



Calibration of Potassium Soil Test Results in Some Calcareous Soils

Marzieh Barati Zanyani¹ , Alireza Hossienpur² , Mohammad Hasan Salehi³ , Azam Jafari⁴ 

1. Corresponding Author, Department of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: marziehbarati99@yahoo.com
2. Department of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: alirezahosseinpur1347@gmail.com
3. Department of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: mehsalehi@yahoo.com
4. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman. Kerman, Iran. E-mail: a.jafari@uk.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Feb. 18, 2025

Revised: June. 23, 2025

Accepted: July. 14, 2025

Published online: Sep. 2025

Keywords:

*Available Potassium,
Maize Plant Response,
Different Extractants,
Cate- Nelson*

ABSTRACT

The present study, aimed to investigate the potassium status using different extractants and to calibrate potassium soil test results by using the Cate-Nelson variance analysis method for maize (*Zea mays* L.) plant in some calcareous soils. Soil samples were collected (0-30 cm) from farmlands soils of Shahrekord plain and selected 30 soil samples for pot experiment. The greenhouse experiment was carried out as a factorial in the form of completely randomized design with two factors) types of soil and potash fertilizer (with three replications. At the end of the vegetative period, maize plants harvested and plant indices were determined. The results of the analysis of variance showed that the main effects of soil type and potassium fertilizer were significant ($p < 0.01$) on dry matter weight, potassium concentration and uptake. Among the extractants evaluated, 1N NH_4OAc , 0.1M barium chloride and 0.01M calcium chloride were identified as the most effective methods for estimating available potassium in these soils, respectively. By using two-classes model of Cate- Nelson variance analysis, the potassium critical levels in the 1N NH_4OAc , 0.1M barium chloride and 0.01M calcium chloride extractants were 290.0, 270.25 and 69.50 mg kg^{-1} respectively. By using the three-class model of Cate- Nelson variance analysis showed that the low and medium class boundaries for these extractants were 200.5, 205.5 and 33.0 mg kg^{-1} respectively and the medium and high class boundaries were 364.5, 270.5, and 69.5 mg kg^{-1} respectively. These results can be utilized to improve potassium fertilization management in calcareous soils of the country.

Cite this article: Barati Zanyani, M., Hossienpur, A. R., Salehi, M. H., & Jafari, A. (2025). Calibration of potassium soil test results in some calcareous soils., *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 56 (7), 1879-1894. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.390607.669884>

© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.390607.669884>



EXTENDED ABSTRACT

Introduction:

One of the macronutrient essential for plant growth is potassium and plays significant physiological and biochemical roles in plant yield. There are four forms of potassium in the soil, listed in order of their availability for plant uptake: soluble potassium, exchangeable potassium, non-exchangeable potassium, and structural potassium. Due to continuous cultivation and the lack of potash fertilizer usage, the available potassium in soils has decreased, and the status of available potassium should be assessed. Therefore, soil testing serves as an effective method for evaluating the potassium absorbed by plants during the growing season. The soil test program for each element, includes; the correct principles for preparing and collecting soil samples, extracting the desired element from the soil, correlation element extracted with plant indices, interpreting laboratory results and recommending appropriate fertilizers based on climatic, economic, and farm management factors. Soil testing enables farmers and researchers to identify the best soil management practices and make optimally use of fertilizer resources.

Objective:

The aim of this research was to investigate the potassium status using different extractants in Shahrekord plain farmlands and calibration of potassium soil test results by using two-classes and three-classes Cate-Nelson models variance analysis for maize (*Zea mays L.*) plant in some calcareous soils.

Material and method:

To implement the potassium soil test program for maize plant in the calcareous soils of the ShahreKord plain, 30 agricultural soil samples were collected from a depth of 30 cm. Five extractants including; 1N NH_4OAc , AB- DTPA, 0.1M barium chloride, 0.01M calcium chloride and Mehlich 1 were evaluated for extracting available potassium.

The greenhouse experiment was carried out as a factorial in the form of completely randomized design with two factor; 30 types of soil and potash fertilizer in two levels of potassium (zero and 100 mg k kg⁻¹) from sources of potassium sulfate with three replications. At the end of, the vegetative period, corn plants harvested and plant indices including; dry matter weight, potassium concentration, potassium uptake, relative yield and plant response were determined. To assess the significance of treatment effects in terms of plant indicators, factorial analysis of variance was performed. Then, the soils based on potassium extracted in appropriate extractants; by using the Cate-Nelson variance analysis method grouping into two (low and high) and three groups (low, medium, and high).

Result and Discussion:

The results of the analysis of variance showed that the main effects of soil type and potassium fertilizer were significant ($p < 0.01$) on dry matter weight, potassium concentration and uptake. However, the interaction between soil and fertilizer was not significant for dry matter weight. The results showed that different extractants, extracted varying concentrations of potassium. Based on the high correlation between potassium extracted by extractants 1N NH_4OAc , 0.1M barium chloride and 0.01M calcium chloride with relative yield and plant responses indices, these extractants can be considered appropriate for use these soils. By using two-classes model of Cate- Nelson variance analysis, the low and high class boundaries for the 1N NH_4OAc , 0.1M barium chloride and 0.01M calcium chloride extractants were 290.0, 270.25 and 69.50 mg kg⁻¹ respectively. By using the three-class model of Cate- Nelson variance analysis showed that the low and medium class boundaries for 1N NH_4OAc , 0.1M barium chloride and 0.01M calcium chloride extractants were 200.5, 205.5 and 33.0 mg kg⁻¹ respectively. The medium and high class boundaries for these extractants were 364.5, 270.5, and 69.5 mg kg⁻¹ respectively. Based on the two-classes model of Cate- Nelson variance analysis, in the 1N NH_4OAc , 0.1M barium chloride and 0.01M calcium chloride extractants 47, 67 and 77, of the soils are placed into the low soil test class. Also, based on the three-class model of Cate- Nelson variance analysis, in the 1N NH_4OAc , 0.1M barium chloride and 0.01M calcium chloride extractants, 13, 13 and 13 are classified in the low class and 17, 30 and 20, of the soils are placed into the high soil test class.

