



The effect of extractant type and soil/extractant ratio on the extraction of soil available potassium

Karim Shahbazi^{1✉}, Meysam Cheraghi², Mostafa Marzi³, Kobra Sadat Hasheminasab Zavareh⁴

1. Corresponding Author, Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: shahbazikarim@yahoo.com
2. Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: my.cheraghi@ut.ac.ir
3. Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: mostafamarzi69@gmail.com
4. Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: k.hasheminasab@areeo.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
<p>Article type: Research Article</p> <p>Article history:</p> <p>Received: Apr. 24, 2022</p> <p>Received: July. 3, 2022</p> <p>Accepted: Sep. 3, 2022</p> <p>Published online: Sep. 23, 2022</p> <p>Keywords: Ammonium acetate, Ammonium bicarbonate DTPA, Mehlich-3, Potassium.</p>	<p>Potassium, as an essential element, which its role in plant metabolism and resistance to biological and environmental stresses has been proven many times, requires accurate extraction and measurement for optimal management. The present study was conducted to investigate the effect of soil/extractant ratio on measuring the amount of available potassium in the soil. For this purpose, in October 2021, 62 soil samples were taken from agricultural fields all over the country, and their potassium content was measured by three extractants: 1 M ammonium acetate (three ratios of 5:1, 10:1, and 20:1), ammonium bicarbonate-DTPA (2:1, 5:1, and 10:1), and Mehlich-3 (5:1, 10:1, and 20:1) in the Karaj soil and water research institute (SWRI). The results showed that the amount of available potassium measured by ammonium acetate and Mehlich-3 extractants had no significant difference, but these two extractants had a significant difference with ammonium bicarbonate-DTPA. Probably, this difference is due to replacing the 2:1 ratio with a 20:1 ratio in the extraction method by ammonium bicarbonate-DTPA. In all three extractants, the estimated soil available potassium increased by increasing the soil to extractant ratio. On average, the amount of extracted potassium in 20:1 ratio was 11.5% and 5.01% more than the ratio of 5:1 and 10:1 for ammonium acetate, and 8.79% and 6.84% more than the ratios of 10:1 and 5:1 for Mehlich-3, respectively. By using a 10:1 ratio, all three extractants measured the amount of soil-available potassium without any significant differences. Therefore, it is suggested that all three extractants be used to determine the amount of available potassium. In addition, it seems a 10:1 ratio is a suitable ratio for measuring the amount of available potassium with minimal difference between different extractants.</p>
<p>Cite this article: Shahbazi, K., Cheraghi, Ch., Marzi, M., & Hasheminasab Zavareh, K. S. (2022) The effect of extractant type and soil/extractant ratio on the extraction of soil available potassium. <i>Iranian Journal of Soil and Water Research</i>, 53 (7), 1481-1497.</p> <p>© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press.</p>	
<p>DOI: http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.341938.669253</p>	



تأثیر نوع عصاره گیر و نسبت خاک به عصاره گیر بر استخراج میزان پتاسیم قابل جذب خاک

کریم شهبازی^۱، میثم چراغی^۲، مصطفی مارزی^۳، کبری سادات هاشمی نسب زواره^۴۱. نویسنده مسئول، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. ایمیل: shahbazikarim@yahoo.com۲. گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. ایمیل: my.cheraghi@ut.ac.ir۳. موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. ایمیل: mostafamarzi69@gmail.com۴. موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. ایمیل: k.hasheminasab@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۴/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۱۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۷/۱

واژه‌های کلیدی:

آمونیم بیکربنات-DTPA،

استات آمونیوم،

پتاسیم،

مهلیج-۳.

پتاسیم به عنوان عنصری ضروری که نقش آن در متابولیسم گیاهان و مقاومت آنها در برابر تنش‌های زیستی و محیطی بارها ثابت شده است، برای مدیریت بهینه، نیاز به استخراج و اندازه‌گیری دقیق دارد. تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر نسبت خاک به عصاره‌گیر بر اندازه‌گیری مقدار پتاسیم قابل جذب خاک انجام شد. بدین منظور در مهر ماه سال ۱۴۰۰، تعداد ۶۲ نمونه خاک سطحی از مزارع کشاورزی سراسر کشور برداشته و مقدار پتاسیم آنها توسط سه عصاره گیر استات آمونیوم ۱ مولار (سه نسبت ۵:۱، ۱۰:۱ و ۲۰:۱)، آمونیوم بیکربنات-DTPA (۲:۱، ۵:۱ و ۱۰:۱) و مهلیج-۳ (۵:۱، ۱۰:۱ و ۲۰:۱)، در موسسه تحقیقات خاک و آب کرج اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مقدار پتاسیم قابل جذب اندازه‌گیری شده، توسط عصاره‌گیرهای استات آمونیوم و مهلیج-۳ فاقد اختلاف معنی‌دار بود، اما این دو عصاره گیر با آمونیوم بیکربنات-DTPA اختلاف معنی‌دار داشتند. احتمالاً دلیل این اختلاف، جایگزین شدن نسبت ۲:۱ با نسبت ۲۰:۱ در روش عصاره‌گیری با آمونیوم بیکربنات-DTPA است. با افزایش نسبت خاک به عصاره‌گیر، میزان برآورد پتاسیم قابل جذب خاک توسط هر سه عصاره‌گیر به طور معنی‌داری افزایش یافت. به طور میانگین، مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده در نسبت ۲۰:۱ به ترتیب ۱۱/۵٪ و ۵/۰٪ بیشتر از نسبت ۵:۱ و ۱۰:۱ استات آمونیوم و ۸/۷۹٪ و ۶/۸۴٪ بیشتر از نسبت ۱۰:۱ و ۵:۱ مهلیج-۳ بود. با استفاده از نسبت ۱۰:۱، هر سه عصاره‌گیر مقدار پتاسیم قابل جذب خاک را بدون اختلاف معنی‌دار اندازه‌گیری کردند. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که در مواقع لزوم می‌توان از هر سه عصاره‌گیر برای تعیین مقدار پتاسیم قابل جذب استفاده کرد. همچنین به نظر می‌رسد که نسبت ۱۰:۱، نسبت مناسبی برای اندازه‌گیری مقدار پتاسیم قابل جذب با حداقل تفاوت بین عصاره‌گیرهای مختلف باشد.

استناد: شهبازی، کریم؛ چراغی، میثم؛ مارزی، مصطفی؛ هاشمی‌نسب زواره، کبری سادات (۱۴۰۱) تأثیر نوع عصاره‌گیر و نسبت خاک به عصاره‌گیر بر استخراج میزان پتاسیم

قابل جذب خاک. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳ (۷)، ۱۴۹۷-۱۴۸۱.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.341938.669253>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

رشد فزاینده جمعیت، نیاز به تولید غذا که از قبل یکی از چالش‌های پیش روی بشر بوده است را تشدید می‌کند. تولید مقادیر کافی غذا برای پاسخ به نیاز غذایی جمعیت رو به رشد، به تقویت پارامترهای مختلفی بستگی دارد که از جمله آنها پیشرفت در علم کشاورزی و افزایش توان تولید در واحد سطح است (Pawlak and Kołodziejczak, 2020; Mousavi et al., 2022). در کنار سایر عوامل موثر در تقویت و افزایش توان تولید در واحد سطح، بحث تغذیه گیاه و پاسخ درست و به موقع به نیاز تغذیه‌ای گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Illés et al., 2020; Cheraghi et al., 2020, 2022)؛ چرا که پاسخ صحیح به نیاز تغذیه‌ای گیاهان نه تنها عملکرد بالقوه گیاه را به عملکرد پتانسیل آن‌ها نزدیک می‌کند، بلکه با مکانیسم‌هایی مشخص منجر به افزایش مقاومت آنها در برابر تنش‌های محیطی و زیستی نیز می‌گردد (Krauss, 1999; Hasanuzzaman et al., 2018).

در میان عناصر غذایی ضروری برای رشد گیاه، پتاسیم در جایگاه ویژه‌ای قرار دارد، زیرا علاوه بر اثر آن در در متابولیسم گیاه، نقش آن در کنترل تنش‌های محیطی و آفات، بارها توسط محققین مختلف ثابت شده است (Wang et al., 2013; Sardans and Peñuelas, 2021). پاسخ صحیح و به موقع به نیاز تغذیه‌ای گیاهان به پتاسیم یا هر عنصر دیگر، نیازمند برآورد صحیح و دقیق از وضعیت آن عنصر در خاک و گیاه است (Hergert, 2009; Schjoerring et al., 2019). از این‌رو، تلاش برای یافتن روش‌ها و عصاره‌گیرهای مختلف برای اندازه‌گیری و تأمین نیاز تغذیه‌ای گیاهان از مدت‌ها پیش مورد توجه محققان فعال در این زمینه بوده است (Cottenie, 1980; Heltai and Füleky, 1992). فرم‌های مختلفی از پتاسیم در خاک وجود دارد که با عصاره‌گیرهای مختلف قابل استخراج هستند. از آنجا که در طول فصل رشد، فرم قابل جذب پتاسیم برای انجام توصیه‌های کودی مد نظر است، بنابراین اندازه‌گیری دقیق این فرم پتاسیم همواره از اهمیت بالایی برخوردار است (Korb et al., 2002; Chua et al., 2020). فرم قابل جذب پتاسیم برای گیاه با عصاره‌گیرهای مختلف از جمله استات آمونیوم، عصاره‌گیر سلطان‌پور (آمونیم بی‌کربنات-DTPA)، عصاره‌گیرهای مهلیچ-۱، ۲ و ۳، عصاره‌گیر مورگان، مورگان-ولف و غیره قابل استخراج و اندازه‌گیری است (Hosseinpour and Samavati, 2008). فارغ از نوع خاک مورد آزمایش (هر عصاره‌گیر ممکن است خاکی با مشخصات شیمیایی مشخص را عصاره‌گیری نماید)، همه این عصاره‌گیرها برای استخراج پتاسیم قابل جذب گیاه از خاک، تأیید شده‌اند (Pratt, 1965; Jones, 1990).

عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ مولار یکی از معمول‌ترین عصاره‌گیرهای مورد استفاده در جهان است که اکنون نیز به‌عنوان عصاره‌گیر رایج برای استخراج پتاسیم قابل جذب در اکثر آزمایشگاه‌های سراسر کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد (Thomas, 1983; Behbehani, Zade, 1993). با این وجود در صورتی که پتاسیم غیر تبادل‌ی خاک مقادیر قابل توجهی داشته باشد، این عصاره‌گیر نمی‌تواند عصاره‌گیر مناسبی برای برآورد این فرم از پتاسیم باشد (Zarrabi and Jalali, 2008; Khodshenas et al., 2021). حد بحرانی به دست آمده با این روش بسته به pH، ظرفیت تبادل کاتیونی، مقدار رس، کانی شناسی خاک و نوع محصول متفاوت است (Haby et al., 1990). عصاره‌گیر جهانی آمونیوم بی‌کربنات-DTPA که در سال ۱۹۷۷ معرفی شد نیز یکی دیگر از عصاره‌گیرهای رایج است که قادر به استخراج عناصر NO_3^- , P, K, Fe, Zn, Cu, Mn, Na, As و Cd از خاک است (Soltanpour and Schwab, 1977). این عصاره‌گیر برآورد خوبی از پتاسیم قابل جذب گیاه از خاک‌های قلیایی دارد. در واقع این عصاره‌گیر برای استفاده در خاک‌های قلیایی که pH آنها از ۷/۵ بیشتر است، اما محتوای کلسیم یا سدیم آنها زیاد نیست، دقت بالایی دارد (Soltanpour and Schwab, 1977). مقدار پتاسیم استخراج شده با این روش همبستگی بالایی با مقدار پتاسیم استخراج شده با روش استات آمونیوم خنثی (Schollenberger and Simon, 1945) دارد. عصاره‌گیر مهلیچ-۳ نیز یکی دیگر از عصاره‌گیرهای جهانی برای اندازه‌گیری پتاسیم قابل جذب است که در سال ۱۹۸۴ و با اصلاحاتی در عصاره‌گیر مهلیچ-۲ به منظور گنجاندن مس در عناصر قابل استخراج با این روش و کاهش خواص خوردگی آن معرفی شد (Mehlich, 1984). این عصاره‌گیر نیز مانند عصاره‌گیر سلطان‌پور قادر است طیف وسیعی از عناصر شامل P, k, Na, Ca, Mg, B, Fe, Zn, Cu و Mn را از خاک استخراج کند. مقدار پتاسیم، کلسیم و سدیم استخراج شده با این روش ارتباط نزدیکی با مقدار استخراج شده توسط استات آمونیوم خنثی دارد (Schollenberger and Simon, 1945). این عصاره‌گیر عموماً برای خاک‌های اسیدی تا خنثی کارایی بالایی دارد و برآورد آن از پتاسیم قابل جذب گیاه مورد تأیید آزمایشگاه‌های معتبر بین‌المللی قرار گرفته است (Jones, 1990; Mehlich, 1984).

