



## Assessment of Potassium Status in Soils and Orange Orchards of Fars and Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Provinces

**Safieh Khalili<sup>1</sup>, Hamidreza Owliaie<sup>\*2</sup>, Mohammadreza Chakeralhoseini<sup>3</sup>,  
and Ebrahim Adhami<sup>4</sup>**

Former MSc. Student of Soil Science, Yasouj University, E-mail: [safiyekhalili@yahoo.com](mailto:safiyekhalili@yahoo.com)  
Associated Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Yasouj, Iran., E-mail: [owliaie@gmail.com](mailto:owliaie@gmail.com)  
Assistant Professor of Soil and Water Research Department, Kohgiluyeh-va-Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Yasouj, Iran. E-mail: [reza.rns2007@gmail.com](mailto:reza.rns2007@gmail.com)  
Associated Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Yasouj, Iran. E-mail: [eadhami@gmail.com](mailto:eadhami@gmail.com)

«Research Article»

Received: February 08, 2025, and Accepted: July 16, 2025

### Abstract

Potassium plays a vital role in improving both the quantity and quality of agricultural products. However, a considerable amount of potassium in the soil is present in non-exchangeable and structural forms, making it less accessible for plant uptake. In recent years, citrus production has become increasingly important worldwide as a major source of economic growth, trade, and employment. This study investigated the various forms of potassium in the surface and subsurface soils of orange orchards located in Fars (10 orchards) and Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad (8 orchards) provinces. Additionally, it sought to identify an appropriate extractant for measuring plant-available potassium in these soils. 36 soil samples were collected from 18 orchards at two different depths. The analysis included various potassium forms, such as soluble, exchangeable, non-exchangeable, structural, and total potassium. Moreover, leaves from one-year-old branches were gathered to assess their potassium concentration. Potassium extraction was conducted using 11 different extractants, including 1M and 2M sodium chloride, 0.01M calcium chloride, Morgan, ammonium bicarbonate-DTPA, 1M ammonium acetate, 1M sodium acetate, 0.1M nitric acid, 2M hydrochloric acid, 0.025M sulfuric acid, and 1M magnesium acetate. The correlation between extracted potassium and plant uptake in orange trees was then evaluated. The findings indicated that the 2 M hydrochloric acid extractant had the highest correlation with the potassium absorbed by the plant. Furthermore, according to the soil potassium standard threshold, only three orchards in Fars and three in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad had potassium levels exceeding the critical limit. Leaf analysis also revealed that 60% of the samples from Fars orchards and 25% from Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad orchards contained potassium levels below the sufficiency threshold. Thus, in most orchards, applying potassium fertilizers, is crucial for maximizing crop yield.

**Keywords:** available potassium, calcareous soil, extractant, citrus

\* - Corresponding author's email: [owliaie@gmail.com](mailto:owliaie@gmail.com)

**Cite this article:** Khalili, S., Owliaie, H., Chakeralhoseini, M., Adhami, E., 2025. Assessment of Potassium Status in Soils and Orange Orchards of Fars and Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Provinces. *Journal of Soil Research*, 39(1),



## بررسی وضعیت پتاسیم در برخی خاک‌ها و درختان باغ‌های پرتقال استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد

صفیه خلیلی<sup>۱</sup>، حمیدرضا اولیایی<sup>۲\*</sup>، محمدرضا چاکراالحسینی<sup>۳</sup> و ابراهیم ادهمی<sup>۴</sup>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه یاسوج، کهگیلویه و بویراحمد، یاسوج، ایران. [safiyeckhalili@yahoo.com](mailto:safiyeckhalili@yahoo.com)

۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه یاسوج، کهگیلویه و بویراحمد، یاسوج، ایران. [owliaie@gmail.com](mailto:owliaie@gmail.com)

۳- استادیار پژوهش بخش تحقیقات آب و خاک، مرکز تحقیقات کشاورزی کهگیلویه و بویراحمد، یاسوج، ایران. [reza.rns2007@gmail.com](mailto:reza.rns2007@gmail.com)

۴- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه یاسوج، کهگیلویه و بویراحمد، یاسوج، ایران. [eadhami@gmail.com](mailto:eadhami@gmail.com)

«مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۰ و پذیرش: ۱۴۰۴/۴/۲۵

### چکیده

پتاسیم نقش اساسی در بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی محصولات کشاورزی دارد. با این حال، بخش عمده پتاسیم موجود در خاک به‌صورت غیرتبادلی و ساختمانی است که به‌راحتی برای گیاه قابل جذب نیست. تولید مرکبات در جهان امروز اهمیت چشمگیری یافته و به یکی از منابع اصلی ایجاد ثروت، مبادلات تجاری و اشتغال تبدیل شده است. این مطالعه با هدف بررسی شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های سطحی و زیرسطحی باغ‌های پرتقال در استان‌های فارس (۱۰ باغ) و کهگیلویه و بویراحمد (۸ باغ) و همچنین معرفی عصاره‌گیر مناسب برای اندازه‌گیری پتاسیم قابل استفاده در این خاک‌ها انجام شد. پژوهش بر روی ۳۶ نمونه خاک از ۱۸ باغ (در دو عمق) انجام گرفت. شکل‌های مختلف پتاسیم شامل محلول، تبادلی، غیرتبادلی، ساختمانی و کل اندازه‌گیری شد. همچنین، برگ‌های شاخه‌های یک‌ساله جمع‌آوری و غلظت پتاسیم آن‌ها بررسی شد. با استفاده از ۱۱ عصاره‌گیر شامل کلرید سدیم ۱ و ۲ مولار، کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، مورگان، بیکرنات آمونیم-DTPA، استات آمونیم یک مولار، استات سدیم یک مولار، اسید نیتریک ۰/۱ مولار، اسید کلریدریک ۲ مولار، اسید سولفوریک ۰/۰۲۵ مولار و استات منیزیم یک مولار، پتاسیم خاک استخراج شد و همبستگی آن‌ها با پتاسیم جذب شده توسط درخت پرتقال تعیین شد. نتایج نشان داد که عصاره‌گیر اسید کلریدریک ۲ مولار، بیشترین همبستگی را با پتاسیم جذب شده توسط گیاه دارد. همچنین، بر اساس حد استاندارد پتاسیم خاک، تنها سه باغ در استان فارس و ۳ باغ در استان کهگیلویه و بویراحمد دارای مقادیر پتاسیم بالاتر از حد بحرانی بودند. تجزیه برگ درختان مطالعه شده نیز نشان داد که ۶۰ درصد از نمونه‌های برگ باغ‌های استان فارس و ۲۵ درصد از نمونه‌های برگ باغ‌های استان کهگیلویه و بویراحمد کمتر از حد کفایت پتاسیم داشته‌اند. بنابراین، در بیشتر باغ‌ها، استفاده از کودهای پتاسیمی برای دستیابی به حداکثر عملکرد محصول ضروری به‌نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم قابل استفاده، خاک آهکی، عصاره‌گیر، مرکبات

\*-آدرس ایمیل نویسنده مسئول: [owliaie@gmail.com](mailto:owliaie@gmail.com)

استناد: خلیلی، ص، امیری، ح، اولیایی، ح، چاکراالحسینی، م، ادهمی، الف. ۱۴۰۴. بررسی وضعیت پتاسیم در برخی خاک‌ها و درختان باغ‌های پرتقال استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد. مقاله پژوهشی، نشریه پژوهش‌های خاک، (۱) ۳۹،

## مقدمه

پتاسیم، کاتیونی تک‌ظرفیتی بوده، که با وجود معدنی‌بودن، تأثیر قابل‌توجهی بر ترکیبات آلی خاک دارد. اگرچه این عنصر حیاتی را می‌توان به سادگی چنین توصیف کرد، اما نقش آن در خاک، گیاه و فرآیندهای مرتبط، پیچیده و چندبعدی است. آگاهی از وضعیت پتاسیم تأثیر بسزایی در ارزیابی حاصلخیزی خاک دارد. در خاک‌های آهکی، رفتار پتاسیم نامشخص است که این امر به عواملی نظیر وجود کانی‌های پتاسیم‌دار با درجه هواپدگی پایین، کمبود مواد آلی و برهم‌کنش کلسیم با پتاسیم در فرآیندهای مختلف وابسته است (نجفی قیری و بوستانی، ۱۴۰۳). از سوی دیگر، عواملی همچون آزادسازی پتاسیم از کانی‌های پتاسیم‌دار و تثبیت پتاسیم افزوده‌شده به خاک، نقش مهمی در مدیریت این عنصر و ارائه توصیه‌های کودی دارند. بنابراین، در مدیریت حاصلخیزی پتاسیم خاک، لازم است تعادل بین شکل‌های مختلف پتاسیم و پویایی آن در فازهای گوناگون خاک با دقت بررسی شود (نجفی قیری و همکاران، ۲۰۲۲؛ نجفی قیری و همکاران، ۲۰۱۹b).

مقدار پتاسیم کل در خاک‌ها معمولاً بین ۰/۴ تا ۳ درصد متغیر است. با وجود اینکه میزان پتاسیم کل در خاک بسیار بیشتر از نیاز گیاه است، تنها بخش اندکی از آن برای گیاه قابل استفاده است. بسته به نوع خاک، حدود ۹۰ تا ۹۸ درصد از پتاسیم کل به‌صورت ساختمانی بوده و در ساختار کانی‌ها تثبیت شده است. یک تا ۱۰ درصد دیگر به شکل غیرتبادلی است که در میان لایه‌های کانی‌های رسی قرار دارد. در نهایت، تنها ۱ تا ۲ درصد از پتاسیم خاک به شکل محلول و تبادلی در دسترس است که این مقدار نسبتاً محدود می‌باشد (ویتوش و همکاران، ۱۹۹۶). پتاسیم در خاک به چهار شکل اصلی یافت می‌شود: ساختمانی، تثبیت‌شده، تبادلی و محلول. میان این اشکال، رابطه تعادلی وجود دارد و این روابط در تغذیه گیاه از اهمیت بالایی برخوردار هستند (نجفی قیری و همکاران، ۲۰۲۴؛ صدری و همکاران، ۱۳۹۵).

مناطق جنوبی تا مرکزی استان فارس و بخش‌های غربی استان کهگیلویه و بویراحمد، به دلیل شرایط اقلیمی مناسب و کیفیت مطلوب خاک، از مناطق مستعد کشت مرکبات محسوب می‌شوند. استان فارس با دارا بودن ۶۰ هزار هکتار سطح زیر کشت و تولید سالانه ۱/۵ میلیون تن انواع مرکبات، رتبه دوم تولید مرکبات در کشور را به خود اختصاص داده است. در استان کهگیلویه و بویراحمد نیز سطح زیر کشت مرکبات به ۱۱ هزار هکتار (معادل ۴ درصد از کل سطح زیر کشت کشور) می‌رسد و سالانه ۸۰ هزار تن مرکبات تولید می‌شود (اسدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۷).

پتاسیم به میزان قابل‌توجهی در برگ‌ها و بافت میوه‌های مرکبات تجمع می‌یابد. یکی از نقش‌های اصلی این عنصر، فعال‌سازی برخی آنزیم‌ها است. پتاسیم عمده‌تاً به شکل یونی و محلول عمل کرده و در سلول‌های جوان، وظیفه حفظ تورژسانس سلولی را بر عهده دارد (اوبرزا و مورگان، ۲۰۱۱). این عنصر در درختان مرکبات بسیار متحرک بوده و به‌راحتی میان اندام‌های مختلف گیاه جابه‌جا می‌شود. به‌طور مثال، حدود ۳۰ درصد از پتاسیم موجود در برگ‌ها هنگام پیری و ریزش، به پوست و تنه درخت بازمی‌گردد. از این‌رو، پتاسیم چندان در فصل زمستان در اندام‌های درخت ذخیره نمی‌شود (اسدی و اخلاقی، ۱۳۹۳).

کمبود پتاسیم پیامدهای قابل‌توجهی برای درختان مرکبات به همراه دارد؛ از جمله کاهش نرخ فتوسنتز برگ‌ها، افزایش حساسیت درختان به تنش‌های زیستی و غیرزیستی، کاهش تولید کربوهیدرات‌ها، کاهش تشکیل میوه، افزایش ریزش میوه، تشدید چین‌خوردگی و ترک‌خوردگی پوست میوه (اسدی و اخلاقی، ۱۳۹۰). عدم تأمین پتاسیم کافی برای درختان مرکبات با عملکرد بالا می‌تواند منجر به ظهور علائم کمبود در اواخر تابستان و اوایل پاییز شود. در این شرایط، علائم کمبود پتاسیم ابتدا به‌صورت زرد شدن نوک

و حاشیه برگ‌های مسن ظاهر شده و به تدریج گسترش می‌یابد (اسدی و اخلاقی، ۱۳۹۳).

کمبود پتاسیم در گیاهان به دو عامل اصلی مرتبط است: (۱) مقدار کم پتاسیم در خاک و مواد مادری که این عامل می‌تواند ناشی از ماهیت خاک، کمبود کانی‌های پتاسیم‌دار در مواد مادری، کشاورزی فشرده، یا استفاده از ارقام پرمحصول، بدون کاربرد کودهای حاوی پتاسیم و مواد آلی باشد و (۲) عوامل مؤثر بر جذب و انتقال پتاسیم در گیاه که به وضعیت یون‌های پتاسیم در محلول خاک مربوط می‌شوند. در خاک‌های آهکی، غلظت پتاسیم معمولاً کمتر از کلسیم و منیزیم است. حتی اگر غلظت پتاسیم محلول در حد مطلوب باشد، رقابت یون کلسیم برای جذب، توسط ریشه می‌تواند باعث کاهش جذب پتاسیم یا انباشت آن در ریشه و جلوگیری از انتقال به اندام‌های هوایی شود (نجفی قیری و بوستانی، ۱۴۰۳).

با وجود قابلیت بالای استفاده از پتاسیم در برخی خاک‌های جنوب ایران (با میانگین ۲۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کمبود این عنصر (غلظت کمتر از یک درصد در برگ) در بیش از ۸۵ درصد از باغ‌های پرتقال مشاهده می‌شود (نجفی قیری و همکاران، ۲۰۱۷). باید توجه داشت که جذب و انتقال کاتیون‌های مختلف توسط ریشه گیاه به نوع رقم گیاه وابسته است. به عنوان مثال، در یک پژوهش انجام شده در خاکی با آهک بسیار زیاد، مشخص شد که افزودن پتاسیم می‌تواند نسبت کلسیم به پتاسیم در برگ‌های مرکبات را از ۱/۲۴ به ۱/۱۳ کاهش دهد (نجفی قیری و همکاران، ۲۰۲۱).

تعیین پتاسیم قابل جذب در خاک، یکی از گام‌های ضروری در مدیریت تغذیه گیاهی است. برای استخراج و اندازه‌گیری اشکال مختلف پتاسیم، از عصاره‌گیرهای گوناگونی استفاده می‌شود. این عصاره‌گیرها بسته به ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی خاک، توانایی‌های متفاوتی در آزادسازی شکل‌های مختلف پتاسیم دارند. با اندازه‌گیری پتاسیم قابل جذب، می‌توان وضعیت موجود پتاسیم خاک را ارزیابی و در نتیجه، نیاز به مصرف

یا عدم مصرف کود را در مزارع و باغ‌ها به طور دقیق تشخیص داد. در این راستا، عصاره‌گیری از خاک و بررسی کمبود عناصر، می‌تواند مبنای ارائه توصیه‌های کودی صحیح و مؤثر قرار گیرد (سیمارد و زیزکا، ۱۹۹۴).