Author Contributions:

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement:

Data is available on reasonable request from the authors.

Acknowledgements:

The authors would like to thank the Soil Science Department of the University of Shahrekord for providing equipment and facilities.

Ethical considerations:

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest:

The author declares no conflict of interest.

تفسیر نتایج داده‌های آزمون خاک پتاسیم در تعدادی از خاک‌های آهکی

مرضیه براتی زانیانی^۱ | علیرضا حسین پور^۲ | محمدحسن صالحی^۳ | اعظم جعفری^۴۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: marziehbarati99@yahoo.com

۲. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه:

alirezahosseinpur1347@gmail.com

۳. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه:

mehsalehi@yahoo.com

۴. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه:

a.jafari@uk.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	آگاهی از وضعیت پتاسیم خاک در مدیریت تغذیه گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تحقیق حاضر، به منظور بررسی وضعیت پتاسیم با عصاره‌گیرهای مختلف و گروه‌بندی مقادیر پتاسیم خاک به روش تجزیه واریانس دو گروهه و سه گروهه کیت-نلسون در گیاه ذرت در تعدادی از خاک‌های آهکی انجام شد. بدین منظور، ۳۰ نمونه از خاک‌های کشاورزی (۳۰-۰ سانتیمتر) دشت شهرکرد جمع‌آوری شد. آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور (نوع خاک و مقدار کود پتاسه) در ۳ تکرار انجام شد. پس از اتمام دوره رویشی، بخش هوایی ذرت برداشت و شاخص‌های گیاهی تعیین شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات خاک و کود پتاسه در سطح یک درصد اثر معنی‌داری بر وزن خشک، غلظت و جذب کل پتاسیم گیاه داشت. در بین عصاره‌گیرهای بررسی‌شده، استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۱ مولار، به ترتیب به عنوان مؤثرترین روش‌های برآورد پتاسیم قابل استفاده در این خاک‌ها شناسایی شدند. با استفاده از روش تجزیه واریانس دو گروهه کیت-نلسون، حد بحرانی پتاسیم در عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۱ مولار به ترتیب ۲۹۰/۰، ۲۷۰/۲۵ و ۶۹/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به دست آمد. همچنین، نتایج آزمون خاک پتاسیم به روش تجزیه واریانس سه گروهه کیت-نلسون نشان داد که مرز گروه کم و متوسط در عصاره‌گیرهای ذکر شده به ترتیب: ۲۰۰/۵، ۲۰۵/۵ و ۳۳/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و مرز گروه متوسط و زیاد، به ترتیب: ۳۶۴/۵، ۲۷۰/۵ و ۶۹/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. این نتایج می‌تواند در مدیریت بهتر تغذیه پتاسیم در خاک‌های آهکی کشور مورد استفاده قرار گیرد.
واژه‌های کلیدی: پتاسیم قابل استفاده، پاسخ گیاه ذرت، عصاره‌گیر، کیت-نلسون.	

استناد: براتی زانیانی؛ مرضیه، حسین پور؛ علیرضا، صالحی؛ محمدحسن، جعفری؛ اعظم، (۱۴۰۴) تفسیر نتایج داده‌های آزمون خاک پتاسیم در تعدادی از خاک‌های آهکی،

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۶ (۷)، ۱۸۹۴-۱۸۷۹. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.390607.669884>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران. © نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.390607.669884>

مقدمه

پتاسیم یکی از عناصر غذایی پرمصرف در گیاهان محسوب می‌شود. مقدار پتاسیم در پوسته زمین، ۲/۵ درصد است. این میزان در مقایسه با سایر عناصر پرنیاز قابل توجه می‌باشد. مقدار پتاسیم در خاک‌های مختلف، متفاوت است. اما، آن قسمت از کل پتاسیم موجود در خاک که به‌صورت قابل استفاده گیاه باشد، مقدار ناچیزی است (Sheldrick, 1985). در اکثر مواقع، مقدار پتاسیمی که جذب گیاه می‌شود، با مقدار نیتروژن مورد استفاده گیاه برابری می‌نماید. گیاهان همانند نیتروژن، نیاز فراوانی به پتاسیم دارند. عمدتاً، مقدار برداشت پتاسیم بین ۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. اما برخلاف نیتروژن، توزیع پتاسیم در اندام‌های مختلف گیاه یکنواخت نبوده و بیشتر در بافت‌های رویشی تجمع می‌یابد. در اکثر محصولات زراعی، مقدار پتاسیم برداشت شده توسط دانه و یا میوه به‌مراتب کمتر از مقدار برداشت شده توسط سایر اندام‌های گیاهی است که در سطح زمین باقی می‌مانند. پتاسیم به عنوان فراوان‌ترین کاتیون در گیاه، فعال کننده بیش از ۵۰ نوع آنزیم می‌باشد. همچنین، در فتوسنتز، تنفس، ساخت پروتئین، متابولیسم مواد هیدروکربنه، تنظیم اسمز نقش دارد. بنابراین، پتاسیم در بهبود کیفیت محصولات کشاورزی و حفظ رشد ضروری است (McLean & Watson, 1985).