Oertli و Grzebisz (1993)، از CaCl_2 ۰/۰۱ مولار، آمونیوم بی‌کربنات-DTPA، مهلیچ-۱، ۲ و ۳، EDTA و استات آمونیوم ۱ مولار برای استخراج پتاسیم قابل جذب برای گیاه سویا استفاده کردند و دریافتند که آمونیوم بی‌کربنات-DTPA، مهلیچ-۳ و استات آمونیوم ۱ مولار عصاره‌گیرهای مناسبی برای برآورد و استخراج پتاسیم قابل جذب خاک هستند. Fathi و همکاران (2014)، با بررسی چند عصاره‌گیر



مختلف دریافتند که استات آمونیوم ۱ مولار ($P \leq 0.01$, $r=0.84^{**}$) بیشترین همبستگی را با پتاسیم قابل جذب گیاهان ذرت کشت شده در استان کردستان دارد. Khodshenas و همکاران (2021)، با ارزیابی چند عصاره‌گیر شیمیایی به منظور تعیین حد بحرانی پتاسیم برای گیاه لوبیا (کشت شده در استان مرکزی)، مشاهده کردند که ضریب همبستگی پتاسیم استخراج شده توسط استات آمونیوم ۱ مولار با غلظت و جذب کل پتاسیم گیاه، همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد اما سایر عصاره‌گیرها همبستگی معنی‌داری نشان ندادند. حد بحرانی پتاسیم در این تحقیق ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد. Knudsen و همکاران (1983) و بعد از آن Hanlon و Johnson (1983)، سه عصاره‌گیر رایج شامل استات آمونیوم ۱ مولار، مهلیج-۳ و آمونیوم بیکربنات-DTPA را برای تعیین پتاسیم قابل جذب در خاک‌های اوکلاهما مقایسه کردند؛ آنها همبستگی معنی‌داری بین استخراج‌کننده‌ها پیدا کردند اما در نهایت نتیجه گرفتند که مهلیج-۳ و استات آمونیوم به دلیل سرعت بیشتر در استخراج پتاسیم، نسبت به آمونیوم بیکربنات-EDTA ترجیح داده می‌شوند. باتوجه به اینکه سه عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ مولار، آمونیوم بیکربنات-DTPA و مهلیج-۳ به دلیل سهولت و سرعت انجام آنالیز، هزینه‌های معقول و همبستگی بالا با پتاسیم جذب شده توسط طیف وسیعی از گیاهان، از رایج‌ترین عصاره‌گیرهای مورد استفاده در آزمایشگاه‌های دنیا و نیز ایران هستند، لذا در این تحقیق نیز از این عصاره‌گیرها استفاده شد. مطالعات زیادی وجود دارد که روش‌های مختلف اندازه‌گیری پتاسیم قابل جذب در خاک را مورد مقایسه قرار داده‌اند؛ با این وجود، هنوز مطالعات چندانی در مورد اثر نسبت خاک به عصاره‌گیرهای مورد بررسی (که به‌طور معمول در برخی از آزمایشگاه‌ها و برای کاهش مصرف مواد و کنترل هزینه‌ها توسط کارشناسان انجام می‌شود)، صورت نگرفته است. از این رو با توجه به نقش کلیدی پتاسیم در تغذیه گیاهان و کنترل تنش‌های گیاهی و همچنین باتوجه به ضرورت آنالیز دقیق خاک برای برآورد پتاسیم قابل جذب خاک، تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر نسبت خاک به عصاره‌گیر در استخراج پتاسیم قابل جذب گیاه از خاک توسط سه عصاره‌گیر رایج و پر کاربرد مهلیج-۳، آمونیوم بیکربنات-EDTA (سلطان‌پور) و استات آمونیوم ۱ مولار انجام شد.

مواد و روش

نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها

به‌منظور اجرای این پژوهش، در مهر ماه سال ۱۴۰۰، تعداد ۶۲ نمونه‌ی خاک سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متر) از مزارع کشاورزی استان‌های مختلف ایران به آزمایشگاه موسسه تحقیقات خاک و آب کرج منتقل شد. نمونه‌ها در موسسه تحقیقات خاک و آب کرج، هوا خشک و سپس برای آنالیز خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، بخصوص پتاسیم قابل جذب، از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند. برخی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک‌های مورد استفاده شامل کلاس بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee and Or, 2002)؛ درصد کربن آلی به روش والکلی و بلک (Walkley and Black, 1934)، pH گل اشباع و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از آنالیز خصوصیات فوق در جدول ۲ ارائه شده است.

عصاره‌گیرهای پتاسیم قابل جذب

در این پژوهش از سه عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ مولار (Bremner et al., 1965; Thomas, 1983; Ehyaei and Behbehani, 1993; Zade, 1993)، آمونیوم بیکربنات-DTPA (روش سلطان‌پور) (Soltanpour and Workman, 1979) و همچنین عصاره‌گیر مهلیج-۳ (Mehlich, 1984) با سه نسبت مختلف خاک به عصاره‌گیر استفاده شد (جدول ۱). بنابراین، برای نتیجه‌گیری و حصول اطمینان از نتایج، آنالیز پتاسیم خاک بر روی یک جامعه آماری ۶۲ نمونه‌ای انجام شد که هر کدام از نمونه‌های خاک با سه عصاره‌گیر متفاوت و سه نسبت مختلف (خاک: عصاره‌گیر) آنالیز گردید (جدول ۱). دلیل تفاوت در یکی از نسبت‌های خاک به عصاره‌گیر در روش آمونیوم بیکربنات-DTPA، نسبت ۲:۱ پیشنهاد شده توسط Soltanpour و Schwab (1977) بود. نویسندگان تصمیم داشتند که نسبت ارائه شده در روش‌های اصلی را با دو نسبت متفاوت دیگر (ترجیحاً یک نسبت رقیق‌تر و یک نسبت غلیظ‌تر) مقایسه کنند. لذا در رابطه با دو عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ مولار و مهلیج-۳ که نسبت ارائه شده در آنها ۱۰:۱ بود، این طرح آزمایش اعمال شد. اما در رابطه با عصاره‌گیر آمونیوم بیکربنات-DTPA (باتوجه به رنج معمول پتاسیم در اکثر مزارع کشور و علم به غلیظ بودن عصاره استخراج شده از نسبت ۲:۱ پیشنهادی در روش اصلی و نیاز به رقیق سازی برای قرائت با فلیم فتومتر)، دو نسبت رقیق‌تر که البته در دو عصاره‌گیر دیگر نیز ثابت بود، انتخاب گردید.

جدول ۱- خلاصه جزئیات روش‌های استفاده شده برای استخراج پتاسیم قابل جذب از خاک

منبع	نسبت خاک به عصاره‌گیر		نسبت خاک به عصاره‌گیر	عصاره‌گیر
	زمان	در تحقیق حاضر		
Bremner et al., 1965; Ehyaei and Behbehani Zade, 1993	۳۰	۵:۱، ۱۰:۱، ۲۰:۱	۲۰:۱	استات آمونیوم ۱ مولار
Soltanpour and Schwab, 1977	۱۵	۲:۱، ۵:۱، ۱۰:۱	۲:۱	آمونیم بیکربنات-DTPA
Mehlich, 1984	۵	۵:۱، ۱۰:۱، ۲۰:۱	۵:۱	مهلیج-۳

استات آمونیوم

برای تهیه نسبت های ۱:۵، ۱:۱۰ و ۱:۲۰ خاک به عصاره‌گیر، به ترتیب مقادیر ۵/۲، ۱۰ و ۱۰ گرم خاک (>۲ میلی‌متر) توزین و به ظروف پلی اتیلنی ۲۵۰ میلی‌لیتری اضافه و ۵۰ میلی‌لیتر محلول عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ مولار pH=۷ به آن اضافه شد (برای تهیه محلول عصاره‌گیر، ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر را در یک بالن حجمی یک لیتری بریزید. ۵۷ میلی‌لیتر استیک اسید گلشیال (۹۹/۵٪) اضافه کرده، سپس ۶۹ میلی‌لیتر آمونیوم هیدرواکسید غلیظ (در زیر هود) اضافه کنید. حجم را با استفاده از آب مقطر به ۹۰۰ میلی‌لیتر برسانید. با استفاده از محلول ۳ مولار NH₄OH یا محلول ۳ مولار استیک اسید pH را روی ۷ تنظیم کنید. بعد از خنک شدن تا دمای اتاق، حجم را به یک لیتر برسانید. همچنین بجای این کار می‌توانید ۷۷/۰۸ گرم آمونیوم استات را در آب حل کرده و تا حجم یک لیتر رقیق نمایید و سپس pH آن را روی ۷ تنظیم کنید). سوسپانسون‌های حاصله به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه با استفاده از یک تکان‌دهنده دورانی تکان داده شدند. در پایان عصاره از کاغذ صافی مناسب (F1002 grade, CHMLAB group) عبور داده شد. برای اندازه‌گیری پتاسیم قابل جذب با دستگاه فلیم فتومتر، ابتدا استانداردهای کاری ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر پتاسیم در محلول عصاره‌گیر تهیه و بعد از کالیبره کردن دستگاه؛ غلظت پتاسیم در عصاره حاصله با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (CORNING, Flame photometer) اندازه‌گیری شد (Bremner et al., 1965; Thomas, 1983; Ehyaei and Behbehani Zade, 1993).

آمونیم بیکربنات-DTPA

به منظور استخراج پتاسیم قابل جذب با استفاده از عصاره‌گیر آمونیوم بیکربنات-DTPA (سلطان‌پور)، ابتدا مقادیر ۴، ۵ و ۱۰ گرم خاک (>۲ میلی‌متر) به درون ظروف پلی اتیلنی ۲۵۰ میلی‌لیتری انتقال داده شد؛ سپس برای رسیدن به نسبت‌های خاک به عصاره‌گیر ۱:۵؛ ۱:۱۰ و ۲:۱ به ترتیب مقادیر ۲۰، ۵۰ و ۲۰ میلی‌لیتر از عصاره‌گیر آمونیوم بیکربنات-DTPA به آن‌ها اضافه شد (برای تهیه محلول عصاره‌گیر ابتدا ۱/۹۷ گرم DTPA در ۸۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل و ۲ میلی‌لیتر آمونیوم هیدرواکسید (NH₄OH) ۱:۱ به آن اضافه شد). سپس ۷۹/۰۶ گرم آمونیوم بیکربنات (NH₄HCO₃) به این محلول اضافه و با هم زدن، کاملاً حل شد. pH محلول با افزودن آمونیوم هیدروکسید (NH₄OH) یا کلریدریک اسید (HCl) روی ۷/۶ تنظیم و سپس با استفاده از آب مقطر به حجم ۱ لیتر رسید. توجه شود که عصاره‌گیر AB-DTPA در pH خود ناپایدار است و باید قبل از مصرف به صورت تازه تهیه شود و یا برای نگهداری طولانی مدت، در روغن معدنی نگهداری شود). در مرحله بعد مخلوط خاک-عصاره‌گیر به مدت ۱۵ دقیقه تکان داده شده (در دور ۱۸۰) و از کاغذ صافی مناسب (chm (CHMLAB group), F1002 grade) عبور داده شد و در نهایت غلظت پتاسیم در عصاره حاصله با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (Soltanpour and Schwab, 1977; Soltanpour and Workman, 1979).

مهلیج-۳

برای استخراج پتاسیم با استفاده از عصاره‌گیر مهلیج-۳، مقادیر ۵/۲، ۱۰ و ۱۰ گرم خاک (>۲ میلی‌متر) به ظروف ۲۵۰ میلی‌لیتری پلی اتیلنی منتقل و ۵۰ میلی‌لیتر از عصاره‌گیر مهلیج-۳ به آن اضافه شد (برای تهیه عصاره‌گیر مهلیج-۳؛ ابتدا با حل کردن ۱۳۸/۹ گرم آمونیوم فلوراید و ۷۳/۵ گرم EDTA در ۱ لیتر آب مقطر، معرف استوک آمونیوم فلوراید-EDTA آماده شد. برای تهیه ۴ لیتر عصاره‌گیر؛ ابتدا ۸۰ گرم آمونیوم نترات (NH₄NO₃) در ۳ لیتر آب مقطر حل و ۱۶ میلی‌لیتر از استوک آمونیوم فلوراید-EDTA (ساخته شد در مرحله قبل) به آن اضافه شد. سپس ۴۶ میلی‌لیتر استیک اسید (CH₃COOH) و ۳/۲۸ میلی‌لیتر نیتریک اسید (HNO₃) به آن اضافه شد. حجم نهایی بعد از تنظیم pH بر روی ۲/۵، به ۴ لیتر رسانده شد. بطری مورد استفاده برای نگهداری عصاره‌گیر مهلیج-۳، ظرف عصاره‌گیری و ظرف نگهداری عصاره استخراج شده باید پلاستیکی، مانند پلی اتیلن، باشد و شیشه نباشد). معرف عصاره‌گیر و خاک به مدت ۵ دقیقه شیک (در دور ۲۰۰) و از کاغذ صافی مناسب (chm (CHMLAB group), F1002 grade) عبور داده شد. اندازه‌گیری پتاسیم در عصاره حاصله نیز مانند



آنچه در دو روش قبل توضیح داده شد، انجام گردید (Mehlich, 1984).

