

Research Article

Potassium Fertility in Some Vineyards Soils of Malayer County, West of Iran

M Zarabi*

Received: December 17, 2022

Accepted: June 13, 2023

Revised: June 2, 2023

Published online: June 21, 2024

Assist. Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Iran

*Corresponding Author's E-mail: zarrabi7@gmail.com; mzarrabi@malayeru.ac.ir

Abstract

Background and Objectives

Soil resources are being depleted of nutrients and soil potential for food production is reducing. Among the primary nutrients, potassium is an essential nutrient for productivity and food quality and has numerous functions in the plant system. Grapes need potassium to build vine strength and sustain adequate vigor. The Jowzan Vally a rural district in Malayer county, Hamadan province, Iran was formally recognized as a Globally Important Agricultural Heritage System (GIAHS) because of its traditional grape cultivation system. Therefore the fractions of soil's potassium and fertilizer potassium availability index (A_1) in some vineyards soil of Malayer county, which is one of the important regions of grape production in the country, were carried out. This study was done to investigate the potassium fertility of the vineyard soil of Malayer county.

Methodology

Twenty topsoil (0-30 cm) samples were collected from different vineyards in Malayer county. Soils were analyzed for some physical and chemical properties. Different fractions of potassium (solution, exchangeable, non-exchangeable, and structural potassium) were determined and the mineral components of clay were assessed by X-ray Diffraction (XRD) on oriented samples. Potassium fixation and fertilizer potassium availability index (AI) were determined after the soil samples had been treated with increasing rates of potassium. Soil samples were equilibrated at field capacity condition for 21 days at $25 \pm 2^\circ\text{C}$ after the addition of 0, 25, 75, 225, and 675 mg potassium kg^{-1} . To determine the fertilizer potassium availability index (A_1), the linear relation between the amount of potassium added to soil and the amount of potassium extracted with ammonium acetate was determined. All experiments were run in three replicates. The correlations between soil properties and fertilizer potassium availability index (A_1) with potassium fractions were determined.

Findings

The types of minerals in the studied soils were similar and mainly included illite, chlorite, palygorskite, smectite, and low amounts of vermiculite and kaolinite, but their relative amounts were different. The average solution, exchangeable, non-exchangeable, and structural potassium concentrations in soils were 52, 314, 704, and 12381 mg kg^{-1} , respectively. There was no deficiency of potassium in the studied soils and the concentration of potassium was at the optimal level, except for soil numbers 18 and 19. A negative and significant correlation was obtained between solution potassium concentration and the percentage of calcium carbonate equivalent in soils ($r = -0.53, p \leq 0.05$). The exchangeable potassium concentration shows a significant correlation with cation exchange capacity ($r = 0.48, p \leq 0.05$), and pH ($r = 0.48, p \leq 0.05$). There was a negative and significant correlation between structural potassium and calcium carbonate equivalent percentage in soils ($r = -0.48, p \leq 0.05$). After 21 days of incubation, all three fractions of potassium (solution, exchangeable and non-exchangeable) have increased in the studied soils. The percentage increase of solution, exchangeable, and non-exchangeable potassium was between 6 to 23%, 60 to 89%, and less than 1 to 34%, respectively. A



significant part of the potassium added to the soils entered the exchangeable fraction. Values of fertilizer potassium availability index (A_I) ranged from 0.87 to 1.38. In 35% of soils including the Jowzan area (one of the Globally Important Agricultural Heritage Systems), potassium fixation (A_I less than one) and evidence of potassium depletion were observed. The highest increase in the percentage of non-exchangeable potassium was observed in soils with fertilizer potassium availability index of less than 1. The range of increase of non-exchangeable potassium in these soils was between 7.6 and 34%. There wasn't any correlation between the fertilizer potassium availability index and soil properties. Mineralogical results showed that in soils where potassium fixation has occurred, illite is the most abundant mineral.

Conclusion

Soil mineralogy and total potassium values showed that most of the studied soils are fertile in terms of potassium, and the weathering of potassium minerals provides the potassium needed by plants. Nevertheless, it is recommended to manage the consumption of potassium fertilizers in the vineyards where potassium fixation was observed. Also, due to the presence of potassium-fixing clay minerals in the soil, the possibility of potassium fixation in other vineyards is predicted in case of improper management. Continued potassium export without potassium supply will lead to its eventual depletion in the soil. It is also recommended to study the potassium fixation capacity in the sand and silt components of the vineyards.

Keywords: Fixation, Jowzan, Potassium fertilizer availability index, Potassium, Vineyard.

مقاله پژوهشی

حاصلخیزی پتاسیم در خاک‌های تعدادی از تاکستان‌های شهرستان ملایر، غرب ایران

محبوبه ضرابی*

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶

تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۲

استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: zarrabi7@gmail.com; mzarrabi@malayeru.ac.ir

چکیده

منابع خاکی در حال تخلیه از عناصر غذایی، از جمله پتاسیم، بوده و حاصلخیزی خاک‌ها در حال کاهش است. درخت انگور از محصولات پرنیاز به پتاسیم است. در این مطالعه جزءبندی شیمیایی پتاسیم و ارزیابی شاخص فراهمی کود پتاسیمی در خاک برخی از تاکستان‌های شهرستان ملایر استان همدان که یکی از مناطق مهم تولید انگور در کشور است، با هدف بررسی حاصلخیزی پتاسیمی خاک انجام شد. برای محاسبه شاخص فراهمی کود پتاسیمی مقادیر صفر، ۲۵، ۷۵، ۲۲۵ و ۶۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم از پتاسیم به صورت نمک کلرید پتاسیم، به ۲۰ نمونه خاک تاکستان اضافه و به مدت ۲۱ روز در دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس و رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای نگهداری شدند. میانگین غلظت اجزای محلول، تبدلی، غیرتبدلی و ساختاری پتاسیم در خاک‌ها به ترتیب ۵۲، ۳۱۴، ۷۰۴ و ۱۲۳۸۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. در مطالعات کانی‌شناسی بخش رس، کانی‌های ایلایت، کلرایت، پالیکوراسکایت و اسمکتایت با فراوانی بیشتر مشاهده شدند. دامنه شاخص فراهمی کود پتاسیمی، ۰/۸۷ تا ۱/۳۸ به دست آمد. اگرچه مقادیر پتاسیم کل و مطالعات کانی‌شناسی نشان داد، اکثر خاک‌های مورد مطالعه از نظر پتاسیم حاصلخیز بوده و هوادیدگی کانی‌های پتاسیمی می‌تواند تأمین کننده پتاسیم مورد نیاز گیاه باشد، با این وجود در ۳۵ درصد از خاک‌ها، از جمله در منطقه جوزان (یکی از میراث مهم کشاورزی جهان) تثبیت پتاسیم مشاهده شد. لذا، مطالعات تکمیلی در ارتباط با مصرف کودهای پتاسیمی در این خاک‌ها توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، تاکستان، تثبیت، جوزان، شاخص فراهمی کود پتاسیمی.

مقدمه

امنیت غذایی از جمله مهمترین نگرانی‌های هر جامعه‌ای است و حدود ۹۸/۸ درصد از کالری مصرفی افراد ساکن بر روی کره زمین، از خاک‌ها تامین می‌شود (کوپتک و همکاران ۲۰۱۹). خاک‌ها از جمله منابع طبیعی محدود بوده و حفظ حاصلخیزی و فراهمی عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاه در خاک، به مقدار مناسب و متعادل، برای تولید پایدار محصول لازم است (کوپتک و همکاران ۲۰۱۹).

عنصر پتاسیم یکی از عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاه است و نقش مهمی در بهبود رشد، بازده و کیفیت محصولات زراعی دارد و به عنصر کیفیت معروف است (اشروود ۱۹۸۵). برخلاف عناصر غذایی نیتروژن و فسفر، فقط ۳۵ درصد از پتاسیم خارج شده از خاک توسط گیاهان، به خاک بازگردانده می‌شود (اسمیل ۱۹۹۹) و احتمال کمبود پتاسیم در خاک‌های با آبشویی زیاد و اراضی زراعی که محصول برداشت و بقایای گیاهی به خاک برگردانده نشده‌اند، وجود دارد (رنگل و دامون ۲۰۰۸). معمولاً در خاک‌های شنی اسیدی، خاک‌های غرقاب و خاک‌های شور کمبود پتاسیم وجود دارد (منگل و کرکبی ۲۰۰۱). در اراضی شالیزاری کشور چین و کمربند غلات استرالیا (رومهل و کرکبی ۲۰۱۰)، در برخی از خاک‌های کشورهای هند، بنگلادش، سریلانکا و پاکستان (سریناواسارو و همکاران ۲۰۲۳) نیز کمبود پتاسیم در خاک‌ها گزارش شده است. امروزه توسعه کشاورزی مدرن، کشت‌های فشرده، استفاده زیاد از کودهای فسفاته و ازته و همچنین آبشویی، موجب کمبود پتاسیم در خاک‌ها شده است (زورب و همکاران ۲۰۱۴، روپا و همکاران ۲۰۰۳).