پتاسیم در خاک به چهار شکل وجود دارد که به ترتیب سهولت استفاده برای گیاهان، شامل پتاسیم محلول، پتاسیم تبادلی، پتاسیم غیرتبادلی و پتاسیم ساختمانی می‌باشد. پتاسیم محلول، پتاسیمی است که در محلول خاک به شکل یونی وجود دارد و تنها شکل عمده قابل جذب پتاسیم برای گیاهان می‌باشد. پتاسیم تبادلی، پتاسیمی می‌باشد که توسط بارهای منفی کلونیدهای آلی و معدنی نگهداری شده و با سایر کاتیون‌ها قابل تبادل است (حسین‌پور و کلباسی، ۱۳۸۰). بخش نسبتاً کمی از پتاسیم کل خاک، تبادلی است و در خاک‌ها از کمتر از ۱۰۰ تا بیش از ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تغییر می‌کند (Knudsen, Peterson & Pratt, 1982). پتاسیم غیرتبادلی یا تثبیت شده، پتاسیمی است که به‌آسانی قابل تبادل نمی‌باشد و در زمان‌های کوتاه، به‌وسیله محلول‌های نمکی آزاد نمی‌شود. ولی بخشی از آن، با اسید نیتریک مولار جوشان قابل استخراج است (Al-kanani, Mackenzie & Ross, 1984). پتاسیم ساختمانی به شکلی از پتاسیم اطلاق می‌شود که جزئی از شبکه کریستالی کانی‌ها می‌باشد. تعداد زیادی از کانی‌ها و اغلب سیلیکات‌ها ممکن است حاوی چنین شکلی از پتاسیم باشند (Mustscher, 1995). بخش قابل توجهی از پتاسیم کل خاک به شکل پتاسیم ساختمانی وجود دارد که به کندی برای گیاه قابل استفاده است (Sparks, 2000b). یک تعادل پویا بین این چهار شکل پتاسیم وجود دارد (Sparks & Huang, 1985). غلظت پتاسیم محلول خاک با جذب توسط گیاه یا به وسیله آبشویی کاهش می‌یابد که پتاسیم از فاز تبادلی وارد فاز محلول شده و این کاهش غلظت را جبران می‌کند. اما ذخیره پتاسیم محلول به اندازه‌ای نیست که بتواند نیاز گیاه در طول فصل رشد را تأمین کند. بنابراین توسط سایر شکل‌های پتاسیم (تبادلی و غیرتبادلی) و یا با افزودن کود تأمین می‌شود (Simard & Zizka, 1994).

قابلیت استفاده و جذب پتاسیم و پاسخ گیاه به مصرف آن به عواملی شامل؛ درصد رس، نوع کانی‌های رسی، قدرت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، مواد آلی، ظرفیت تثبیت پتاسیم خاک و توانایی خاک در نگهداری نسبت معینی از فعالیت پتاسیم در محلول خاک بستگی دارد. به علت کشت مداوم و عدم مصرف کودهای پتاسه، پتاسیم قابل استفاده در خاک‌ها کاهش یافته و باید وضعیت پتاسیم قابل استفاده در خاک‌ها مورد بررسی قرار بگیرد. بنابراین، آزمون خاک می‌تواند به عنوان روش مناسبی برای ارزیابی پتاسیم جذب شده توسط گیاه در طی فصل زراعی استفاده شود (نفرجی و حق‌پرست‌تنها، ۱۳۸۴). برنامه آزمون خاک در مورد هر عنصر شامل؛ تهیه و جمع‌آوری نمونه‌های خاک، عصاره‌گیری عنصر مورد نظر از خاک، همبستگی شاخص‌های گیاهی با مقدار عنصر عصاره‌گیری شده، تفسیر نتایج آزمایشگاهی و توصیه‌های کودی مناسب با توجه به عوامل اقلیمی، اقتصادی و مدیریت مزرعه می‌باشد (Tisdal, Nelson & Beaton 1985).

در آزمون خاک برای ارزیابی مقدار یک عنصر غذایی، انتخاب یک عصاره‌گیر مناسب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Corey, 1987). عصاره‌گیرهای متداول پتاسیم عبارتند از؛ استات آمونیوم یک نرمال، بی‌کربنات آمونیوم - DTPA، کلرید باریم ۰/۱ مولار، مهلیج ۱، مهلیج ۲، مهلیج ۳، کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار، اسید نیتریک مولار و جوشان، تترا فیل بران سدیم (شریفی و کلباسی، ۱۳۸۰). در مطالعه فتحی و همکاران (۱۳۹۳)، از بین عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک مولار، استات سدیم یک مولار، باریم کلرید ۰/۱ مولار، سدیم کلرید یک مولار، اسید نیتریک ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار، عصاره‌گیر استات آمونیوم یک مولار برای اندازه‌گیری میزان پتاسیم قابل استفاده گیاه ذرت انتخاب شد. خودشناس و همکاران (۱۳۹۹)، به ارزیابی عصاره‌گیرهای آب مقطر، اسید کلریدریک ۰/۱۳ مولار، اسید



نیتربیک ۰/۵ مولار، کلسیم کلرید ۰/۰۲۵ مولار، اولسن و استات آمونیوم یک مولار جهت تعیین پتاسیم قابل استفاده در خاک‌های زیر کشت لوبیا در استان مرکزی پرداختند. نتایج نشان داد که، پتاسیم عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیر استات آمونیوم یک مولار به عنوان شاخص مناسبی جهت پیش‌بینی میزان پتاسیم قابل استفاده گیاه می‌باشد.

