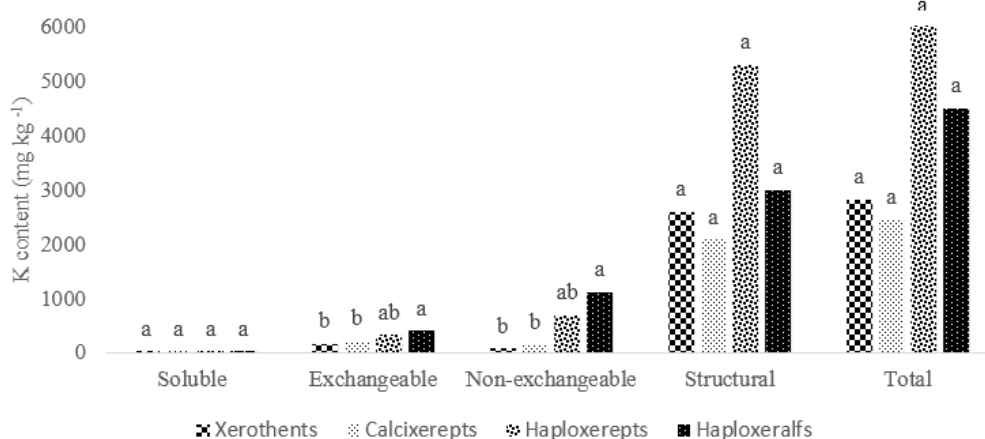
Figure 4. Different K forms comparison in relation with classification levels (suborder). Means followed by different letters are significantly different at $P < 0.05$.

روند توزیع شکل تبدالی به صورت هاپلوزرآلفز (۳۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < هاپلوزرپتز (۳۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < کلسی‌زرپتز (۲۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < زرآرنتنز (۱۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشند. روند برای توزیع شکل غیرتبدالی به صورت هاپلوزرآلفز (۱۱۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < هاپلوزرپتز (۶۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < کلسی‌زرپتز (۱۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < زرآرنتنز (۷۲/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و روند برای توزیع شکل ساختمانی به صورت هاپلوزرپتز (۲۹۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < زرآرنتنز (۲۵۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < کلسی‌زرپتز (۲۰۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. پتاسیم کل نیز روند مشابه با شکل ساختمانی را نشان داد. روندهای مشاهده شده در سطح گروه بزرگ علاوه بر دلایل ذکر شده در مورد راسته و زیرراسته به دلیل تاثیر وجود افق‌های مختلف مانند کمبیک^۵، کلسیک و آرچیلیک قابل توجه است.

در ارتباط با سطح رده‌بندی گروه بزرگ، چهار گروه بزرگ خاک زرآرنتنز^۱، هاپلوزرپتز^۲، کلسی‌زرپتز^۳ و هاپلوزرآلفز^۴ در منطقه شناسایی شد که این چهار گروه بزرگ در توزیع پتاسیم کل و شکل‌های مختلف پتاسیم به جز شکل‌های تبدالی و غیرتبدالی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) نداشتند (شکل ۵). این مشاهده می‌تواند به این دلیل باشد که در سطح رده‌بندی گروه بزرگ، نام‌گذاری‌ها بر مبنای افق‌های مشخصه می‌باشد. بنابراین عدم وجود تغییرات گسترده مرتبط با عامل اقلیم در منطقه مطالعاتی که کوچک مقیاس هستند و هم‌چنین پرداختن کم‌تر به تفاوت‌های موجود در افق‌های مشخصه شناسایی شده می‌تواند منجر به چنین مشاهده‌ای شود. روند توزیع شکل محلول به صورت کلسی‌زرپتز (۱/۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < هاپلوزرآلفز = زرآرنتنز (۰/۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < هاپلوزرپتز (۰/۸۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و