آنالیز آماری

نتایج حاصل از اندازه‌گیری پتاسیم قابل جذب توسط نسبت‌های مختلف عصاره‌گیرهای استات آمونیوم ۱ مولار، مهلیج-۳ و آمونیوم بیکربنات-DTPA در نهایت توسط نرم‌افزار مینی‌تب (Minitab) آنالیز و معنی‌داری تیمارها در سطح احتمال ۹۵ درصد مشخص شد. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۶ رسم شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده در این مطالعه که از مناطق مختلف کشور جمع آوری شده بود در جدول ۲ نشان داده شده است. جمع‌آوری نمونه‌ها از خاک‌های مناطق مختلف کشور که تحت مدیریت، اقلیم و کشت متفاوت بودند، انجام شد. به‌طور کلی این خاک‌ها دارای کلاس‌های بافتی مختلف بودند؛ بطوری که کلاس‌های Loam، Silty Clay Loam، Clay Loam و Silty Clay به ترتیب ۳۲/۶، ۱۹/۳، ۱۱/۳ و ۱۱/۳ درصد از خاک‌های مورد مطالعه بوده و مجموعاً بیش از ۷۰ درصد از خاک‌های مورد بررسی را شامل شدند. pH این خاک‌ها در محدوده‌ای بین ۵/۶ تا ۸/۷ و به‌طور میانگین ۷/۷؛ قابلیت هدایت الکتریکی (EC) این خاک‌ها در محدوده‌ای گسترده بین ۰/۳۴ تا ۶۵ و به‌طور میانگین ۶/۷۵ دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) و همچنین درصد کربن آلی موجود در این خاک‌ها بین ۰/۰۶ تا ۲/۲ درصد و به‌طور میانگین ۰/۸۲ درصد قرار داشت (جدول ۲).

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از نسبت‌های مختلف خاک به عصاره‌گیرهای استات آمونیوم ۱ مولار، مهلیج-۳ و آمونیوم بیکربنات-DTPA، به‌طور معنی‌داری منجر به تغییر در اندازه‌گیری مقدار پتاسیم قابل جذب شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که استفاده از نسبت‌های مختلف خاک به عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ مولار (۵:۱، ۱۰:۱ و ۲۰:۱) و آمونیوم بیکربنات-DTPA (۲:۱، ۵:۱ و ۱۰:۱) به‌طوری معنی‌دار منجر به برآورد مقادیر متفاوتی از میزان پتاسیم قابل جذب خواهد شد (جدول ۳). نتایج همچنین نشان داد که استفاده از نسبت‌های ۵:۱ و ۱۰:۱ مهلیج-۳ منجر به اختلاف معنی‌دار در برآورد پتاسیم قابل جذب نخواهد شد، با این وجود مقدار پتاسیم اندازه‌گیری شده با نسبت ۲۰:۱ دارای اختلافی معنی‌دار با دو این دو نسبت بود. جدول ۳ همچنین میانگین غلظت پتاسیم قابل جذب استخراج شده توسط سه عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ مولار، آمونیوم بیکربنات-DTPA و مهلیج-۳ را در نسبت‌های مختلف خاک به عصاره‌گیر نشان می‌دهد. این نتایج نشان داد که وقتی نسبت خاک به عصاره‌گیر در رقیق‌ترین حالت بود (بیشترین نسبت عصاره‌گیر به خاک)، مقدار پتاسیم اندازه‌گیری شده توسط هر سه عصاره‌گیر، بیشترین مقدار را داشت و با افزایش نسبت خاک به عصاره‌گیر، مقدار پتاسیم اندازه‌گیری شده توسط عصاره‌گیر استات ۱ مولار و آمونیوم بیکربنات-DTPA کاهش یافت؛ اما این روند در رابطه با عصاره‌گیر مهلیج-۳ صادق نبود. با کاهش نسبت خاک به عصاره‌گیر، میانگین کل پتاسیم قابل جذب اندازه‌گیری شده با نسبت ۲۰:۱ خاک به عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ مولار، به ترتیب ۱۱/۵٪ و ۵/۰۱٪ بیشتر از نسبت‌های ۵:۱ و ۱۰:۱ بود؛ پتاسیم اندازه‌گیری شده با نسبت ۱۰:۱ خاک به عصاره‌گیر آمونیوم بیکربنات-DTPA، به ترتیب ۱۵/۲۴٪ و ۴/۹۱٪ بیشتر از نسبت‌های ۲:۱ و ۵:۱ بود و پتاسیم اندازه‌گیری شده با نسبت ۲۰:۱ خاک به عصاره‌گیر مهلیج-۳ نیز به ترتیب ۸/۷۹٪ و ۶/۸۴٪ بیشتر از نسبت‌های ۱۰:۱ و ۵:۱ بود (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که مقدار پتاسیم استخراج شده توسط نسبت‌های مختلف خاک به عصاره‌گیرهای استات آمونیوم ۱ مولار و مهلیج-۳ (میانگین هر سه نسبت) با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند اما این دو عصاره‌گیر نسبت به عصاره‌گیر آمونیوم بیکربنات-DTPA دارای اختلاف معنی‌دار بودند (جدول ۴). در این تحقیق نسبت‌های استفاده شده برای عصاره‌گیر استات آمونیوم و مهلیج-۳ یکسان (۵:۱، ۱۰:۱ و ۲۰:۱)، ولی برای آمونیوم بیکربنات-DTPA این نسبت‌ها متفاوت بود (۲:۱، ۵:۱ و ۱۰:۱). دلیل این نحوه انتخاب نیز نسبت ۲:۱ پیشنهاد شده در روش رائه شده توسط Soltanpour و Workman (1979) بود. بنابراین، شاید اگر نسبت ۲۰:۱ برای عصاره‌گیر آمونیوم بیکربنات-DTPA نیز اندازه‌گیری می‌شد، مقدار عددی آن به ۳۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نزدیک و میانگین‌های کلی بهم نزدیک‌تر و در نتیجه فاقد اختلاف معنی‌دار می‌شد. میانگین غلظت کل پتاسیم عصاره‌گیری شده با این سه نسبت (برای هر روش)، نشان داد که به‌طور کلی، استفاده از هر کدام از این عصاره‌گیرها با اختلاف درصد ناچیزی (کمتر از ۱۰ درصد) در مقایسه با همدیگر، میزان پتاسیم قابل جذب خاک را برآورد می‌کنند (جدول ۴).

جدول ۲. برخی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک‌های مورد استفاده در این مطالعه

شماره	کلاس بافت	pH	OC (%)	EC (ds/m)	شماره	کلاس بافت	pH	OC (%)	EC (ds/m)
۱	Silty Clay	۷/۹	۰/۵۴	۱۵/۸۵	۳۲	Silty Clay Loam	۸/۰۱	۰/۵۷	۰/۹۱
۲	Silty Clay Loam	۷/۹۳	۰/۵۲	۱۵/۸۶	۳۳	Silty Clay Loam	۷/۸۵	۰/۵۳	۰/۹۸
۳	Loam	۷/۷۵	۱/۲۹	۳/۶۹	۳۴	Silty Clay Loam	۷/۶۵	۱/۶۶	۰/۶۲
۴	Loam	۸	۰/۷۷	۵/۶۳	۳۵	Loam	۷/۶۷	۲/۲۸	۰/۵
۵	Silty Clay Loam	۷/۹۵	۱/۲	۴/۶	۳۶	Silty clay	۷/۶۹	۰/۳۹	۰/۳۴
۶	Loam	۸/۱۱	۰/۰۶	۱/۷۹	۳۷	loam	۸/۷۱	۰/۷۸	۴۹/۳۷
۷	Silty Loam	۷/۱۴	۰/۳۴	۰/۷۸	۳۸	Silty Clay Loam	۷/۷۵	۰/۵۳	۱/۵۲
۸	Silty Clay	۷/۷۲	۱/۰۹	۱/۷۲	۳۹	Loam	۷/۴۱	۰/۴۱	۳/۹۸
۹	Silty Clay Loam	۷/۶۳	۰/۸۷	۱/۱۹	۴۰	Clay Loam	۷/۶۳	۰/۷۴	۰/۴۸
۱۰	Clay Loam	۸/۰۵	۰/۲۲	۶۵/۶۱	۴۱	Loam	۷/۵	۰/۴۳	۰/۴۵
۱۱	Loamy Sand	۸/۱	۰/۰۸	۱/۵۵	۴۲	Loam	۷/۴۷	۱/۸۴	۰/۹
۱۲	Clay	۷/۶۸	۰/۵۷	۶۱/۶	۴۳	Loam	۷/۵۶	۰/۵۲	۰/۴۷
۱۳	Silty Clay	۸/۰۸	۱/۱۷	۲/۰۶	۴۴	Loam	۷/۴۶	۰/۴۷	۳/۸۳
۱۴	Silty Clay	۷/۵۱	۱/۱۶	۱/۳	۴۵	Loam	۷/۲	۰/۷۸	۱/۱۲
۱۵	Sandy Loam	۷/۲۰	۰/۳	۲/۱	۴۶	Silty Clay Loam	۷/۹۱	۰/۴۹	۱/۲۱
۱۶	Loam	۸/۱۶	۰/۲۲	۲/۳۷	۴۷	Loam	۷/۷۱	۰/۷۵	۰/۳۸
۱۷	Clay Loam	۷/۲۱	۱/۸۱	۰/۸۵	۴۸	Clay Loam	۷/۶۲	۱/۲۲	۱/۵۵
۱۸	Sandy Loam	۷/۹۶	۰/۸۱	۱/۷	۴۹	Sandy Clay Loam	۷/۷۲	۰/۹۵	۰/۹۳
۱۹	Sandy Loam	۷/۸۵	۱	۶/۸۸	۵۰	Silty Clay Loam	۷/۹۹	۰/۱۳	۰/۷۱
۲۰	Silty Loam	۷/۸۲	۱/۴۴	۱/۴۶	۵۱	Loam	۵/۶۹	۲/۲	۰/۶
۲۱	Clay Loam	۷/۷۲	۰/۱۶	۱/۷	۵۲	Silt Loam	۸/۱	۱/۸۹	۱/۱۷
۲۲	Silty clay loam	۷/۱۲	۱	۲/۹۲	۵۳	Clay Loam	۷/۹۶	۰/۳۷	۰/۶۵
۲۳	Loam	۷/۶۷	۰/۸۲	۱/۱۳	۵۴	Sandy Loam	۷/۸۲	۰/۵۲	۱/۲۱
۲۴	Loam	۷/۸۸	۰/۷۸	۲/۹۷	۵۵	Clay Loam	۷/۷	۰/۷۵	۳/۹۲
۲۵	Silty Clay Loam	۷/۳۸	۱/۰۲	۴/۳۱	۵۶	Loam	۷/۵۵	۰/۷۴	۱/۲۵
۲۶	Silt Loam	۷/۴۱	۰/۸۷	۲/۴۴	۵۷	Loam	۷/۸۳	۰/۵۵	۱/۰۲
۲۷	Loam	۷/۲	۰/۲۵	۳۷/۸	۵۸	Silty Clay	۷/۵۹	۰/۶۴	۲/۰۴
۲۸	Loam	۷/۷	۰/۹۰	۳/۷۸	۵۹	Silt Loam	۷/۴۶	۰/۶۰	۱/۰۸
۲۹	Loam	۷/۴۵	۰/۷۲	۲/۳۳	۶۰	Silt Loam	۷/۲۹	۱/۴۹	۱۳/۶
۳۰	Loamy Sand	۷/۷	۰/۲۵	۰/۶۴	۶۱	Silty Clay	۷/۱۸	۱/۶۵	۴۳/۳
۳۱	Silty Clay	۷/۶۵	۰/۹۵	۲/۱	۶۲	Silty Clay Loam	۸/۵۹	۱/۵۸	۱۱/۹

جدول ۳. مقایسه میانگین نسبت‌های مختلف خاک به عصاره‌گیرهای مختلف

نوع عصاره گیر	نسبت خاک به عصاره گیر	تعداد نمونه	میانگین پتاسیم قابل جذب (mg kg ⁻¹)
استات آمونیوم	۵:۱	۶۲	۳۰۲/۵۰c
	۱۰:۱	۶۲	۳۳۴/۸۰b
	۲۰:۱	۶۲	۳۴۲/۰۱a
مهلیج-۳	۵:۱	۶۲	۳۲۳/۶۳b
	۱۰:۱	۶۲	۳۱۶/۸۴bc
	۲۰:۱	۶۲	۳۴۷/۳۹a
آمونیم بیکربنات-DTPA	۲:۱	۶۲	۲۷۹/۹۶c
	۵:۱	۶۲	۳۱۴/۰۹b
	۱۰:۱	۶۲	۳۳۰/۳۰a

* در این جدول عصاره‌گیرهای مختلف با هم مقایسه نشده اند، بلکه نسبت‌های مختلف هر عصاره‌گیر، به تفکیک، با هم مقایسه شده است.