مقدار و سرعت هوادیدگی کانی‌های اولیه پتاسیمی موجود در خاک و همچنین واکنش‌های تعادلی و سینتیکی موجود بین چهار جزء پتاسیم در خاک، بر چگونگی و تداوم تامین پتاسیم مورد نیاز گیاهان در خاک موثر است. از جمله کانی‌های اولیه پتاسیمی موجود در خاک

می‌توان به فلدسپارهای پتاسیمی اورتوکلز و میکروکلین، مسکویت و بیوتیت اشاره نمود. همچنین کانی‌های ثانویه حاصل از هوادیدگی کانی‌های اولیه، مانند ایلیت و ورمیکولیت نیز دارای پتاسیم می‌باشند (هاولین و همکاران ۲۰۰۵). هوادیدگی کانی‌های پتاسیم-دار و جذب پتاسیم توسط گیاهان، موجب رهاسازی پتاسیم از جزءهای شیمیایی مختلف به محلول خاک می‌شود. جزءهای شیمیایی مختلف پتاسیم در خاک، به ترتیب کاهش قابلیت دسترسی برای گیاهان شامل پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختاری هستند (اسپارکس ۱۹۸۷). اگرچه دو جزء محلول و تبادلی، جزءهای فراهم و قابل جذب پتاسیم برای گیاه می‌باشند، در خاک‌های حاوی کانی‌های هوادیده میکا، پتاسیم تثبیت شده نیز ممکن است تأمین کننده بخشی از پتاسیم مورد نیاز گیاه باشد (پورتلا ۱۹۹۳). در صورت کشت فشرده و مدیریت نادرست، ممکن است پس از مدتی ذخایر فراهم پتاسیم در خاک کاهش یافته (منگل و کرکبی ۲۰۰۱) و پتاسیل تثبیت پتاسیم در خاک افزایش یابد. چگونگی توزیع پتاسیم اضافه شده به خاک، بین شکل‌های شیمیایی مختلف، وابسته به خصوصیات خاک است. خاک‌هایی که به شدت از پتاسیم تخلیه شده باشند، توانایی تثبیت پتاسیم اضافه شده را دارند. در چنین خاک‌هایی بازده کودهای پتاسیمی پایین است (منگل و کرکبی ۲۰۰۱). تثبیت پتاسیم در خاک‌ها تحت تاثیر، مقدار و نوع کانی-های رسی، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، چرخه‌های خشک و تر شدن، pH خاک، مقدار کربنات کلسیم آزاد، ماده آلی، پتانسیل ردکس و مقدار کود پتاسیمی اضافه شده به خاک است (کتریک ۱۹۶۶، شارما و میشر ۱۹۹۱). کانی-های ورمیکولایت و ایلایت موجود در بخش رس خاک که در آن‌ها نیروهای بین لایه‌ای بر نیروهای آبپوشی غلبه دارند، بیشترین توانایی تثبیت پتاسیم را دارند (فانینگ و همکاران ۱۹۸۹). در برخی از مطالعات، تثبیت پتاسیم توسط ذرات سیلت و شن ریز خاک نیز گزارش شده است

و مقدار کانی‌ها، مقدار پتاسیم اولیه، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی توانایی متفاوت در تثبیت پتاسیم داشته و با افزودن کود پتاسیمی فراهمی پتاسیم در آن‌ها یکسان نخواهد بود، با هدف بررسی حاصلخیزی پتاسیم و ارزیابی شاخص فراهمی کود پتاسیمی در خاک برخی تاکستان‌های شهرستان ملایر انجام شد.

مواد و روش‌ها

از خاک ۲۰ تاکستان در شهرستان ملایر استان همدان که دارای بیشترین وسعت کشت و سابقه کشت می‌باشند، از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نمونه خاک مرکب تهیه شد. از آنجایی که فراهمی پتاسیم در خاک تحت تأثیر هوادیدگی کانی‌های خاک است و هوادیدگی بیشتر در لایه های سطحی خاک اتفاق می‌افتد و همچنین ریشه‌های سطحی انگور در جذب عناصر غذایی موجود در لایه های سطحی خاک نقش دارند (جکسون ۲۰۰۸) و با توجه به اهداف تحقیق، نمونه‌برداری از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری انجام شد. برای تهیه نمونه مرکب، نمونه‌برداری‌ها از سایه انداز گیاه، دامنه و کف جوی انجام شد (خوشگفتارمنش ۲۰۰۷) و نمونه خاک‌ها سپس با هم ترکیب شده و یک نمونه مرکب به‌دست آمد. شکل ۱ موقعیت نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه هوا خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. برخی از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها شامل، بافت به روش هیدرومتر (بایوکاس ۱۹۶۲)، درصد کربن آلی به روش اکسایش تر (والکی و بلاک ۱۹۳۴)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم در $pH=8/2$ (چپمن ۱۹۶۵)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید کلریدریک (الیسن و مودی ۱۹۶۵) اندازه‌گیری شد. pH (توماس ۱۹۹۶) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) (رودز ۱۹۹۶) خاک‌ها نیز در عصاره ۱:۵ خاک به آب مقطر به‌ترتیب با دستگاه pH متر مدل Metrohm 744 و هدایت سنج الکتریکی مدل Jenway 4310 اندازه‌گیری شدند. رطوبت

(موراشکینا و همکاران ۲۰۰۷، سیمونسون و همکاران ۲۰۰۷، نجفی قیری و ابطحی ۲۰۱۳). سیمونسون و همکاران (۲۰۰۷) میانگین تثبیت پتاسیم در خاک‌های جنوب و مرکز سودان را ۸۵ کیلوگرم بر هکتار در سال گزارش نمودند. حسین‌پور و پناهی (۲۰۱۰) ظرفیت تثبیت پتاسیم را در برخی خاک‌های آهکی استان همدان، بین ۵۸/۲ تا ۱۷۵/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آوردند. در بررسی ظرفیت تثبیت پتاسیم در تعدادی از خاک‌های زیر کشت نیشکر خوزستان، میزان تثبیت بین ۱۷/۵ تا ۱۲۹/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (بستانی و ثواقبی فیروزآبادی ۲۰۱۱). نجفی قیری و ابطحی (۲۰۱۳) ظرفیت تثبیت پتاسیم در سه جزء رس، سیلت و شن خاک‌های جنوب استان فارس را به‌ترتیب در دامنه ۱۰۴ تا ۱۴۸، ۱۰۲ تا ۱۵۵ و ۹۶ تا ۱۸۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نمودند.

انگور (*V. vinifera. L.*) یکی از محصولات باغی مهم جهان و ایران است. اهمیت انگورکاری در ایران بیشتر به دلیل نقش و جایگاه جهانی ایران، در تولید انگور در دنیا است. بر اساس آمار سازمان خواروبار جهانی، ایران از نظر سطح زیر کشت انگور در رتبه هفتم دنیا و از نظر میزان تولید انگور در رتبه نهم دنیا قرار دارد (فائو ۲۰۱۶). درخت انگور به پتاسیم بالایی نیاز داشته و میوه آن نیز پتاسیم بالایی دارد (هرزدین و همکاران ۱۹۸۴). پتاسیم باعث شیرین‌تر شدن میوه انگور و افزایش بازار پسندی آن می‌گردد. برای تولید هر ۱۰ تن محصول، حدود ۲۰ کیلوگرم نیتروژن (به‌شکل نیتروژن)، ۱۲ کیلوگرم فسفر (به‌شکل P_2O_5) و ۴۵ کیلوگرم پتاسیم (به‌شکل K_2O) مصرف می‌شود (مستشاری و همکاران ۲۰۱۶). در شهرستان ملایر استان همدان، معیشت برخی از ساکنین منطقه از طریق باغداری و پرورش انگور تامین می‌شود. با توجه به کشت طولانی مدت انگور، بررسی وضعیت عنصر غذایی پتاسیم در خاک تاکستان-های این منطقه ضروری به نظر می‌رسد. لذا مطالعه حاضر با این فرض که خاک‌های مختلف با توجه به نوع

آمونوم یک نرمال با اسیدیته ۷ با نسبت ۱:۱۰ (توماس ۱۹۸۲) و پتاسیم غیرتبادلی از تفاضل مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونوم یک نرمال از پتاسیم عصاره‌گیری شده با اسید نیتریک جوشان با نسبت ۱:۱۰ (اسپارکس و همکاران ۲۰۲۰) به‌دست آمد. پتاسیم کل با هضم نمونه‌های خاک در اسید فلوریدریک (هلمک و اسپارکس ۱۹۹۶) عصاره‌گیری شد. غلظت پتاسیم ساختاری از تفاضل مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده با اسید نیتریک جوشان از پتاسیم کل به‌دست آمد. غلظت پتاسیم در عصاره‌ها توسط دستگاه فلیم فتومتر مدل Jenway اندازه‌گیری شد.

برای شناسایی کانی‌های غالب بخش رس، کربنات‌ها و املاح محلول با استفاده از روش جکسون (۱۹۶۹)، مواد آلی با آب اکسیژنه ۳۰ درصد و اکسیدهای آزاد آهن به روش مهرا و جکسون (۱۹۶۰) از نمونه‌های خاک حذف شد. سپس بر روی هر یک از نمونه‌های رس به دست آمده چهار تیمار شامل منیزیم، منیزیم و اتیلن-گلیکول، پتاسیم در دمای معمولی و پتاسیم در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد اعمال گردید و با استفاده از دستگاه پراش پرتو ایکس با استفاده از لامپ مسی در طول موج ۱/۵۴۹ انگستروم، اختلاف پتانسیل ۳۰ کیلووات، شدت جریان ۳۰ میلی‌آمپر و در زوایای بین ۲۶-۳ درجه، نوع کانی‌های موجود در خاک‌ها شناسایی شد (کنز و دیکسون ۱۹۸۶). برای بررسی میزان درصد نیمه کمی رس‌ها از نرم افزار Highscore Xpert استفاده شد. اجزای شیمیایی پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه شامل، پتاسیم محلول توسط عصاره‌گیری با آب مقطر در نسبت ۱:۵ خاک به عصاره‌گیر، پتاسیم تبدلی از تفاضل مقدار پتاسیم محلول از پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات

از پتاسیم نیز انجام شد. همبستگی پیرسون ساده بین ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک ها با جزء های شیمیایی مختلف پتاسیم و شاخص فراهمی کود (A_I) در خاک ها محاسبه شد. برای به دست آوردن همبستگی ها از نرم افزار SPSS 16.0 و برای ترسیم نمودارها از نرم افزار Excel Office Microsoft 2013 استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی های فیزیکی و شیمیایی

جدول ۱ برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد مطالعه را نشان می دهد. در همه خاک ها pH بالاتر از ۷ است و خاک های مورد مطالعه شور (قابلیت هدایت الکتریکی در دامنه ۰/۱۲ تا ۰/۲۴ دسی زیمنس بر متر) نمی باشند. در تمام خاک ها، درصد کربن آلی، کمتر از مقدار آستانه کربن آلی خاک (۲ درصد (گلچین ۲۰۱۶)) است. کربنات کلسیم معادل خاک ها بین ۳/۵ (خاک شماره ۵) تا ۴۱/۳ (خاک شماره ۶) درصد است. مقدار فسفر اولسن در تمام خاک ها بیشتر از حد بحرانی غلظت فسفر فراهم در باغات (۸-۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم (ملکوتی و همکاران ۲۰۰۵)) است و کمبود فسفر در خاک های مورد مطالعه وجود ندارد. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک ها در دامنه ۸/۲ (خاک شماره ۱۹) تا ۲۷/۹ (خاک شماره ۱۲) سانتی مول بار بر کیلوگرم می باشد. بافت خاک های مورد مطالعه متنوع و از رسی تا لوم شنی متغیر است. بیشترین و کمترین درصد رس به ترتیب در خاک های شماره ۱۰ و ۱۹ مشاهده شد.