برای انتخاب عصاره‌گیر مناسب، باید به دو معیار اصلی توجه کرد: نخست، عصاره‌گیر باید توانایی استخراج پتاسیم از منابع قابل دسترس گیاه را داشته باشد. دوم، روش عصاره‌گیری باید سریع، اقتصادی و قابل تکرار باشد (حسین‌پور و زارع‌نیا، ۲۰۱۲). از جمله عصاره‌گیرهای مورد استفاده برای استخراج شکل‌های مختلف پتاسیم می‌توان به استات آمونیوم ۱ مولار، مهلیچ ۱ و ۲ و ۳، آمونیوم بی-کربنات - DTPA، سدیم تترافیل بران، باریوم کلرید ۰/۱ مولار، کلسیم کلرید ۰/۱ مولار، هیدروکلریک اسید ۰/۱ مولار و اسید نیتریک جوشان ۱ مولار اشاره نمود (احراری و همکاران، ۱۳۹۵). استات آمونیوم یکی از رایج‌ترین عصاره‌گیرهای مورد استفاده در جهان است که هر دو شکل پتاسیم محلول و تبادل‌ی را اندازه‌گیری می‌کند. با این حال، این روش در خاک‌هایی که حاوی مقادیر قابل توجهی پتاسیم غیرتبادل‌ی هستند، کارایی کافی ندارد؛ زیرا استات آمونیوم تنها قادر به استخراج پتاسیم محلول و تبادل‌ی است (جلالی و جلالی، ۲۰۲۲؛ ضرابی و جلالی، ۲۰۰۸). بازرگان و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهشی، بهینه‌سازی روش استفاده از استات آمونیوم برای تعیین پتاسیم قابل جذب در خاک‌های آهکی ایران را بررسی و اظهار نمودند که می‌توان غلظت استات آمونیوم را از ۱ مولار به ۰/۱ مولار کاهش و در مقابل بجای ۳۰ دقیقه هم‌زدن با شیکر، ۱۲ ساعت مخلوط را بدون بهم‌زدن نگهداری و نتایج با همبستگی خوبی را مشاهده نمود. در این روش مصرف استات آمونیوم و هزینه تجزیه کاهش می‌یابد.

در سال‌های اخیر، کاهش عملکرد گیاهان به دلیل کمبود پتاسیم مشاهده شده است. عوامل متعددی در این امر تأثیرگذار هستند که مهم‌ترین آنها عبارتند از: کاهش سطح پتاسیم خاک‌ها به دلیل کشاورزی فشرده و استفاده از ارقام پرمحصول، رقابت پتاسیم با کاتیون‌های فراوان در

خاک‌های آهکی نظیر کلسیم و منیزیم، و کاهش استفاده از ترکیبات آلی حاوی پتاسیم (نجفی قیری و بوستانی، ۱۴۰۳). با وجود مقدار کافی پتاسیم قابل استفاده در خاک باغ‌های مرکبات جنوب فارس، گزارش‌هایی از کمبود این عنصر در اندام‌های گیاهی درختان این مناطق به ثبت رسیده است (نجفی قیری و همکاران، ۲۰۱۷). پژوهشگران دلیل این مسئله در خاک‌های آهکی را رقابت کلسیم و منیزیم با پتاسیم برای جذب توسط ریشه یا انتقال آن به اندام‌های هوایی گیاه می‌دانند (هین و همکاران، ۲۰۱۷؛ مارشنر، ۲۰۱۱). بنابراین ترکیب شیمیایی محلول خاک می‌تواند در جذب عناصر کاتیونی مانند پتاسیم تاثیر بسزایی داشته باشد. مناطق غربی استان کهگیلویه و بویراحمد و بخش‌های غربی، مرکزی و جنوبی استان فارس، به دلیل شرایط اقلیمی مناسب و کیفیت مطلوب خاک، ظرفیت بالایی برای کشت و توسعه مرکبات دارند. با این حال، تولید در بسیاری از باغ‌ها به طور متوسط پایین است و یکی از عوامل اصلی این عملکرد ضعیف، عدم تعادل عناصر غذایی در خاک است. از میان این عناصر، پتاسیم به عنوان یکی از عوامل حیاتی در افزایش بازدهی و بهبود کیفیت و کمیت محصولات پرتقال، اهمیت ویژه‌ای دارد. با این وجود، پیچیدگی‌های مرتبط با رفتار پتاسیم در خاک و ابهاماتی در خصوص میزان پتاسیم قابل جذب و استفاده از کودهای پتاسیمی در خاک‌های ایران، ضرورت پژوهش‌های دقیق در این زمینه را بیشتر کرده است. در این راستا، پژوهش حاضر با هدف بررسی وضعیت پتاسیم در خاک‌های مناطق مذکور، شامل اندازه‌گیری اشکال مختلف پتاسیم و معرفی عصاره‌گیرهای مناسب برای استخراج این عنصر، در برخی از باغ‌های پرتقال استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد انجام شد.

## مواد و روش‌ها

بخش‌های غربی، مرکزی و جنوبی استان فارس و همچنین مناطق غربی استان کهگیلویه و بویراحمد، برای دهه‌ها است که به دلیل برخورداری از شرایط اقلیمی مناسب

و خاک با کیفیت مطلوب، از ظرفیت بالایی برای کشت و گسترش باغ‌های مرکبات برخوردارند. در حال حاضر سطح زیر کشت در این مناطق نزدیک به ۸۰ هزار هکتار می‌باشد. با توجه به اهداف این پژوهش در خصوص تعیین شکل-های مختلف پتاسیم و معرفی بهترین عصاره‌گیرهای مناسب برای استخراج پتاسیم، مناطق اصلی زیرکشت پرتقال در دو استان فارس و کهگیلویه و بویراحمد شناسایی گردیدند. در این راستا، از مناطق مورد نظر نمونه‌برداری از زیر سایه‌انداز درختان انجام شد. نمونه‌ها از فاصله ۸۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متری از تنه هر درخت و در دو عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر برداشت گردید. نمونه‌برداری سه‌بار تکرار شد و در نهایت نمونه‌های ترکیبی از اختلاط آنها تهیه شد. پس از خشک کردن در هوا، نمونه‌ها از الک دو میلی‌متری عبور داده شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه آزمایش‌های مرتبط به شرح زیر بر روی نمونه‌های آماده شده انجام گرفت: بافت خاک به روش هیدرومتر (بویوکوس، ۱۹۶۲)، قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره گل اشباع توسط دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی، پ‌هاس گل اشباع توسط دستگاه پ‌هاس سنج، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استات سدیم یک نرمال پ‌هاس ۸/۲ (چاپمن، ۱۹۶۵)، کربنات کلسیم به روش تیتراسیون برگشتی اسید کلریدریک (ریچاردز، ۱۹۵۴)، کربن آلی به روش سوزاندن‌تر و تیتراسیون با بیکرومات پتاسیم آمونیوم فروس اندازه‌گیری گردید (جکسون، ۱۹۷۵).

پتاسیم محلول در عصاره اشباع اندازه‌گیری شد. پتاسیم تبدلی توسط استات آمونیوم ۱ نرمال با پ‌هاس ۷ و تکان دادن به مدت ۱۰ دقیقه و تکرار آن در سه نوبت اندازه‌گیری گردید. جهت اندازه‌گیری پتاسیم قابل عصاره-گیری با اسید نیتریک جوشان، ۲/۵ گرم خاک و ۲۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۱ مولار به مدت ۱۵ دقیقه جوشانده شد و سپس محلول را از کاغذ صافی عبور داده و در والیومتریکی ۱۰۰ میلی‌لیتری جمع‌آوری گردید. و در نهایت با استفاده از اسید نیتریک ۰/۱ مولار به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده می‌شود (پرات، ۱۹۶۵). اندازه‌گیری پتاسیم کل خاک به

روش هلمک و اسپارکز (۱۹۹۶)، صورت گرفت. در این روش به ۰/۵ گرم خاک ۱ میلی لیتر از محلول تیزاب سلطانی (مخلوط یک قسمت اسید نیتریک غلیظ و سه قسمت اسید کلریدریک غلیظ) و ۱۰ میلی لیتر از اسید فلوریدریک افزوده شد و در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت حرارت داده شد. سپس مخلوط به والیومتریکی پلاستیکی حاوی ۲/۸ گرم اسید بوریک انتقال داده شده و تا حجم ۱۰۰ میلی لیتر رقیق گردید. عصاره‌های به دست آمده با روش شعله سنجی با دستگاه شعله‌سنج اندازه‌گیری گردید.

عصاره‌گیرهای مورد استفاده برای استخراج پتاسیم از خاک به شرح زیر می‌باشند: کلرید سدیم ۱ و ۲ مولار (مارتین و اسپارکز، ۱۹۸۳)، اسید سولفوریک ۰/۰۲۵ مولار (حسین‌پور و بیابانکی، ۱۳۸۳)، کلرید کلسیم ۰/۰۱

مولار (هابی و همکاران، ۱۹۹۰)، مورگان-ولف (جونز، ۱۹۹۰)، بی‌کربنات آمونیم-DTPA (جونز، ۱۹۹۰)، آمونیوم استات ۱ نرمال، سدیم استات ۱ نرمال، منیزیم استات ۱ مولار، اسید کلریدریک ۲ مولار و اسید نیتریک ۰/۱ نرمال (نادسون و همکاران، ۱۹۸۲). جدول ۱ مشخصات روش-های عصاره‌گیری شامل غلظت، نسبت خاک به عصاره‌گیر و زمان به تعادل رسیدن را نشان می‌دهد. همچنین برای جزئیات بیشتر درمورد عصاره‌گیرهای مورد استفاده در این پژوهش می‌توان از منابع جدید استفاده نمود (شهبازی و همکاران، ۱۴۰۳). در نهایت عصاره‌گیری که بیشترین همبستگی با پتاسیم گیاه داشت، معرفی گردید. نتایج بدست آمده از این پژوهش با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

جدول ۱- مشخصات روش‌های عصاره‌گیری مورد استفاده

| شماره عصاره‌گیر | نام عصاره‌گیر           | غلظت (مولار) | نسبت خاک به عصاره‌گیر | زمان به تعادل رسیدن |
|-----------------|-------------------------|--------------|-----------------------|---------------------|
| ۱               | استات سدیم              | ۱            | ۱:۱۰                  | ۱۰ دقیقه            |
| ۲               | استات منیزیم            | ۱            | ۱:۲۰                  | ۱۰ دقیقه            |
| ۳               | سدیم کلرید              | ۱            | ۱:۱۰                  | ۱۵ دقیقه            |
| ۴               | اسید کلریدریک           | ۲            | ۱:۱۰                  | ۱۵ دقیقه            |
| ۵               | سدیم کلرید              | ۲            | ۱:۱۰                  | ۱۵ دقیقه            |
| ۶               | کلرید کلسیم             | ۰/۰۱         | ۱:۱۰                  | ۱ دقیقه             |
| ۷               | DTPA <sup>۱</sup>       | -            | ۱:۱۰                  | ۱۰ دقیقه            |
| ۸               | مورگان-ولف <sup>۲</sup> | -            | ۱:۱۰                  | ۱۰ دقیقه            |
| ۹               | اسید نیتریک             | ۰/۱          | ۱:۱۰                  | ۱۰ دقیقه            |
| ۱۰              | اسید سولفوریک           | ۰/۰۲۵        | ۱:۱۰                  | ۵ دقیقه             |
| ۱۱              | استات آمونیوم           | ۱            | ۱:۱۰                  | ۱۵ دقیقه            |

<sup>۱</sup> شامل بی‌کربنات آمونیوم یک مولار و DTPA ۰/۰۰۵ مولار شامل استات سدیم ۰/۷۳ مولار، اسید استیک ۰/۵۲ مولار و DTPA ۰/۰۰۱ مولار

## نتایج و بحث

جدول ۲ موقعیت و رده‌بندی خاک‌های مناطق مطالعه‌شده در دو استان را نشان می‌دهد. خاک‌های کلیه مناطق نمونه‌برداری شده در دو رده اتی‌سول و اینسپتی‌سول بوده‌اند (آزادی و شاکری، ۲۰۲۱؛ شاکری، ۱۳۹۵، نجفی قیری، ۱۳۸۹). از ۱۸ منطقه مورد مطالعه ۱۰ نمونه اول مربوط به استان فارس و ۸ نمونه بعدی مربوط به استان کهگیلویه و بویراحمد بوده‌است. جدول ۳ ویژگی‌های

فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، بافت بیشتر خاک‌ها در دامنه لومی، سیلتی لومی و رسی لومی بوده‌است. مقدار رس در دامنه ۱۴ تا ۳۴ درصد، مقدار پ‌هاش در دامنه ۷/۱ تا ۷/۹ بوده است که بیانگر شرایط خنثی تا کمی قلیایی در خاک‌های مطالعه‌شده است. کربنات کلسیم معادل در خاک‌های مورد بررسی در دامنه ۲۶ (منطقه فسا) تا ۶۱ (منطقه لارستان) درصد و کربن

آلی خاک در دامنه ۰/۲ تا ۲/۶ درصد بوده است. قابلیت هدایت الکتریکی نیز در دامنه ۰/۲ (منطقه تیون) تا ۷/۸ (منطقه قطب‌آباد) دسی‌زیمنس بر متر با میانگین ۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر بوده است. همچنین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها در بازه ۵/۳ (منطقه گچساران) تا ۲۶/۲ (منطقه قائمیه) سانتی‌مول بر کیلوگرم بوده است.

جدول ۲- اطلاعات عمومی خاک‌های مورد مطالعه

| شماره خاک                 | منطقه         | طول جغرافیایی<br>(متر شمالی) | عرض جغرافیایی<br>(متر شرقی) | رده‌بندی خاک<br>(تاکسونومی، ۲۰۲۲) |
|---------------------------|---------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| استان فارس                |               |                              |                             |                                   |
| ۱                         | فیروزآباد     | ۶۵۲۵۶۶                       | ۳۱۹۱۲۱۰                     | Typic Xerofluvents                |
| ۲                         | قائمیه        | ۵۵۸۹۴۳                       | ۳۳۰۱۱۲۹                     | Typic Calciustepts                |
| ۳                         | تیون          | ۶۶۱۶۶۹                       | ۳۲۵۵۱۴۵                     | Typic Calcixerepts                |
| ۴                         | داراب         | ۲۶۱۰۰۲                       | ۳۱۸۲۸۷۰                     | Gypsic Haplustepts                |
| ۵                         | خفر           | ۷۱۶۰۶۲                       | ۳۲۰۷۳۱۰                     | Typic Xerofluvents                |
| ۶                         | قطب‌آباد      | ۷۹۴۹۵۴                       | ۳۱۷۳۹۶۶                     | Typic Calcixerepts                |
| ۷                         | داراب         | ۲۶۰۱۴۶                       | ۳۱۸۳۷۳۳                     | Typic Haplustepts                 |
| ۸                         | عباس‌آباد     | ۶۷۸۱۲۲                       | ۳۲۳۰۲۴۱                     | Typic Xerorthents                 |
| ۹                         | فسا           | ۷۵۶۶۴۸                       | ۳۲۰۳۷۸۰                     | Typic Calcixerepts                |
| ۱۰                        | لار           | ۷۹۲۲۳۳                       | ۳۱۲۹۶۳۵                     | Typic Torriorthents               |
| استان کهگیلویه و بویراحمد |               |                              |                             |                                   |
| ۱۱                        | گچساران       | ۵۰۰۷۵۰                       | ۳۳۴۸۹۲۶                     | Typic Ustifluvents                |
| ۱۲                        | تلخاب شیرین   | ۴۹۱۳۲۴                       | ۳۳۵۴۷۶۱                     | Aridic Calciustepts               |
| ۱۳                        | چهاربیشه      | ۴۷۴۲۵۵                       | ۳۳۶۴۹۵۷                     | Ustic Torriorthents               |
| ۱۴                        | امامزاده جعفر | ۴۹۶۹۴۱                       | ۳۳۵۳۳۹۹                     | Ustic Torriorthents               |
| ۱۵                        | باشت          | ۵۱۸۴۲۷                       | ۳۳۵۴۴۰۷۶                    | Typic Calciustepts                |
| ۱۶                        | مُله‌برفی     | ۵۲۴۷۶۱                       | ۳۳۵۱۵۹۵                     | Typic Calciustepts                |
| ۱۷                        | پل‌بریم       | ۵۲۳۷۲۱                       | ۳۳۵۳۵۹۳                     | Ustic Torriorthents               |
| ۱۸                        | امام‌ضامن     | ۵۲۳۷۲۱                       | ۳۳۵۰۷۹۲                     | Typic Calciustepts                |