نتایج مقایسه میانگین همچنین نشان داد که با استفاده از نسبت ۱۰:۱ برای اندازه‌گیری میزان پتاسیم قابل جذب، هر سه عصاره‌گیر مقدار پتاسیم قابل جذب را با اختلاف بسیار ناچیزی، نسبت به همدیگر برآورد کردند که البته این اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۴). هنگامی

که پتاسیم قابل جذب با استفاده از نسبت ۵:۱ استخراج و اندازه‌گیری شد، مقدار پتاسیم استخراج شده توسط عصاره‌گیر آمونیوم بیکربنات- DTPA با دو عصاره‌گیر دیگر اختلاف معنی‌دار نداشت، اما مقدار پتاسیم اندازه‌گیری شده توسط عصاره‌گیر مهلیج-۳ و استات آمونیوم ۱ مولار دارای اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج همچنین نشان داد که بین نسبت‌های ۲۰:۱ استات آمونیوم و مهلیج-۳ در برآورد مقدار پتاسیم قابل جذب اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). این احتمال وجود دارد که اگر نسبت ۲۰:۱ برای عصاره‌گیر آمونیوم بیکربنات- DTPA نیز لحاظ می‌شد، اختلاف ناچیزی با دو عصاره‌گیر دیگر داشت، هر چند که در روش اصلی نسبت ۲:۱ معرفی شده است.

جدول ۴. مقایسه میانگین عصاره‌گیرهای مختلف در نسبت‌های یکسان خاک به عصاره‌گیر

نوع عصاره‌گیر	نسبت خاک به عصاره‌گیر	تعداد	میانگین پتاسیم قابل جذب (mg kg ⁻¹)
استات آمونیوم ۱ مولار	۵:۱، ۱۰:۱، ۲۰:۱	۱۸۶	۳۲۳/۱a
مهلیج-۳	۵:۱، ۱۰:۱، ۲۰:۱	۱۸۶	۳۲۹/۳a
آمونیوم بیکربنات- DTPA	۲:۱، ۵:۱، ۱۰:۱	۱۸۶	۳۰۸/۱b
استات آمونیوم ۱ مولار	۱۰:۱	۶۲	۳۲۴/۹a
مهلیج-۳	۱۰:۱	۶۲	۳۱۶/۹a
آمونیوم بیکربنات- DTPA	۱۰:۱	۶۲	۳۳۰/۳a
استات آمونیوم ۱ مولار	۵:۱	۶۲	۳۰۲/۵b
مهلیج-۳	۵:۱	۶۲	۳۲۳/۶a
آمونیوم بیکربنات- DTPA	۵:۱	۶۲	۳۱۴/۱ab
استات آمونیوم ۱ مولار	۲۰:۱	۶۲	۳۴۲a
مهلیج-۳	۲۰:۱	۶۲	۳۴۷/۴a

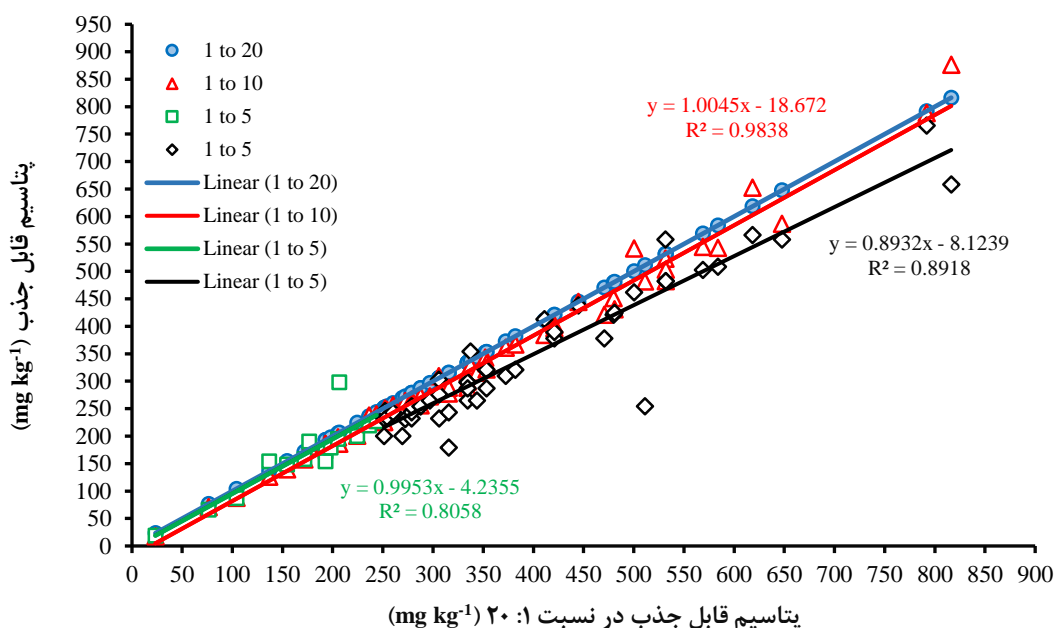
* در این جدول نسبت‌های یکسان خاک به عصاره‌گیرهای مختلف، به تفکیک با هم مقایسه شده‌اند.

عصاره‌گیر استات آمونیوم

اثر نسبت خاک به محلول استات آمونیوم بر مقدار پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم ۱ مولار در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل از نسبت ۲۰:۱ (روش موسسه تحقیقات خاک و آب) به عنوان نسبت مرجع استفاده و دو نسبت دیگر با آن مقایسه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که تغییر در نسبت خاک به عصاره‌گیر در این روش، منجر به برآورد مقادیر متفاوت پتاسیم قابل جذب از خاک می‌گردد (شکل ۱ و جدول ۳). شکل ۱ به وضوح نشان داد که نسبت ۲۰:۱ خاک به عصاره‌گیر، همواره برآورد بیشتری از میزان پتاسیم قابل جذب گیاه از خاک داشت. نتایج همچنین نشان داد که افزایش نسبت خاک به عصاره‌گیر در روش استات آمونیوم ۱ مولار، منجر به کاهش برآورد مقدار پتاسیم قابل جذب خاک شد و هرچه این افزایش غلظت (نسبت خاک به عصاره‌گیر) بیشتر شد، کاهش برآورد پتاسیم با شدت بیشتری خود را نشان داد (ترتیب برآورد مقدار پتاسیم قابل جذب ۲۰:۱ < ۱۰:۱ < ۵:۱) (جدول ۳). نتایج معادله خط نشان داد که شیب خط در نسبت ۱۰:۱ و ۲۰:۱ تقریباً یکسان بود و تفاوت آنها در عرض از مبدأ آنها بود (جدول ۵). با توجه به معادله خط در نسبت ۱۰:۱ می‌توان نتیجه گرفت که وقتی نسبت خاک به عصاره‌گیر از ۲۰:۱ به ۱۰:۱ تغییر کرد، به طور میانگین مقدار پتاسیم قابل جذب، ۷/۵ درصد کم‌تر برآورد شد؛ یعنی در صورتی که به اعداد به‌دست آمده از نسبت ۱۰:۱، به طور میانگین ۷/۵ درصد اضافه شود، تقریباً اعداد یکسان یا خیلی نزدیکی با نسبت ۲۰:۱ به‌دست خواهد آمد (جدول ۵؛ شکل ۱).

نسبت ۵:۱ خاک به عصاره‌گیر، در سطوح مختلف غلظت پتاسیم در خاک، همبستگی متفاوتی با نسبت ۲۰:۱ از خود نشان داد (شکل ۱). با توجه به معادله خط و شکل ۱، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که وقتی سطح پتاسیم قابل جذب خاک کمتر از ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود، شیب خط مربوط به این نسبت به شیب خط مرجع نزدیک و تقریباً یکسان بود و با افزایش سطح پتاسیم از ۲۵۰ به سمت مقادیر بالا، اختلاف شیب بیشتر شد (جدول ۵). معادله خط همچنین نشان داد که در سطوح پایین پتاسیم قابل جذب خاک (کمتر از ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، نسبت ۵:۱ خاک به عصاره‌گیر به طور میانگین ۲/۵ تا ۳ درصد مقدار پتاسیم را در مقایسه با نسبت ۲۰:۱ کمتر برآورد کرد و با افزایش سطح پتاسیم از ۲۵۰، مقدار این کم برآورد تقریباً دو برابر شد (جدول ۵). بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که نسبت ۲۰:۱ و ۱۰:۱ خاک به عصاره‌گیر استات آمونیوم، با اختلاف کم اما همبستگی بالا (شیب خط تقریباً یکسان)، برآورد نزدیک و قابل اعتمادی از مقدار پتاسیم قابل جذب خاک ارائه می‌دهند. در استفاده از نسبت ۵:۱ خاک به عصاره‌گیر، باید گفت که در سطوح پایین پتاسیم قابل جذب خاک (کمتر از ۲۵۰) برآورد نزدیکی با نسبت ۲۰:۱ و ۱۰:۱ داشت و با افزایش سطح پتاسیم از ۲۵۰ دقت آن کاهش

یافت.



شکل ۱- مقایسه سه نسبت مختلف ۱:۲۰، ۱:۱۰ و ۱:۵ خاک به عصاره‌گیر در روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم ۱ مولار. نسبت ۲۰:۱ به‌عنوان مرجع در محور x و سایر نسبت‌ها در مقایسه با آن رسم شد؛ خط سبز رنگ: نسبت ۱:۵ در دامنه اعداد کمتر از ۲۵۰ و خط مشکی رنگ: نسبت ۱:۵ در دامنه اعداد بالاتر از ۲۵۰ را نشان می‌دهد.

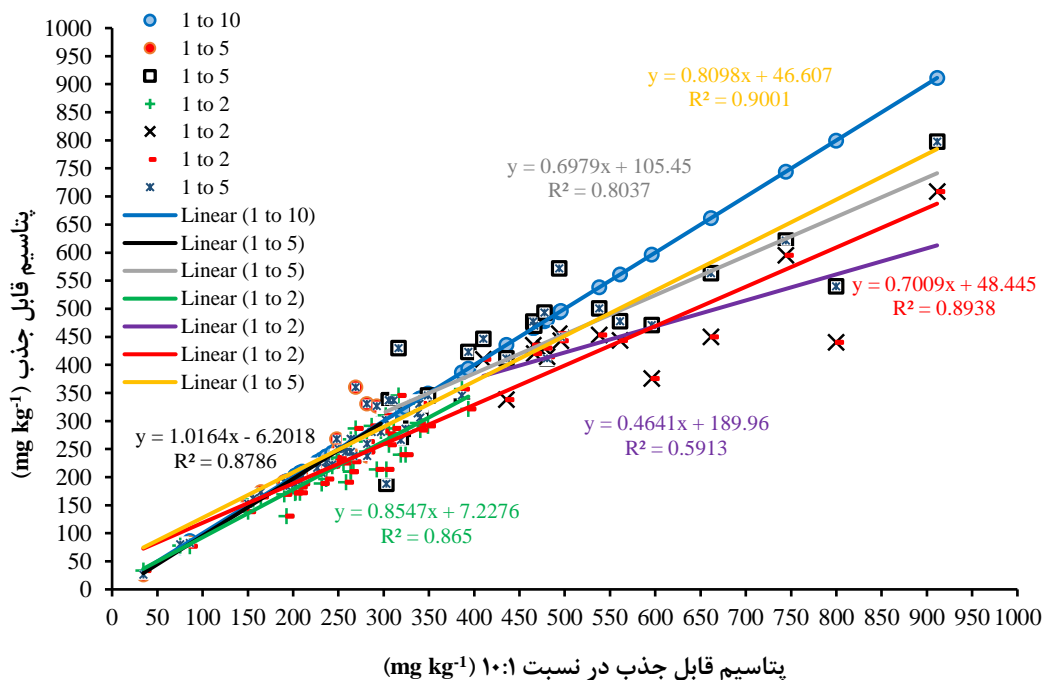
در حال حاضر منابع چندانی در رابطه با اثر نسبت خاک به عصاره‌گیر بر مقدار پتاسیم استخراج شده با عصاره‌گیرهای مختلف در دسترس نیست؛ اما منابع زیادی وجود دارد که از نسبت‌های مختلف خاک به عصاره‌گیر استات آمونیوم در زمان‌های تعادل مختلف (تکان دادن/شیکر) برای استخراج مقدار پتاسیم قابل جذب خاک استفاده و آن را توصیه کرده‌اند. در این راستا Sutton و Seay (1958) نسب ۲۰:۱ خاک به عصاره‌گیر و زمان تعادل/شیکر ۳۰ دقیقه را برای استخراج پتاسیم قابل جذب با استفاده از استات آمونیوم پیشنهاد کردند. سایر نسبت‌ها مانند نسبت ۱۰:۱ و زمان تعادل/شیکر ۱۵ دقیقه (Rowell, 1994; Carter and Gregorich, 2007)، نسبت ۱۰:۱ و زمان تعادل/شیکر ۳۰ دقیقه، نسبت ۵:۱ و زمان تعادل/شیکر ۳۰ دقیقه (Carter and Gregorich 2007; Noori, 2012)، نسبت ۲۵:۱ و زمان تعادل ۳۰ دقیقه (Sharifi and Kalbasi, 2001)، نسبت ۲۰:۱ و زمان تعادل ۲۴ ساعت، بدون شیکر کردن، نیز توسط محققین پیشین بررسی و پیشنهاد شده‌اند (Ali Ehyaei and Behbehani Zade, 1993).