پس از انتخاب عصاره‌گیر مناسب، تفسیر نتایج آزمون خاک انجام می‌شود. هدف از تفسیر نتایج آزمون خاک، تقسیم جامعه خاک‌ها، به دو بخش؛ پاسخ‌دهی و عدم پاسخ‌دهی به مصرف کود می‌باشد که بر مبنای تعیین حد بحرانی غلظت عنصر غذایی در خاک استوار است (Dahnke & Olson, 1990). حد بحرانی، غلظتی از عنصر غذایی در خاک است که در مقادیر کمتر از آن، احتمال پاسخ گیاه به مصرف کود افزایش می‌یابد. به‌منظور تفسیر مقادیر آزمون خاک از روش‌های مختلفی شامل؛ روش میچرلیخ-بری (Bray, 1958)، روش ترتیب ستونی پاسخ گیاه (Havlin & Soltanpour, 1982)، روش تصویری کیت-نلسون (Cate & Nelson, 1965)، تجزیه واریانس دو گروه و سه گروه کیت-نلسون (Cate & Nelson, 1971) استفاده می‌شود. به جز روش تجزیه واریانس کیت-نلسون، سایر روش‌ها قادر به گروه‌بندی مقادیر عناصر غذایی خاک به دو گروه کم و زیاد می‌باشند، درحالی‌که روش تجزیه واریانس کیت-نلسون می‌تواند مقادیر عناصر غذایی خاک را به دو و بیش از دو گروه تقسیم نماید. Kumar Meena et al., (2015) به تعیین حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده خاک با عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال به روش تصویری کیت-نلسون و تجزیه واریانس دو گروه کیت-نلسون در گیاه سورگوم در هند پرداختند. نتایج نشان داد که حد بحرانی پتاسیم به روش تصویری کیت-نلسون و تجزیه واریانس دو گروه کیت-نلسون به ترتیب ۵۲۷ و ۵۶۰ کیلوگرم بر هکتار بود. Mulugeta et al., (2019) مقدار ۲۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیر مهلیچ ۳ در خاک‌های اتیوپی زیر کشت تف^۱ را به عنوان حد بحرانی پتاسیم به روش تصویری کیت-نلسون گزارش کردند.

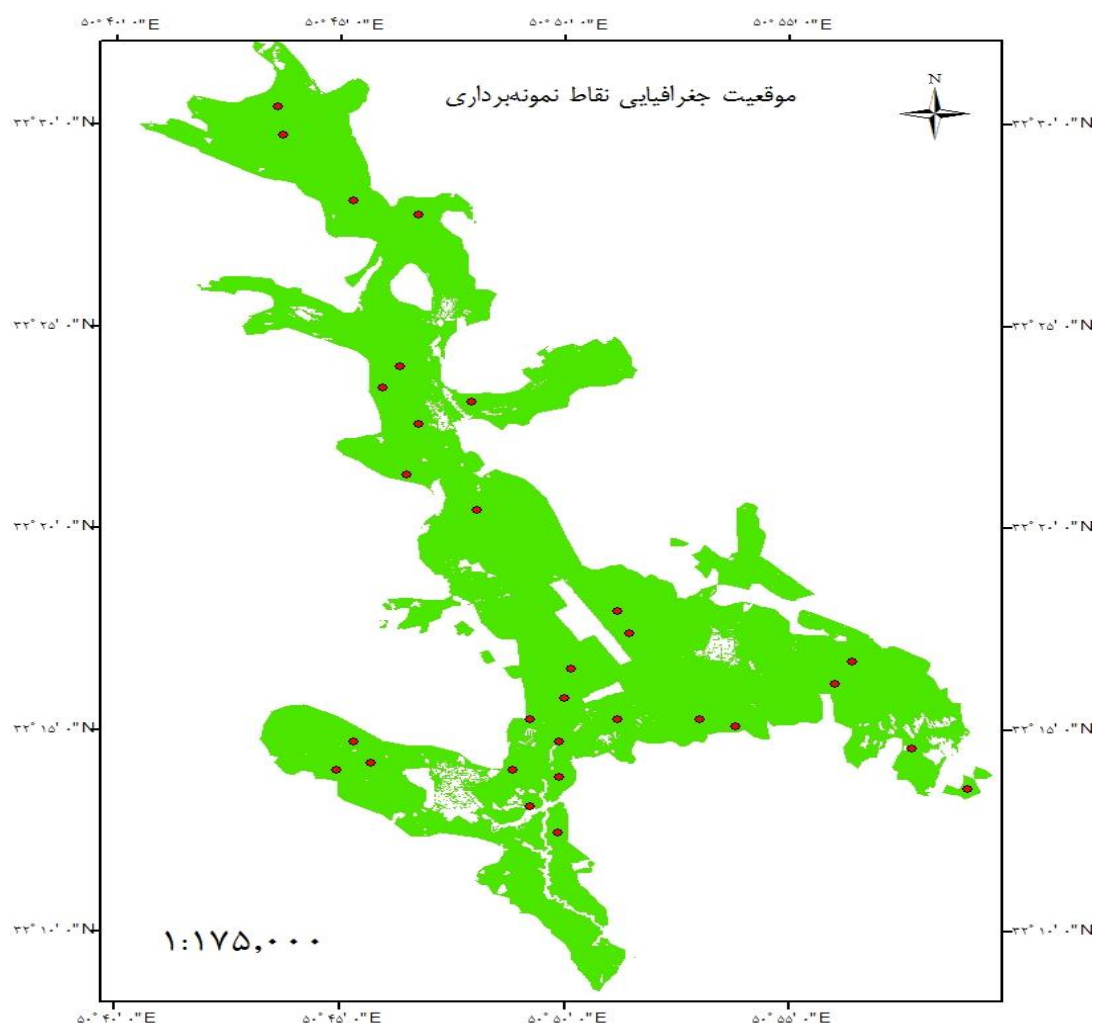
در سال‌های اخیر به‌علت استفاده فشرده از اراضی و استفاده از ارقام با قابلیت استفاده بالای پتاسیم، نشانه‌هایی از کمبود پتاسیم و پاسخ گیاه به مصرف کود پتاسیم در مناطق خشک و نیمه‌خشک مشاهده شده است. ذرت، به‌عنوان یکی از گیاهان زراعی مهم و پرمصرف از نظر پتاسیم، در این میان اهمیت ویژه‌ای دارد. لذا هدف پژوهش، بررسی وضعیت پتاسیم قابل استفاده خاک با عصاره‌گیرهای مختلف در اراضی زراعی دشت شهرکرد و تفسیر نتایج آزمون خاک پتاسیم در تعدادی از خاک‌های آهکی با روش‌های تجزیه واریانس دو کلاسه و سه کلاسه کیت-نلسون در ارتباط با نیاز تغذیه‌ای گیاه ذرت بوده است.