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در دو استان

| خاک                       | عمق   | شن    | سیلت  | رس       | کربن الی | کربنات کلسیم<br>معادل | رطوبت اشباع | پ هاش    | ظرفیت تبادل<br>کاتیونی | قابلیت هدایت<br>الکتریکی |
|---------------------------|-------|-------|-------|----------|----------|-----------------------|-------------|----------|------------------------|--------------------------|
| سانتی‌متر                 |       |       |       |          |          |                       |             |          |                        |                          |
| ----- % -----             |       |       |       |          |          |                       |             |          |                        |                          |
| dSm <sup>-1</sup>         |       |       |       |          |          |                       |             |          |                        |                          |
| cmolg <sup>-1</sup>       |       |       |       |          |          |                       |             |          |                        |                          |
| استان فارس                |       |       |       |          |          |                       |             |          |                        |                          |
| ۱                         | ۳۰-۰  | ۲۶    | ۵۴    | ۲۰       | ۱/۹۱     | ۵۶/۲                  | ۲۲/۵        | ۷/۴۴     | ۱۸/۶                   | ۲/۴۵                     |
| ۲                         |       | ۱۶    | ۵۹    | ۲۵       | ۱/۱۶     | ۴۷/۲                  | ۴۸/۳        | ۷/۴۶     | ۲۶/۲                   | ۰/۸۱                     |
| ۳                         |       | ۲۰    | ۵۷    | ۲۳       | ۱/۶۸     | ۵۵                    | ۱۲/۰        | ۷/۶۲     | ۱۳/۶                   | ۰/۲۰                     |
| ۴                         |       | ۶۶    | ۱۹    | ۱۵       | ۰/۹۸     | ۴۸                    | ۳۳/۲        | ۷/۸۲     | ۶/۷۰                   | ۰/۹۴                     |
| ۵                         |       | ۴۶    | ۳۷    | ۱۷       | ۲/۴      | ۴۱/۲                  | ۵۲/۴        | ۷/۵۲     | ۱۶/۰                   | ۱/۲۱                     |
| ۶                         |       | ۴۹    | ۳۲    | ۱۹       | ۰/۷۲     | ۴۷/۲                  | ۳۷/۸        | ۷/۵۱     | ۹/۲۷                   | ۷/۸                      |
| ۷                         |       | ۴۹    | ۳۲/۲  | ۱۸       | ۰/۵۷     | ۴۴/۲                  | ۳۷/۴        | ۷/۷۱     | ۱۰/۴۰                  | ۱/۰۲                     |
| ۸                         |       | ۵۲    | ۲۹    | ۱۹       | ۰/۵۳     | ۵۸/۲                  | ۲۴/۳        | ۷/۷۹     | ۸                      | ۱/۱۲                     |
| ۹                         |       | ۴۶    | ۳۵    | ۱۹       | ۰/۲۰     | ۳۸/۷                  | ۴۶          | ۷/۸۱     | ۸/۶۲                   | ۰/۸۱                     |
| ۱۰                        |       | ۳۸    | ۴۲    | ۲۰       | ۰/۸۳     | ۶۱/۰                  | ۴۴/۸        | ۷/۶۶     | ۸/۸۶                   | ۱/۲۳                     |
| ۱                         | ۶۰-۳۰ | ۴۰    | ۳۸    | ۲۲       | ۰/۵۳     | ۶۱/۰                  | ۴۱/۷        | ۷/۲۰     | ۸/۴۱                   | ۲/۶۵                     |
| ۲                         |       | ۱۶    | ۵۷    | ۲۷       | ۰/۶۱     | ۵۱/۲                  | ۴۷          | ۷/۵۴     | ۲۰/۸                   | ۰/۷۲                     |
| ۳                         |       | ۲۲    | ۵۶    | ۲۲       | ۱/۷۲     | ۵۵/۷                  | ۵۷/۰        | ۷/۷۰     | ۲۳/۰                   | ۱/۱۶                     |
| ۴                         |       | ۶۸    | ۱۸    | ۱۴       | ۰/۷۹     | ۳۷/۵                  | ۳۱/۲        | ۷/۷۷     | ۹/۹۴                   | ۱/۰۲                     |
| ۵                         |       | ۳۵    | ۴۲    | ۲۳       | ۰/۶۸     | ۴۰                    | ۴۳/۴        | ۷/۸۲     | ۱۰/۸                   | ۱/۲۳                     |
| ۶                         |       | ۵۲    | ۳۱    | ۱۷       | ۱/۵۰     | ۵۸/۲                  | ۴۳/۱        | ۷/۸۶     | ۱۰/۴۰                  | ۲/۷۲                     |
| ۷                         |       | ۴۶    | ۳۵    | ۱۹       | ۰/۶۱     | ۴۷/۰                  | ۳۴/۶        | ۷/۸۵     | ۷/۱۲                   | ۱/۰۵                     |
| ۸                         |       | ۳۶    | ۴۴    | ۲۰       | ۰/۲۴     | ۵۴/۵                  | ۳۱          | ۷/۴۶     | ۸/۸۴                   | ۳/۰۷                     |
| ۹                         |       | ۴۹    | ۳۲/۵  | ۱۸/۵     | ۱/۴۲     | ۲۶/۰                  | ۲۵/۶        | ۷/۶۳     | ۱۵/۴                   | ۱/۶۷                     |
| ۱۰                        |       | ۳۲    | ۴۷    | ۲۱       | ۰/۶۱     | ۵۰                    | ۴۴/۸        | ۷/۶۰     | ۹/۳۳                   | ۱/۹۵                     |
| بازه                      | ۶۸-۱۶ | ۵۹-۱۸ | ۲۷-۱۴ | ۰/۲-۲/۴  | ۲۶-۶۱    | ۵۷-۱۲                 | ۷/۲-۷/۸۵    | ۶/۷-۲۶/۲ | ۰/۲-۳/۱                | ۱/۳۰                     |
| میانگین                   | ۴۰/۴  | ۳۹/۶  | ۲۰/۱  | ۱/۵      | ۴۸/۵     | ۳۷/۳                  | ۷/۶         | ۱۲/۹     | ۱۲/۹                   | ۱/۳۰                     |
| استان کهگیلویه و بویراحمد |       |       |       |          |          |                       |             |          |                        |                          |
| ۱۱                        | ۳۰-۰  | ۳۶    | ۳۸    | ۲۶       | ۰/۶۶     | ۵۰                    | ۳۶/۹        | ۷/۲۰     | ۸/۸                    | ۰/۶۰                     |
| ۱۲                        |       | ۴۸    | ۵۲    | ۲۰       | ۰/۸۶     | ۴۹/۷                  | ۳۰/۵        | ۷/۳۰     | ۸/۰                    | ۰/۵۵                     |
| ۱۳                        |       | ۳۶    | ۴۴    | ۲۰       | ۱/۰۷     | ۴۷/۷                  | ۴۲/۶        | ۷/۴۰     | ۸/۷                    | ۱/۱۰                     |
| ۱۴                        |       | ۵۰    | ۳۰    | ۲۰       | ۰/۶۶     | ۵۱/۲                  | ۳۸          | ۷/۳۰     | ۷/۳                    | ۲/۳۱                     |
| ۱۵                        |       | ۳۶    | ۴۶    | ۱۸       | ۰/۸۸     | ۴۷/۵                  | ۳۸          | ۷/۵۰     | ۷/۵                    | ۰/۶۰                     |
| ۱۶                        |       | ۳۲    | ۳۸    | ۳۰       | ۱/۴۶     | ۳۷/۰                  | ۴۴          | ۷/۶۰     | ۱۲/۵                   | ۰/۶۱                     |
| ۱۷                        |       | ۲۸    | ۴۰    | ۳۲       | ۰/۷۸     | ۴۱/۲                  | ۴۸          | ۷/۵۰     | ۱۰/۷                   | ۰/۹۹                     |
| ۱۸                        |       | ۲۶    | ۶۰    | ۱۴       | ۲/۵۵     | ۴۰                    | ۴۸          | ۷/۳۰     | ۱۲/۳                   | ۱/۱۰                     |
| ۱۱                        | ۶۰-۳۰ | ۳۲    | ۳۸    | ۳۰       | ۰/۳۷     | ۵۲/۵                  | ۴۰/۱        | ۷/۱۰     | ۸/۸                    | ۰/۶۸                     |
| ۱۲                        |       | ۶۰    | ۲۰    | ۲۰       | ۰/۳۷     | ۵۷/۵                  | ۲۸/۰        | ۷/۲۰     | ۶/۳                    | ۰/۹۲                     |
| ۱۳                        |       | ۴۶    | ۳۴    | ۲۰       | ۰/۸۸     | ۵۶/۲                  | ۳۶/۴        | ۷/۴۰     | ۸/۰                    | ۰/۷۳                     |
| ۱۴                        |       | ۶۲    | ۲۲    | ۱۶       | ۰/۳۷     | ۶۰                    | ۳۱          | ۷/۵۰     | ۵/۳                    | ۲/۶                      |
| ۱۵                        |       | ۲۴    | ۵۲    | ۲۴       | ۰/۴۹     | ۴۸/۷                  | ۴۳          | ۷/۶۰     | ۷/۷                    | ۰/۵۳                     |
| ۱۶                        |       | ۴۶    | ۳۲    | ۲۲       | ۱/۱۵     | ۴۷                    | ۴۱          | ۷/۵۰     | ۹/۵                    | ۱/۰۴                     |
| ۱۷                        |       | ۲۲    | ۴۴    | ۳۴       | ۰/۵۸     | ۳۷/۵                  | ۴۸          | ۷/۵۰     | ۱۰/۵                   | ۰/۸۰                     |
| ۱۸                        |       | ۲۶    | ۴۰    | ۳۴       | ۱/۶۰     | ۴۰                    | ۴۷          | ۷/۷۰     | ۱۴/۰                   | ۱                        |
| بازه                      | ۲۲-۶۲ | ۲۰-۶۰ | ۱۴-۳۴ | ۰/۳۷-۲/۶ | ۲۷-۶۰    | ۲۸-۴۸                 | ۷/۱ ۷/۷     | ۵/۳-۱۴   | ۰/۵۳-۲/۶               | ۱/۰۴                     |
| میانگین                   | ۳۹    | ۳۹    | ۲۲    | ۱/۰      | ۴۶/۸     | ۳۹/۸                  | ۷/۴         | ۹/۲      | ۹/۲                    | ۱/۰۴                     |



جدول ۴ مقادیر شکل‌های مختلف پتاسیم شامل محلول، تبدلی، غیرتبدلی، ساختمان‌ی و کل و همچنین درصد نسبی هرکدام از شکل‌ها را نشان می‌دهد. میزان پتاسیم محلول در خاک‌های مورد مطالعه از ۵/۲ تا ۵۹/۵ با میانگین ۱۴/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر می‌باشد که ۰/۲ تا ۱/۵ درصد کل پتاسیم را شامل شد که به طور میانگین ۰/۵ درصد می‌باشد. کمترین مقدار پتاسیم محلول در خاک منطقه گچساران (شماره ۱۱) و بیشترین مقدار در نمونه خاک منطقه فسا (شماره ۹) مشاهده شده است. نجفی قیری (۱۳۸۹) بیان نمود که مهم‌ترین عوامل در تعیین مقدار پتاسیم محلول در خاک‌ها، میزان آبشویی و کاربرد کود پتاسیم می‌باشد. هر چه مقدار آبشویی در خاک‌ها کمتر باشد، غلظت پتاسیم محلول افزایش می‌یابد. آبشویی کم را در مناطق خشک‌تر و یا در خاک‌های دارای زهکشی ضعیف به علت شرایط نامساعد فیزیکی خاک و یا وجود سفره آب بالا می‌توان انتظار داشت.

پتاسیم محلول در خاک‌های سطحی مطالعه‌شده در استان فارس در دامنه ۱۰/۴ (منطقه قائمیه) تا ۵۹/۵ (منطقه فسا) و در خاک زیرسطحی در دامنه ۶/۳ (منطقه تیون) تا ۳۳/۸ (منطقه عباس‌آباد) میلی‌گرم بر کیلوگرم و در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد به ترتیب در دامنه ۵/۲ تا ۱۱/۹ (منطقه گچساران) و ۵/۳ (پل بریم) تا ۶/۶ (منطقه باشت) میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است که بیانگر

دامنه گسترده‌تر این شکل از پتاسیم در خاک‌های استان فارس بوده است. اولیایی و همکاران (۱۳۹۳)، با بررسی خاک‌های آهکی مناطق مختلف اقلیمی استان کهگیلویه و بویراحمد بیان کردند که میزان پتاسیم محلول در دامنه ۲/۳ تا ۳۶/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک متغیر می‌باشد و تغییرات و مقدار میانگین در خاک‌های سطحی نسبت به خاک‌های زیرسطحی بیشتر است.

جدول‌های ۵ و ۶ مقادیر کمینه و بیشینه و میانگین شکل‌های پتاسیم در نمونه خاک‌های دو استان در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر را به تفکیک نشان می‌دهند. مطالعات شاکری و همکاران (۱۳۹۴) مرتبط با وضعیت پتاسیم در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد نشان داد که مقدار پتاسیم محلول در خاک‌های مطالعاتی استان متفاوت بوده، ولی مقدار آن در افق‌های سطحی بیشتر از افق‌های پایینی بوده است. همچنین این شکل پتاسیم (محلول) ارتباط معنی‌داری با کربن آلی، پتاسیم تبدلی و پتاسیم غیرتبدلی داشته است. پتاسیم محلول به سرعت برای گیاه و ریزموجودات خاک قابل استفاده است. سطح پتاسیم محلول خاک پایین است و وابسته به تخلیه (جذب توسط گیاه یا آبشویی) و همچنین جایگزینی شکل‌های تبدلی و غیرتبدلی خاک است. همچنین مقدار پتاسیم محلول بستگی به قدرت بافری کانی‌های رسی دارد (کرکمن و همکاران، ۱۹۹۴).