با وجود اینکه تحقیقات پیشین استفاده از نسبت‌های مختلف خاک به عصاره‌گیر را برای استخراج پتاسیم تحت شرایط مختلف گزارش داده‌اند، اما تفسیر واضحی برای دلیل انتخاب این نسبت‌ها و اینکه آیا تغییر در این نسبت‌ها منجر به تفاوت در اندازه‌گیری مقدار پتاسیم قابل جذب خاک خواهد شد یا خیر، ارائه نکرده‌اند. همین ابهام ممکن است منجر به این تفسیر اشتباه توسط کارشناسان شود که تغییر در نسبت خاک به عصاره‌گیر تفاوتی در اندازه‌گیری مقدار پتاسیم قابل جذب خاک ایجاد نمی‌کند و احتمالاً با در نظر گرفتن ضریب رقت اثر آن خنثی خواهد شد. نتایج این تحقیق نشان داد که تغییر در نسبت خاک به عصاره‌گیر که عموماً در برخی از آزمایشگاه‌ها به منظور کاهش هزینه‌های آنالیز انجام می‌شود، علیرغم اعمال ضریب رقت، منجر به تغییر در اندازه‌گیری مقدار پتاسیم قابل جذب استخراج شده خواهد شد. نتایج پژوهش حاضر همچنین نشان می‌دهد؛ در صورتی که از هر کدام از نسبت‌های ۲۰:۱ یا ۱۰:۱ برای استخراج پتاسیم استفاده شود؛ مقدار پتاسیم قابل جذب اندازه‌گیری شده توسط هر دو نسبت بسیار به هم نزدیک بوده و مقدار پتاسیم با یک نسبت یکسان، کمتر (نسبت ۱۰:۱) یا بیشتر (نسبت ۲۰:۱) اندازه‌گیری خواهد شد. در این مورد نیز استفاده از ضریب تبدیل محاسبه شده (۷/۵ درصد)، اعداد را به میزان بسیار زیادی به هم نزدیک خواهد کرد. بنابراین محدودیتی در استفاده از این دو نسبت وجود ندارد. در صورتی که سطح پتاسیم تبادل‌ی خاک کمتر از ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم باشد؛ می‌توان از نسبت ۵:۱ نیز به عنوان یک نسبت قابل اعتماد استفاده کرد اما در سطوح بالاتر از ۲۵۰ این نسبت قابل اعتماد نبوده و با توجه به تغییر شیب خط و پراکندگی زیاد اعداد، برآوردی با دقت پایین ارائه خواهد داد (در مقایسه با دو نسبت ۲۰:۱ و ۱۰:۱). در نتیجه می‌توان بیان نمود که کارشناسان در آزمایشگاه‌ها مجاز نیستند از هر نسبتی برای استخراج

پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم ۱ مولار استفاده کنند. احتمالاً دلیل پیشنهاد و استفاده از این نسبت‌های مختلف خاک به عصاره‌گیر توسط محققین پیشین، با تغییر در زمان تعادل، نوع گیاه و نیز خصوصیات مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک (به‌خصوص pH خاک که نقش کلیدی در اندازه‌گیری پتاسیم و انتخاب عصاره‌گیر برای استخراج پتاسیم دارد) قابل تفسیر و توجیه است، که نیاز است با طرح آزمایشات دقیق و در نظر گرفتن این فاکتورها بررسی شود.

عصاره‌گیر آمونیوم بی‌کربنات-DTPA

اثر نسبت خاک به محلول آمونیوم بی‌کربنات-DTPA (روش سلطان‌پور)، بر مقدار پتاسیم قابل جذب در شکل ۲ نشان داده شده است. در این شکل از نسبت ۱:۱ به‌عنوان نسبت مرجع استفاده و دو نسبت دیگر با آن مقایسه شد. انتخاب نسبت ۱:۱ به‌عنوان مرجع، به‌دلیل مشابهت این نسبت با نسبت ۱:۱ در روش استات آمونیوم بود. نتایج نشان داد که تغییر در نسبت خاک به عصاره‌گیر منجر به اندازه‌گیری مقادیر متفاوتی از میزان پتاسیم قابل جذب خواهد شد (شکل ۲ و جدول ۳). در شکل ۲، از نظر رنج غلظت پتاسیم در خاک، یک پیچیدگی در استخراج مقدار پتاسیم با نسبت‌های مختلف خاک به عصاره‌گیر مشاهده شد. نتایج نشان داد؛ هنگامی که سطح پتاسیم قابل جذب در خاک پایین‌تر از ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود، مقادیر پتاسیم اندازه‌گیری شده با نسبت‌های مختلف، به‌هم نزدیک‌تر بودند و با افزایش سطح پتاسیم از ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، پراکندگی داده‌های برآورد شده با نسبت‌های مختلف نیز شدت یافت (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه سه نسبت مختلف ۱:۱، ۵:۱ و ۲:۱ خاک به عصاره‌گیر در روش عصاره‌گیری با آمونیوم بی‌کربنات-DTPA. نسبت ۱:۱ به‌عنوان مرجع در محور x و سایر نسبت‌ها در مقایسه با آن رسم شد؛ خط زرد، مشکی و طوسی به ترتیب نسبت ۵:۱ در کل دامنه پتاسیم قابل جذب، دامنه اعداد کمتر از ۳۰۰ و دامنه اعداد بالاتر از ۳۰۰ را نشان می‌دهد؛ خط قرمز، سبز و بنفش نیز به ترتیب نسبت ۲:۱ در کل دامنه پتاسیم قابل جذب، دامنه اعداد کمتر از ۴۰۰ و دامنه اعداد بالاتر از ۴۰۰ را نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از معادله خط مربوط به نسبت ۵:۱ در مقایسه با خط مرجع نشان داد، هنگامی که سطح پتاسیم قابل جذب خاک کمتر از ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود، شیب خط تقریباً با شیب خط مرجع برابر بود و با افزایش سطح پتاسیم از ۴۰۰، شیب خط میانگین از شیب خط مرجع به مقدار قابل توجهی فاصله گرفت؛ به عبارتی می‌توان گفت که این اعداد دیگر با اعداد مرجع همبستگی چندانی نداشتند (جدول ۵). معادله خط حاصل از نسبت ۲:۱ خاک به عصاره‌گیر نیز روندی مشابه را نشان داد (شکل ۲). در نسبت ۲:۱، هنگامی که سطح پتاسیم قابل جذب خاک از ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کمتر بود، شیب خط حاصله به شیب خط مرجع نزدیک‌تر و با افزایش سطح پتاسیم از ۴۰۰ این رابطه تغییر کرده و خط شیبی کاملاً متفاوت پیدا کرد (جدول ۵). معادله خطوط همچنین نشان داد، هنگامی که سطح پتاسیم قابل

جذب خاک کمتر از ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود، نسبت ۵:۱ و ۲:۱ به ترتیب ۳ و ۳/۵ درصد نسبت به خط مرجع کم برآورد داشتند؛ هنگامی که سطح پتاسیم قابل جذب در خاک افزایش یافت این اختلاف برآورد به طرز چشمگیری تغییر کرد و اعداد از دامنه قابل قبول خارج شدند (جدول ۵).

طبق نتایج ارائه شده در شکل ۲ و جدول ۳، مشابه آنچه در رابطه با عصاره‌گیری با استات آمونیوم اتفاق افتاد، وقتی نسبت خاک به عصاره‌گیر کمتر بود (سوسپانسیون رقیق‌تر بود)، برآورد بیشتری از میزان پتاسیم قابل جذب خاک مشاهده شد. در شکل ۲ نیز مشاهده شد که نسبت ۲:۱ خاک به عصاره‌گیر در مقایسه با نسبت‌های ۵:۱ و ۱۰:۱، برآورد کمتری از مقدار پتاسیم داشت. نتایج همچنین نشان داد که به‌طور کلی وقتی سطح پتاسیم قابل جذب خاک پایین بود، تغییر در نسبت خاک به عصاره‌گیر آمونیوم بیکربنات-DTPA، اختلاف کمتری در میزان پتاسیم برآورد شده ایجاد کرد و با افزایش سطح پتاسیم خاک، تغییر نسبت خاک به عصاره‌گیر تأثیر بیشتری در تشدید اختلاف مقدار پتاسیم برآورد شده داشت (شکل ۲).

نتایج این تحقیق نشان داد که با توجه به دامنه غلظتی پتاسیم در خاک‌های اکثر نقاط کشور که اغلب بین ۵۰ تا ۴۵۰ است (Shahbazi and Besharati, 2013)، در صورت استفاده از نسبت ۲:۱ خاک به عصاره‌گیر آمونیوم بیکربنات-DTPA، (نسبت پیشنهادی در روش Soltanpour و Schwab (1977))، اکثر عصاره‌های استخراج شده با این نسبت نیاز به یک مرحله رقیق سازی خواهند داشت. از آنجایی که رقیق سازی ممکن است خود یک عامل خطا در کارهای آزمایشگاهی باشد، بنابراین، بهتر است نسبت‌هایی به کار گرفته شوند که ترجیحاً نیاز به رقیق سازی نداشته باشند. زیرا سهولت کار با یک روش آزمایشگاهی از جمله مزیت‌هایی است که یک روش آزمایشگاهی را در اولویت قرار می‌دهد. ارائه این نسبت در اندازه‌گیری پتاسیم در روش پیشنهادی سلطان‌پور (۱۹۷۷) به این دلیل است که این عصاره‌گیر یک عصاره‌گیر چند عنصری می‌باشد و برای اندازه‌گیری عناصر تغذیه‌ای شامل فسفر، پتاسیم و عناصر میکرو می‌باشد. از آنجایی که سطح برخی از عناصر قابل جذب خاک مانند عناصر میکرو در سطح خیلی پایینی قرار دارد، بنابراین از این لحاظ این نسبت (۲:۱) انتخاب و در روش اصلی ارائه گردیده است (Soltanpour and Schwab, 1977). استفاده از نسبت‌های خاک به عصاره‌گیر کوچکتر باعث می‌شود که غلظت این عناصر در محلول نهایی مورد تجزیه کمتر از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی گردد.