- 1- Xerorthents
- 2- Haploxerepts
- 3- Calcixerepts
- 4- Haploxerals

5- Cambic



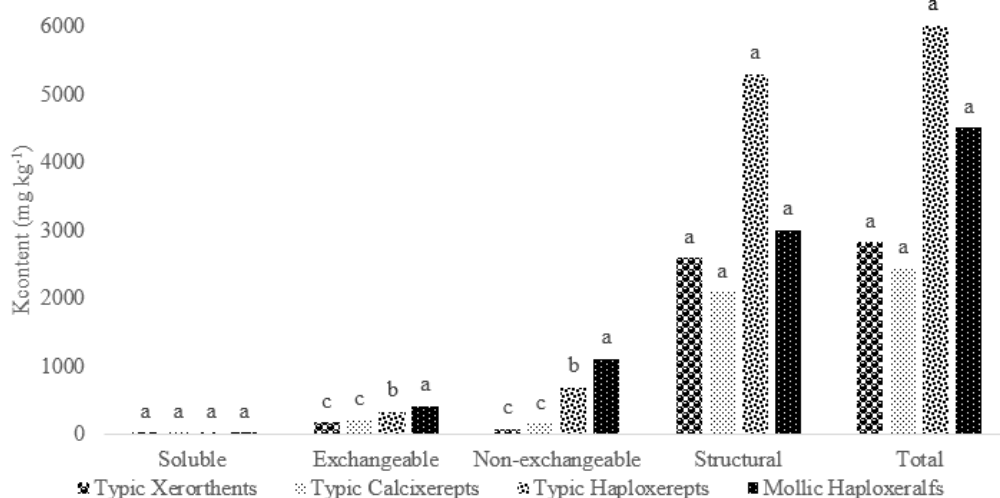
شکل ۵- مقایسه شکل‌های مختلف پتاسیم مرتبط با سطح رده‌بندی (گروه بزرگ). حروف مختلف بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد است.

Figure 5. Different K forms comparison in relation with classification levels (great groups). Means followed by different letters are significantly different at $P < 0.05$.

کیلوگرم) < مالیک هاپلوزرآلفز = تیپیک زرآرتنز (۰/۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < تیپیک هاپلوزرپنز (۰/۸۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و روند توزیع شکل تبدالی به صورت مالیک هاپلوزرآلفز (۳۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < تیپیک هاپلوزرپنز (۳۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < تیپیک کلسی‌زرپنز (۲۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < تیپیک زرآرتنز (۱۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشند. روند برای توزیع شکل غیرتبدالی به صورت مالیک هاپلوزرآلفز (۱۱۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < تیپیک هاپلوزرپنز (۶۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < تیپیک کلسی‌زرپنز (۱۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < تیپیک زرآرتنز (۷۲/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و روند برای توزیع شکل ساختمانی به صورت تیپیک هاپلوزرپنز (۵۲۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < مالیک هاپلوزرآلفز (۲۹۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < تیپیک زرآرتنز (۲۵۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < تیپیک کلسی‌زرپنز (۲۰۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. پتاسیم کل نیز روندی مشابه با شکل ساختمانی داشت.

در ارتباط با سطح رده‌بندی زیرگروه، چهار زیرگروه خاک تیپیک زرآرتنز^۱، تیپیک هاپلوزرپنز^۲، تیپیک کلسی‌زرپنز^۳ و مالیک هاپلوزرآلفز^۴ در منطقه شناسایی شد که این چهار زیر گروه در توزیع پتاسیم کل و شکل‌های مختلف پتاسیم به‌جز شکل‌های تبدالی و غیرتبدالی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) نداشتند (شکل ۶). این مشاهده می‌تواند به این دلیل باشد که در سطح رده‌بندی زیر گروه نام‌گذاری‌ها بر مبنای این‌که تمامی یا بخشی از ویژگی‌های گروه بزرگ خود را داشته باشند و هم‌چنین مشخصات اصلی راسته خود یا سایر راسته‌ها داشته باشند، می‌باشد. بنابراین چنین تغییرات جزئی در ماهیت خاک‌ها می‌تواند به اختلاف‌های معنی‌دار در شکل‌هایی از پتاسیم مانند شکل محلول و تبدالی که به عوامل خاکی و محیطی بیش‌تری وابسته هستند، منجر شود. با توجه به این موارد، روند توزیع شکل محلول به صورت تیپیک کلسی‌زرپنز (۱/۱۷ میلی‌گرم بر

- 1- Typic Xerothents
- 2- Typic Haploxerepts
- 3- Typic Calcixerepts
- 4- Mollic Haploxeralfs



شکل ۶- مقایسه شکل‌های مختلف پتاسیم مرتبط با سطح رده‌بندی (زیرگروه). حروف مختلف بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد است.

Figure 6. Different K forms comparison in relation with classification levels (subgroups). Means followed by different letters are significantly different at $P < 0.05$.

زهکشی و...) و هم‌چنین مدیریت مختلف اراضی (چه به لحاظ سطوح تصمیم‌گیری انسان و چه به لحاظ کاربری اراضی) است.