جدول ۴- مقادیر نسبی (درصد) شکل‌های پتاسیم موجود در خاک‌های مورد مطالعه در دو استان

| شماره                     | عمق (cm) | شکل‌های مختلف پتاسیم (mg kg <sup>-1</sup> ) |          |            |           | توزیع نسبی شکل‌های مختلف پتاسیم (%) |          |           |            |          |
|---------------------------|----------|---------------------------------------------|----------|------------|-----------|-------------------------------------|----------|-----------|------------|----------|
|                           |          | محلول                                       | تبادلی   | غیر تبادلی | ساختمانی  | کل                                  | محلول    | تبادلی    | غیر تبادلی | ساختمانی |
| استان فارس                |          |                                             |          |            |           |                                     |          |           |            |          |
| ۱                         | ۳۰-۰     | ۱۰/۹                                        | ۹۲/۰     | ۴۷۷/۶      | ۲۵۰۶      | ۲۹۸۳                                | ۰/۴      | ۲/۷       | ۱۲/۹       | ۸۴/۰     |
| ۲                         |          | ۱۰/۴                                        | ۱۸۳/۱    | ۶۶۵/۱      | ۳۶۸۱      | ۴۳۴۶                                | ۰/۲      | ۴/۰       | ۱۱/۱       | ۸۴/۷     |
| ۳                         |          | ۳۲/۴                                        | ۲۷۹/۰    | ۹۲۷/۴      | ۲۸۶۴      | ۳۷۹۲                                | ۰/۹      | ۶/۵       | ۱۷/۱       | ۷۵/۵     |
| ۴                         |          | ۲۴/۴                                        | ۱۵۱/۳    | ۵۳۳/۴      | ۱۹۷۸      | ۲۵۱۱                                | ۱/۰      | ۵/۱       | ۱۵/۲       | ۷۸/۸     |
| ۵                         |          | ۱۱/۹                                        | ۱۱۵/۹    | ۵۵۶/۰      | ۲۳۰۴      | ۲۸۶۰                                | ۰/۴      | ۳/۶       | ۱۵/۴       | ۸۰/۶     |
| ۶                         |          | ۲۹/۷                                        | ۳۱۴/۰    | ۶۴۸/۰      | ۰۳۴۷      | ۲۹۹۴                                | ۱/۰      | ۹/۵       | ۱۱/۲       | ۷۸/۴     |
| ۷                         |          | ۳۲/۴                                        | ۲۳۱/۵    | ۷۵۹/۴      | ۲۵۸۱      | ۳۳۴۰                                | ۱/۰      | ۶/۰       | ۱۵/۸       | ۷۷/۳     |
| ۸                         |          | ۲۸/۴                                        | ۱۹۸/۶    | ۶۶۳/۳      | ۳۸۳۷      | ۲۵۰۰                                | ۱/۱      | ۶/۸       | ۱۸/۶       | ۷۳/۵     |
| ۹                         |          | ۵۹/۰                                        | ۶۴۵/۰    | ۱۶۲۶/۸     | ۲۴۶۸      | ۴۰۹۵                                | ۱/۵      | ۱۴/۳      | ۲۴/۰       | ۶۰/۳     |
| ۱۰                        |          | ۱۴/۰                                        | ۶۳/۸     | ۴۲۶/۸      | ۲۷۸۵      | ۴۲۱۲                                | ۰/۴      | ۱/۶       | ۱۱/۳       | ۸۶/۷     |
| استان کهگیلویه و بویراحمد |          |                                             |          |            |           |                                     |          |           |            |          |
| ۱                         | ۶۰-۳۰    | ۱۴/۷                                        | ۸۴/۶     | ۳۸۱/۹      | ۲۳۱۵      | ۲۶۹۷                                | ۰/۵      | ۲/۶       | ۱۱/۰       | ۸۵/۸     |
| ۲                         |          | ۷/۲                                         | ۱۳۵/۳    | ۵۸۲/۲      | ۳۴۷۸      | ۴۰۶۱                                | ۰/۲      | ۳/۲       | ۱۱/۰       | ۸۵/۷     |
| ۳                         |          | ۶/۳                                         | ۱۰۱/۷    | ۷۳۴/۹      | ۲۸۷۳      | ۴۶۰۸                                | ۰/۲      | ۲/۶       | ۱۷/۵       | ۷۹/۶     |
| ۴                         |          | ۲۷/۷                                        | ۱۷۰/۵    | ۵۵۸/۸      | ۲۰۱۱      | ۲۵۶۹                                | ۱/۱      | ۵/۶       | ۱۵/۱       | ۷۸/۳     |
| ۵                         |          | ۶/۹                                         | ۸۸/۲     | ۵۸۲/۷      | ۲۶۴۶      | ۳۲۲۹                                | ۰/۲      | ۲/۵       | ۱۵/۳       | ۸۲/۰     |
| ۶                         |          | ۱۷/۸                                        | ۱۶۸/۱    | ۵۸۷/۹      | ۲۳۰۰      | ۲۸۸۸                                | ۰/۶      | ۵/۲       | ۱۴/۵       | ۷۹/۶     |
| ۷                         |          | ۳۳/۱                                        | ۲۳۱/۵    | ۸۰۵/۹      | ۱۵۳۸      | ۲۳۴۴                                | ۱/۴      | ۸/۵       | ۲۴/۵       | ۶۵/۶     |
| ۸                         |          | ۳۳/۸                                        | ۱۷۰/۵    | ۶۵۱/۴      | ۲۲۱۱      | ۲۸۶۲                                | ۱/۲      | ۴/۸       | ۱۶/۸       | ۷۷/۲     |
| ۹                         |          | ۱۳/۵                                        | ۱۴۴/۳    | ۵۹۱/۴      | ۳۳۰۴      | ۳۸۹۵                                | ۰/۳      | ۳/۴       | ۱۱/۵       | ۸۴/۸     |
| ۱۰                        |          | ۱۱/۰                                        | ۵۹/۰     | ۴۰۹/۶      | ۲۷۱۲      | ۳۱۲۱                                | ۰/۳      | ۱/۶       | ۱۱/۲       | ۸۶/۹     |
| دامنه                     | ۵۹-۶/۹   | ۵۹-۶۴۵                                      | ۱۶۲۷-۳۸۲ | ۱۵۲۸-۳۶۸۱  | ۲۳۴۴-۴۳۴۶ | ۰/۲-۱/۵                             | ۱/۶-۱۴/۳ | ۲۴/۵-۱۱/۰ | ۶۰-۸۷      |          |
| میانگین                   |          | ۲۱/۱                                        | ۱۶۰/۲    | ۶۳۷        | ۲۵۳۷      | ۳۱۹۶                                | ۰/۷      | ۵/۰       | ۱۵/۱       | ۷۹/۲     |
| استان کهگیلویه و بویراحمد |          |                                             |          |            |           |                                     |          |           |            |          |
| ۱۱                        | ۳۰-۰     | ۵/۲                                         | ۸۰/۹     | ۳۳۴/۳      | ۵۴۲۰      | ۸۷۵۴                                | ۰/۲      | ۲/۷       | ۹/۲        | ۸۷/۹     |
| ۱۲                        |          | ۵/۴                                         | ۱۱۸/۰    | ۴۷۱/۶      | ۲۰۵۳      | ۵۵۲۵                                | ۰/۲      | ۴/۵       | ۱۴/۰       | ۸۱/۳     |
| ۱۳                        |          | ۵/۴                                         | ۱۱۱/۷    | ۵۱۶/۰      | ۲۲۹۶      | ۲۸۱۲                                | ۰/۲      | ۳/۸       | ۱۴/۴       | ۸۱/۶     |
| ۱۴                        |          | ۱۲/۰                                        | ۵۹۹/۷    | ۱۲۶۳       | ۱۷۳۶      | ۳۰۰۰                                | ۰/۴      | ۱۹/۶      | ۲۲/۱       | ۵۷/۹     |
| ۱۵                        |          | ۷/۰                                         | ۲۲۰/۳    | ۵۰۱/۲      | ۱۱۰۷      | ۱۶۰۸                                | ۰/۴      | ۱۳/۳      | ۱۷/۵       | ۶۸/۸     |
| ۱۶                        |          | ۷/۲                                         | ۳۵۷/۸    | ۹۷۸/۴      | ۵۱۱۵      | ۴۰۹۳                                | ۰/۲      | ۸/۶       | ۱۵/۲       | ۷۶/۱     |
| ۱۷                        |          | ۵/۶                                         | ۱۹۰/۸    | ۶۲۴/۳      | ۲۹۹۹      | ۳۶۲۳                                | ۰/۲      | ۵/۱       | ۱۲/۰       | ۸۲/۸     |
| ۱۸                        |          | ۸/۴                                         | ۵۰۵/۶    | ۱۰۶۸/۷     | ۲۸۶۲      | ۲۹۳۱                                | ۰/۲      | ۱۲/۶      | ۱۴/۳       | ۷۲/۸     |
| استان کهگیلویه و بویراحمد |          |                                             |          |            |           |                                     |          |           |            |          |
| ۱۱                        | ۶۰-۳۰    | ۵/۷                                         | ۶۰/۹     | ۳۴۴/۴      | ۴۸۹۷      | ۲۲۴۱                                | ۰/۲      | ۲/۴       | ۱۲/۷       | ۸۴/۶     |
| ۱۲                        |          | ۵/۳                                         | ۵۶/۰     | ۳۲۴/۱      | ۱۴۳۲      | ۱۷۵۶                                | ۰/۳      | ۲/۹       | ۱۵/۳       | ۸۱/۶     |
| ۱۳                        |          | ۵/۳                                         | ۹۵/۸     | ۳۹۵/۵      | ۱۹۶۷      | ۲۳۶۲                                | ۰/۲      | ۳/۸       | ۱۲/۷       | ۸۳/۳     |
| ۱۴                        |          | ۶/۶                                         | ۱۲۲/۲    | ۳۵۲/۶      | ۵۲۱       | ۸۷۴                                 | ۰/۸      | ۱۳/۲      | ۲۶/۴       | ۵۹/۷     |
| ۱۵                        |          | ۶/۶                                         | ۱۶۳/۲    | ۴۲۳/۵      | ۶۹۰       | ۱۱۱۴                                | ۰/۶      | ۱۴/۱      | ۲۳/۴       | ۶۲/۰     |
| ۱۶                        |          | ۶/۱                                         | ۲۰۴/۰    | ۵۲۰/۷      | ۱۶۶۸      | ۲۱۸۹                                | ۰/۳      | ۹/۰       | ۱۴/۵       | ۷۶/۲     |
| ۱۷                        |          | ۵/۳                                         | ۱۵۳/۶    | ۵۹۱/۵      | ۲۶۰۴      | ۳۱۹۵                                | ۰/۲      | ۴/۶       | ۱۳/۷       | ۸۱/۵     |
| ۱۸                        |          | ۶/۶                                         | ۲۲۳/۱    | ۶۲۱/۵      | ۲۳۱۰      | ۲۹۳۲                                | ۰/۲      | ۷/۴       | ۱۳/۶       | ۷۸/۸     |
| دامنه                     | ۵/۲-۱۲   | ۵۶-۶۰۰                                      | ۳۲۴-۱۲۶۳ | ۵۲۱-۵۴۲۰   | ۸۷۴-۸۷۵۴  | ۰/۲-۰/۸                             | ۲/۴-۱۹/۶ | ۹/۲-۲۶/۴  | ۵۸-۸۸      |          |
| میانگین                   |          | ۶/۴                                         | ۱۹۷/۴    | ۵۷۶/۲      | ۳۹۸۰      | ۲۵۶۳                                | ۰/۳      | ۸/۰       | ۱۵/۷       | ۷۶/۱     |

میلی گرم بر کیلوگرم خاک تغییر می‌کند که البته مقادیر بالای آن یا مربوط به مناطق خشک و شور یا خاک‌های مناطق پست و محیط‌های مرطوب‌تر که دارای سفره آب بالا هستند

میکاه و ورمی‌کولیت دارای ظرفیت بافری بالایی بوده و سطح پتاسیم محلول را ثابت نگه می‌دارند. نجفی-فیری (۱۳۸۹)، در بررسی خاک‌های استان فارس بیان کرد که، مقادیر این شکل در خاک‌های سطحی از ۰/۸ تا ۲۶۰

و همچنین خاک‌هایی که کود پتاسیم دریافت کرده‌اند می‌باشد. پتاسیم محلول به طور عمده تحت تأثیر آبشویی قرار دارد. آبشویی پتاسیم در خاک‌های با مقدار زیاد رس مسأله قابل توجهی نیست، ولی هدررفت پتاسیم در خاک‌های شنی به علت ظرفیت تبادل کاتیونی پایین آن‌ها قابل توجه است (کلاه‌چی و جلالی، ۱۳۸۴).

غلظت پتاسیم محلول خاک در درجه اول به سطح پتاسیم تبدلی مربوط نیست، بلکه با مقدار و نوع کانی‌های رسی در ارتباط است. در خاک‌های رسی، غلظت پتاسیم محلول با افزایش مقدار پتاسیم تبدلی، به کندی

افزایش می‌یابد، در حالی که در خاک‌های شنی، افزایش مزبور با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد (جونز، ۱۹۷۸). حداکثر پتاسیم محلول مربوط به خاک منطقه فسا می‌باشد که بالاتر بودن پتاسیم محلول در این خاک می‌تواند علاوه بر استفاده از کودهای پتاسه، به بالاتر بودن میزان نسبی سیلت نسبت به رس در این منطقه هم نسبت داد که مطابق با نظریه منگل و همکاران (۱۹۹۸) با افزایش درصد سیلت غلظت پتاسیم محلول افزایش می‌یابد، زیرا ذرات سیلت دارای مکان‌های ویژه برای جذب و نگه‌داری پتاسیم نمی‌باشد.

جدول ۵- میانگین شکل‌های مختلف پتاسیم در دو عمق ۳۰- و ۶۰- سانتی‌متر استان فارس

| پتاسیم محلول | پتاسیم تبدلی | پتاسیم غیر تبدلی | پتاسیم ساختمانی | پتاسیم کل |        |
|--------------|--------------|------------------|-----------------|-----------|--------|
| ۳۰-۰         | ۲۴/۵         | ۲۲۲/۰            | ۷۱۵/۶           | ۲۵۱۴/۱    | ۳۲۲۹/۷ |
| ۳۰-۰         | ۱۰/۴         | ۶۳/۸             | ۴۲۶/۸           | ۱۸۳۷/۰    | ۲۵۰۰/۳ |
| ۳۰-۰         | ۵۹/۵         | ۶۴۵/۰            | ۱۶۲۶            | ۳۶۸۱/۱    | ۴۳۴۶/۲ |
| ۶۰-۳۰        | ۱۷/۰         | ۱۳۱/۷            | ۵۸۸/۷           | ۲۵۶۵/۷    | ۳۱۵۴/۴ |
| ۶۰-۳۰        | ۶/۳          | ۵۸/۹             | ۳۸۱/۹           | ۱۵۳۸/۳    | ۲۳۴۴/۲ |
| ۶۰-۳۰        | ۳۳/۸         | ۲۳۱/۵            | ۸۰۵/۹           | ۳۴۷۸/۹    | ۴۰۶۱/۱ |

جدول ۶- میانگین شکل‌های مختلف پتاسیم در دو عمق ۳۰- و ۶۰- سانتی‌متر استان کهگیلویه و بویراحمد

| پتاسیم محلول | پتاسیم تبدلی | پتاسیم غیر تبدلی | پتاسیم ساختمانی | پتاسیم کل |        |
|--------------|--------------|------------------|-----------------|-----------|--------|
| ۳۰-۰         | ۷/۰          | ۲۷۳/۱            | ۶۴۶/۷           | ۲۳۲۴/۰    | ۳۰۴۳/۷ |
| ۳۰-۰         | ۵/۲          | ۸۰/۹             | ۳۳۴/۳           | ۱۱۰۷/۷    | ۱۶۰۸/۹ |
| ۳۰-۰         | ۱۱/۹         | ۵۹۹/۷            | ۱۲۶۳            | ۳۱۱۵/۵    | ۴۰۹۳/۹ |
| ۶۰-۳۰        | ۵/۹          | ۱۳۴/۶            | ۴۲۲/۲           | ۱۶۳۶/۶    | ۲۰۸۳/۳ |
| ۶۰-۳۰        | ۵/۲          | ۶۰/۹             | ۳۲۴/۱           | ۵۲۱/۴     | ۸۷۴/۰  |
| ۶۰-۳۰        | ۶/۶          | ۲۲۳/۱            | ۶۲۱/۵           | ۲۶۰۴/۰    | ۳۱۹۵/۵ |

جدول‌های ۷ و ۸ همبستگی ویژگی‌های خاک با شکل‌های مختلف پتاسیم در نمونه‌های خاک‌های دو استان را نشان می‌دهند. بر این اساس مقدار پتاسیم محلول در خاک‌های استان فارس با مقادیر رطوبت اشباع، کربن آلی، شن، پتاسیم‌های تبدلی، غیرتبدلی و ساختمانی و در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد با مقادیر هدایت الکتریکی، شن و پتاسیم‌های تبدلی، غیرتبدلی و ساختمانی همبستگی مثبت و معنی‌دار داشته‌اند.