نمونه خاک های آماده شده به مدت ۲۱ روز در دمای ± 25 درجه سلسیوس در انکوباتور نگهداری شدند. رطوبت نمونه های خاک در طول دوره انکوباسیون به روش وزنی در حدود ظرفیت زراعی نگهداری شد. پس از اتمام زمان انکوباسیون، نمونه ها هوا خشک شده و به منظور یکنواخت شدن، دوباره از الک ۲ میلی متر عبور داده شدند. سپس در نمونه خاک های تیمار شده، پتاسیم قابل عصاره گیری با استات آمونیوم یک مولار در نسبت ۱۰:۱ عصاره گیری شد. غلظت پتاسیم در نمونه ها با دستگاه فلیم فتومتر قرائت شد و به کمک معادله زیر (کوار و باربر ۱۹۹۰) شاخص فراهمی کود پتاسیمی در خاک ها محاسبه شد.

$$K_S = A_I K_{add} + K_0 \quad [1]$$

در این معادله K_S (میلی گرم در کیلوگرم خاک) مقدار پتاسیم جذب شده بر روی مکان های تبدالی که با استات آمونیوم عصاره گیری شده است، K_{add} (میلی گرم در کیلوگرم خاک) مقدار پتاسیم اضافه شده به خاک ها، و A_I شاخص فراهمی کود پتاسیمی می باشد و بیانگر نسبتی از مقدار پتاسیم اضافه شده است، که توسط استات آمونیوم از مکان های تبدالی آزاد شده است، هرگاه این شاخص کمتر از یک باشد، نشان دهنده توانایی خاک در تثبیت پتاسیم است. K_0 (میلی گرم در کیلوگرم خاک) نشان دهنده مقدار اولیه پتاسیم قابل تبادل خاک ها، قبل از مصرف کود پتاسیمی است (کوار و باربر ۱۹۹۰). در پایان دوره انکوباسیون، جزء بندی پتاسیم در نمونه خاک های تیمار شده با غلظت ۶۷۵ میلی گرم بر کیلوگرم

جدول ۱- برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد مطالعه.

شماره خاک	نام منطقه	pH	EC	شن	سیلت	رس	ظرفیت تبادل کاتیونی	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	فسفر اولسن
			($dS m^{-1}$)		(%)		($cmol_c kg^{-1}$)	(%)		($mg kg^{-1}$)
۱	ازناوله	۷/۸	۰/۱۶	۳۱/۰	۳۸/۰	۳۱/۰	۲۴/۵	۳۶/۲	۰/۹۹	۱۹/۵
۲	ازندریان	۷/۱	۰/۱۶	۵۸/۵	۱۹/۵	۲۲/۰	۱۲/۶	۱۳/۸	۰/۴۱	۱۶/۷
۳	بابارئیس	۷/۷	۰/۱۷	۳۹/۰	۲۶/۰	۳۵/۰	۲۳/۷	۱۲/۵	۰/۸۱	۲۰/۳

۹۲/۰۴	۵/۳۶	۱/۹۶	۰/۶۴	۱۲۸۰۰	۱۱۷۸۲	۶۸۷	۲۵۰	۸۱/۴	۲
۹۴/۱۲	۴/۰۰	۱/۷۸	۰/۱۱	۱۸۶۰۰	۱۷۵۰۶	۷۴۳	۳۳۱	۲۰/۲	۳
۹۳/۶۳	۲/۸۱	۳/۰۹	۰/۴۶	۱۶۰۰۰	۱۴۹۸۲	۴۵۰	۴۹۵	۷۴/۰	۴
۹۲/۹۹	۴/۷۰	۱/۷۸	۰/۵۲	۱۴۴۰۰	۱۳۳۹۱	۶۷۷	۲۵۷	۷۵/۳	۵
۸۷/۹۸	۸/۵۹	۳/۰۳	۰/۴۱	۸۰۰۰	۷۰۳۸	۶۸۷	۲۴۲	۳۲/۶	۶
۸۷/۷۴	۹/۷۶	۲/۳۱	۰/۱۹	۱۱۰۰۰	۹۶۵۲	۱۰۷۴	۲۵۴	۲۱/۲	۷
۹۲/۷۲	۴/۵۸	۲/۲۲	۰/۴۸	۱۵۸۰۰	۱۴۶۵۰	۷۲۴	۳۵۰	۷۶/۵	۸
۹۱/۹۰	۴/۷۱	۲/۵۵	۰/۸۴	۱۴۰۰۰	۱۲۸۶۶	۶۶۰	۳۵۷	۱۱۷/۲	۹
۹۱/۹۷	۴/۹۲	۲/۹۰	۰/۲۱	۱۲۸۰۰	۱۱۷۷۲	۶۳۰	۳۷۱	۲۷/۴	۱۰
۹۳/۵۵	۳/۱۶	۲/۶۱	۰/۶۷	۱۳۶۰۰	۱۲۷۲۳	۴۳۰	۳۵۶	۹۱/۳	۱۱
۹۲/۳۶	۴/۷۸	۲/۳۰	۰/۵۶	۱۴۲۰۰	۱۳۱۱۶	۶۷۹	۳۲۶	۷۹/۰	۱۲
۹۱/۷۱	۴/۷۷	۳/۱۷	۰/۳۴	۱۲۴۰۰	۱۱۳۷۲	۵۹۲	۳۹۴	۴۲/۴	۱۳
۹۱/۱۱	۶/۲۵	۲/۰۱	۰/۶۳	۱۲۲۰۰	۱۱۱۱۶	۷۶۲	۲۴۶	۷۶/۵	۱۴
۹۱/۲۸	۵/۴۸	۳/۰۹	۰/۱۴	۱۳۲۰۰	۱۲۰۵۰	۷۲۴	۴۰۸	۱۸/۳	۱۵
۹۲/۰۲	۵/۳۵	۲/۳۶	۰/۲۶	۱۳۰۰۰	۱۱۹۶۳	۶۹۶	۳۰۷	۳۴/۳	۱۶
۹۲/۹۹	۴/۴۵	۲/۳۵	۰/۲۱	۱۴۸۰۰	۱۳۷۶۳	۶۵۸	۳۴۸	۳۱/۶	۱۷
۸۸/۹۵	۹/۳۴	۱/۳۷	۰/۳۴	۱۲۲۰۰	۱۰۸۵۲	۱۱۴۰	۱۶۷	۴۱/۵	۱۸
۹۱/۵۹	۶/۶۶	۱/۴۳	۰/۳۲	۱۳۰۰۰	۱۱۹۰۶	۸۶۶	۱۸۶	۴۱/۲	۱۹
۹۱/۸۶	۴/۹۳	۲/۹۲	۰/۲۹	۱۲۴۰۰	۱۱۳۹۱	۶۱۱	۳۶۲	۳۶/۰	۲۰
۹۴/۱۲	۹/۷۶	۳/۱۷	۰/۸۴	۱۸۶۰۰	۱۷۵۰۶	۱۱۴۰	۴۹۵	۱۱۷/۲	بیشترین
۸۷/۷۴	۲/۸۱	۱/۳۷	۰/۱۱	۸۰۰۰	۷۰۳۸	۴۳۰	۱۶۷	۱۸/۳	کمترین
۹۱/۸۳	۵/۴۳	۲/۳۵	۰/۳۹	۱۳۴۵۰	۱۲۳۸۱	۷۰۴	۳۱۴	۵۲/۰	میانگین

دامنه تغییرات پتاسیم تبدالی، بین ۱۶۷ تا ۴۹۵ با میانگین ۳۱۴ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد. کمترین و بیشترین غلظت به ترتیب در خاک های شماره ۱۸ و ۴ مشاهده شد. بین غلظت پتاسیم تبدالی با ظرفیت تبادل کاتیونی ($r = 0.48, p \leq 0.05$) pH و ($r = 0.48, p \leq 0.05$) خاک ها همبستگی مثبت و معنادار به دست آمد. دلیل همبستگی معنادار و مثبت غلظت پتاسیم تبدالی با pH و ظرفیت تبادل کاتیونی، افزایش مکان های تبدالی در خاک با افزایش pH و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، برای جذب یون پتاسیم است (بریتو و همکاران ۲۰۱۴).