نتیجه‌گیری

بررسی خاک‌رخ‌های مطالعاتی نشان داد که خاک‌ها در راسته‌های انتی‌سول، اینسپتی‌سول و آلفی‌سول با توجه به سیستم رده‌بندی تاکسونومی ۲۰۱۴ قرار گرفتند. پستی و بلندی با ایجاد ریز اقلیم بر روی تشکیل و تکامل خاک‌های منطقه مطالعاتی تأثیر می‌گذارد به طوری که با کنترل رطوبت (مقدار بارندگی یا رواناب سطحی)، میزان دریافت تابش خورشید و هم‌چنین سرعت بخشیدن به فرآیند هوادیدگی می‌تواند تفاوت‌های در سطوح مختلف رده‌بندی آن‌ها ایجاد کند. پتاسیم کل در منطقه به طور میانگین ۴۵۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که با میزان رس و کانی‌های رسی حاوی پتاسیم مرتبط بود که این دو عامل نیز توسط میزان تکامل خاک و هوادیدگی پدوشیمیایی کنترل می‌گردند. در ارتباط با سطوح مختلف رده‌بندی،

با وجود این که مطالعه حاضر اثر سطوح مختلف رده‌بندی و پستی و بلندی را به خوبی مورد بررسی و تحلیل قرار داد اما اثر سایر عوامل مؤثر در تشکیل و تکامل خاک مانند کانی‌شناسی خاک و اثر ماده مادری نباید فراموش شود. بنابراین در ادامه مطلب اشاره‌ای گذرا به این موارد که سبب تغییرات احتمالی در توزیع شکل‌های مختلف پتاسیم می‌شوند، خواهد شد. با توجه به این که مواد مادری در خاک‌رخ‌های مورد مطالعه یکسان و آهکی بوده است، بنابراین اثر تقریباً یکسانی بر روی شکل‌های مختلف پتاسیم داشته است. از طرفی دیگر، کانی‌های مهم یافت شده در خاک‌رخ‌های مختلف منطقه مطالعاتی شامل ایلیت، کلریت، کائولینیت، اسمکتیت و کانی‌های مخلوط لایه بودند که توزیع نسبتاً مشابهی در سطح و عمق داشتند و سبب ایجاد تغییرات جزئی در شکل‌های مختلف پتاسیم خاک‌رخ‌ها شدند. باید در نظر داشت که تعمیم نتایج این پژوهش به سایر خاک‌ها نیازمند بررسی و مشابَهت کامل عوامل تعیین‌کننده متعدد (مانند کانی‌های خاک و درصد تغییرات آن‌ها، توپوگرافی،

برای دستیابی به کشاورزی پایدار باید حداقل از طبقه‌بندی خاک‌ها در سطح فامیل استفاده نمود تا تفاوت‌ها بهتر درک شود. با این حال نباید اثر نوع ماده مادری، اقلیم، توپوگرافی و دیگر شرایط دخیل در انتخاب میزان دقت مطالعه مناطق مختلف را فراموش نمود.

شکل‌های پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی در سطوح مختلف تفاوت معنی‌دار ($P < 0/05$) از خود نشان دادند. دلیل این امر عدم کاربرد اختلافات بسیار فاحش در سطوح مختلف رده‌بندی تا سطح زیرگروه توسط سیستم طبقه‌بندی آمریکایی بود. بنابراین پیشنهاد می‌گردد به منظور پایش بهتر عنصر پتاسیم