خلیلی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه وضعیت پتاسیم خاک باغ‌های مرکبات استان فارس اظهار داشتند که پتاسیم محلول با مقدار شن، قابلیت هدایت الکتریکی، شکل‌های تبدلی و غیرتبدلی پتاسیم ارتباط مثبت و معنی‌دار داشته اما با مقدار کربن آلی و پتاسیم ساختمانی همبستگی منفی معنی‌دار نشان داده‌است. نجفی قیری (۱۳۸۹)، مشاهده نمود که مقادیر پتاسیم محلول در خاک‌های اریدی‌سولز استان فارس بسیار بالا بوده و مهم‌ترین دلیل آن قرار گرفتن این خاک‌ها در محیط‌های خشک و بدون آبشویی کافی در

پروفیل خاک‌رخ می‌باشد که سبب تجمع یون‌های حاصل از تجزیه کانی‌ها در خاک‌رخ این خاک‌ها شده است. ضرابی و جلالی (۱۳۸۸) اظهار نمودند که مقدار پتاسیم محلول به اندازه کافی بالا نبوده و نمی‌تواند نیاز گیاه را در طول فصل رشد برطرف نماید، بنابراین باید به وسیله شکل‌های تبدلی و غیرتبدلی یا با اضافه کردن کود مجدداً احیا شود.

### پتاسیم تبدلی

مقدار پتاسیم تبدلی در نمونه‌های استان فارس در دامنه ۵۸/۹ (لارستان) تا ۶۴۵/۰ (فسا)، با میانگین ۱۶۰ و در نمونه‌های استان کهگیلویه و بویراحمد در دامنه ۶۸/۹ (گچساران) تا ۵۹۹/۷ (امامزاده جعفر)، با میانگین ۱۹۷/۴ میلی گرم بر کیلوگرم متغیر می‌باشد (جدول ۴). شاکری و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه وضعیت پتاسیم خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد میانگین پتاسیم تبدلی در افق‌های سطحی را ۲۰۱ و در افق‌های زیرسطحی ۱۲۳ میلی گرم در کیلوگرم گزارش نمود. است. بیشتر بودن پتاسیم تبدلی در سطح نسبت به عمق، به بیشتر بودن کانی اسمکتیت و مواد آلی در سطح خاک نسبت داده شده است.

بر اساس نتایج جدول‌های ۷ و ۸، مقدار پتاسیم تبدلی در خاک‌های استان فارس با مقادیر کربنات کلسیم معادل، رس، پتاسیم‌های محلول و غیرتبدلی و در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد با مقادیر کربن آلی، رس و پتاسیم‌های محلول و غیرتبدلی و کل همبستگی معنی‌داری داشته‌اند. رابطه مثبت و معنی‌داری بین مقادیر کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، رس، ایلیت، اسمکتیت و ورمی-کولیت و رابطه منفی و معنی‌داری بین کربنات کلسیم معادل و مقدار شن با پتاسیم تبدلی خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد توسط شاکری و همکاران (۱۳۹۴) گزارش شد. زارعیان و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه ارتباط شکل‌های مختلف پتاسیم با خصوصیات فیزیکوشیمیایی و کانی‌شناسی رسی خاک‌های دشت قره‌باغ در استان فارس اظهار داشتند که بجز پتاسیم محلول، سایر شکل‌های پتاسیم با مقادیر کربنات کلسیم معادل و شن همبستگی منفی و با

مقادیر رس و ظرفیت تبادل کاتیونی همبستگی مثبت معنی‌دار داشتند. جعفری (۱۳۹۸) در مطالعه ارتباط بین اشکال پتاسیم با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و تنوع کانی‌های رسی برخی از خاک‌های خوزستان همبستگی معنی‌دار بین مقدار پتاسیم تبدلی با مقادیر رس، قابلیت هدایت الکتریکی و پتاسیم‌های غیرتبدلی و محلول گزارش نمود.

ایرندگان و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی ارتباط شکل‌های مختلف پتاسیم با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های آهکی جنوب شرقی ایران را بررسی کردند. نامبردگان بین پتاسیم تبدلی با مقادیر کربن آلی، رس و ظرفیت تبادل کاتیونی همبستگی مثبت معنی‌دار به دست آوردند. اولیایی و همکاران (۱۳۹۳)، با بررسی خاک‌های آهکی استان کهگیلویه و بویراحمد بیان کرد که شکل تبدلی پتاسیم در خاک‌های سطحی مطالعه شده دارای مقادیر بیشتری نسبت به خاک‌های زیرسطحی می‌باشد (۴۵/۳ تا ۱۸۳/۱ میلی گرم بر کیلوگرم در خاک‌های سطحی و ۴۳/۶ تا ۱۰۶/۸ میلی گرم بر کیلوگرم در خاک‌های زیرسطحی). پتاسیم تبدلی در افق‌های سطحی و زیرسطحی خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد به ترتیب ۳/۴ و ۲/۴ درصد از پتاسیم کل خاک را به خود اختصاص داد. در خاک‌های سطحی به دلیل هوادیدگی بیشتر، مقدار بیشتری از پتاسیم موجود در ساختمان کانی‌های پتاسیم‌دار آزاد شده و در بخش تبدلی قرار می‌گیرد. از طرف دیگر مقدار بیشتر ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌های سطحی (به دلیل وجود مقدار بیشتر کربن آلی و رس‌های اسمکتیت) سبب تمرکز بیشتر پتاسیم آزاد شده در فاز تبدلی می‌گردد (نجفی قیری و همکاران، ۱۳۹۸). پتاسیم تبدلی به عنوان بخشی از پتاسیم که می‌تواند پتاسیم محلول خاک را بافر کند، مطرح می‌باشد. در صورت کاهش غلظت پتاسیم محلول در نتیجه جذب گیاه و یا آبشویی، پتاسیم تبدلی می‌تواند آن را جایگزین کند. هر چه نسبت پتاسیم تبدلی به پتاسیم محلول بیشتر باشد، نشان‌دهنده توانایی بیشتر خاک جهت بافر-نمودن تغییرات غلظت پتاسیم محلول و همچنین پتانسیل

آبشویی کمتر خاک می‌باشد (نجفی قیری و همکاران، ۲۰۱۱).

در ارتباط با همبستگی شکل‌های مختلف پتاسیم با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک به ویژه اجزای بافت خاک (شن، سیلت و رس)، مطالعات زیادی در خاک‌های ایران صورت گرفته است که بعضاً نتایج غیرمشابهی گزارش شده که بیانگر دخالت عوامل متعدد در میزان شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک می‌باشد. در مطالعه حاضر، نتایج نشان داد که میزان رس در خاک‌های استان فارس با پتاسیم تبدلی، ساختمانی و کل و در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد با پتاسیم تبدلی و ساختمانی همبستگی معنادار داشته‌است. این در حالی است که میزان پتاسیم محلول با میزان شن در خاک‌های هر دو استان همبستگی معنادار داشته‌است. مواد آلی خاک به دلیل اثرگذاری بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و استفاده از کودهای پتاسه، از جمله مواردی هستند که می‌توانند بر ارتباط بین شکل‌های پتاسیم و اجزای بافتی خاک اثر داشته‌باشند. مطالعات صورت گرفته در خاک‌های جنوب ایران نتایج یکسانی از همبستگی بین شکل‌های مختلف پتاسیم و اجزای بافت خاک ارائه نمی‌دهد. از جمله حیدرماه (۱۳۹۰) در مطالعه سیستمیک آزادسازی پتاسیم غیرتبدلی در برخی خاک‌های آهکی استان کهگیلویه و بویراحمد، بین مقدار رس و شکل‌های مختلف پتاسیم، رابطه معناداری مشاهده نمود. آزادی (۱۳۹۴) نیز در مطالعه خصوصیات مورفولوژی، کانی شناسی و وضعیت پتاسیم در سه ردیف پستی و بلندی در خاک‌های استان فارس بین مقدار رس و شکل‌های مختلف پتاسیم رابطه معناداری گزارش نکرد.

انجوی‌نژاد (۱۴۰۲) نیز در بررسی وضعیت شکل‌های پتاسیم خاک‌های سه منطقه در استان فارس، اظهار نمود که در منطقه سپیدان، رابطه مثبت و معناداری بین مقدار رس و شکل‌های تبدلی و غیرتبدلی وجود داشته است، در حالی که در منطقه دشت‌ارژن رابطه منفی بین مقدار رس و شکل‌های تبدلی و غیرتبدلی پتاسیم و در منطقه داراب هیچ رابطه‌ای بین مقدار رس و شکل‌های پتاسیم

گزارش نکردید. نامبرده تفاوت در کانی‌شناسی رس خاک-های این سه منطقه را به دلیل تفاوت در مواد مادری و شرایط اقلیمی، دلیل این امر گزارش نمود. شاکری (۱۳۹۵) در بررسی وضعیت پتاسیم خاک‌های سطحی استان کهگیلویه و بویراحمد، رابطه‌ای میان میزان رس و پتاسیم تبدلی گزارش نکرد؛ اما بیان داشت که بین میزان رس و پتاسیم‌های غیرتبدلی و ساختمانی، ارتباط معناداری وجود دارد.

### پتاسیم غیرتبدلی

پتاسیم غیرتبدلی که در بین لایه‌های کانی‌های رسی سیلیکاتی لایه‌ای نگهداری می‌شود، می‌تواند منبع مهم پتاسیم قابل جذب برای گیاهان باشد. مقادیر پتاسیم غیرتبدلی در نمونه‌های استان فارس در دامنه ۳۸۱/۹ (فیروزآباد) تا ۱۶۲۶/۰ (فسا)، با میانگین ۶۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در نمونه‌های استان کهگیلویه و بویراحمد در دامنه ۳۲۴ (تلخاب) تا ۱۲۶۴ (امامزاده جعفر)، با میانگین ۵۷۶/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر می‌باشد (جدول ۴).

پتاسیم غیر تبدلی متفاوت از پتاسیم ساختمانی است. این شکل پتاسیم بر خلاف پتاسیم ساختمانی با ساختمان بلورین کانی‌های رسی پیوندی ندارد. در عوض پتاسیم غیر-تبدلی در بین لایه‌های چهاروجهی‌های نزدیک به هم میکاها، ورمی‌کولیت‌های دی‌اکتاهدرال و تری‌اکتاهدرال و دیگر کانی‌هایی که پتاسیم را تثبیت می‌کنند محبوس است. پتاسیم هنگامی تثبیت می‌شود که قدرت پیوند بین پتاسیم و سطح رس بیشتر از پیوند بین کاتیون‌های منفرد پتاسیم باشد (حسینی فرد و همکاران، ۱۳۸۸؛ کلاسن و همکاران، ۲۰۰۱).

نتایج نشان داد که همچون پتاسیم تبدلی، این شکل از پتاسیم نیز در خاک سطحی نمونه‌های خاک استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد (۷۱۵ و ۶۴۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیشتر از خاک غیر سطحی (۵۸۸ و ۴۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بوده‌است (جدوهای ۵ و ۶). نجفی قیری (۱۳۸۹) با مطالعه وضعیت پتاسیم خاک‌های استان فارس بیان داشت که پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک جوشان

در دامنه ۳۱۰ تا ۱۹۴۲ میلی گرم بر کیلوگرم خاک بوده است. اولیایی و همکاران (۱۳۹۳) نیز، با مطالعه خاک‌های آهکی استان کهگیلویه و بویراحمد بیان کرد که مقادیر میانگین پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های سطحی و زیرسطحی به ترتیب ۵۱۱ و ۳۳۵ میلی گرم بر کیلوگرم بوده‌اند که با نتایج این پژوهش با میانگین ۴۴۶/۷ در عمق ۰-۳۰ سانتی متر و ۳۱۲/۲ در عمق ۳۰-۶۰ سانتی متر همخوانی دارد. هم چنین میانگین میزان پتاسیم غیر تبادلی در خاک‌های استان فارس در عمق ۰-۳۰، ۴۹۳/۶ و در عمق ۳۰-۶۰، به میزان ۴۵۷ میلی گرم بر کیلوگرم است (جدول ۵ و ۶). مقدار پتاسیم غیرتبادلی در هر دو استان در خاک‌های سطحی به مقدار بیشتری نسبت به خاک‌های زیرسطحی افزایش می‌یابد. درحقیقت میکاها در خاک‌های سطحی دارای هوادیدگی بیشتری نسبت به خاک‌های زیرسطحی بوده و مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده بر اثر تیمار اسیدنیتریک در میکاهای هوادیده که دارای لبه‌های باز شده هستند، بیشتر است.

میزان پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد با مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی، کربن آلی، پتاسیم محلول، تبادلی، ساختمانی و کل رابطه مثبت و معنی‌دار و با میزان کربنات کلسیم معادل رابطه منفی و معنی‌دار داشته است. این در حالی است که در خاک‌های استان فارس این شکل از پتاسیم با پتاسیم محلول، تبادلی و کل رابطه مثبت و معنی‌دار و با میزان کربنات کلسیم معادل رابطه منفی و معنی‌دار داشته است (جدول ۷ و ۸). شاکری و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه وضعیت پتاسیم خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد بیان نمود که پتاسیم غیرتبادلی نمونه‌ها ارتباط مثبت و معنی‌داری با کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، رس، و رابطه منفی و معنی‌داری با کربنات کلسیم معادل و شن داشته‌اند. همچنین این شکل از پتاسیم با مقادیر کانی‌های رسی اسمکتیت، ایلیت و ورمیکولیت دارد. نجفی قیری و همکاران (۲۰۱۱) اظهار کردند که خاک‌های حاوی اسمکتیت به عنوان کانی غالب نسبت به خاک‌هایی که پالیگورسکیت و کلریت کانی غالب آنهاست، پتاسیم غیر تبادلی بیشتری دارند.

نجفی قیری و همکاران (۱۳۹۸) اظهار نمودند که مقدار پتاسیم تبادلی، غیرتبادلی، ساختمانی و کل ارتباط مثبت و معنی‌داری با مقدار رس و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و ارتباط منفی و معنی‌داری با مقدار کربنات کلسیم دارند. شکل‌های مختلف پتاسیم (به جز شکل محلول) نیز با یکدیگر ارتباط مثبت و معنی‌داری (ضریب همبستگی از ۰/۴۸ تا ۰/۹۹) داشتند که این امر نشان از تعادل بین شکل‌های مختلف پتاسیم دارد. مطالعات کانی‌شناسی همچنین نشان داد که مقدار پتاسیم تبادلی در خاک‌های مورد مطالعه با اسمکتیت و مقدار پتاسیم غیرتبادلی با ایلیت ارتباط دارند، در حالی که مقدار پتاسیم ساختمانی و کل در خاک‌های دارای اسمکتیت و ایلیت بالاتر، به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر خاک‌ها بود.

جدول ۴ توزیع نسبی شکل‌های پتاسیم، مقادیر پتاسیم غیرتبادلی را در خاک‌های استان فارس در دامنه ۱۱ تا ۲۴/۵ درصد (میانگین ۱۵/۱ درصد) و در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد در دامنه ۹/۲ تا ۲۶/۴ (میانگین ۱۵/۷ درصد) را نشان می‌دهد.

مطالعات صورت گرفته در خاک استان‌های مورد مطالعه نشان داده است که بخش رس در خاک‌های سطحی و زیرسطحی دارای مقدار بالای ایلیت، کلریت، اسمکتیت، پالیگورسکیت و مقدار کمتری کائولینیت، ورمیکولیت و کانی‌های مخلوط می‌باشد (نجفی قیری و همکاران، ۲۰۱۹a؛ اولیایی و همکاران، ۲۰۱۸). کانی‌های رسی مهم‌ترین کانی‌های ثانویه خاک‌ها در ارتباط با پتاسیم هستند. ورمیکولیت به‌عنوان آزادکننده و تثبیت‌کننده، میکا و اسمکتیت به‌عنوان تثبیت‌کننده پتاسیم، کلریت، سپیولیت، پالیگورسکیت و کائولینیت جاذب پتاسیم به‌صورت تبادلی و کربنات‌ها، سولفات‌ها و کلریدها عامل رقت پتاسیم در خاک هستند (نجفی قیری و همکاران، ۲۰۱۹c؛ نجفی قیری و بوستانی، ۱۴۰۳).