در خاک های شماره ۱۱ و ۱۸ به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار پتاسیم غیرتبدالی با مقادیر ۴۳۰ و ۱۱۴۰ و با میانگین ۷۰۴ میلی گرم بر کیلوگرم مشاهده شد. بر اساس طبقه بندی ارائه شده برای پتاسیم غیرتبدالی

توسط سرینوسارائو و همکاران (۲۰۰۰) خاک هایی با پتاسیم غیرتبدالی کمتر از ۳۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم، از نظر پتاسیم ذخیره در سطح کم در نظر گرفته می شوند. در نتیجه، در خاک های مورد مطالعه، سطح ذخیره پتاسیم کم نمی باشد. سوراپانن و همکاران (۲۰۰۲) بیان کردند خاک هایی با پتاسیم غیر تبدالی بیشتر، دارای میکای بیشتری در بخش رس می باشند. بین غلظت پتاسیم غیرتبدالی با درصد کربن آلی خاک ها همبستگی منفی و غیرمعنادار به دست آمد. آلک و کاسمن (۱۹۹۵) بیان نمودند، ماده آلی از طریق جذب کاتیون پتاسیم موجب کاهش تثبیت پتاسیم در خاک ها می شود.

مقدار پتاسیم ساختاری در خاک ها در دامنه ۷۰۳۸ تا ۱۷۵۰۶ و با میانگین ۱۲۳۸۱ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد. بین پتاسیم ساختاری و درصد کربنات کلسیم

معادل موجود در خاک‌ها همبستگی معنادار و منفی به- دست آمد ($r = -0.48$, $p \leq 0.05$). کمترین مقدار پتاسیم ساختاری در خاک شماره ۶ با بیشترین درصد کربنات کلسیم معادل ($41/3$ درصد) مشاهده شد. جعفری (۲۰۱۹) نیز در بررسی برخی از خاک‌های خوزستان، به نتیجه مشابهی رسید. پتاسیم ساختاری بین $87/74$ تا $94/12$ درصد از کل پتاسیم خاک‌های مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد (جدول ۲). آزادی و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه برخی از خاک‌های آهکی استان فارس میانگین درصد پتاسیم محلول، تبادلی، غیر تبادلی و ساختاری به پتاسیم کل را به ترتیب $0/29$ ، $1/90$ ، $8/75$ و $89/07$ درصد گزارش نمودند.

جدول ۳ میانگین‌های غلظت اجزای شیمیایی مختلف پتاسیم را در برخی از خاک‌های ایران نشان می‌دهد. در بعضی از مناطق روش استفاده شده برای اندازه‌گیری اجزای پتاسیم، با روش استفاده شده در این تحقیق یکسان نمی‌باشد، با این وجود مقادیر گزارش شده بر اساس واحد میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشند. با توجه به جدول ۳ میانگین غلظت اجزای شیمیایی مختلف پتاسیم به دست آمده در تحقیق حاضر، در بعضی موارد بیشتر از مقادیر گزارش شده در سایر نقاط کشور می‌باشد. بالا بودن غلظت اجزای شیمیایی مختلف پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه، می‌تواند به دلیل نوع کانی‌های موجود در منطقه باشد.

جدول ۳- میانگین غلظت اجزای شیمیایی مختلف پتاسیم در برخی از خاک‌های سطحی ایران.

نام منطقه	پتاسیم محلول	پتاسیم تبادلی	پتاسیم غیرتبادلی	پتاسیم ساختاری	پتاسیم کل	تعداد خاک مورد بررسی	منبع
(mg kg ⁻¹)							
خاک‌های غیرشالیزاری استان فارس	*۷	∞۲۶۸	۷۷۱	۴۳۹۹	۵۴۴۵	۲۰	غلامی و همکاران (۲۰۲۱)
خاک‌های شالیزاری استان فارس	*۴/۴	∞۲۰۰	۶۳۸	۵۲۰۲	۶۰۴۴	۲۰	غلامی و همکاران (۲۰۲۱)
خاک‌های دشت قره‌باغ استان فارس	۱۵/۴۸	۱۷۱/۵	۳۲۰/۲۴	۴۲۸۴/۶	Δ-	۱۱	همکاران (۲۰۱۷) و زارعیان و
خاک‌های آهکی استان فارس	\$۳۵/۰	۳۱۰/۷ ©	۴۰۶/۷	-	-	۱۰	عبدی و همکاران (۲۰۱۳)
خاک‌های آهکی کهگیلویه و بویر احمد	۶	۲۴۷	۵۲۰	۶۰۸۶	۶۸۵۴	۳۵	نجفی قیری و همکاران (۲۰۱۹)
خاک‌های لسی و شبه لسی استان گلستان	۲۳/۴	۲۶۱/۳	۸۵۹/۲	-	-	۱۲	فرشادی راد و دردی پور (۲۰۱۵)
خاک‌های اراضی شمالی و جنوبی استان خوزستان	*۲۴/۱۸	۳۲۳/۷	۲۲۰۳/۵	-	-	۱۰	پیشگیر و همکاران (۲۰۱۷)
خاک‌های مناطق گردوکاری شهرستان تویسرکان	Ω ۸۶/۶	۳۲۷/۷	۱۲۱۱/۷	-	-	۶	حسن‌پور (۲۰۱۵)
باغات شهرستان همدان	۱۱۵/۵	۳۱۸/۲ ©	۴۶۸/۱	-	-	۱۵	جلالی و وارسته خانلری (۲۰۱۴)
خاک‌های آهکی استان کرمان	-	۲۴۹	-	-	-	۲۸	زاده پاریزی و همکاران (۲۰۱۶)
خاک‌های زیر کشت توتون در شمال غرب کشور	۲۳Ω	۲۰۷	۵۶۹	۵۹۲۸	-	۳۰	رنجبر و همکاران (۲۰۱۹)

مطالعه حاضر	۲۰	۱۳۴۵۰	۱۲۳۸۱	۷۰۴	۳۱۴	۵۲/۰	خاک تاکستان های شهرستان ملایر
-------------	----	-------	-------	-----	-----	------	-------------------------------

پتاسیم محلول: عصاره گیر: آب مقطر: *: اندازه گیری شده در عصاره اشباع - §: اندازه گیری شده در نسبت ۱:۲۰ - Δ: اندازه گیری شده در نسبت ۱:۱۰

پتاسیم تبادل: عصاره گیر: استات آمونیوم: ∞: اندازه گیری شده در نسبت ۱:۵ - ©: اندازه گیری شده در نسبت ۱:۲۰

Δ: اندازه گیری نشده است.

بررسی نتایج کانی شناسی

اما مقدار نسبی آنها متفاوت می باشد. در بعضی از خاک - ها مقدار کمی ورمی کولایت و کائولینایت هم مشاهده شد. کانی های غالب بخش رس خاک های مورد مطالعه، در جدول ۴ ارائه شده است. نمونه ای از کانی شناسی بخش رس خاک شماره ۹ نیز، در شکل شماره ۴ نشان داده شده است.

نتایج کانی شناسی بخش رس خاک ها نشان داد، نوع کانی ها در خاک های مورد مطالعه مشابه و عمدتاً شامل ایلات، کلرایت، پالیگوراسکایت و اسمکتایت است،

جدول ۴- کانی های غالب در خاک های مورد مطالعه.

شماره خاک	کانی های غالب خاک های مورد مطالعه
۱	کلرایت، ایلات، اسمکتایت، پالی گورسکایت، کائولینایت
۲	ایلات، کلرایت، پالی گورسکایت، اسمکتایت، کائولینایت
۳	ایلات، ورمی کولایت، پالی گورسکایت، کلرایت، اسمکتایت، کائولینایت
۴	کلرایت، ایلات، پالی گورسکایت، اسمکتایت، کائولینایت
۵	کلرایت، ایلات، اسمکتایت، پالی گورسکایت، کائولینایت
۶	کلرایت، ایلات، اسمکتایت، پالی گورسکایت، ورمی کولایت
۷	ایلات، کلرایت، ورمی کولایت، اسمکتایت، پالی گورسکایت
۸	ایلات، اسمکتایت، پالی گورسکایت، کائولینایت
۹	ایلات، کلرایت، پالی گورسکایت، اسمکتایت، کائولینایت
۱۰	ایلات، پالی گورسکایت، کلرایت، اسمکتایت، ورمی کولایت، کائولینایت
۱۱	کلرایت، ایلات، اسمکتایت، پالی گورسکایت
۱۲	کلرایت، ایلات، پالی گورسکایت، ورمی کولایت، اسمکتایت، کائولینایت
۱۳	کلرایت، ایلات، اسمکتایت، کائولینایت
۱۴	ایلات، کلرایت، پالی گورسکایت، اسمکتایت، ورمی کولایت، کائولینایت
۱۵	ایلات، کلرایت، اسمکتایت، کائولینایت
۱۶	ایلات، کلرایت، اسمکتایت، کائولینایت
۱۷	ایلات، ورمی کولایت، پالی گورسکایت، کلرایت، اسمکتایت، کائولینایت
۱۸	ایلات، کلرایت، پالی گورسکایت، اسمکتایت، ورمی کولایت، کائولینایت
۱۹	ایلات، کلرایت، پالی گورسکایت، اسمکتایت، کائولینایت
۲۰	ایلات، کلرایت، پالی گورسکایت، اسمکتایت، کائولینایت

دهنده وجود مقادیر زیادی از کانی ایلات در خاک های مورد مطالعه است. در خاک های مورد بررسی در این