اکثر نسبت‌هایی که محققین پیشین برای استفاده از عصاره‌گیر آمونیوم بیکربنات-DTPA پیشنهاد داده‌اند نیز رقیق‌تر از نسبت ۲:۱ پیشنهادی در روش سلطان‌پور است. در این رابطه استفاده از نسبت‌های مختلف خاک به عصاره‌گیر آمونیوم بیکربنات-DTPA، شامل نسبت ۲:۱ در زمان تعادل/شیکر ۵ دقیقه (Jones, 1990) و ۱۵ دقیقه (Helmke and Sparks, 1996)، نسبت ۱۰:۱ در زمان تعادل/شیکر ۱۰ دقیقه (Jackson, 1975) و نسبت ۵:۱ در زمان تعادل ۱۵ دقیقه (Helmke and Sparks, 1996)، قبلاً توسط محققین بررسی و پیشنهاد شده‌اند. در روش استفاده از عصاره‌گیر آمونیوم بیکربنات-DTPA، توضیح داده نشد که تغییر در نسبت خاک به عصاره‌گیر (۲:۱) چه تأثیری بر سطح عناصر اندازه‌گیری شده با این روش دارد. از آنجاییکه این عصاره‌گیر برای استفاده در خاک‌های قلیایی که pH آنها از ۷/۵ بیشتر است، اما کلسیم یا سدیم آنها بیش از حد نیست، پیشنهاد شده است، لذا پیش‌بینی می‌شود که این تغییر با تغییر در pH و سطوح کلسیم و سدیم خاک رابطه نزدیک دارد (Soltanpour and Schwab, 1977; Jones 1990). نتایج این تحقیق نشان داد که هرچه نسبت ۲:۱ به نسبت ۱۰:۱ نزدیک‌تر شود، میزان پتاسیم قابل جذب اندازه‌گیری شده با این روش به میزان پتاسیم برآورد شده با عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ مولار و مهلیج-۳ نزدیک‌تر خواهد شد (جدول ۴). از آنجایی که در استخراج پتاسیم قابل جذب خاک با استفاده از این عصاره‌گیر و اندازه‌گیری با دستگاه فلیم فتومتر، نسبت ۱۰:۱ به رقیق سازی نیاز ندارد و نیز نتایج آن با نتایج حاصل از نسبت ۱۰:۱ عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ مولار و مهلیج-۳ فاقد اختلاف معنی‌دار است (جدول ۴)، لذا در استفاده از این عصاره‌گیر، نسبت ۱۰:۱ بر نسبت ۲:۱ ترجیح داده و پیشنهاد می‌شود.

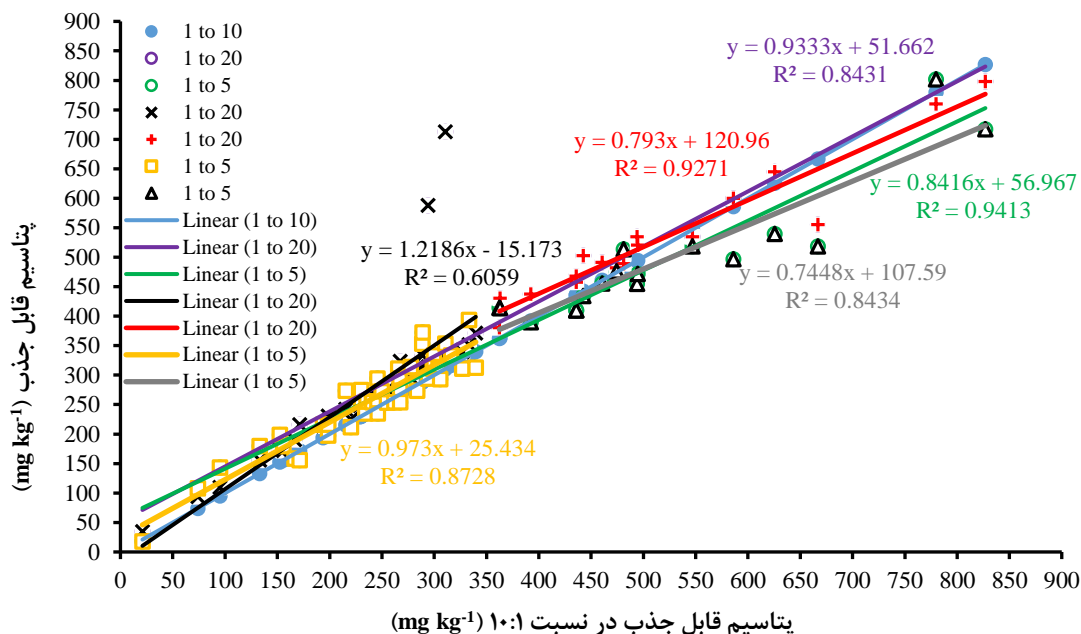
عصاره‌گیر مهلیج-۳

شکل ۳ اثر نسبت خاک به عصاره‌گیر مهلیج-۳، بر مقدار پتاسیم قابل جذب را نشان می‌دهد. در این شکل نسبت ۱۰:۱ به‌عنوان نسبت مرجع استفاده و دو نسبت دیگر با آن مقایسه شد. دلیل انتخاب نسبت ۱۰:۱ به‌عنوان مرجع، شباهت این نسبت با نسبت ۱۰:۱ در روش استات آمونیوم و آمونیوم بیکربنات-DTPA بود (جدول ۴). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در روش استخراج پتاسیم قابل جذب با عصاره‌گیر مهلیج-۳ نیز تغییر در نسبت خاک به عصاره‌گیر منجر به اندازه‌گیری مقادیر متفاوتی از سطح پتاسیم خاک می‌شود (شکل ۳ و جدول ۳). در این روش نیز مانند دو عصاره‌گیر استات آمونیوم و آمونیوم بیکربنات-DTPA، وقتی نسبت خاک به عصاره‌گیر در رقیق‌ترین حالت بود (نسبت ۲۰:۱)، مقدار پتاسیم اندازه‌گیری شده بیشتر از سایر نسبت‌ها بود (شکل ۳ و جدول ۳). نتایج همچنین نشان داد؛ هنگامی

که سطح پتاسیم قابل جذب خاک کمتر از ۳۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود، مقدار پتاسیم برآورد شده با نسبت‌های مختلف ارتباط و همبستگی نزدیک‌تری با هم داشت و با افزایش سطح پتاسیم از ۳۵۰، تفاوت در اندازه‌گیری‌ها بیشتر شد (شکل ۳).

در شکل ۳، معادله خط مربوط به نسبت ۲۰:۱ نشان داد که در سطوح پتاسیم کمتر از ۳۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، شیب خط بیشتر از شیب خط مرجع بود؛ در حالیکه در مقادیر پتاسیم بیشتر از ۳۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، شیب خط کمتر از شیب خط مرجع بود (شکل ۳). در رابطه با نسبت ۵:۱ نیز همانطور که معادله خط نشان می‌دهد، در غلظت‌های کمتر از ۳۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، شیب خط به شیب خط مرجع نزدیک‌تر و با افزایش سطح پتاسیم خاک، شیب خط به تدریج از خط مرجع کمتر می‌شود (شکل ۱؛ جدول ۵). نکته دیگری که لازم است در مورد شکل ۳ و معادلات رگرسیونی خطوط آن در نظر گرفته شود این است که وقتی با نسبت‌های مختلف خاک به عصاره‌گیر مهلیج-۳ عصاره‌گیری انجام شد، نسبت‌های مختلف با یک روند یکسان در مقدار پتاسیم اندازه‌گیری شده، تغییر ایجاد نکردند (با یک نسبت کم یا زیاد برآورد نکردند). بنابراین، در اینجا نمی‌توان برای مقادیر پایین یا بالاتر از مقدار مرجع یک ضریب تقریباً ثابت را برای جبران کم یا بیش برآورد پتاسیم در نظر گرفت.

در رابطه با خط رگرسیونی مربوط به نسبت ۲۰:۱ در مقایسه با خط مرجع، مشاهده شد که در سطوح پتاسیم کمتر از ۳۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، بیش برآورد پتاسیم وجود دارد و این بیش برآورد در کل این دامنه به صورت یکسان رخ نداده است؛ در بخشی از نمودار (در سطوح پایین پتاسیم) خط ۱۰:۱ را به سمت پایین قطع کرد. به طور مشابه در سطوح بالاتر از ۳۵۰، کم برآورد پتاسیم وجود دارد و مشاهده می‌شود که این کم برآورد به طور یکنواخت در کل دامنه پتاسیم اتفاق نیفتاده است و در بخشی از نمودار خط مرجع ۱۰:۱ را به سمت بالا قطع کرده است (شکل ۳؛ جدول ۵). همین اتفاق در رابطه با نسبت ۵:۱ در سطوح بالاتر از ۳۵۰ نیز اتفاق افتاد و نشان داد که استفاده از نسبت‌های مختلف خاک به عصاره‌گیر مهلیج-۳ منجر به اندازه‌گیری مقادیر متفاوتی از پتاسیم قابل جذب خواهد شد و این مقادیر اندازه‌گیری شده در دامنه‌های مختلف غلظت پتاسیم، رفتار متفاوتی را نسبت به هم نشان می‌دهند؛ در نهایت این عدم یکنواختی در کم برآورد/بیش برآورد پتاسیم باعث شد که مقدار پتاسیم اندازه‌گیری شده با نسبت‌های مختلف، با در نظر گرفتن یک ضریب ثابت قابل تبدیل به یکدیگر نباشد.



شکل ۳- مقایسه سه نسبت مختلف نسبت ۲۰:۱ و ۱۰:۱ و ۵:۱ خاک به عصاره‌گیر در روش عصاره‌گیری با مهلیج-۳. نسبت ۱۰:۱ به عنوان مرجع در محور x و سایر نسبت‌ها در مقایسه با آن رسم شد؛ خط سبز، زرد و طوسی به ترتیب نسبت ۵:۱ را در کل دامنه پتاسیم قابل جذب، دامنه اعداد کمتر از ۳۵۰ و دامنه اعداد بالاتر از ۳۵۰ را نشان می‌دهد؛ خط بنفش، مشکی و قرمز به ترتیب نسبت ۲۰:۱ را در کل دامنه پتاسیم قابل جذب، دامنه اعداد کمتر از ۳۵۰ و دامنه اعداد بالاتر از ۳۵۰ را نشان می‌دهد.

عصاره‌گیر (آب) از ۵:۱ به ۲:۱، غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم و همچنین هدایت الکتریکی افزایش پیدا می‌کند. این تحقیق بر روی نسبت مختلف خاک به عصاره‌گیر دریافتند که با تغییر نسب خاک به

بررسی نشان داد که تغییر در نسبت خاک به عصاره‌گیر می‌تواند منجر به تغییر در اندازه‌گیری عناصر موجود در خاک شود (Sonneveld and Van Den Ende, 1971). در رابطه با عصاره‌گیر مهلیج-۳، برای استخراج مقدار پتاسیم قابل جذب خاک، نسبت‌های ۵:۱ خاک به عصاره‌گیر در زمان تعادل/شیکر ۵ دقیقه (Mehlich, 1953)، نسبت ۲:۱ خاک به عصاره‌گیر در زمان تعادل/شیکر ۱۵ دقیقه (Jones, 1990)، نسبت ۱۰:۱ در زمان تعادل/شیکر ۱۵ دقیقه (Helmke and Sparks, 1996) و نسبت ۲۵:۳ در زمان تعادل/شیکر ۵ دقیقه (McKeague, 1978) قبلاً توسط محققین مختلف مورد استفاده قرار گرفته و عصاره‌گیری با این نسبت‌ها باتوجه به خصوصیات خاص خاک و گیاه مورد بررسی، توصیه شده است. هنوز به‌طور دقیق واضح نیست که چرا تغییر در نسبت خاک به عصاره‌گیر منجر به تغییر در برآورد مقدار پتاسیم قابل جذب خاک می‌گردد، زیرا در روش اصلی به این موضوع اشاره نشده است و همچنین تحقیقی با تمرکز بر این جنبه صورت نگرفته است. اما پیش بینی می‌شود که برخی از این تغییرات به تغییر در اسیدیته خاک مرتبط می‌شود، چراکه این عصاره‌گیر برای اندازه‌گیری مقدار پتاسیم قابل جذب در خاک‌های با pH اسیدی تا خنثی (بدون در نظر گرفتن بافت خاک) پیشنهاد شده است (Mehlich, 1984; Jones 1990).

با توجه به نتایج این بررسی توصیه می‌شود که در صورت استفاده از عصاره‌گیر مهلیج-۳ برای اندازه‌گیری مقدار پتاسیم قابل جذب در خاک‌های کشور، ترجیحاً از نسبت ۱۰:۱ استفاده شود. شکل ۴ و جدول ۴ نیز این نتیجه‌گیری را تأیید می‌کنند، طبق شکل ۴ و جدول ۴، فارق از پیچیدگی‌های استفاده از نسبت‌های مختلف هر عصاره‌گیر، وقتی نسبت ۱۰:۱ برای تمامی عصاره‌گیرها استفاده می‌شود، نتایج حاصل از هر سه عصاره‌گیر بسیار به هم نزدیک می‌شوند. همچنین جدول ۴ نشان می‌دهد که این اختلاف در اندازه‌گیری مقدار پتاسیم در نسبت ۱۰:۱ عصاره‌گیرهای مورد بررسی، معنی‌دار نیست.