مواد و روش‌ها

دشت شهرکرد با کاربری زراعی و وسعت ۲۱۴۰۰ هکتار، تحت کشت آبی گندم (۳۹۸۰ هکتار)، یونجه (۱۵۲۷ هکتار)، سیب‌زمینی (۱۲۱۰ هکتار) و ذرت (۲۰۵۰ هکتار) می‌باشد. به استناد آمار ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شهرکرد، میانگین دما در گرم‌ترین ماه سال (تیر ماه)، $24/6^{\circ}\text{C}$ و در سردترین ماه سال (دی ماه) بین 0°C تا -4°C و متوسط بارش سالانه در این منطقه ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر می‌باشد. رژیم حرارتی خاک منطقه مزیک و رژیم رطوبتی آن زیریک است.

به‌منظور انجام برنامه آزمون خاک پتاسیم در گیاه ذرت در خاک‌های آهکی دشت شهرکرد، ۱۲۰ نمونه خاک زراعی از عمق ۳۰ سانتی‌متری در فروردین ماه ۱۴۰۳ تهیه شد. پس از هوا خشک کردن نمونه‌ها و عبور از الک ۲ میلی‌متری، مقدار پتاسیم قابل استفاده در خاک‌ها با عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال تعیین و از بین آنها، ۳۰ نمونه خاک (شکل ۱)، که حاوی مقادیر مختلف پتاسیم بودند، انتخاب شد. سپس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های انتخاب شده، شامل؛ توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۲ به ۱ آب به خاک (Rhoades, 1996)، pH در سوسپانسیون ۲ به ۱ آب به خاک (Thomas, 1982)، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (Nelson & Sommers, 1996)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی با اسید (Loeppert & Suarez, 1996) و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش استات سدیم در $\text{pH} = 7$ (Sumner & Miller, 1996)، اندازه‌گیری شد.

عصاره‌گیرهای؛ استات آمونیوم یک مولار (Knudsen et al., 1982)، باریم کلرید ۰/۱ مولار (Simard & Zizka, 1994)، مهلیچ ۱ (Mehlich, 1953)، بی‌کربنات آمونیوم - DTPA (Soltanpour & Schwab, 1977) و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار (Salomon, 1998)، برای استخراج پتاسیم استفاده شد (جدول ۱).



شکل ۱. موقعیت نقاط نمونه‌برداری خاک‌های مورد مطالعه در دشت شهرکرد

جدول ۱. مشخصات روش‌های عصاره‌گیری‌های مورد استفاده

شماره	عصاره‌گیر	غلظت	نسبت خاک/آب دادن (دقیقه)	زمان تکان	منبع
۱	استات آمونیوم	۱ مولار	۱:۲۰	۱۵	Knudsen et al., 1982
۲	باریم کلرید	۰/۱ مولار	۱:۱۰	۳۰	Simard & Zizka, 1994
۳	مهلیج ۱	اسید کلریدریک ۰/۰۵ مولار و اسید سولفوریک ۰/۰۲۵ مولار	۱:۵	۵	Mehlich, 1953
۴	بی‌کربنات آمونیوم - DTPA	بی‌کربنات آمونیوم یک مولار و DTPA ۰/۰۰۵ مولار	۱:۲	۱۵	Soltanpour & Schwab, 1977
۵	کلسیم کلرید	۰/۰۱ مولار	۱:۱۰	۱۲۰	Salomon, 1998

آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳۰ نمونه خاک با دو سطح پتاسیم (مقدار صفر و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم از منبع سولفات پتاسیم) در سه تکرار در گلخانه انجام شد. به همین منظور، بذر ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴، در گلدان‌هایی با هفت کیلوگرم خاک کشت شد. برای کشت گیاه، بذرهای ذرت با محلول قارچ‌کش بنومیل ضدعفونی شده و تعداد پنج بذر در هر گلدان کشت شد. بعد از جوانه‌زنی، تعداد بذرهای به دو عدد در هر گلدان کاهش داده شد. بر اساس نتایج آزمون خاک، مقادیر ۵۰، ۱۰ و ۵ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر، آهن و روی به صورت کودهای مونوکلسیم دی‌هیدروژن فسفات، سکوسترین ۱۳۸ آهن و سولفات روی به هر گلدان اضافه شد. همچنین، مقدار ۱۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره به صورت تقسیطی در سه نوبت (در زمان کاشت، سه و پنج هفته بعد از کاشت) اضافه گردید. در طول دوره رشد، شرایط محیطی گلخانه به صورت نسبتاً کنترل شده نگاه داشته شد، به طوری که دمای

روز در محدوده ۲۳ تا ۲۵ درجه سانتی گراد، دمای شب بین ۱۷ تا ۱۸ درجه سانتی گراد، و رطوبت نسبی بین ۵۰ تا ۶۰ درصد بود. مراقبت‌های لازم از قبیل آبیاری در رطوبت ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه و حذف علف‌های هرز انجام شد. پس از تکمیل مرحله رویشی (پس از دو ماه)، بخش‌های هوایی گیاه برداشت شد و با آب مقطر شسته شد. سپس، به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس خشک و وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد. نمونه‌های خشک شده در آون، به روش خاکستر خشک هضم و غلظت پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر اندازه‌گیری شد (Waling et al., 1989). همچنین، تفاوت ماده خشک گیاه در تیمارهای کود داده شده و کود داده نشده به عنوان پاسخ گیاه (ΔY_{max}) و جذب پتاسیم و عملکرد نسبی با استفاده از رابطه‌های زیر، محاسبه شد.

رابطه (۱) غلظت پتاسیم در گیاه $\times$ عملکرد گیاه = جذب پتاسیم

رابطه (۲) $100 \times \frac{\text{عملکرد در تیمار شاهد}}{\text{عملکرد در تیمار کود داده شده}} = \text{عملکرد نسبی (درصد)}$

به منظور ارزیابی معنی‌دار بودن اثر تیمارها از نظر پاسخ‌های گیاهی، تجزیه واریانس آزمایش فاکتوریل با استفاده از نرم‌افزار Statistica انجام و معنی‌دار بودن اختلاف بین تیمارها از نظر عملکرد ماده خشک، جذب و غلظت پتاسیم، با استفاده از آزمون دانکن انجام شد. سپس، خاک‌ها بر اساس پتاسیم عصاره‌گیری شده در عصاره‌گیرهای مناسب، با روش تجزیه واریانس کیت-نلسون که در نرم‌افزار Excel انجام گرفت، به دو گروه؛ کم و زیاد و به سه گروه؛ کم، متوسط و زیاد گروه‌بندی شدند.

تجزیه واریانس دو گروه کیت-نلسون

کیت-نلسون (Cate & Nelson, 1971)، یک روش آماری تکرارپذیری را برای تفکیک داده‌های آزمون خاک به دو یا سه گروه، براساس حداکثر کردن گروه مجموع مربعات بین گروه‌ها ارائه کردند. بدین منظور، عملکرد در تیمار شاهد و عملکرد در تیمار کود داده شده در هر مکان تعیین می‌شود. تفاوت بین عملکرد در تیمار کود داده شده و عملکرد در تیمار شاهد در هر مکان محاسبه شد (ΔY_{max}). اطلاعات مربوط به پاسخ گیاه براساس افزایش مقدار عنصر عصاره‌گیری شده با هر روش مرتب شدند. سپس، مجموع مربعات بین گروه‌ها (SS_B)، با توجه به رابطه زیر محاسبه شد:

$$SS_B = \frac{(\sum_{i=1}^n \Delta Y_{maxi})^2}{n_1} + \frac{(\sum_{i=n_1+1}^n \Delta Y_{maxi})^2}{n_2} - \frac{(\sum_{i=1}^n \Delta Y_{max})^2}{n} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه، عبارت اول، مجموع ΔY_{max} گروه ۱، عبارت دوم مجموع ΔY_{max} گروه ۲ و عبارت سوم مجموع دو گروه می‌باشد. n_1 تعداد مشاهدات در گروه ۱ و n_2 تعداد مشاهدات در گروه ۲ و n مجموع مشاهدات است. در مکانی که بیشترین مجموع مربعات بین گروه‌ها (SS_B) به دست آمد، مرز تفکیک خاک‌ها به گروه‌های کم و زیاد خواهد بود. حد بحرانی در این روش، میانگین آخرین عضو گروه کم و اولین عضو گروه زیاد خواهد بود.