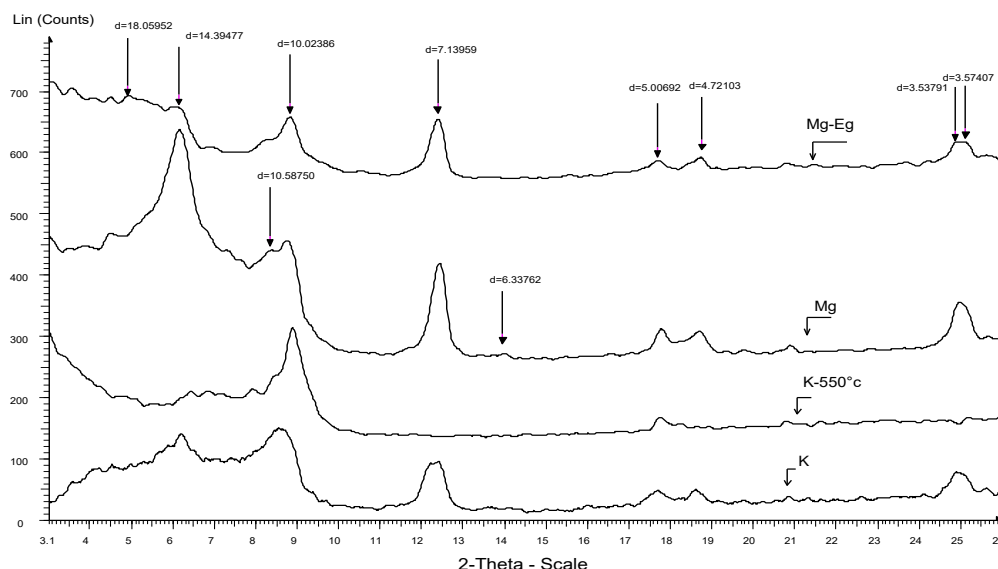
در الگوی پراش خاک ها، پیک قوی ۱۰ انگسترومی مشاهده شد. حضور پیک قوی ۱۰ انگسترومی، نشان

تحقیق، کانی ایلات از نظر فراوانی اولین کانی و یا دومین کانی می‌باشد. احتمال هوابدگی کانی ایلات در خاک‌ها وجود دارد، با این وجود مقدار ایلات در خاک‌ها بیشتر از اسمکتایت است. احتمالاً دلیل زیاد بودن ایلات در خاک‌های مورد مطالعه، تشکیل پدوژنتیکی کانی‌های میکایی در اثر تثبیت یون پتاسیم توسط کانی اسمکتایت در خاک‌های مناطق گرم و خشک است (مهجوری ۱۹۷۵). مشاهده پیک ۱۴/۲ انگستروم در تیمار اشباع با منیزیم و کاهش شدت آن و افزایش شدت پیک ۱۰ انگستروم در تیمار پتاسیم، نشان دهنده وجود کانی ورمیکولایت است، که به دلیل تثبیت پتاسیم بین لایه‌ای به کانی ایلات تبدیل شده است. کانی ورمیکولایت در اکثر خاک‌های مورد مطالعه مشاهده شد، اما مقدار آن نسبت به کانی‌های کلرایت، ایلات، پالیگوراسکایت و اسمکتایت کمتر است. دلیل این امر آزادسازی پتاسیم از کانی و تبدیل آن به اسمکتایت و یا تثبیت پتاسیم و تبدیل آن به ایلات می‌تواند باشد. خاک‌های حاوی کانی‌های میکا، ایلات و ورمیکولیت دارای بیشترین ظرفیت تثبیت پتاسیم می‌باشند (شاویو و همکاران ۱۹۸۵). همچنین در این خاک‌ها غالباً مقدار زیادی پتاسیم غیرتبادلی وجود دارد (مارتین و اسپارکس ۱۹۸۵).

مشاهده پیک ۱۰/۴ تا ۱۰/۵ انگستروم که همراه پیک رده اول ایلات به حالت دو شاخه در آمده است و همچنین پیک ۶/۴ انگستروم در رده دوم در تیمار اشباع با منیزیم و حذف آن با حرارت در الگوی پراش، نشان دهنده وجود کانی پالیگورسکایت در خاک‌ها است. تشکیل کانی پالیگورسکایت در خاک‌های مناطق خشک در ارتباط

با تشکیل افق‌های تجمع آهک، افق کلسیت، افق جیپسیک (تجمع گچ) و کلریت است (خرمالی و همکاران ۲۰۰۵). بافت سبک شنی و زهکشی مطلوب خاک، از جمله عوامل مطلوب در تشکیل کانی پالیگورسکایت در خاک‌ها است. بجز خاک‌های شماره ۱۳، ۱۵ و ۱۶ در سایر خاک‌ها کانی پالیگورسکایت مشاهده شد.

مشاهده پیک ۱۴/۲ انگستروم در تمام تیمارها، نشان دهنده وجود کانی کلریت است. خاک شماره ۶ نسبت به سایر خاک‌ها دارای کانیهای پالیگورسکایت و کلریت بیشتر و میزان کمتر کانی ایلات، می‌باشد. به این دلیل میزان پتاسیم ساختمانی در این خاک کمتر از بقیه خاک‌ها می‌باشد (جدول ۴). وجود پیک ۱۴/۲ انگستروم در تیمار اشباع با منیزیم و افزایش آن در تیمار اتیلن کلیگول به حدود ۱۶ انگستروم بیانگر وجود کانی اسمکتایت است. در خاک‌های مورد مطالعه مقدار کانی اسمکتایت، کمتر از مقدار کانی‌های ایلات و کلرایت است. نجفی قیری و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه برخی از خاک‌های آهکی استان کهگیلویه بویراحمد بین مقدار پتاسیم غیرتبادلی با ایلات و پتاسیم تبادلی با اسمکتایت ارتباط معناداری را گزارش نمودند. حضور پیک ۷/۲ انگستروم در تمام تیمارها بجز تیمار حرارتی، بیانگر کانی کائولینیت است (دیکسون و وید ۱۹۹۲). کانی کائولینیت در مناطق خشک و نیمه خشک منشاء توارثی دارد (خرمالی و ابطی ۲۰۰۳) و در خاک‌های حاوی کانی‌های کائولینیت، کوارتز و سایر کانی‌های سیلیکاتی، مقدار پتاسیم فراهم و تبادلی کم است (مارتین و اسپارکس ۱۹۸۵).



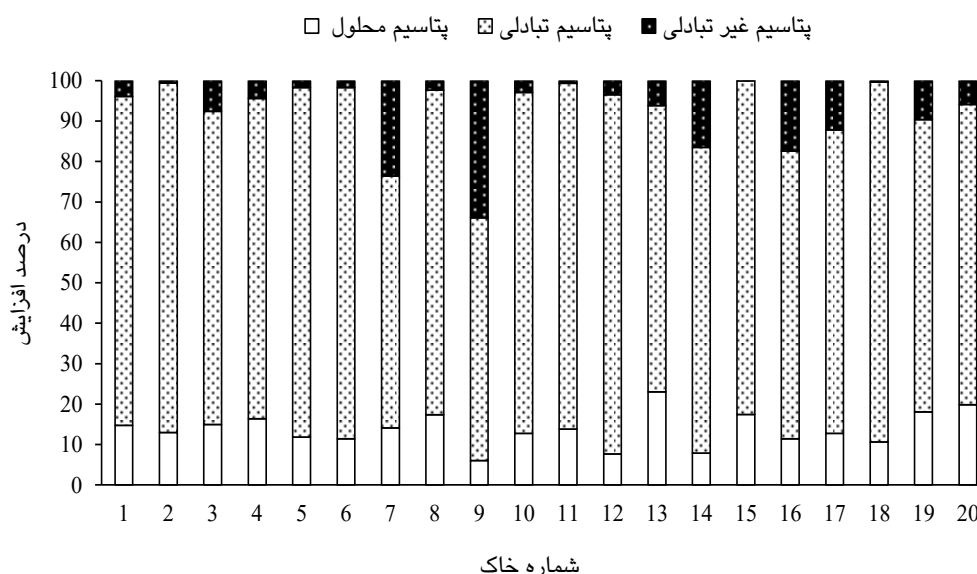
شکل ۲- دیفرکتوگرام های پراش اشعه ایکس در بخش رس خاک شماره ۹.

از پتاسیم در خاکها است. بیشترین افزایش درصد پتاسیم غیرتبادلی در خاکهای شماره ۳، ۷، ۹، ۱۴، ۱۶، ۱۷ و ۱۹ مشاهده شد. دامنه افزایش پتاسیم غیرتبادلی در این خاکها بین ۷/۶ تا ۳۴ درصد می باشد. جلالی (۲۰۰۷) با بررسی پتانسیل تثبیت پتاسیم در ۴۰ نمونه خاک جمع آوری شده از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا که به مدت ۳۰ سال تحت کشت سیب زمینی و گندم بودند گزارش نمود، در خاکهای مورد مطالعه ۵۱ تا ۸۰ درصد پتاسیم اضافه شده، به پتاسیم غیر تبادلی تبدیل شده است. پورتلو و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه ظرفیت تثبیت پتاسیم در برخی از خاکهای پرتغال، گزارش نمودند بین ۳۰ تا ۸۰ درصد از پتاسیم اضافه شده به خاکها تثبیت شد. آنها دلیل کارایی کم کودهای پتاسیمی را، میزان زیاد تثبیت در این خاکها گزارش نمودند. در مقایسه با دو مطالعه اخیر، مقدار تثبیت پتاسیم در خاکهای این تحقیق کمتر است.