جدول ۵. معالات رگرسیونی خطوط، مربوط به عصاره‌گیرهای استفاده شده برای استخراج مقدار پتاسیم قابل جذب در نسبت‌های مختلف خاک به عصاره‌گیر

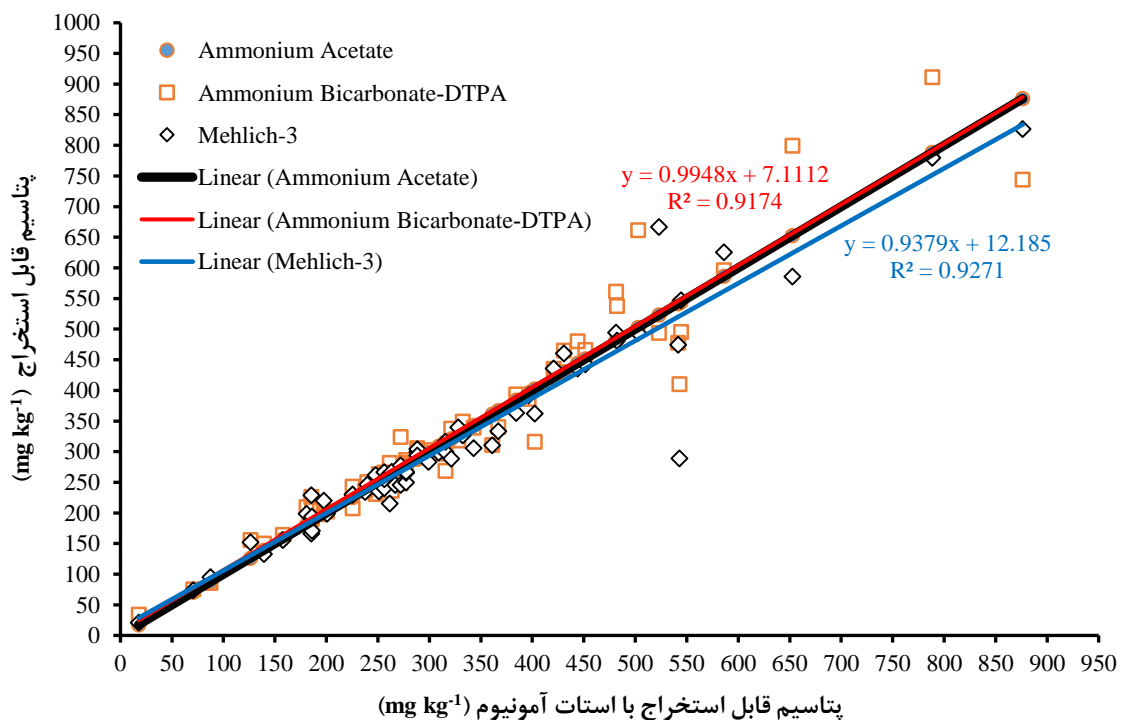
خطای استاندارد تخمین (SEE)	ضریب تبیین (R ²)	معادله خط	محدوده پتاسیم قابل جذب خاک (mg kg ⁻¹)	نسبت خاک به عصاره‌گیر	عصاره‌گیر
۲۰/۵۵	۰/۹۳۳۸	y = 1.0045x - 18.672	در تمام دامنه	۱۰:۱	استات آمونیوم ۱ مولار
۳۱/۲۴	۰/۸۰۵۸	y = 0.9953x - 4.2355	کمتر از ۲۵۰	۵:۱	
۴۳/۶۶	۰/۸۹۱۸	y = 0.8932x - 8.1239	بیشتر از ۲۵۰		۵:۱
۲۴/۵۵	۰/۸۷۸۶	y = 1.0164x - 6.2018	کمتر از ۳۰۰		
۵۶/۵۲	۰/۸۰۳۷	y = 0.6979x + 105.45	بیشتر از ۳۰۰	۵:۱	آمونیوم بیکربنات- DTPA
۴۵/۳۰	۰/۹۰۰۱	y = 0.8098x + 46.607	در تمام دامنه		
۲۱/۲۴	۰/۸۶۵	y = 0.8547x + 7.2276	کمتر از ۳۰۰		۲:۱
۵۰/۹۷	۰/۵۹۱۳	y = 0.4641x + 189.96	بیشتر از ۳۰۰		
۴۰/۵۷	۰/۸۹۳۸	y = 0.7009x + 48.445	در تمام دامنه		۲۰:۱
۶۸/۷۵	۰/۶۰۵۹	y = 1.2186x - 15.173	کمتر از ۳۵۰		
۳۱/۱۱	۰/۹۳۷۱	y = 0.793x + 120.96	بیشتر از ۳۵۰		مهلیج-۳
۶۸/۳۸	۰/۸۴۳۱	y = 0.9333x + 51.662	در تمام دامنه		
۲۵/۹۸	۰/۸۵۹۹	y = 1.0947x - 10.374	کمتر از ۳۵۰		۵:۱
۴۴/۹۳	۰/۸۴۳۴	y = 0.7448x + 107.59	بیشتر از ۳۵۰		
۳۳/۰۸	۰/۹۴۱۳	y = 0.8416x + 56.967	در تمام دامنه		آمونیوم بیکربنات- DTPA
۴۸/۲۴	۰/۹۱۷۴	y = 0.9948x + 7.1112	در تمام دامنه	۱۰:۱	
۴۲/۵۲	۰/۹۳۷۱	y = 0.9379x + 12.185	در تمام دامنه		مهلیج-۳

* در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ و نیز جدول ۵، مبنای انتخاب دامنه‌های غلظت پتاسیم برای تقسیم بندی و رسم خطوط رگرسیونی، بر اساس شیب خط بود. زیرا شیب تغییرات غلظت پتاسیم در کل دامنه یکنواخت نبود و در دامنه‌های خاصی از غلظت پتاسیم در خاک، شیب آن تغییرات شدید داشت. از این‌رو، برای انتخاب این دامنه‌ها و رسم خطوطی که بیشترین تشابه شیب را با خط مرجع داشته باشند، با رسم خطوط مختلف و انجام آزمون و خطا، بهترین دامنه غلظتی ممکن انتخاب و بر اساس آن تقسیم بندی دامنه‌ها و رسم خطوط رگرسیونی انجام شد.

مقایسه سه عصاره‌گیر

مقایسه نسبت ۱۰:۱ خاک به عصاره‌گیر در هر سه روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم، آمونیوم بیکربنات-DTPA و مهلیچ-۳ نشان داد که در صورت استفاده از این نسبت در خاک‌های ایران، برآورد بسیار نزدیکی از مقدار پتاسیم قابل جذب به‌دست خواهد آمد (شکل ۴ و جدول ۴). در اینجا نسبت ۱۰:۱ خاک به عصاره‌گیر استات آمونیوم به‌عنوان مرجع ($x=y$) در نظر گرفته و دو عصاره‌گیر دیگر در مقایسه با آن رسم شد (شکل ۴). نتایج نشان داد که تا غلظت پایین‌تر از ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم که دامنه موجود در اکثر خاک‌های ایران است (Shahbazi and Besharati, 2013)، اندازه‌گیری مقدار پتاسیم با نسبت ۱۰:۱ برای هر سه عصاره‌گیر مورد بررسی تقریباً یکسان خواهد بود؛ چنانچه در شکل ۴ نیز مشاهده می‌شود که در این رنج غلظتی هر سه خط میانگین تقریباً روی هم افتاده و هم‌پوشانی دارند. در جدول ۴ نیز نشان داده شد که اختلاف حاصل از اندازه‌گیری مقدار پتاسیم قابل جذب در نسبت ۱۰:۱ هر سه عصاره‌گیر معنی‌دار نیست.

معادله خط مربوط به عصاره‌گیر آمونیوم بیکربنات-DTPA بیانگر این نکته مهم بود که شیب خط مربوط به این عصاره‌گیر دقیقاً مطابق شیب خط مرجع بود و اینکه کار با این نسبت ۱۰:۱ خاک به عصاره‌گیر آمونیوم بیکربنات-DTPA در دامنه وسیعی از خاک‌های کشور، تنها ۳/۵ درصد بیش برآورد نسبت به استات آمونیوم ۱ مولار داشت (شکل ۴؛ جدول ۵). معادله خط مربوط به نسبت ۱۰:۱ عصاره‌گیر مهلیچ-۳ نیز نشان داد که شیب خط مربوط به این نسبت با شیب خط مرجع بسیار نزدیک بوده و کار کردن با نسبت ۱۰:۱ خاک به عصاره‌گیر مهلیچ-۳ تنها با ۵ درصد کم برآورد نسبت به استات آمونیوم (که البته بخش زیادی از این اختلاف به دامنه‌های پتاسیم بالای ۴۰۰ مربوط می‌شود)، برآورد قابل قبولی از مقدار پتاسیم قابل جذب در خاک‌های کشور داشت.



شکل ۴- مقایسه نسبت ۱۰:۱ سه عصاره‌گیر استات آمونیوم، آمونیوم بیکربنات-DTPA و مهلیچ-۳، نسبت ۱۰:۱ خاک به عصاره‌گیر استات آمونیوم به‌عنوان مرجع در محور x قرار داده شد و سایر عصاره‌گیرها در مقایسه با آن رسم شد.

به‌طور کلی نتایج نشان داد، سه عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ مولار، مهلیچ-۳ و آمونیوم بیکربنات-DTPA وقتی در نسبت ۱۰:۱ خاک به عصاره‌گیر استفاده شدند، در مقایسه با یکدیگر، اعداد قابل قبول و فاقد اختلاف معنی‌داری از مقدار پتاسیم قابل جذب برآورد کردند که با اعمال یک ضریب عددی کوچک قابل تبدیل به یکدیگر هستند. مقایسه عصاره‌گیرهای مختلف قبلاً نیز توسط Bates (1990) و Zadehparizi و همکاران (2017)، مورد بررسی قرار گرفت، آنها نیز هر سه عصاره‌گیر استفاده شده در این تحقیق را برای اندازه‌گیری مقدار پتاسیم مناسب دانسته و بیان کردند که ترتیب مقدار پتاسیم اندازه‌گیری شده با این عصاره‌گیرها به ترتیب مهلیچ-۳ < استات آمونیوم < آمونیوم بیکربنات-DTPA می‌باشد. بر اساس شکل ۴، هنگامی که سطح پتاسیم قابل جذب خاک کمتر از ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود،

هر سه عصاره‌گیر مقدار نسبتاً یکسانی از مقدار پتاسیم قابل جذب خاک استخراج کردند و با افزایش سطح پتاسیم قابل جذب خاک از ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، اختلاف برآورد بین آمونیوم بیکربنات با استات آمونیوم و مهلیج-۳ به تدریج بیشتر شد. با این وجود هر سه عصاره‌گیر همبستگی خوبی در اندازه‌گیری مقدار پتاسیم قابل جذب گیاه در طیف وسیعی از خاک‌های کشور از خود نشان دادند که این روند تغییر اندازه‌گیری پتاسیم و همبستگی بین عصاره‌گیرها قبلاً نیز گزارش شده است (Beegle and Oravec, 1990).