منابع

- Jenny, H. (1941). Factors of soil formation. *Mc Graw - Hill*, New York. 281p.
- Tsubo, M., Basnayake, J., Fukai, S., Sihathep, V., Siyavong, P., Sipaseuth, & Chanphengsay, M. (2006). Toposequential effects on water balance and productivity in rainfed lowland rice ecosystem in Southern Laos. *Field Crops Research*, 97 (2-3), 209-220. doi:10.1016/j.fcr.2005.10.004.
- Bispo, F. H. A., Silva, A. C., & Torrado, P. V. (2011). Highlands of the upper Jequitinhonha valley, Brazil: I-characterization and classification. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, 1069-1080. doi:10.1590/S0100-06832011000400001.
- Duda, B. M., Weindorf, D. C., Chakraborty, S., Li, B., Man, T., Paulette, L., & Deb, S. (2017). Soil characterization across catenas via advanced proximal sensors. *Geoderma*, 298, 78-91. doi:10.1016/j.geoderma.2017.03.017.
- Samndi, M. A., & Tijjani, M. A. (2014). Distribution of potassium forms along a hillslope positions of newer basalt on the Jos Plateau Nigeria. *International Journal of Soil Science*, 9 (3), 90-100. doi:10.3923/ijss.2014.90.100.
- Spector, C. (2001). Soil Forming Factors: The Story of Rocks and Soil. *NASA's Goddard Space Flight Center*.
- Mahmoodi, S. H., Heydari, A., Masihabadi, M. H., & Stoops, G. (2007). Soil-landscape relationship as indicated by micromorphological data on selected soils from Karaj Basin, Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 9 (2), 153-164. doi:20.1001.1.16807073.2007.9.2.9.6.
- Egli, M., Merkli, C., Sartori, G., Mirabella, A., & Plötze, M. (2008). Weathering, mineralogical evolution and soil organic matter along a Holocene soil toposequence developed on carbonate-rich materials. *Geomorphology*, 97 (3-4), 675-696. doi:10.1016/j.geomorph.2007.09.011.
- Gupta, C. K., Wadood, A., Kumar, R., Kumari, P., & Prasad, S. M. (2020). Effect of Topo-sequence on Physical and Chemical Soil Properties of Hazaribagh, Jharkhand. *Journal of Agricultural Physics*, 20(1), 82-86. ISSN 0973-032X.
- Russell, E.W. (1961). Soil conditions and plant growth. *Longmans*, London, UK. 536p.
- Marschner, P. (2012). In Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, third Ed. *Academic Press*, San Diego. 650p.
- Lalitha, M., & Dhakshinamoorthy, M. (2014). Forms of soil potassium-a review. *Agricultural reviews*, 35 (1), doi:64-68.10.5958/j.0976-0741.35.1.008.
- Sahai, V. N. (2011). Fundamentals of Soil. *New Delhi: Kalyani Printings*.
- Lakudzala, D. D. (2013). Potassium response in some Malawi soils. *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*, 8, 175-181. doi: bwmeta1.element.baztech-article-BPS2-0070-0008.
- Römheld, V., & Neumann, G. (2006). The rhizosphere: contributions of the soil-root interface to sustainable soil systems. *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*, 92-107.
- Al-Zubaidi, A., Bashour, I., Darwish, T., & Safieddin, M. (2011). Content of different forms of potassium in Lebanese soils. *International Potash Institute*, 28, 22-25.

17. Reza, S. K., Baruah, U., Chattopadhyay, T., & Sarkar, D. (2014). Distribution of forms of potassium in relation to different agroecological regions of North-Eastern India. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60 (4), 507-518. doi: **10.1080/03650340.2013.800943**.
18. Zörb, C., Senbayram, M., & Peiter, E. (2014). Potassium in agriculture—status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*, 171 (9), 656-669. doi: **10.1016/j.jplph.2013.08.008**.
19. Öborn, I., Andrist-Rangel, Y., Askegaard, M., Grant, C. A., Watson, C. A., & Edwards, A. C. (2005). Critical aspects of potassium management in agricultural systems. *Soil Use and Management*, 21 (1), 102-112. doi: **10.1111/j.1475-2743.2005.tb00114.x**.
20. Duda, B. M., Weindorf, D. C., Chakraborty, S., Li, B., Man, T., Paulette, L., & Deb, S. (2017). Soil characterization across catenas via advanced proximal sensors. *Geoderma*, 298, 78-91. doi: **10.1016/j.geoderma.2017.03.017**.
21. Winzeler, H. E., Owens, P. R., Joern, B. C., Camberato, J. J., Lee, B. D., Anderson, D. E., & Smith, D. R. (2008). Potassium fertility and terrain attributes in a Fragiudalf drainage Catena. *Soil Science Society of America Journal*, 72 (5), 1311-1320. doi: **10.2136/sssaj.2007.0382**.
22. Simonsson, M., Andersson, S., Andrist-Rangel, Y., Hillier, S., Mattsson, L., & Öborn, I. (2007). Potassium release and fixation as a function of fertilizer application rate and soil parent material. *Geoderma*, 140 (1-2), 188-198. doi: **10.1016/j.geoderma.2007.04.002**.
23. Malakouti, M. J. (1999). Iran confronts the imbalances in fertilizer use. *Inventio Basel Switerlan*, 11-25.
24. Brennan, R. F., & Bell, M. J. (2013). Soil potassium-crop response calibration relationships and criteria for field crops grown in Australia. *Crop and Pasture Science*, 64 (5), 514-522. doi: **10.1071/CP13006**.
25. Andrist-Rangel, Y., Hillier, S., Öborn, I., Lilly, A., Towers, W., Edwards, A. C., & 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 (3-4), 303-314. doi: **10.1016/j.geoderma.2010.05.010**.
26. Tóth, G., Jones, A., & Montanarella, L. (2013). The LUCAS topsoil database and derived information on the regional variability of cropland topsoil properties in the European Union. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 7409-7425. doi: **10.1007/s10661-013-3109-3**.
27. Shakeri, S., & Abtahi, A. (2020). Potassium fixation capacity of some highly calcareous soils as a function of clay minerals and alternately wetting-drying. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66 (4), 445-457. doi: **10.1080/03650340.2019.1619176**.
28. Obi, J. C., Ibia, T. O., & Eshiet, P. B. (2016). Effect of land use on potassium form of coastal plain sands of Nigeria. *Chemistry and Ecology*, 32 (3), 238-258. doi: **10.1080/02757540.2015.1136293**.
29. Ghiri, M. N., Abtahi, A., Owliaie, H., Hashemi, S. S., & Koohkan, H. (2011). Factors affecting potassium pools distribution in calcareous soils of southern Iran. *Arid Land Research and Management*, 25 (4), 313-327. doi: **10.1080/15324982.2011.602177**.
30. Schafer, B.M., & Mcgarity, J.W. (1980). Genesis of red and dark brown soils on basaltic parent materials near Armidale, NSW, Australia. *Geoderma*, 23 (1), 31-47. doi: **10.1016/0016-7061(80)90047-6**.
31. Sadri, N., Owliaie, H. R., Adhami, E., & Najafi Ghiri, M. (2016). Investigation of different forms of potassium as a function of clay mineralogy and soil evolution in some soils of Fars province. *Water and Soil*, 30 (1), 172-185. doi: **10.22067/JSW.V30I1.38048**. [In Persian]
32. Staff, S. S. (2014). Keys to Soil Taxonomy, 12th Edn Washington. DC: *Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture*. 372p.