بررسی ظرفیت تثبیت پتاسیم و محاسبه شاخص فراهمی کود پتاسیمی

شکل ۳، درصد افزایش شکل های شیمیایی مختلف

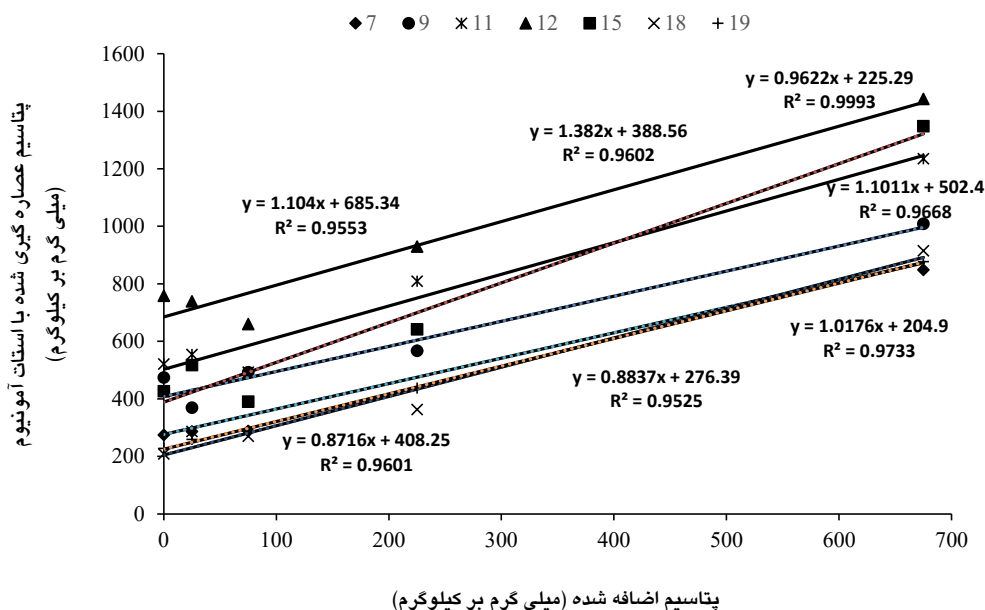
پتاسیم در خاکهای تیمار شده با ۶۷۵ میلی گرم بر کیلوگرم از پتاسیم، بعد از گذشت ۲۱ روز انکوباسیون را، نشان می دهد. هر سه شکل پتاسیم (محلول، تبادلی و غیرتبادلی) در خاکهای مورد مطالعه افزایش یافته است. درصد افزایش پتاسیم محلول بین ۶ تا ۲۳ درصد، پتاسیم تبادلی بین ۶۰ تا ۸۹ درصد و مقدار افزایش پتاسیم غیرتبادلی کمتر از یک تا ۳۴ درصد می باشد. نتایج نشان داد، در خاکهای مورد بررسی بخش قابل توجهی از پتاسیم اضافه شده به خاکها وارد جزء تبادلی شده است. هرچه درجه اشباع مکان های تبادلی از پتاسیم بیشتر باشد، تمایل خاک به جذب پتاسیم کاهش می یابد. درصد بالای افزایش پتاسیم تبادلی در خاکهای مورد بررسی، نشان دهنده درجه اشباع پایین مکان های تبادلی



شکل ۳ - درصد افزایش شکل‌های شیمیایی مختلف پتاسیم، ۲۱ روز پس از افزودن ۶۷۵ میلی‌گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک.

پتاسیمی (A_1) به ترتیب ۰/۸۷ و ۱/۳۸ به دست آمد. بین شاخص به دست آمده، با مقدار پتاسیم غیرتبادلی خاک‌ها همبستگی منفی اما غیرمعنادار مشاهده شد. بستانی و ثوابی فیروزآبادی (۲۰۱۱) در مطالعه برخی از خاک‌های زیر کشت نیشکر خوزستان، همبستگی منفی معناداری را بین میزان تثبیت پتاسیم و میزان پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم گزارش نمودند. همچنین حسین‌پور و پناهی (۲۰۱۰) نیز همبستگی منفی و معناداری را، بین درصد تثبیت پتاسیم و میزان پتاسیم تبادلی و غیر تبادلی تعدادی از خاک‌های آهکی استان همدان گزارش کردند.

شکل ۴ رابطه بین مقدار پتاسیم اضافه شده و پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم را، بعد از گذشت ۲۱ روز انکوباسیون در برخی از خاک‌ها نشان می‌دهد. در تمام خاک‌ها با افزایش غلظت پتاسیم اضافه شده، مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم افزایش یافت. داده‌های به دست آمده، بر معادله ۱ به خوبی ($r^2 > 0.87$ و $P \leq 0.01$) برازش یافتند (جدول ۵). مقدار پتاسیم قابل تبادل خاک‌ها قبل از مصرف کود پتاسیمی (K_0) در دامنه ۲۰۴/۹۰ (خاک شماره ۱۸) تا ۶۸۵/۳۴ (خاک شماره ۱۲) میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. بیشترین و کمترین مقدار شاخص فراهمی کود



شکل ۴- رابطه بین مقدار پتاسیم اضافه شده و پتاسیم عصاره گیری شده با استات آمونیوم.

جزء غیرتبادلی شده و تثبیت پتاسیم اتفاق افتاده است. در این خاکها پتاسیم قابل استفاده گیاه، پس از افزودن کود پتاسیم ممکن است چندان افزایش نیابد. نتایج کانی-شناسی نشان داد، در خاکهایی که در آنها تثبیت پتاسیم اتفاق افتاده است، کانی ایلاتیت بیشترین فراوانی را دارد، همچنین در خاکهای شماره ۳، ۷ و ۱۷ کانی ورمی کولایت مشاهده شد. در خاکهای شماره ۹، ۱۴، ۱۶ و ۱۹ فراوانی کانی اسمکتایت بیشتر بود.

در خاکهای شماره ۳، ۷، ۹، ۱۴، ۱۶، ۱۷ و ۱۹ شاخص فراهمی پتاسیم کمتر از یک (۰/۸۷-۰/۹۹) به-دست آمد. بیشترین افزایش درصد پتاسیم غیرتبادلی در تیمار ۶۷۵ میلی گرم بر کیلوگرم از پتاسیم نیز، در این خاکها مشاهده شد (شکل ۳). جلالی (۲۰۰۷) نیز شاخص فراهمی کود پتاسیم در ۴۰ نمونه خاک جمع آوری شده از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا را، در دامنه ۰/۲۰ تا ۰/۴۹ به دست آورد. در خاکهایی با شاخص فراهمی کمتر از یک، بخشی از پتاسیم اضافه شده، وارد

جدول ۵- پارامترهای حاصل از برازش داده ها بر معادله $(K_s = A_I K_{add} + K_0)$.

r^2	K_0	A_I	شماره خاک
(mg kg ⁻¹)			
۰/۹۸	۲۴۷/۷۷	۱/۰۳	۱
۰/۹۸	۳۵۶/۷۹	۱/۰۱	۲
۰/۸۷	۳۵۱/۴۶	۰/۹۶	۳
۰/۹۵	۵۱۸/۹۴	۱/۰۴	۴
۰/۹۹	۳۳۳/۵۸	۱/۰۴	۵
۰/۹۷	۲۸۳/۳۰	۱/۰۷	۶
۰/۹۵	۲۷۶/۳۹	۰/۸۸	۷
۰/۹۹	۴۱۵/۸۴	۱/۰۸	۸

۰/۹۶	۴۰۸/۲۵	۰/۸۷	۹
۰/۹۷	۴۰۳/۳۵	۱/۰۳	۱۰
۰/۹۷	۵۰۲/۴۰	۱/۱۰	۱۱
۰/۹۶	۶۸۵/۳۴	۱/۱۰	۱۲
۰/۹۲	۳۷۲/۳۹	۱/۰۹	۱۳
۰/۹۷	۲۸۴/۱۳	۰/۹۹	۱۴
۰/۹۶	۳۸۸/۵۶	۱/۳۸	۱۵
۰/۹۹	۳۲۰/۸۳	۰/۹۷	۱۶
۰/۹۷	۴۱۷/۴۰	۰/۹۴	۱۷
۰/۹۷	۲۰۴/۹۰	۱/۰۲	۱۸
۰/۹۹	۲۲۵/۲۹	۰/۹۶	۱۹
۰/۹۰	۳۵۵/۹۹	۱/۰۶	۲۰
۰/۸۷	۲۰۴/۹۰	۰/۸۷	کمترین
۰/۹۹	۶۸۵/۳۴	۱/۳۸	بیشترین

شاویو و همکاران (۱۹۸۵) گزارش نمودند، خاک-

های حاوی کانی‌های میکا، ایلایت و ورمیکولیت دارای بیشترین ظرفیت تثبیت پتاسیم می‌باشند. وجود کانی ایلایت، با لبه‌های هوادیده و فضا‌های باز شده بین لایه‌ای می‌تواند دلیل تثبیت پتاسیم در این خاک‌ها باشد (فانینگ و همکاران ۱۹۸۹). کانی میکا با لبه‌های هوادیده، در غلظت‌های کم پتاسیم، یون پتاسیم را به شکل اختصاصی در مناطق گوه‌ای تثبیت می‌کند، اما در کانی ورمی کولیت، به علت نبودن مناطق گوه‌ای شکل در ساختار کانی، غلظت بالایی از پتاسیم محلول مورد نیاز است تا تثبیت اتفاق بیافتد (ریچ ۱۹۶۸). کانی‌های اسمکتایت سهم کمی در تثبیت پتاسیم دارند (اسپارکس و هانگ ۱۹۸۵، برچاد ۱۹۸۹)، وجود هسته‌های میکایی دارای مناطق گوه‌ای شکل (برچاد ۱۹۸۹) همراه با کانی اسمکتایت و وجود بارهای تتراهدرا (بوعبید و همکاران ۱۹۹۱) در ساختار کانی اسمکتایت، می‌تواند دلیل تثبیت پتاسیم در خاک‌های حاوی کانی اسمکتایت باشد (پورتلا و همکاران ۲۰۱۹). احتمال تثبیت پتاسیم توسط کانی اسمکتایت که در ساختار خود دارای یون آهن دو ظرفیتی و مناطق گوه‌ای شکل است نیز، وجود دارد (ریچ ۱۹۶۸). در بین خاک‌ها بیشترین درصد رس، در خاک شماره ۱۰ با شاخص فراهمی کود پتاسیمی برابر با ۱/۰۳ و کمترین درصد رس