از دلایل اختلاف ناچیز مشاهده شده در برآورد مقدار پتاسیم توسط این سه عصاره‌گیر، می‌توان به pH خاک اشاره کرد؛ زیرا عصاره‌گیر آمونیوم بیکربنات-DTPA در خاک‌های قلیایی و عصاره‌گیر مهلیج-۳ در خاک‌های اسیدی تا خنثی بالاترین همبستگی را با پتاسیم قابل جذب گیاه دارند (Soltanpour and Schwab, 1977; Mehlich, 1984). بنابراین، بررسی اثر pH برای روشن شدن علت این اختلاف‌ها از ضرورت‌های تحقیقات آینده در این زمینه است. از آنجایی که هر کدام از این عصاره‌گیرها (آمونیوم بیکربنات-DTPA و مهلیج-۳) برای استفاده در رنج خاصی از اسیدیته خاک پیشنهاد شده‌اند، شاید مقایسه این دو عصاره‌گیر با هم صحیح نباشد. شکل ۴ و نیز جدول ۴ نشان می‌دهند که در نسبت ۱:۱۰، مقدار پتاسیم اندازه‌گیری شده با استات آمونیوم ۱ مولار و آمونیوم بیکربنات-DTPA بسیار مشابه است، به گونه‌ای که خطوط رگرسیونی مربوط به آنها در کل دامنه پتاسیم خاک‌ها روی هم افتاده است، این نکته با علم به اینکه هر دو این عصاره‌گیرها برای خاک‌های قلیایی مناسب هستند، تا حدودی قابل تفسیر است. همچنین خط رگرسیونی مربوط به اندازه‌گیری پتاسیم توسط عصاره‌گیر مهلیج-۳، که برای خاک‌های اسیدی تا خنثی پیشنهاد شده است، در بخشی از دامنه پتاسیم خاک‌ها با آنها هم‌پوشانی ندارد. Oertli و Grzebisz (1993) و Ma و همکاران (2020)، در بررسی عصاره‌گیرهای مختلف برای اندازه‌گیری مقدار پتاسیم قابل جذب گیاه، بیان کردند که بین عصاره‌گیرهای ارائه شده برای اندازه‌گیری مقدار پتاسیم، سه عصاره‌گیر آمونیوم استات، آمونیوم بیکربنات-DTPA و مهلیج-۳، در صورتی که در خاک‌هایی با شرایط استاندارد (شرایطی مانند pH، بافت خاک) برای هر عصاره‌گیر استفاده شوند، عصاره‌گیرهای مناسب‌تری برای اندازه‌گیری مقدار پتاسیم قابل جذب در خاک هستند.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که عصاره‌گیرهای استات آمونیوم ۱ مولار و مهلیج-۳ (میانگین هر سه نسبت خاک به عصاره‌گیر)، مقدار پتاسیم قابل جذب خاک را بدون اختلاف معنی‌دار استخراج کردند. عصاره‌گیر آمونیوم بیکربنات-DTPA در مقایسه با استات آمونیوم ۱ مولار و مهلیج-۳، مقدار پتاسیم قابل جذب خاک را به‌طور معنی‌داری کمتر برآورد کرد. دلیل احتمالی این کم برآورد را می‌توان یکسان نبودن نسبت‌های خاک به عصاره‌گیر در روش عصاره‌گیری با آمونیوم بیکربنات-DTPA (۱:۲؛ ۱:۵ و ۱:۱۰) در مقایسه با روش استات آمونیوم ۱ مولار (۱:۵؛ ۱:۱۰ و ۱:۲۰) و مهلیج-۳ (۱:۵؛ ۱:۱۰ و ۱:۲۰) نسبت داد. همچنین، نتایج این پژوهش نشان داد که هرچه نسبت خاک به عصاره‌گیر بیشتر شود (عصاره غلیظ‌تر باشد)، مقدار پتاسیم اندازه‌گیری شده به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. لذا می‌توان پیش‌بینی کرد که در صورت جایگزین کردن نسبت ۲:۱ به جای نسبت ۲:۱ در روش آمونیوم بیکربنات-DTPA، این کم برآورد جبران شده و در آن صورت اختلاف آن با دو عصاره‌گیر دیگر ناچیز و غیر معنی‌دار خواهد شد. با این وجود باید در نظر داشته باشیم که در روش اصلی ارائه شده توسط سلطان‌پور (۱۹۷۹)، نسبت ۲:۱ برای عصاره‌گیری با آمونیوم بیکربنات-DTPA پیشنهاد شده است. به‌نظر می‌رسد که نسبت ۲:۱ که برای استخراج عناصر میکرو با آمونیوم بیکربنات-DTPA مفید می‌باشد برای عصاره‌گیری پتاسیم کارایی ندارد. نتایج همچنین نشان داد که در صورت استفاده از نسبت ۱:۱۰، در مقایسه با سایر نسبت‌های مورد بررسی در این تحقیق، هر سه عصاره‌گیر برآورد بسیار نزدیکی از مقدار پتاسیم قابل جذب خاک ارائه می‌دهند و اختلاف آنها به لحاظ آماری معنی‌دار نیست ($P < 0.05$). بنابراین، در مواقع لزوم می‌توان از هر سه عصاره‌گیر برای تعیین مقدار پتاسیم قابل جذب خاک، در یک نسبت مشخص، استفاده کرد. با توجه به اینکه همبستگی بین مقدار پتاسیم قابل جذب استخراج شده با نسبت ۱:۱۰ استات آمونیوم و مهلیج-۳، با مقدار پتاسیم جذب شده توسط گیاهان مختلف، توسط محققین پیشین تأیید شده است؛ همچنین با توجه به یافته‌های تحقیق حاضر که همبستگی نسبت ۱:۱۰ برای استخراج مقدار پتاسیم قابل جذب توسط هر سه عصاره‌گیر را تأیید می‌کند، لذا به‌نظر می‌رسد که نسبت ۱:۱۰، نسبت مناسبی برای اندازه‌گیری مقدار پتاسیم قابل جذب خاک توسط این سه عصاره‌گیر باشد.

سپاس‌گزاری

این پژوهش در بخش آزمایشگاه‌های موسسه تحقیقات خاک و آب انجام شده است. نویسندگان از حمایت مالی موسسه تحقیقات خاک و



آب (پروژه بهینه‌سازی و بازنگری روش‌های تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک با کد مصوب : ۲-۱۰-۱۰-۰۲۱-۰۰۰۸۲۴) و همکاری کارشناسان آزمایشگاه قدردانی می‌نمایند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Ali Ehyaei, M., & Behbehani Zade, A. A. (1993). Methods of Soil Chemical analysis. Soil and Water Research Institute of Agricultural Extension and Education, 80-100. (In Farsi)
- Beegle, D. B., & Oravec, T. C. (1990). Comparison of field calibrations for Mehlich 3 P and K with Bray-Kurtz P1 and ammonium acetate K for corn. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 21(13-16), 1025-1036.
- Bremner, J. M., Black, C. A., Evans, D. D., Ensuing, L. E., White, J. K., & Clark, F. F. (1965). Methods of Soil Analysis Part 2 Agronomy 9.
- Carter, M. R., & Gregorich, E. G. (2007). Soil sampling and methods of analysis. CRC press.
- Cheraghi, M., Moteszarehadeh, B., & Alikhani, H.A., Mousavi, S.M. (2022). Optimal management of plant nutrition in tomato (*Lycopersicon esculent* Mill) by using biologic, organic and inorganic fertilizers. Journal of plant nutrition. DOI: 10.1080/01904167.2022.2092511.
- Cheraghi, M., Moteszarehadeh, B., & Alikhani, H. A. (2020). Nutritional and Morpho-physiological Responses of Tomato Plant (*Lycopersicon esculentum* Mill) Affected by Biological and Chemical Fertilizers. Iranian Journal of Soil and Water Research, 51(10), 2559-2574. (In Farsi)
- Chua, M. F., Youbee, L., Oudthachit, S., Khanthavong, P., Veneklaas, E. J., & Malik, A. I. (2020). Potassium fertilisation is required to sustain cassava yield and soil fertility. Agronomy, 10(8), 1103.
- Cottenie, A. (1980). Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendations (No. 38/2).
- Fathi, S., Samadi, A., Davari, M., & Asadi Kapourchal, S. (2014). Evaluating different extractants for determining corn available potassium in some calcareous soils of Kurdistan province. *Cereal Research*, 4(3), 253-266. (In Farsi)
- Gee, G. W., & Or, D. (2002). 2.4 Particle-size analysis. Methods of soil analysis. Part, 4(598), 255-293.
- Grzebisz, W., & Oertli, J. J. (1993). Evaluation of universal extractants for determining plant available potassium in intensively cultivated soils. Communications in soil science and plant analysis, 24(11-12), 1295-1308.
- Haby, V. A., Russelle, M. P., & Skogley, E. O. (1990). Testing soils for potassium, calcium, and magnesium. Soil testing and plant analysis, 3, 181-227.
- Hanlon, E. A., & Johnson, G. V. (1984). Bray/Kurtz, Mehlich III, AB/D and ammonium acetate extractions of P, K and Mg in four Oklahoma soils. Communications in soil science and plant analysis, 15(3), 277-294.
- Hasanuzzaman, M., Fujita, M., Oku, H., Nahar, K., & Hawrylak-Nowak, B. (Eds.). (2018). Plant nutrients and abiotic stress tolerance (pp. 221-252). Singapore: Springer.
- Helmke, P. A., & Sparks, D. L. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. Methods of soil analysis: Part 3 chemical methods, 5, 551-574.
- Heltai, G., & Füleky, G. (1992). Soil analysis and nutrition capacity. *Microchemical Journal*, 46(1), 4-19.
- Hergert, G. W. (2009). Soil Testing more important than ever for efficient fertilizer use.
- Hosseinpour, A. R., & Samavati, M. (2008). Evaluation of chemical extractants for the determination of available potassium. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 39(9-10), 1559-1570.
- Illés, Á., Mousavi, S. M., Bojtor, C., & Nagy, J. (2020). The plant nutrition impact on the quality and quantity parameters of maize hybrids grain yield based on different statistical methods. *Cereal Research Communications*, 48(4), 565-573.
- Jackson, M. L. (1975). Soil chemical analysis: advanced course., (Department of Soil Science, University of Wisconsin: Madison, WI).
- Jones Jr, J. B. (1990). Universal soil extractants: their composition and use. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 21(13-16), 1091-1101.
- Khodshenas, M. A., Ghadbeiklou, J., & Dadivar, M. (2021). Evaluation of chemical extractants and determination of the potassium critical level in soils under the bean cultivation. (In Farsi)
- Knudsen, D., Peterson, G. A., & Pratt, P. F. (1983). Lithium, sodium, and potassium. Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties, 9, 225-246.
- Korb, N., Jones, C., & Jacobsen, J. (2002). Potassium cycling, testing, and fertilizer recommendations. Nutrient Management Module, 5, 1-12.

- Krauss, A. (1999, June). Balanced nutrition and biotic stress. In IFA agricultural conference on managing plant nutrition (Vol. 29).
- LIU, L., & BATES, T. E. (1990). Evaluation of soil extractants for the prediction of plant-available potassium in Ontario soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 70(4), 607-615.
- Ma, L., Duan, T., & Hu, J. (2020). Application of a universal soil extractant for determining the available NPK: A case study of crop planting zones in central China. *Science of the Total Environment*, 704, 135253.
- McKeague, J. A. (1978). Manual on soil sampling and methods of analysis. *Can. Soc. Soil Sci*, 212.
- Mehlich, A. (1953). Determination of P, Ca, Mg, K, Na, and NH₄. North Carolina Soil Test Division (Mimeo 1953), 23-89.
- Mehlich, A. (1984). Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in soil science and plant analysis*, 15(12), 1409-1416.
- Mousavi, S. M., Srivastava, A. K., & Cheraghi, M. (2022). Soil health and crop response of biochar: an updated analysis. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 1-26.
- Noori, O. (2012). Evaluation of olive (*Olea europaea* L.) adaptability on the sloping lands of Tarom region in Zanjan province using Remote Sensing (RS) and Geographical Information Systems (GIS) (Doctoral dissertation, Ph. D. Thesis, Tarbiat Modares University, 181p). (In Farsi)
- Olsen, S. R. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (No. 939). US Department of Agriculture.
- Pawlak, K., & Kołodziejczak, M. (2020). The role of agriculture in ensuring food security in developing countries: Considerations in the context of the problem of sustainable food production. *Sustainability*, 12(13), 5488.
- Pratt, P. F. (1965). Potassium. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 9, 1022-1030.
- Rowell, D. L. (1994). *Soil science: Methods and applications*. 350 pp. Harlow: Longman Group.
- Sardans, J., & Peñuelas, J. (2021). Potassium control of plant functions: Ecological and agricultural implications. *Plants*, 10(2), 419.
- Schjoerring, J. K., Cakmak, I., & White, P. J. (2019). Plant nutrition and soil fertility: synergies for acquiring global green growth and sustainable development. *Plant and Soil*, 434(1), 1-6.
- Schollenberger, C. J., & Simon, R. H. (1945). Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soil—ammonium acetate method. *Soil science*, 59(1), 13-24.
- Shahbazi, K., & Besharati, H. (2013). Overview of agricultural soil fertility status of Iran. *Land Management Journal*, 1, 1-15. (In Farsi)
- Sharifi, M., & Kalbasi, M. (2001). Selection of suitable extractant to extract available potassium for corn in soils of central region of Isfahan province. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*.
- Soltanpour, P. N., & Schwab, A. P. (1977). A new soil test for simultaneous extraction of macro-and micro-nutrients in alkaline soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 8(3), 195-207.
- Soltanpour, P. N., & Workman, S. (1979). Modification of the NH₄ HCO₃-DTPA soil test to omit carbon black. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 10(11), 1411-1420.
- Sonneveld, C., & Van Den Ende, J. (1971). Soil analysis by means of a 1: 2 volume extract. *Plant and Soil*, 35(1), 505-516.
- Sutton, P., & Seay, W. A. (1958). Relationship between the potassium removed by millet and red clover and the potassium extracted by 4 chemical methods from 6 Kentucky soils. *Soil Science Society of America Journal*, 22(2), 110-115.
- Thomas, G. W. (1983). Exchangeable cations. *Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties*, 9, 159-165.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.
- Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. *International journal of molecular sciences*, 14(4), 7370-7390.
- Zadehparizi, S., Tajabadi Pour, A., Esfandiarpour, I. (2017). Evaluation chemical extractants in determination of available potassium for pistachio in calcareous soils of Rafsanjan. *Journal of Crops Improvement*, 18(4), 935-947. (In Farsi)
- Zarrabi, M., & Jalali, M. (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.