تجزیه واریانس سه گروه کیت-نلسون

در این روش، مانند روش تجزیه واریانس دو گروه می‌توان با استفاده از مجموع مربعات بین گروه‌ها، خاک‌ها را تفکیک کرد. مجموع مربعات بین گروه‌ها (SS_B) با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$SS_B = \frac{(\sum_{i=1}^n \Delta Y_{maxi})^2}{n_1} + \frac{(\sum_{i=n_1+1}^n \Delta Y_{maxi})^2}{n_2} + \frac{(\sum_{i=n_2+1}^n \Delta Y_{maxi})^2}{n_3} - \frac{(\sum_{i=1}^n \Delta Y_{max})^2}{n} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در این رابطه، عبارت اول، مجموع ΔY_{max} گروه ۱، عبارت دوم مجموع ΔY_{max} گروه ۲، عبارت سوم مجموع ΔY_{max} گروه ۳ و عبارت چهارم مجموع سه گروه می‌باشد. n_1 تعداد مشاهدات در گروه ۱ و n_2 تعداد مشاهدات در گروه ۲ و n_3 تعداد مشاهدات در گروه ۳ و n مجموع مشاهدات است. در این روش، با توجه به مشاهدات گروه اول، مجموع مربعات بین گروه‌ها برای تمامی شرایط ممکن بین گروه ۲ و ۳ محاسبه می‌شود. میانگین آخرین عضو گروه کم و اولین عضو گروه متوسط، مرز گروه کم و متوسط می‌باشد. میانگین آخرین عضو گروه متوسط و اولین عضو گروه زیاد، مرز گروه متوسط و زیاد است.

نتایج و بحث

نتایج برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۲، نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، خاک‌ها دارای pH ۷/۷ تا ۸/۲، مواد آلی ۰/۲۳ تا ۱/۶۶ درصد، کربنات کلسیم معادل ۲۰ تا ۴۶ درصد، گنجایش تبادل کاتیونی ۱۵ تا ۲۵

سانتی‌مول‌بار بر کیلوگرم و بافت خاک‌ها متوسط تا سنگین بودند.

جدول ۲. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

شماره	pH _{1:2}	EC _{1:2}	بافت خاک	رس	سیلت	شن	ماده آلی	کربنات کلسیم معادل	ظرفیت تبادل کاتیونی
خاک	(dS m ⁻¹)						%	(Cmol _c kg ⁻¹)	
۱	۷/۸	۰/۳۵	C.L	۲۷/۴	۲۴/۰	۴۸/۶	۰/۹۰	۳۸/۵	۲۱/۲
۲	۷/۸	۰/۳۲	C.L	۲۷/۴	۲۹/۰	۴۳/۶	۰/۷۸	۴۰/۵	۱۷/۱
۳	۸/۰	۰/۳۲	C.L	۲۵/۴	۲۶/۰	۴۸/۶	۰/۶۵	۲۳/۵	۲۱/۳
۴	۸/۰	۰/۳۲	S.C.L	۲۳/۴	۲۶/۰	۵۰/۶	۰/۴۰	۳۴/۰	۱۵/۳
۵	۷/۹	۰/۳۳	C.L	۳۷/۴	۱۸/۰	۴۴/۶	۰/۴۵	۳۵/۰	۲۵/۰
۶	۸/۱	۰/۳۲	S.L	۱۹/۴	۱۶/۰	۶۴/۶	۰/۳۲	۴۶/۰	۱۵/۰
۷	۷/۹	۰/۳۱	S.L	۱۷/۴	۱۶/۰	۶۶/۶	۰/۲۳	۳۳/۵	۲۰/۰
۸	۷/۸	۰/۳۷	S.L	۱۷/۴	۲۰/۰	۶۲/۶	۰/۸۲	۴۳/۰	۱۸/۰
۹	۸/۰	۰/۳۱	C	۴۱/۴	۲۸/۰	۳۰/۶	۰/۵۱	۳۸/۰	۲۳/۷
۱۰	۸/۰	۰/۳۵	C.L	۲۳/۴	۳۸/۰	۳۸/۶	۱/۳۰	۳۳/۰	۱۹/۱
۱۱	۸/۰	۰/۳۵	C	۴۳/۴	۳۴/۰	۲۲/۶	۰/۹۷	۲۹/۰	۲۱/۰
۱۲	۸/۰	۰/۳۵	C.L	۳۵/۴	۳۸/۰	۲۶/۶	۱/۲۸	۲۶/۵	۲۰/۳
۱۳	۸/۱	۰/۳۱	C.L	۲۷/۴	۳۰/۰	۴۲/۶	۰/۵۹	۴۴/۵	۱۷/۰
۱۴	۸/۲	۰/۳۶	C.L	۳۵/۴	۳۶/۰	۲۸/۶	۱/۰۵	۴۵/۰	۱۸/۵
۱۵	۸/۱	۰/۳۵	C.L	۳۳/۴	۴۰/۰	۲۶/۶	۱/۶۶	۴۳/۰	۲۳/۲
۱۶	۸/۱	۰/۳۱	S.C.L	۲۵/۴	۳۰/۰	۴۴/۶	۰/۷۱	۴۴/۵	۱۹/۰
۱۷	۸/۰	۰/۳۳	C.L	۲۹/۴	۴۲/۰	۲۸/۶	۰/۸۳	۲۰/۰	۲۱/۷
۱۸	۸/۲	۰/۳۷	C.L	۲۷/۴	۳۲/۰	۴۰/۶	۱/۵۳	۳۹/۵	۱۹/۱
۱۹	۸/۰	۰/۴۲	C.L	۲۹/۴	۳۸/۰	۳۲/۶	۰/۸۸	۲۵/۰	۱۵/۵
۲۰	۸/۲	۰/۳۵	C.L	۳۱/۴	۳۲/۰	۳۶/۶	۱/۴۳	۳۸/۰	۱۹/۵
۲۱	۷/۹	۰/۳۴	C.L	۲۹/۴	۲۸/۰	۴۲/۶	۱/۳۳	۲۴/۰	۲۱/۷
۲۲	۸/۰	۰/۳۳	C	۴۷/۴	۲۸/۰	۲۴/۶	۰/۷۲	۳۶/۰	۲۱/۱
۲۳	۸/۰	۰/۳۱	S.C.L	۳۱/۴	۱۲/۰	۵۶/۶	۰/۴۱	۴۴/۵	۱۸/۰
۲۴	۸/۰	۰/۳۳	C	۴۷/۴	۲۶/۰	۲۶/۶	۰/۵۵	۳۸/۵	۱۸/۴
۲۵	۸/۱	۰/۳۳	C	۴۳/۴	۲۰/۰	۳۶/۶	۰/۷۰	۲۹/۵	۲۱/۷
۲۶	۸/۲	۰/۳۰	C	۴۳/۴	۲۲/۰	۳۴/۶	۰/۵۰	۳۴/۰	۲۱/۷
۲۷	۷/۸	۰/۳۱	C.L	۳۳/۴	۲۲/۰	۴۴/۶	۰/۸۳	۲۳/۵	۲۳/۰
۲۸	۷/۷	۰/۳۳	S.L	۱۹/۴	۱۶/۰	۶۴/۶	۰/۴۸	۲۰/۰	۲۲/۳
۲۹	۸/۱	۰/۳۱	C	۴۱/۴	۳۲/۰	۲۶/۶	۰/۹۰	۲۶/۵	۲۴/۸
۳۰	۸/۱	۰/۳۲	C	۴۱/۴	۳۲/۰	۲۶/۶	۰/۶۸	۳۰/۰	۲۱/۴