در خاک شماره ۱۹ با شاخص فراهمی کود پتاسیمی برابر با ۰/۹۶ مشاهده شد. در خاک شماره ۱۰ با بیشترین درصد رس، تثبیت پتاسیم مشاهده نشد. این خاک حاوی ۲/۴۴ درصد ماده آلی (مقدار کربن آلی ضرب در ۱/۷۲) و مقدار پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی قابل توجه، به ترتیب به مقدار ۳۷۱ و ۶۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است و در این خاک کانی اسمکتایت دارای درصد فراوانی بیشتری نسبت به کانی ورمی کولیت است. دلیل بالا بودن مقدار پتاسیم تبادلی و عدم تثبیت پتاسیم را در این خاک، می‌توان به کانی اسمکتایت و درصد بالای ماده آلی نسبت داد. از طرفی تثبیت پتاسیم در خاک شماره ۱۹ با کمترین درصد رس، مشاهده شد. دلیل تثبیت بالای پتاسیم در این خاک، احتمالاً به دلیل وجود کانی‌های ایلایت و ورمی-کولایت در بخش سیلت و شن خیلی ریز است (بارشاد ۱۹۵۱، مورشکینا و همکاران ۲۰۰۷). اگرچه مقدار پتاسیم محلول و تبادلی در این خاک کم است، با این وجود این خاک دارای مقدار زیادی پتاسیم غیرتبادلی و ساختاری می‌باشد (جدول ۲). این امر احتمالاً به دلیل وجود کانی-های ایلایت و ورمی کولایت در بخش سیلت و شن خیلی ریز خاک‌ها می‌باشد.

در سایر خاک‌های تثبیت کننده پتاسیم در این تحقیق، درصد رس در دامنه ۲۳ تا ۳۵ و مقدار پتاسیم

تبادلی کمتر از ۳۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم است. در تمامی خاک های تثبیت کننده پتاسیم، کانی ایلاتیت بیشترین فراوانی را دارد. ورمی کولیت و ایلاتیت نسبت به کانی اسمکتایت توانایی تثبیت پتاسیم بیشتری را دارند (رولیک ۱۹۸۵). البته توجه به این نکته نیز ضروری است که، مکانیزم تثبیت پتاسیم توسط میکا (ایلاتیت) بسیار پیچیده است، زیرا در این کانی هر دو فرایند تثبیت و رهاسازی پتاسیم همزمان اتفاق می افتد و وابسته به درجه هوادیدگی آن است (تریس و همکاران ۱۹۸۷). در فرایند تثبیت، پتاسیم دهیدراته در فضای بین لایه ای کانی ها، به دام می افتد (گریم ۱۹۶۸).

نتیجه گیری کلی

نتیجه جزء بندی پتاسیم در خاک های تاکستان- های شهرستان ملایر نشان داد، در اکثر خاک های مورد بررسی غلظت پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی در حد مطلوب می باشد. در تمام خاک ها غلظت پتاسیم تبادلی بیشتر از ۲۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد و فقط در خاک های شماره ۱۸ و ۱۹ مقدار پتاسیم تبادلی کمتر از ۲۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم بود. هوادیدگی کانی های پتاسیمی مثل ایلاتیت، ورمی کولایت و اسمکتایت منبع اصلی تأمین کننده پتاسیم مورد نیاز گیاه در خاک های مورد مطالعه می باشد. بررسی کانی شناسی خاک ها و مقادیر پتاسیم کل نشان داد، اکثر خاک های مورد مطالعه دارای ذخایر پتاسیمی خوب می باشند. کمترین مقدار پتاسیم کل در خاک شماره ۶ با بیشترین درصد کربنات کلسیم معادل مشاهده شد. شایان ذکر است، کانی های پتاسیمی ذخایر دائمی نبوده و کشت مداوم و طولانی مدت درخت انگور در این خاک ها، در آینده موجب کاهش فراهمی پتاسیم و حاصلخیزی خاک ها خواهد شد. در حال حاضر در بین خاک های مورد مطالعه، در خاک های

منابع مورد استفاده

شماره ۳، ۷، ۹، ۱۴، ۱۶، ۱۷ و ۱۹ تثبیت پتاسیم و شواهد تخلیه پتاسیمی خاک ها مشاهده شد. خاک شماره ۷ مربوط به روستای مانیزان بوده و خاک شماره ۱۷ مربوط به روستای جوزان است. با توجه به برگزاری مراسم انگورچینی و جشنواره شیرپزی در روستای مانیزان به دلیل مرغوبیت انگور این منطقه و ثبت جهانی نظام تولید انگور در جوزان ملایر در سازمان جهانی خواروبار و کشاورزی ملل متحد (فائو) و اهمیت این دو منطقه، توجه به حاصلخیزی پتاسیم در این مناطق از اهمیت بالایی برخوردار است. از آنجایی که گیاه انگور نیاز بالایی به پتاسیم دارد، احتمالاً در آینده کاهش بازده محصولات در این مناطق مشاهده خواهد شد و مصرف کودهای پتاسیمی در خاک تاکستان های شماره ۳، ۷، ۹، ۱۴، ۱۶، ۱۷ و ۱۹ توصیه می شود. همچنین به دلیل وجود کانی ایلاتیت به عنوان کانی رسی غالب در خاک- های مورد مطالعه، احتمال تثبیت پتاسیم در سایر خاک ها در صورت مدیریت نادرست وجود دارد. لذا مطالعات تکمیلی در خاک های مورد بررسی و همچنین مطالعه ظرفیت تثبیت پتاسیم در اجزای شن و سیلت خاک تاکستان ها برای جلوگیری از بحران کاهش حاصلخیزی پتاسیمی خاک ها توصیه می شود.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل طرح پژوهشی به شماره ۵-۱-۸۴/۵۲۹ است. بدین وسیله از دانشگاه ملایر و شورای محترم پژوهشی دانشگاه به دلیل تصویب و تأمین بوجه این طرح سپاسگزاری می شود.

Abdi S, Ghasemi R, Karimian NA and Feizian M, 2013. Availability and release kinetics of nonexchangeable potassium in some calcareous soils of Fars Province. Journal of Water and Soil 28(4): 766-777. (In Persian with English abstract).

- Allison L and Moodie C, 1965. Carbonate. Pp. 1379-1396. In: Black CA (ed). *Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Azadi A, Baghernejad M, Karimian N and Abtahi A, 2016. Sequential extraction of non-exchangeable potassium and its relationship with soil properties, mineralogy and soil taxonomy in some calcareous soils of Fars Province. *Iranian Journal of Soil Research* 30 (2): 187-199. (In Persian with English abstract).
- Barshad I, 1951. Cation exchange in soils: I. Ammonium fixation and its relation to potassium fixation and to determination of ammonium exchange capacity. *Soil Science* 72: 361–371.
- Borchardt G, 1989. Smectites. Pp. 675–727. In: Dixon JB and Weed SB. (eds). *Minerals in Soil Environments*, 2nd ed. Soil Science Society of America, Madison.
- Bostani A and Savaghebi Firoozabadi GhR, 2011. Study of potassium fixation capacity in some under-cultivation sugarcane soils in Khuzestan. *Journal of Water and Soil* 25(5): 982- 993. (In Persian with English abstract).
- Bouabid R, Badraoui M and Bloom PR, 1991. Potassium fixation and charge characteristics of soil clays. *Soil Science Society of America Journal* 55: 1493–1498.
- Bouyoucos GJ, 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal* 54(5): 464-465.
- Brito OR, Telles TS, Schnitzer JA, Gaspar GG and de Fátima Guimarães M, 2014. The influence of crop residues in vertical soil mobility of potassium. *Semina: Ciências Agrárias* 35(6): 3043-3051.
- Chapman HD, 1965. Cation Exchange Capacity. In: Black CA, (ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Madison, 891-901.
- Dixon JB and Weed SB, 1992. *Minerals in Soil Environment*. Pp.129-788, Soil Science Society of America Book Series, 2nd ed., Madison, Wisconsin.
- Fanning DV, Keramidas VZ and El-Desoky MA, 1989. Micas. Pp. 551–674. In: Dixon JB and Weed SB. (eds). *Minerals in Soil Environments*, 2nd ed: Madison, Soil Science Society of America.
- FAO, 2016. *FAO Stat Database Results*. Available on [www. FAO.org](http://www.FAO.org).
- Farshadirad A and Dordipour E, 2015. Contribution of soil and soil fractions' (clay and silt) exchangeable and nonexchangeable potassium to available potassium for corn plant in loess-like and loess-derived soils of Golestan Province. *Journal of Water and Soil Science* 19 (72): 269-279. (In Persian with English abstract).
- Fotyma M, 2007. Content of potassium in different forms in the soils of southeast Poland. *Polish Journal of Soil Science* 1:19-31.
- Gholami A, Baghernejad M, Azadi A and Shakeri S, 2021. Effect of long term rice cultivation on potassium status, clay mineralogy and some physicochemical properties of calcareous soils in Fars Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 52: 123-141.
- Golchin A, 2016. *Soil Organic Matter*. The Academic Center for Education, Culture and Research Press. Zanzan. Iran. (In Persian).
- Grim RE, 1968. *Clay Mineralogy*. International Series in Earth and Planetary Science. McGraw-Hill Book Co., New York .
- Hassanpoor O, 2015. Potassium chemical fractionation in soils of walnut growing areas in Tuyserkan city. MSc Thesis. Bu-Ali Sina University. Hamadan. Iran. (In Persian with English abstract).
- Havlin J, Beaton J, Tisdale S and Nelson W, 2005. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. Prentice Hall. New Jersey.
- Helmke PA and Sparks DL, 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. Pp. 551-574. In: Sparks DL, (ed.). *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. USA.