33. Rowell, D. L. (1994). Soil science: Methods and applications. Harlow, Essex (UK): Longman Scientific and Technical. 405p.
34. Loeppert, R. H., & Suarez, D. L. (1996). Carbonate and gypsum. In: Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, C. T., Sumner, M. E. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, 437-474.
35. Nelson, D.W., & Sommers, L.E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter, in: Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, C. T., Sumner, M. E. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, 961-1010.
36. Chapman, H. D. (1965). Cation-Exchange Capacity. In Methods of Soil Analysis, A.G. Norman (Ed) Part 2, Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, 891-901
37. Helmke, P., & Sparks, D. L. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. In: Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, T., Sumner, M. E. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, 551-574.
38. Afshar, F. A., Ayoubi, S., & Jalalian, A. (2010). Soil redistribution rate and its relationship with soil organic carbon and total nitrogen using ^{137}Cs technique in a cultivated complex hillslope in western Iran. *Journal of environmental radioactivity*, 101 (8), 606-614. doi: **10.1016/j.jenvrad.2010.03.008**.
39. Zareian, G. H., & Baghernezhad, M. (2007). The effect of topography on the evolution and diversity of soil clay minerals Fars Bayzay the province. *Soil and Water Research*. 14, 46-56. [In Persian]
40. Kirkman, J. H., Basker, A., Surapaneni, A., & MacGregor, A. N. (1994). Potassium in the soils of New Zealand-a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 37 (2), 207-227. doi: **10.1080/00288233.1994.9513059**.
41. Sparks, D. L. (2000). Bioavailability of Soil Potassium. *Handbook Of Soil*. CRC Press, New York. 16p.
42. Zhou, J. M., & Wang, H. Y. (2008). K forms and transformation in soils. In: Zhou, J. M., Magen, H. (Eds.) Soil potassium dynamics and K fertilizer management (in Chinese). *Hehai University Press*, Nanjing. 3-9.
43. Rees, G. L., Pettygrove, G. S., & Southard, R. J. (2013). Estimating plant-available potassium in potassium-fixing soils. *Communications in soil science and plant analysis*, 44 (1-4), 741-748. doi: **10.1080/00103624.2013.748129**.
44. Sharma, A., Jalali, V. K., & Arora, S. 2010. Non-exchangeable potassium release and its removal in foot-hill soils of North-west Himalayas. *Catena*, 82 (2), 112-117. doi: **10.1016/j.catena.2010.05.009**.