## پتاسیم ساختمانی

میزان پتاسیم ساختمانی، از تفاوت میان پتاسیم کل و پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک جوشان به دست می‌آید. مقادیر پتاسیم ساختمانی در نمونه‌های استان فارس در دامنه ۱۵۳۸ (داراب) تا ۳۶۸۱ (قائمیه)، با میانگین ۲۵۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در نمونه‌های استان کهگیلویه و بویراحمد در دامنه ۵۲۱ (امامزاده جعفر) تا ۳۱۱۵ (مله‌برفی باشت)، با میانگین ۱۹۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر می‌باشد (جدول ۴). این شکل از پتاسیم نیز در خاک سطحی نمونه‌های خاک استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد (۲۵۱۴ و ۲۳۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیشتر از خاک غیر سطحی (۲۵۶۵ و ۱۶۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بوده‌است (جدول‌های ۵ و ۶).

بیشتر پتاسیم خاک (۹۸-۹۰ درصد) در ساختمان کانی‌ها وجود دارد. بنابراین برای برداشت مستقیم توسط گیاه قابل استفاده نمی‌باشد. این بخش از پتاسیم خاک به صورت ساختمانی در فلدسپات‌ها و پتاسیم بین لایه‌ای در کانی‌های میکایی می‌باشد (هابی، ۱۹۹۰). کانی‌های میکایی در خاک و سنگ‌ها شامل میکاهای اولیه (موسکویت، بیوتیت و فلیگوپیت)، میکای آبدار یا میکای تخریب شده و ایلیت هستند. قابلیت استفاده پتاسیم ساختمانی به عواملی چند از قبیل مقدار پتاسیم در سایر شکل‌ها و نیز درجه هوازدگی و پایداری میکاها و فلدسپات‌ها بستگی دارد. شدت هوازدگی کانی‌های رسی اولیه و ثانویه، مقدار پتاسیم ساختمانی و غیرتبادلی را کنترل می‌کند (اسپارکر، ۱۹۸۷).

میزان پتاسیم ساختمانی در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد با مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی، کربن آلی و پتاسیم کل و غیرتبادلی رابطه مثبت و معنی‌دار و با میزان کربنات کلسیم معادل و شن رابطه منفی و معنی‌دار داشته‌است. این در حالی است که در خاک‌های استان فارس این شکل از پتاسیم با مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی، رس، سیلت و پتاسیم کل رابطه مثبت و معنی‌دار و با میزان

شن و کربنات کلسیم معادل رابطه منفی و معنی‌دار داشته‌است (جدول ۷ و ۸).

جدول ۴ توزیع نسبی شکل‌های پتاسیم، مقادیر پتاسیم ساختمانی را در خاک‌های استان فارس در دامنه ۶۰/۳ تا ۸۶/۹ درصد (میانگین ۷۹/۳ درصد) و در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد در دامنه ۵۷/۹ تا ۸۷/۹ درصد (میانگین ۷۶/۱ درصد) را نشان می‌دهد، که تفاوت چندان زیادی بین خاک‌های دو استان مورد مطالعه نشان نمی‌دهد. شاکری و همکاران (۱۳۹۴) گزارش نمود که مقدار پتاسیم ساختمانی در افق‌های سطحی خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد کمتر از افق‌های پایینی است. شرایط محیطی سطح خاک (اختلاف درجه حرارت فصلی و شب و روز، رطوبت بیشتر در سطح به دلیل بارندگی و آبیاری و همچنین فعالیت ریزموجودات) موجب ناپایداری و هوازدگی بیشتر کانی‌ها در سطح خاک شده در نتیجه پتاسیم بیشتری از کانی‌های اولیه و ثانویه خارج می‌شود. پتاسیم ساختمانی خاک‌های مورد مطالعه ارتباط مثبت و معنی‌داری با پتاسیم تبدلی، پتاسیم غیرتبدلی، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، رس و ارتباط منفی و معنی‌داری با کربنات کلسیم و شن داشته‌است.

## پتاسیم کل

مقادیر پتاسیم کل در نمونه‌های استان فارس در دامنه ۲۳۴۴ (داراب) تا ۴۳۴۶ (قائمیه)، با میانگین ۳۱۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در نمونه‌های استان کهگیلویه و بویراحمد در دامنه ۸۷۴ (امامزاده جعفر) تا ۴۰۹۴ (مله‌برفی باشت)، با میانگین ۲۵۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر می‌باشد (جدول ۴). پتاسیم کل نیز در خاک سطحی نمونه‌های خاک استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد (۳۲۲۹ و ۳۰۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیشتر از خاک غیر سطحی (۳۱۵۴ و ۴۰۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بوده‌است (جدول‌های ۵ و ۶). نجفی‌قیری و بوستانی (۱۴۰۳) مقادیر پتاسیم کل برای

خاک‌های استان فارس را در دامنه ۰/۱ تا ۱/۱ و برای خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد در دامنه ۰/۴ تا ۱/۲ درصد گزارش نمودند.

میزان پتاسیم کل در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد با مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی، کربن آلی، پتاسیم تبدلی، غیرتبدلی و ساختمانی رابطه مثبت و معنی‌دار و با میزان کربنات کلسیم معادل رابطه منفی و معنی‌دار داشته است. این در حالی است که در خاک‌های استان فارس پتاسیم کل با مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی، رس، سیلت و پتاسیم غیرتبدلی و ساختمانی رابطه مثبت و معنی‌دار و با میزان شن، رابطه منفی و معنی‌دار داشته است (جدول ۷ و

۸). مهمترین منبع تامین پتاسیم برای گیاه، هوادیدگی کانی-های حاوی این عنصر در خاک می باشد که مهمترین آنها کانی‌های میکا و فلدسپات می‌باشند. معمولاً میکاها در بخش رس خاک وجود داشته و راحت‌تر از فلدسپات‌ها که اغلب در بخش سیلت و شن خاک وجود دارند هوادیده شده و پتاسیم مورد نیاز گیاه را آزاد می‌کنند. در میان میکاها نیز کانی بیوتیت راحت‌تر از کانی مسکوویت هوادیده می‌شود. بنابراین در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک اصلی‌ترین منبع تامین پتاسیم مورد نیاز گیاه، هوادیدگی کانی بیوتیت می‌باشد.







جدول ۹- مقدار پتاسیم استخراج شده ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) توسط عصاره‌گیرهای مورد مطالعه استان فارس و مقدار درصد پتاسیم جذب شده در درختان پرتقال (میانگین دو عمق)

| نمونه                          | استات سدیم<br>(۱ مولار) | استات منیزیم<br>(۱ مولار) | سدیم کلرید (۱)<br>(مولار) | سدیم کلرید (۲)<br>(مولار) | اسید کلریدریک<br>۲ مولار | کلرید کلسیم<br>(۰/۰۱)<br>(مولار) | +DTPA<br>بی‌کربنات<br>سدیم | مورگان | اسیدنیتریک<br>(۰/۰۰۱)<br>(مولار) | اسید<br>سولفوریک<br>(۰/۰۲۵)<br>(مولار) | استات<br>آمونیم<br>(۱)<br>(نرمال) | پتاسیم<br>(برگ<br>پرتقال)<br>(%) |
|--------------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------------|--------|----------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| ۱                              | ۶۳/۲                    | ۵۵/۱                      | ۶۴/۸                      | ۳۱/۳                      | ۲۶/۸                     | ۳۹/۱                             | ۱۱۵/۳                      | ۱۱۸/۲  | ۶۰/۴                             | ۴۶/۸                                   | ۸۸/۳                              | ۱/۲                              |
| ۲                              | ۸۵/۷                    | ۶۹/۱                      | ۷۶/۱                      | ۴۵/۱                      | ۳۹/۹                     | ۴۷/۶                             | ۱۸۶/۳                      | ۱۹۵/۳  | ۸۵/۰                             | ۶۷/۲                                   | ۱۵۹/۲                             | ۱/۱                              |
| ۳                              | ۱۰۳/۰                   | ۷۰/۹                      | ۸۵/۴                      | ۴۹/۵                      | ۵۲/۳                     | ۵۹/۹                             | ۲۲۹/۱                      | ۲۴۳/۵  | ۱۱۰/۱                            | ۹۰/۷                                   | ۱۹۰/۳                             | ۰/۸                              |
| ۴                              | ۱۲۷/۹                   | ۹۲/۲                      | ۸۳/۳                      | ۴۶/۶                      | ۴۶/۰                     | ۸۰/۹                             | ۱۸۹/۳                      | ۲۳۳/۸  | ۱۵۴/۶                            | ۱۱۴/۹                                  | ۱۶۰/۹                             | ۱/۰                              |
| ۵                              | ۶۰/۰                    | ۴۷/۴                      | ۵۸/۵                      | ۲۲/۰                      | ۳۲/۷                     | ۳۳/۱                             | ۱۲۹/۸                      | ۱۴۹/۶  | ۶۴/۰                             | ۵۱/۰                                   | ۱۰۲/۱                             | ۱/۰                              |
| ۶                              | ۱۹۸/۷                   | ۱۳۷/۷                     | ۱۳۰/۲                     | ۶۶/۴                      | ۶۱/۱                     | ۱۷/۳                             | ۳۱۰/۷                      | ۳۱۸/۴  | ۲۴۹/۷                            | ۲۰۰/۸                                  | ۲۴۱/۰                             | ۱/۲                              |
| ۷                              | ۱۹۱/۲                   | ۱۵۰/۷                     | ۱۳۳/۲                     | ۸۱/۴                      | ۶۹/۲                     | ۱۴۸/۰                            | ۲۸۴/۸                      | ۳۰۰/۹  | ۲۲۸/۲                            | ۱۶۴/۱                                  | ۲۳۱/۵                             | ۰/۸                              |
| ۸                              | ۱۴۲/۸                   | ۹۷/۳                      | ۱۰۰/۴                     | ۵۳/۰                      | ۴۸/۷                     | ۹۲/۱                             | ۲۳۶/۳                      | ۲۵۲/۵  | ۱۵۰/۷                            | ۱۰۵/۸                                  | ۱۸۴/۶                             | ۱/۶                              |
| ۹                              | ۲۸۱/۵                   | ۲۰۳/۱                     | ۱۵۷/۹                     | ۱۰۵/۰                     | ۱۱۷/۹                    | ۱۷۸/۷                            | ۴۱۸/۲                      | ۴۷۲/۲  | ۳۰۶/۰                            | ۲۲۶/۸                                  | ۳۹۹/۲                             | ۲/۳                              |
| ۱۰                             | ۵۵/۸                    | ۴۳/۳                      | ۵۸/۲                      | ۲۰/۰                      | ۲۴/۰                     | ۳۲/۰                             | ۸۲/۴                       | ۱۰۰/۴  | ۶۴/۰                             | ۴۴/۳                                   | ۶۱/۳                              | ۱/۰                              |
| میانگین                        | ۱۲۳/۴                   | ۹۲/۱                      | ۹۰/۹                      | ۵۰/۴                      | ۵۰/۸                     | ۷۹/۱                             | ۲۰۷/۹                      | ۲۲۹/۶  | ۱۳۵/۹                            | ۱۰۱/۳                                  | ۱۷۵/۳                             | ۱/۲                              |
| همبستگی با<br>جذب گیاهی<br>(r) | ۰/۶۷                    | ۰/۶۵                      | ۰/۶۲                      | ۰/۶۲                      | ۰/۷۰                     | ۰/۶۰                             | ۰/۶۴                       | ۰/۶۹   | ۰/۶۳                             | ۰/۶۲                                   | ۰/۷۰                              |                                  |

جدول ۱۰- مقدار پتاسیم استخراج شده ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) توسط عصاره گیرهای مورد مطالعه استان کهگیلویه و مقدار پتاسیم جذب شده در درختان پرتقال (میانگین دو عمق)

| نمونه                    | استات سدیم (۱ مولار) | استات منیزیم (۱ مولار) | سدیم کلرید (۱ مولار) | سدیم کلرید (۲ مولار) | اسید کلریدریک ۲ مولار | اسید کلریدریک ۱ مولار | بی‌کربنات سدیم +DTPA | مورگان | اسیدنیتریک (۰/۰۰۱ مولار) | اسید سولفوریک (۰/۰۲۵ مولار) | استات آمونیم (۱ نرمال) | پتاسیم (برگ پرتقال) (%) |
|--------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|--------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------|
| ۱۱                       | ۴۶/۴                 | ۳۶/۱                   | ۵۰/۰                 | ۱۴/۸                 | ۱۷/۷                  | ۱۵/۷                  | ۸۵/۸                 | ۸۲/۶   | ۴۶/۵                     | ۲۱/۷                        | ۶۹/۹                   | ۰/۹                     |
| ۱۲                       | ۵۰/۹                 | ۴۷/۵                   | ۵۷/۸                 | ۲۳/۴                 | ۲۴/۱                  | ۲۵/۱                  | ۹۶/۲                 | ۱۰۵/۸  | ۵۷/۸                     | ۳۴/۹                        | ۸۶/۹                   | ۱/۰                     |
| ۱۳                       | ۶۹/۴                 | ۵۰/۰                   | ۶۰/۲                 | ۲۹/۱                 | ۳۰/۸                  | ۳۵/۵                  | ۱۲۷/۲                | ۱۳۵/۷  | ۷۰/۵                     | ۴۶/۳                        | ۱۰۳/۸                  | ۱/۹                     |
| ۱۴                       | ۳۳۹/۴                | ۲۳۳/۵                  | ۲۰۸/۲                | ۱۳۲/۵                | ۹۶/۹                  | ۲۴۱/۷                 | ۴۴۹/۸                | ۴۳۶/۴  | ۳۶۲/۱                    | ۲۶۴/۲                       | ۳۶۰/۹                  | ۲/۰                     |
| ۱۵                       | ۱۸۰/۴                | ۱۱۳/۷                  | ۱۱۶/۸                | ۷۲/۰                 | ۵۳/۶                  | ۱۲۰/۲                 | ۲۴۰/۵                | ۲۲۰/۰  | ۱۹۸/۸                    | ۱۴۴/۴                       | ۱۹۱/۷                  | ۱/۸                     |
| ۱۶                       | ۱۷۸/۱                | ۱۰۹/۴                  | ۱۲۱/۹                | ۷۴/۸                 | ۷۵/۹                  | ۱۰۵/۷                 | ۲۹۷/۰                | ۲۹۱/۶  | ۱۸۳/۸                    | ۱۲۹/۰                       | ۲۸۰/۹                  | ۲/۱                     |
| ۱۷                       | ۹۲/۹                 | ۶۳/۷                   | ۷۸/۷                 | ۴۵/۰                 | ۴۲/۳                  | ۵۰/۵                  | ۱۹۰/۹                | ۱۷۱/۵  | ۹۱/۱                     | ۶۳/۲                        | ۱۷۲/۲                  | ۱/۰                     |
| ۱۸                       | ۲۱۸/۱                | ۱۴۲/۷                  | ۱۵۲/۵                | ۱۰۳/۷                | ۸۷/۸                  | ۱۴۱/۹                 | ۳۶۹/۰                | ۳۵۰/۸  | ۲۴۰/۲                    | ۱۸۵/۷                       | ۳۶۴/۳                  | ۱/۷                     |
| میانگین                  | ۱۴۷/۰                | ۹۹/۶                   | ۱۰۵/۸                | ۶۱/۹                 | ۵۳/۶                  | ۹۲/۰                  | ۲۳۲/۰                | ۲۲۴/۳  | ۱۵۶/۳                    | ۱۱۱/۲                       | ۲۰۳/۸                  | ۱/۵                     |
| همبستگی با جذب گیاهی (r) | ۰/۶۸                 | ۰/۶۳                   | ۰/۶۵                 | ۰/۶۶                 | ۰/۷۰                  | ۰/۶۶                  | ۰/۶۷                 | ۰/۶۹   | ۰/۶۷                     | ۰/۶۷                        | ۰/۶۹                   |                         |

## همبستگی بین مقادیر پتاسیم استخراج شده با پتاسیم جذب گیاه و انتخاب بهترین عصاره گیر

جدول‌های ۹ و ۱۰ مقادیر پتاسیم عصاره‌گیری شده به وسیله عصاره‌گیرهای مختلف را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که غلظت‌های متفاوتی از پتاسیم به وسیله عصاره-گیرهای مختلف استخراج شده است که به دلیل ویژگی‌های خاص شیمیایی و قدرت متفاوت هر عصاره‌گیر در استخراج شکل‌های متفاوت از پتاسیم می‌باشد. بیش‌ترین میزان پتاسیم استخراج شده در خاک‌های استان فارس به ترتیب مربوط به روش مورگان، DTPA و استات آمونیم (به ترتیب مقادیر ۲۲۹/۶، ۲۰۷/۹ و ۱۷۵/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد به ترتیب مربوط به روش DTPA، مورگان و استات آمونیم (به ترتیب مقادیر ۲۳۲، ۲۲۴/۳ و ۲۰۳/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بوده‌اند.