- Hosseinpour A and Panahi M, 2010. Potassium fixation capacity and charge characteristics in some calcareous soils of Hamadan Province. *Journal of Water and Soil Science* 14(52): 65-73. (In Persian with English abstract).
- Hrazdina G, Parsons GF and Mattick LR, 1984. Physiological and biochemical events during development and maturation of grape berries. *American Journal of Enology and Viticulture* 35: 220-227.
- Jackson ML, 1969. *Soil Chemical Analysis: Advanced Course*. UW-Madison Libraries Parallel Press.
- Jackson RS, 2008. *Wine Science: Principles and Applications*. Academic Press.
- Jafari S, 2019. Correlation among K forms with soil physical-chemical properties and clay mineral diversity in some soils of Khuzestan. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 50(7): 1721-1733. (In Persian with English abstract).
- Jalali M and Varasteh Khanlari Z, 2014. Kinetics of potassium release from calcareous soils under different land use. *Arid Land Research and Management* 28(1): 1-13
- Jalali M, 2007. A study of the quantity/intensity relationships of potassium in some calcareous soils of Iran. *Arid Land Research and Management* 21(2): 133-141.
- Khormali F and Abtahi A, 2003. Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semi-arid soils of Fars Province, southern Iran. *Clay Minerals* 38(4): 511-527.
- Khormali F, Abtahi A and Owliaie HR, 2005. Late Mesozoic—Cenozoic clay mineral successions of southern Iran and their palaeoclimatic implications. *Clay Minerals* 40(2): 191-203.
- Khoshgoftarmanesh AH, 2007. *Evaluation of Plant Nutrition Status and Optimum Fertilizer Management*. Isfahan University of Technology Press, Isfahan. Iran. (In Persian).
- Kittrick JA, 1966. Forces involved in ion fixation by vermiculite. *Soil Science Society of America Proceeding* 30: 801–803.
- Kopittke PM, Menzies NW, Wang P, McKenna BA and Lombi E, 2019. Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International* 132, 105078.
- Kovar JL and Barber SA, 1990. Potassium supply characteristics of thirty-three soils as influenced by seven rates of potassium. *Soil Science Society of America Journal* 54(5): 1356-1361.
- Kunze G and Dixon JB, 1986. Pretreatment for mineralogical analysis. *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods* 5: 91-100.
- Mahjoory RA, 1975. Clay mineralogy, physical and chemical properties of some soils in arid regions of Iran. *Soil Science Society of America Proceedings* 39: 1157-1164.
- Malakouti MJ, Moshiri F, Gheibi MN and Molavi S, 2005. *Optimum Levels of Nutrients in Soils and Some Agronomic and Horticultural Crops*. Technical Journal No. 406, 21 pages. Agricultural Research, Education and Promotion Organization, Soil and Water Research Institute. (In Persian).
- Martin HW and Sparks DL, 1985. On the behavior of nonexchangeable potassium in soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 16(2): 133-162.
- Mehra OP and Jackson ML, 1960. Iron oxide removal from soils and clay by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals* 7: 317-327.
- Mengel K and Kirkby EA, 2001. *Principles of Plant Nutrition*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands.
- Michael P, Fitzpatrick R and Reid R, 2017. Effects of live wetland plant macrophytes on acidification, redox potential and sulphate content in acid sulphate soils. *Soil Use and Management* 33: 471-481.
- Mostashari M, Khosrovinejad A, Baybordi A, Basirat M, Akhiani A, Sadri MH and Majidi A, 2016. *Grape Nutrition Guide*. Soil and Water Research Institute. Iran. (In Persian).
- Murashkina MA, Southard RJ and Pettygrove GS, 2007. Silt and fine sand fractions dominate potassium fixation in soils derived from granitic alluvium of the San Joaquin Valley, California. *Geoderma* 141: 283–293.

- NajafiGhiri M and Abtahi A, 2013. Potassium fixation in soil size fractions of arid soils. *Soil and Water Research* 2: 49-55.
- NajafiGhiri M, Owliaie HR and Boostani HR, 2019. Factors affecting potassium pools distribution in some calcareous soils of Kohgilouye and Boyerahmad province. *Applied Soil Research* 7(2): 196-207. (In Persian with English abstract).
- Olk DC and Cassman KG, 1995. Reduction of potassium fixation by two humic acid fractions in vermiculite soils. *Soil Science Society of America Journal* 59(5): 1250-1258.
- Pishgir M, Jafari S and Ghanian M, 2017. Application of Soil Magnetic Susceptibility for Monitoring Bioavailable Metals Pollution. *Iranian Journal of Soil Research* 31(1): 131-142. (In Persian with English abstract).
- Portela E, Monteiro F, Fonseca M and Abreu MM, 2019. Effect of soil mineralogy on potassium fixation in soils developed on different parent material. *Geoderma* 343: 226-234.
- Portela EA, 1993. Potassium supplying capacity of northeastern Portuguese soils. *Plant and Soil* 154: 13-20.
- Ranjba R, Sepehr E, Samadi A, Barin M and Dovlati B, 2019. Soil potassium forms and quantity-intensity parameters of soil potassium and its correlation with some soil properties of tobacco-growing reign in Northwest of Iran. *Journal of Water and Soil Conservation* 26(2): 195-210. (In Persian with English abstract).
- Rengel Z and Damon PM, 2008. Crops and genotypes differ in efficiency of potassium uptake and use. *Physiologia Plantarum* 133: 624-636.
- Rhoades JD, 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. Pp. 417-435. In: Sparks RL, (ed.). *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, USA.
- Rich CI, 1968. Mineralogy of soil potassium. Pp.79-108. In: Kilmer VJ, Younts SE and Prady NC. (eds). *Role of Potassium in Agriculture*. Soil Science Society of America, Madison, USA.
- Römheld V and Kirkby EA, 2010. Research on potassium in agriculture: needs and prospects. *Plant and soil* 335: 155-180.
- Ruhlicke G, 1985. Layer charge of clay minerals in K fixing sedimentary soils. Pp.1-8. In: *Potash Review*, Subj. 4, 83rd Suite. International Potash Institute Bern, Switzerland.
- Rupa T, Srivastava S, Swarup A, Sahoo D and Tembhare B, 2003. The availability of potassium in Aeric Haplaquept and Typic Haplustert as affected by long-term cropping, fertilization, and manuring. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 65: 1-11.
- Shakeri S and Abtahi SA, 2019. Origin and clay minerals characteristics and their relationship with potassium forms in the calcareous soils of Kakan Plain in East of Kohgilouye-va-Boyerahmad Province. *Journal of Water Soil Science* 22(4): 173-188. (In Persian with English abstract).
- Sharma VK and Mishra MK, 1991. Potassium adsorption kinetics in soils differing in clay content and mineralogy. *Journal Potassium Resolution* 7: 176-181.
- Sharpley AN, 1990. Reaction of fertilizer potassium in soils of differing mineralogy. *Soil Science* 149(1): 44-51 .
- Shaviv A, Mohsin M, Pratt PF and Mattigod SV, 1985. Potassium fixation characteristics of five southern California soils. *Soil Science Society of America Journal* 49(5): 1105-1109.
- Simonsson M, Andersson S, Andrist-Rangel Y, Hillier S, Mattsson L and Öborn I, 2007. Potassium release and fixation as a function of fertilizer application rate and soil parent material. *Geoderma* 140: 188-198.
- Smil V, 1999. Crop Residues: Agriculture's Largest Harvest: Crop residues incorporate more than half of the world's agricultural phytomass. *Bioscience* 49: 299-308.
- Sparks DL and Huang PM, 1985. Physical chemistry of soil potassium. Pp. 201-275. In: Munson RD, (ed). *Potassium in Agriculture*. American Society of Agronomy, Madison.
- Sparks DL, 1987. Potassium dynamics in soils. Pp.1-63, In: *Advances in Soil Science*,. Springer.

- Sparks DL, Page AL, Helmke PA and Loeppert RH, 2020. *Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods* (Vol. 14). John Wiley & Sons.
- Srinivasa Rao C, Subba Rao A and Rupa T, 2000. Plant mobilization of soil reserve potassium from fifteen smectitic soils in relation to soil test potassium and mineralogy. *Soil Science* 165: 578-586.
- Srinivasarao Ch, Kundu S, Rao KV, Shukla AK, Rao AS, Imas P, ... and Venkateswarlu B, 2023. Soil potassium fertility and management strategies in South Asian agriculture. *Advances in Agronomy* 177:51-124.
- Surapaneni A, Palmer A, Tillman R, Kirkman J and Gregg P, 2002. The mineralogy and potassium supplying power of some loessial and related soils of New Zealand. *Geoderma* 110: 191-204.
- Thomas GW, 1982. Exchangeable cations. Pp. 159-165. In: Page AL, (ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, Second Edition. Agronomy, No. 9, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Thomas GW, 1996. Soil pH and Soil Acidity. Pp. 475-490. In: Sparks DL, (ed.). *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods*. SSSA Book Series 5, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Tributh H, Van Boguslawski H, Van Lieres A, Steffens D and Mengel K, 1987. Effect of K removal by crops on transformation of illitic clay minerals. *Soil Science* 143: 404-409 .
- Usherwood NR, 1985. The role of potassium in crop quality. *Potassium in Agriculture* 489-513.
- Walkley A and Black IA, 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.
- Zadehparizi S, Tajabadi Pour A and Esfandiarpour I, 2016. Evaluation chemical extractants in determination of available potassium for pistachio in calcareous soils of Rafsanjan. *Journal of Crop Improvement* 18(4): 935-947. (In Persian with English abstract).
- Zareian GR, Farpoor MH, Hejazi M and Jafari A, 2017. Relationship of potassium forms with soil physicochemical properties and clay mineralogy in Ghrehbagh Plain, Fars Province. *Iranian Journal of Soil Research* 31(2): 315-327. (In Persian with English abstract).
- Zörb C, Senbayram M and Peiter E, 2014. Potassium in agriculture—status and perspectives. *Journal of Plant Physiology* 171: 656-669.