شهبازی و همکاران (۱۴۰۱) مقدار پتاسیم قابل جذب خاک را در ۶۲ نمونه خاک مزارع کشاورزی ایران توسط سه عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ مولار، آمونیوم بیکربنات- DTPA و مهلیچ-۳، اندازه‌گیری نمودند. نتایج نشان داد که مقدار پتاسیم قابل جذب اندازه‌گیری شده، توسط عصاره‌گیرهای استات آمونیوم و مهلیچ-۳ فاقد اختلاف معنی-دار بود، اما این دو عصاره‌گیر با آمونیوم بیکربنات- DTPA اختلاف معنی‌دار داشتند. با افزایش نسبت خاک به عصاره‌گیر، میزان برآورد پتاسیم قابل جذب خاک توسط هر سه عصاره-گیر به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

در مطالعه‌ای بر روی پنج نوع خاک مختلف در هند، اثربخشی دوازده عصاره‌گیر در آزادسازی پتاسیم بررسی شد. نتایج نشان داد که کلرید باریوم ۰/۱ نرمال بیشترین همبستگی را با جذب تجمعی پتاسیم توسط گیاه سورگوم داشت. ویژگی‌های خاک مانند پتاسیم محلول، پتاسیم تبادلی و ظرفیت تبادل کاتیونی نقش مهمی در تعیین ضرایب آزادسازی اولیه و کلی پتاسیم ایفا کردند (پاول و همکاران، ۲۰۲۴).

در صورتی که پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیم ۱ نرمال را به عنوان روش استاندارد در نظر بگیریم، با در نظر گرفتن مقدار ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم به عنوان حد کفایت پتاسیم (هاولین و همکاران، ۲۰۱۳؛ سریواستاوا و سینگ، ۲۰۰۴)، مقدار پتاسیم در سه نمونه از خاک‌های استان فارس (مناطق فسا، داراب و قطب‌آباد) و سه نمونه از خاک-های استان کهگیلویه و بویراحمد (امامزاده جعفر، مله‌برفی و امام‌ضامن) در حد کفایت بوده‌است که معادل ۳۳ درصد از نمونه‌ها می‌باشند. شهبازی و بشارتی (۱۳۹۲) در بررسی اجمالی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی ایران اظهار نمودند که میزان پتاسیم در ۲۱ درصد خاک‌های ایران، کمتر از حد بحرانی (۱۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) بوده‌است. کمتر بودن میزان پتاسیم در خاک‌های مطالعه نسبت به میانگین کشوری را تا حدودی می‌توان به سبک بودن نسبی بافت خاک‌های مورد مطالعه (مقدار میانگین مجموع شن و سیلت ۷۹ درصد) و یا نوع کانی‌های رسی مرتبط دانست.

مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده در بافت برگ درختان پرتقال در نمونه‌های استان فارس در دامنه ۰/۸ تا ۲/۳ درصد (میانگین ۱/۲ درصد) و در نمونه‌های استان کهگیلویه و بویراحمد در دامنه ۰/۹ تا ۲/۱ درصد (میانگین ۱/۵ درصد) بوده‌است. اسدی و همکاران (۱۳۹۶) مقدار حد کفایت پتاسیم در برگ مرکبات را ۱/۱ درصد و اوبرز (۲۰۰۳) حد کفایت این عنصر را ۰/۹ تا ۱/۲ درصد (میانگین ۱/۰۵ درصد) اعلام نموده‌اند. سریواستاوا و سینگ (۲۰۰۳) دامنه بهینه پتاسیم در برگ مرکبات را ۱/۰ تا ۱/۷ درصد اعلام نمودند. براین اساس ۶۰ درصد از نمونه‌های برگ باغ‌های استان فارس و ۲۵ درصد از نمونه‌های برگ باغ‌های استان کهگیلویه و بویراحمد کمتر از حد کفایت پتاسیم داشته‌اند (جدول‌های ۹ و ۱۰). امین و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه باغ‌های مرکبات منطقه داراب در استان فارس اظهار نمودند که ۷۵ درصد نمونه‌های برگ کمتر از حد بهینه پتاسیم داشته‌اند. به رغم همبستگی بالای میان پتاسیم عصاره‌گیری شده با پتاسیم جذب شده گیاهی، در

توسط گیاه جذب شوند. از آنجایی که ترکیب کانی‌های هر خاک، نوع گیاه و شرایط اقلیمی در میزان پتاسیم قابل استفاده گیاه تاثیرگذار می‌باشد به نظر می‌رسد که بررسی و تعیین عصاره‌گیر مناسب در هر منطقه و با توجه به نوع گیاه لازم باشد (احراری و همکاران، ۱۳۹۵).

حسین پور و سماواتی، (۲۰۰۸) عصاره‌گیرهای اسید نیتریک ۰/۱ مولار، مهلیچ، کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و آب مقطر را برای اندازه‌گیری پتاسیم قابل استفاده گیاه ذرت پیشنهاد نمودند. همچنین عصاره‌گیرهای کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و اسید نیتریک ۰/۱ مولار به عنوان عصاره‌گیرهای مناسب برای تعیین پتاسیم قابل جذب برنج پیشنهاد شده‌اند (شیواپراکاش و همکاران، ۲۰۰۸). توجه به این نکته نیز ضروری است که به دلیل تفاوت در نوع و مقدار شکل‌های پتاسیم موجود در خاک‌های مختلف، ممکن است یک عصاره‌گیر در خاکی مناسب و در خاک دیگر نامناسب باشد، بنابراین تشخیص نامناسب بودن عصاره‌گیرهای مختلف در آزمایش‌های متفاوت قابل انتظار است.

احراری و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه وضعیت پتاسیم در برخی خاک‌های زیتون‌کاری استان فارس، اظهار نمودند که عصاره‌گیرهای کلرید سدیم ۲ مولار، استات آمونیم ۰/۲۵ مولار، استات سدیم ۱ مولار و DTPA، بیشترین همبستگی را با میزان پتاسیم برگ زیتون داشتند. جلالی (۲۰۰۶)، در مطالعات خود در خاک‌های همدان، بین اسید نیتریک ۰/۰۱ مولار، کلرید سدیم ۲ مولار، و استات سدیم ۱ مولار با جذب گیاه گندم، همبستگی به ترتیب  $r=0/88$  و  $r=0/79$  و بدست آورد. بارونی و همکاران (۱۳۹۵) پژوهشی با هدف مقایسه ۱۱ عصاره‌گیر به منظور تعیین عصاره‌گیرهای مناسب جهت برآورد پتاسیم قابل جذب برنج انجام دادند. نتایج نشان داد که بیشترین همبستگی با جذب گیاهی مربوط به عصاره‌گیرهای استات سدیم و استات آمونیوم بوده (ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۷۳) و پس از آن‌ها عصاره‌گیرهای مورگان و سدیم کلرید ۲ مولار

برخی نمونه‌ها این همبستگی مشاهده نمی‌شود، به این شکل که با وجود مقدار بالای پتاسیم در خاک مقدار پتاسیم برگ کمتر از حد کفایت می‌باشد. نجفی قیری و بوستانی (۱۴۰۳) دلیل این امر در خاک‌های آهکی را به بالا بودن نسبت مقادیر کلسیم و منیزیم به پتاسیم می‌دانند که با وجود غلظت مطلوب پتاسیم محلول، به دلیل رقابت یون‌های کلسیم و منیزیم برای جذب توسط ریشه می‌تواند باعث کاهش جذب پتاسیم یا انباشت آن در ریشه و جلوگیری از انتقال به اندام‌های هوایی شود. ایجاد رابطه بین یک عنصر غذایی که به وسیله عصاره‌گیری از خاک استخراج شده با مقدار جذب شده آن عنصر در گیاه، یکی از مراحل مهم و اساسی در آزمون خاک به شمار می‌رود. با ایجاد همبستگی، مقدار غلظت عنصر غذایی استخراج شده از خاک با مقدار جذب شده توسط گیاه با یکدیگر مرتبط می‌شوند. در این تحقیق نیز ارتباط بین میزان پتاسیم استخراج شده با عصاره‌گیرهای مختلف با میزان پتاسیم جذب شده توسط برگ پرتقال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این ارتباط در جدول‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده‌اند.

در نمونه خاک‌های استان فارس، بیشترین همبستگی با جذب گیاهی در استات آمونیوم ۱ نرمال و اسید کلریدریک به یک میزان ( $r=0/70^*$ )، مورگان ( $r=0/69^*$ ) و استات سدیم ( $r=0/67^*$ ) بوده و کمترین میزان همبستگی مربوط به کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار ( $r=0/60$ ) است (جدول ۹). در نمونه خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد در بین عصاره‌گیرها، بیشترین همبستگی با جذب گیاهی مربوط به اسید کلریدریک ۲ مولار ( $r=0/70$ )، مورگان ( $r=0/69$ )، استات آمونیوم ( $r=0/69$ ) بوده است و کمترین همبستگی مربوط به استات منیزیم ( $r=0/63$ ) می‌باشد (جدول ۱۰). البته باید توجه داشت ممکن است در برخی از آزمایش‌ها به طور کلی هیچ عصاره‌گیری مناسب تشخیص داده نمی‌شود و دلیل این که یک عصاره‌گیر برای خاکی مناسب و برای خاک دیگر نامناسب است احتمالاً به علت تفاوت در نوع و مقدار شکل‌های پتاسیم در خاک‌های مختلف است که می‌تواند

قرار دارند. کمترین مقدار همبستگی مربوط به عصاره‌گیر کلرید کلسیم بوده است.

همانگونه که قبلاً ذکر شد، کمبود پتاسیم در گیاهان به دو دسته عوامل شامل مقدار کم پتاسیم در مواد مادری خاک و عوامل مؤثر بر جذب و انتقال پتاسیم در گیاه مرتبط می‌باشند. با توجه به میانگین بالای کربنات کلسیم در خاک‌های مورد مطالعه (۴۷ درصد) و مقدار قابل قبول رس (۲۱ درصد) و حضور کانی‌های میکایی به عنوان کانی غالب در خاک بر اساس مطالعات صورت گرفته، به نظر می‌رسد که عامل اصلی کمبود پتاسیم در بیش از ۶۰ درصد از نمونه‌های مطالعه شده، عمدتاً به رقابت بالای کلسیم و منیزیم با پتاسیم در جذب توسط ریشه و انتقال به برگ‌ها از طریق آوندها مرتبط باشد. برگپاشی درختان مرکبات با کودهای حاوی پتاسیم و افزایش مصرف کودهای پتاسیمی، راه مناسبی برای غلبه بر اثر برهمکنشی کلسیم و منیزیم در خاک می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

کمبود پتاسیم به‌طور فزاینده‌ای به‌عنوان یک عامل محدودکننده در عملکرد کمی و کیفی گیاهان شناخته می‌شود. استفاده از کودهای پتاسیمی در ایران از اهمیت بالایی برخوردار است. پیش‌تر تصور می‌شد که به دلیل جوان بودن اکثر خاک‌های کشور، میزان کم شست‌وشوی خاک و فراوانی کانی‌های غنی از پتاسیم، نیازی به مصرف پتاسیم وجود ندارد. نتایج این مطالعه نشان داد که وضعیت پتاسیم در باغ‌های مرکبات جنوب کشور نیازمند توجه ویژه است. عوامل محدودکننده مرتبط با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک این باغ‌ها عمدتاً شامل میزان بالای کربنات کلسیم معادل (میانگین ۴۷ درصد)، pH نسبتاً بالا (میانگین ۷/۵) و مقدار کم کربن آلی (حدود ۱ درصد) است. بافت خاک‌ها عمدتاً لومی بوده و

میانگین درصد شن، سیلت و رس به‌ترتیب ۴۰، ۳۹ و ۲۱ درصد و ظرفیت تبادل کاتیونی آنها نسبتاً کم (۱۰/۵ سانتی‌مول بر کیلوگرم) اندازه‌گیری شد. میزان پتاسیم در اشکال مختلف در خاک‌های استان فارس به‌ترتیب شامل ۰/۷ درصد محلول، ۵/۰ درصد تبادلی، ۱۵/۱ درصد غیرتبادلی و ۷۹/۲ درصد ساختمانی از کل پتاسیم موجود بود. در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد نیز این مقادیر به‌ترتیب ۰/۳، ۸/۰، ۱۵/۷ و ۷۶/۰ درصد اندازه‌گیری شد. بر این اساس خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد، پتاسیم قابل جذب بیشتری نسبت به خاک‌های استان فارس داشته‌اند. شکل‌های مختلف پتاسیم بیشترین همبستگی معنی‌دار را با مقادیر رس، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی (همبستگی مثبت) و کربنات کلسیم معادل و شن (همبستگی منفی) داشته‌اند. بیشترین میزان استخراج پتاسیم توسط عصاره‌گیرهای مورد مطالعه به ترتیب توسط روش‌های مورگان، DTPA، استات آمونیم، اسید نیتریک و استات سدیم و کمترین میزان مربوط به عصاره-گیرهای سدیم کلرید و اسید کلریدریک ۲ مولار صورت گرفت. در بین عصاره‌گیرهای معرفی شده، عصاره‌گیر اسید کلریدریک ۲ مولار به دلیل همبستگی بالاتر با پتاسیم برگ، همچنین سادگی و سهولت اندازه‌گیری می‌تواند به عنوان بهترین عصاره‌گیر معرفی شود. پس از این عصاره‌گیر، عصاره-گیرهای استات آمونیم و مورگان به دلیل داشتن بیشترین همبستگی با پتاسیم گیاهی برای استخراج پتاسیم معرفی می‌شوند. در پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌گردد تا به منظور انتخاب عصاره‌گیر مناسب، عملکرد گیاه نیز در نظر گرفته شود. با توجه به اهمیت بالای پتاسیم در تغذیه مرکبات و میزان آن در خاک و برگ درختان باغ‌های مورد ارزیابی، و همچنین با در نظر گرفتن دامنه نسبتاً گسترده پتاسیم، امکان ارائه یک توصیه کودی یکسان وجود ندارد. بنابراین، توصیه کودی باید بر اساس نتایج آزمون خاک انجام شود.

## فهرست منابع

۱. آزادی، ا. ۱۳۹۴. مطالعه خصوصیات مورفولوژی، کانی شناسی و وضعیت فسفر و پتاسیم در سه ردیف پستی و بلندی در خاک‌های استان فارس. رساله دکتری بخش علوم خاک، دانشگاه شیراز.
۲. آمارنامه کشاورزی (جلد سوم، محصولات باغبانی). ۱۳۹۷. انتشارات وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.
۳. احراری، م.، ح.ر. اولیایی، ا. ادهمی و م. نجفی‌قیری. ۱۳۹۵. مطالعه وضعیت پتاسیم و ارزیابی عصاره گیاه‌های شیمیایی برای استخراج پتاسیم قابل جذب در خاک باغ‌های زیتون استان فارس. نشریه آب و خاک، ۳۰(۳): ۸۳۵-۸۴۵.
۴. اسدی کنگرشاهی، ا.، م. بصیرت، و ن. اخلاقی امیری. ۱۳۹۶. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در درختان مرکبات شمال و جنوب کشور. انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج، ایران.
۵. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. ۱۳۹۳. تغذیه پیشرفته و کاربردی مرکبات، جلد دوم. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
۶. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. ۱۳۹۰. شناخت برخی آسیب‌های محیطی و ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی مرکبات. نشریه فنی ۵۰۱، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
۷. امین، ح.، ع. میرسلیمانی و م. نجفی‌قیری. ۱۳۹۶. ویژگی‌های کمی و کیفی پرتقال واشنگتن ناول در دو باغ با ویژگی‌های خاکی متفاوت در داراب، استان فارس. مجله علوم و فنون باغبانی ایران، ۱۸: ۳۶۴-۳۵۳.
۸. انجوی‌نژاد، س.م. ۱۴۰۲. بررسی وضعیت شکل‌های پتاسیم در برخی خاک‌های استان فارس با استفاده از روش طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک. رساله دکتری بخش علوم خاک، دانشگاه شیراز.
۹. اولیایی، ح.ر. حیدرماه، ص. ادهمی، ا. و نجفی‌قیری، م. ۱۳۹۳. سینتیک آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در ارتباط با کانی‌شناسی رس برخی از خاک‌های آهکی استان کهگیلویه و بویراحمد. علوم آب و خاک، ۶۸(۲): ۱۰۹-۹۹.
۱۰. ایرندگانی، ا.، م. رحمانیان و ح.ر. اولیایی. ۱۳۹۸. ارتباط شکل‌های مختلف پتاسیم با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های آهکی جنوب شرقی ایران. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۶(۵): ۱۴۷-۱۳۱.
۱۱. بارونی، ف.، ح.ر. اولیایی، ا. ادهمی و م. نجفی‌قیری. ۱۳۹۵. مقایسه چند عصاره‌گیر برای استخراج پتاسیم قابل جذب برنج در برخی از خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد. تحقیقات کاربردی خاک، ۵(۱): ۲۴-۱۳.
۱۲. جعفری، س. ۱۳۹۸. ارتباط بین اشکال پتاسیم با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و تنوع کانی‌های رسی برخی از خاک‌های خوزستان. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۰: ۱۷۳۳-۱۷۲۱.
۱۳. حسین پور، ع. ر. و ف. بیابانکی. ۱۳۸۳. رابطه شدت-کمیت پتاسیم با عصاره‌گیرهای متفاوت و پاسخ گیاه سیر در برخی از خاک‌های همدان. مجله علوم آب و خاک، ۱۸(۱): ۹-۱.
۱۴. حسینی فرد، س. ج.، ح. خادمی، و م. کلباسی. ۱۳۸۸. اثر نوع عصاره‌گیر و دفعات عصاره‌گیری بر آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی از میکاها. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۱۱۷-۱۰۵.



۱۵. حیدرماه، ص. (۱۳۹۰). سینتیک آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های آهکی استان کهگیلویه و بویراحمد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه یاسوج.
۱۶. خلیلی، ص؛ ح.ر. اولیایی؛ ا. ادهمی و م.ر. چاکر حسینی. ۱۳۹۴. بررسی وضعیت پتاسیم و ارتباط آن با برخی ویژگی‌های خاک باغ‌های پرتقال استان فارس. مجموعه مقالات چهاردهمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه ولی عصر رفسنجان.
۱۷. زارعیان، غ.م.ه. فرپور، م. حجازی و ا. جعفری. ۱۳۹۶. ارتباط شکل‌های مختلف پتاسیم با خصوصیات فیزیکی شیمیایی و کانی‌شناسی رسی خاک‌های دشت قره‌باغ در استان فارس. نشریه پژوهش‌های خاک، ۳۱: ۳۲۷-۳۱۵.
۱۸. شاکری، س. ۱۳۹۵. بررسی خصوصیات ژنتیکی، مورفولوژیکی، کانی‌شناسی و وضعیت پتاسیم در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد. رساله دکتری. بخش علوم خاک، دانشگاه شیراز. ۲۶۲ صفحه.
۱۹. شاکری، س.ع. ابطی، م. باقرنژاد، ن. کریمیان و ح.ر. اولیایی. ۱۳۹۴. سینتیک آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در افق‌های سطحی و زیرسطحی سری‌های غالب خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۷۳: ۳۱۸-۳۰۱.
۲۰. شهبازی، ک.م. مارزی، م.ح. محمدی و همکاران. ۱۴۰۳. روش‌های تجزیه خاک نمونه برداری، روش‌های شیمیایی و فیزیکی. انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب. ۱۰۷۴ ص.
۲۱. شهبازی، ک.م. چراغی، م. مارزی و ک. هاشمی نسب زواره. ۱۴۰۱. تأثیر نوع عصاره‌گیر و نسبت خاک به عصاره‌گیر بر استخراج میزان پتاسیم قابل جذب خاک. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳: ۱۴۹۷-۱۴۸۱.
۲۲. شهبازی، ک. و ح. بشارتی. ۱۳۹۲. بررسی اجمالی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی ایران. مدیریت اراضی، ۱ (۱): ۱-۱۵.
۲۳. صدری، ن.ح.ر. اولیایی، ا. ادهمی و م. نجفی قیری. ۱۳۹۵. ارتباط شکل‌های مختلف پتاسیم با کانی‌های رسی و تکامل خاک در برخی خاک‌های استان فارس. نشریه آب و خاک، ۳۰: ۱۸۵-۱۷۲.
۲۴. ضرابی، م. و م. جلالی. ۱۳۸۸. مقایسه چند عصاره‌گیر برای استخراج پتاسیم قابل جذب گندم در برخی از خاک‌های استان همدان. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۰ (۲): ۱۵۵-۱۴۹.
۲۵. کلاه‌چی، ز. و م. جلالی. ۱۳۸۴. تأثیر بافت خاک، پتاسیم اولیه و ضریب جذب در آبشویی پتاسیم از خاک. پژوهش کشاورزی آب، خاک و گیاه/ جلد ۵. شماره ۱. ص ۶۶-۵۴.
۲۶. نجفی قیری، م. ۱۳۸۹. بررسی خصوصیات مورفولوژیکی و کانی‌شناسی و وضعیت پتاسیم در خاک‌های استان فارس. رساله دکتری بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
۲۷. نجفی قیری، م. و ح.ر. بوستانی. ۱۴۰۳. پتاسیم عنصری فراموش شده در تولیدات گیاهی. مجموعه مقالات یازدهمین همایش ملی مطالعات و تحقیقات نوین در حوزه زیست‌شناسی و علوم طبیعی ایران، تهران. ایران.
۲۸. نجفی قیری، م.؛ ح.ر. اولیایی، و ح.ر. بوستانی. ۱۳۹۸. عوامل مؤثر بر توزیع شکل‌های پتاسیم در برخی خاک‌های آهکی استان کهگیلویه و بویراحمد. تحقیقات کاربردی خاک. ۷ (۲): ۲۰۷-۱۹۶.

۲۹. نجفی قیری، م.؛ ح.ر. بوستانی، و ا. بیژن زاده. ۱۴۰۳. ویژگی‌های یک خاک آهکی و جذب کلسیم، پتاسیم و سدیم به‌وسیله ذرت با کاربرد بیوچارهای کود گوسفند و سبوس برنج. مجله تحقیقات خاک و آب ایران.

۵۵ (۱۱): ۲۲۲۳-۲۲۰۹.

30. Azadi, A., and S. Shakeri. 2021. Potassium pools distribution in some calcareous soils as affected by climatic conditions, physiographic units, and some physicochemical properties in Fars Province, southern Iran. *Eurasian Soil Science*, 54(5): 702-715.
31. Bazargan, K., M. Marzi, K. S. Hasheminasab, K. Shahbazi and A.A. Zare. 2022. Optimizing ammonium acetate procedure for determining available potassium in Iranian calcareous soils, testing the concentration and contact time. *Dryland Soil Research*, 1: 125-136. doi: [10.47176/jsssi.01.01.1024](https://doi.org/10.47176/jsssi.01.01.1024)
32. Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agronomy Journal*, 54: 464-465.
33. Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. In: Black, C.A. (ed.) *Methods of Soil Analysis*, part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI. pp. 891-901.
34. Claassen, N., H. E. L., Dessougi, and S. P. Trehan. 2001. Crop growth and potassium uptake as related to plant and soil properties. *International Symposium on importance of potassium in nutrient management on sustainable crop production in India*.
35. Haby, V.A., M.P. Russelle and E.O. Skogley. 1990. Testing soils for potassium, calcium and magnesium. pp. 181-227. In: Westerman, R.L. (Ed.). *Soil Testing and Plant Analysis*. 3rd edition. ASA-SSSA, Madison, WI. *Indian Soil Science*, 43: 351- 356.
36. Havlin, J., J. Beaton, S. Tisdale and W. Nelson. 2013. *Soil Fertility and Fertilizers*. New Jersey: Prentice Hall. P. 516.
37. Helmke, P.A. and D.L. Sparks. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. p. 551-573. In D.L. Sparks (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 3. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI.
38. Hien, H. N., S. Maneepong, and P. Suraninpong. 2017. Effects of potassium, calcium, and magnesium ratios in soil on their uptake and fruit quality of pummelo. *Journal of Agricultural Science*, 9(12): 110-121.
39. Hosseinpour, A.R., and M. Samavati. 2008. Evaluation of chemical extractants for the determination of available potassium. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39: 1559-1570.
40. Hosseinpour, A.R., and Zarenia, M. 2012. Evaluating chemical extractants to estimate available potassium for pinto beans (*Phaseolus vulgaris*) in some calcareous soils. *Plant, Soil and Environment*, 58(1): 42-48.
41. Jackson, M.L. 1975. *Soil Chemical Analysis: Advanced Course*. Department of Soils, College of Agriculture, University of Wisconsin, Madison, WI.
42. Jalali, M. 2006. Kinetics of non-exchangeable potassium release and availability in some calcareous soils of western Iran. *Geoderma*, 135: 63-71.
43. Jalali, M. and M. Jalali. 2022. Investigation of potassium leaching risk with relation to different extractants in calcareous soils. *Journal Soil Science Plant Nutrition*, 22: 1290-1304. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00731-6>.
44. Jones, U. S. 1978. *Fertilizers and soil fertility*. Printice-Hall of India.
45. Jones, J. B. 1990. Universal soil extractants: their composition and use. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 21: 1091-1101.
46. Kirkman, J. H., Basker, A., Surapaneni, A., and MacGregor, A. N. 1994. Potassium in the soils of New Zealand—a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 37(2): 207-227.

47. Knudsen, D., G. A. Peterson and P. F. Pratt. 1982. Lithium, sodium and potassium. pp. 225-246. In: Page, A. L. (Ed.). Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological potassium. American Society of Agronomy, Madison, WI.
48. Marschner, H. 2011. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic press.
49. Martin, H.W. and D.L. Sparks. 1983. Kinetics of non-exchangeable potassium release from two coastal plain soils. Soil Science. Society American Journal. 47: 883-887.
50. Mengel, K. and A. Rahmtullah, and H. Dou. 1998. Release of potassium from the silt and sand fraction of loess-derived soils. Soil Science, 163: 805-813.
51. Najafi-Ghiri, M., H.R. Boostani, E. Farrokhnejad, and A. Cheraghleh. 2024. Soil potassium fractionations, release and fixation in a cadmium contaminated soil treated with plant residue and biochar. Eurasian Soil Science, 57: 220-232. <https://doi.org/10.1134/S1064229323601336>
52. Najafi-Ghiri, M., A. Mirsoleimani, H. R. Boostani, and H. Amin. 2022. Influence of wood vinegar and potassium application on soil properties and Ca/K ratio in citrus rootstocks. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 22(1): 334-344.
53. Najafi-Ghiri, M., H.R. Boostani, and A.G. Hardie. 2021. Release of potassium from some heated calcareous soils to different solutions. Archives of Agronomy and Soil Science, 69(1): 90-103.
54. Najafi-Ghiri, M., M. Mokarram and H.R. Owliaie. 2019a. Prediction of soil clay minerals from some soil properties with use of feature selection algorithm and ANFIS methods. Soil Research, 57(7): 788-796. doi.org/10.1071/SR18352
55. Najafi-Ghiri, M., M. Niazi, M. Khodabakhshi, H.R. Boostani, and H.R. Owliaie. 2019b. Mechanisms of potassium release from calcareous soils to different salt, organic acid and inorganic acid solutions. Soil Research, 57(3), 301-309.
56. Najafi-Ghiri, M., S. Rezabigi, S. Hosseini, H.R. Boostani, and H.R. Owliaie. 2019c. Potassium fixation of some calcareous soils after short term extraction with different solutions. Archives of Agronomy and Soil Science, 65(7): 897-910.
57. Najafi-Ghiri, M., A. Mirsoleimani, and H. Amin. 2017. Nutritional status of Washington Navel orange orchards in arid lands of southern Iran. Arid Land Research and Management, 31(4): 431-445.
58. Najafi-Ghiri, M., A. Abtahi, H. R. Owliaie, S.S. Hashemi, and H. Koohkan. 2011. Factors affecting potassium pools distribution in calcareous soils of Southern Iran. Arid Land Research and Management, 25(4), 313-327.
59. Obreza, T. 2003. Importance of potassium in a Florida citrus nutrition program. Better Crops, 87: 19-22.
60. Owliaie, H.R., M. Najafi Ghiri, E. Adhami and S. Shakeri. 2018. Pedological investigation of a Litho-Toposequencen a semi-arid region of southwestern Iran. Eurasian Soil Sci. 51(12): 1447-1461.
61. Paul, S., D. Das, M. Barman., et al. 2024. Selection of a suitable extractant for sequential leaching of soil to evaluate medium-term Potassium availability to plants. J. Soil Sci. Plant Nutrition, 24: 1489-1506. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01654-8>
62. Pratt, P. F. 1965. Potassium. 1022-1030. In: C. A. Black. Methods of Soil Analysis, 215 part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI.
63. Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. U. S. Salinity Laboratory Staff. USDA. Hand book No. 60. Washington, D C, USA. 160 pp.
64. Shivaprakash B.L., K.T. Gurumurthy and H.M. Chidanandappa. 2008. Evaluation of suitable extractant for available potassium in rice soils of Tunga command area in Karnataka. Mysore Journal of Agricultural Sciences, 42: 264-267.
65. Simard R.R., and Zizka J. 1994. Evaluating plant available potassium with strontium citrate. Communications in Soil Science & Plant Analysis, 25(9-10): 1779-1789.

66. Sparks, D. L. 1987. Potassium dynamics in soils. In: *Advances in Soil Science* (pp. 1-63). Springer New York.
67. Srivastava, A.K. and S. Singh. 2003. *Citrus Nutrition*. Lucknow, India: International Book Distributing Co. P. 968
68. Srivastava, A.K. and S. Singh. 2004. Leaf and soil nutrient guide in citrus-A review. *Agric. Rev.* 25(4): 235-251.
69. Vitosh, M.L., G.W. Hergeret and D.L., Wright. Potassium for corn production. 1996. National corn handb. Purdue university. Cooperative extension service. West Lafayette, In 47907.
70. Zarrabi, M., and M. Jalali. 2008. Evaluation of extractants and quantity–intensity relationship for estimation of available potassium in some calcareous soils of western Iran. *Communications in soil science and plant analysis*, 39(17-18): 2663-2677.