S: Sandy Loam SL: Sandy Clay Loam CL: Clay Loam C: Clay

نتایج تجزیه واریانس آزمایش فاکتوریل در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که اثر نوع خاک و اثر سطح پتاسیم مصرفی بر عملکرد ماده خشک، غلظت و جذب پتاسیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بنابراین، می‌توان گفت که مصرف پتاسیم باعث افزایش رشد گیاه ذرت گردیده و سبب افزایش غلظت و جذب پتاسیم در گیاه شده است. فتحی و همکاران (۱۳۹۳)، در پژوهش خود به نتیجه مشابهی دست یافتند. اثر متقابل خاک و پتاسیم در سطح پنج درصد بر عملکرد ماده خشک پتاسیم معنی‌دار نبوده است ولی با غلظت و جذب کل پتاسیم در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری داشت. این نتایج نشان می‌دهد که اگرچه تیمارهای پتاسیم تأثیر مستقیمی بر عملکرد ماده خشک نداشتند، اما به‌طور معنی‌داری باعث افزایش جذب و غلظت پتاسیم در گیاه شدند. خودشناس و همکاران (۱۳۹۹)، گزارش نمودند که اثر متقابل خاک و پتاسیم در سطح پنج درصد بر غلظت پتاسیم گیاه لوبیا اثر معنی‌داری داشت. میانگین غلظت پتاسیم در تیمار شاهد ۱/۸۳ درصد بود که با مصرف ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم پتاسیم به ۱۲/۲ درصد رسید. این افزایش نشان‌دهنده تأثیر مثبت



کاربرد پتاسیم بر فراهمی و جذب آن در گیاه، به‌ویژه در تعامل با نوع خاک، می‌باشد.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس ماده خشک ذرت و غلظت و جذب پتاسیم در تیمارهای نوع خاک و مقدار پتاسیم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		عملکرد ماده خشک	غلظت پتاسیم
نوع خاک	۲۹	۲۶/۱۷ ^{**}	۱/۴۵ ^{**}
مقدار پتاسیم	۱	۳۸/۳۳ ^{**}	۴۴/۵۵ ^{**}
نوع خاک × مقدار پتاسیم	۲۹	۲/۸۴ ^{ns}	۰/۵۳۵ ^{**}
خطا	۱۲۰	۳/۸۴ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}
ضریب تغییرات		۲۶/۴	۱۸/۷

^{**}: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns}: غیر معنی‌دار

جدول ۴. اثر مصرف کود پتاس بر وزن خشک بوته ذرت و غلظت و جذب پتاسیم*

شماره خاک	ماده خشک (گرم بر گلدان)	غلظت پتاسیم (درصد)	جذب کل پتاسیم (میلی گرم بر گلدان)		عملکرد نسبی (درصد)	پاسخ گیاه (گرم بر گلدان)	جذب اضافی (میلی گرم بر گلدان)	افزایش غلظت (درصد)
			سطوح پتاسیم مصرفی (میلی گرم بر کیلوگرم خاک)					
			۱۰۰	۰				
۱	۱۰/۹۳ ^a	۴/۰۳ ^a	۴۶۰/۹۹ ^a	۴۳۸/۹۴ ^a	۱۰۹/۲۰	-۰/۹۲	۲۲/۰۵	۰/۵۹
۲	۱۱/۵۴ ^a	۲/۷۲ ^a	۶۲۰/۰۴ ^b	۳۱۴/۶۰ ^a	۸۳/۵۷	۲/۲۷	۳۰۵/۴۴	۱/۷۶
۳	۷/۶۳ ^a	۲/۶۸ ^a	۳۴۳/۸۱ ^b	۲۰۴/۶۶ ^a	۸۸/۶۲	۰/۹۸	۱۳۹/۱۵	۱/۳۱
۴	۹/۶۵ ^a	۴/۵۵ ^a	۵۰۱/۵۶ ^a	۴۳۹/۱۹ ^a	۱۰۷/۵۰	-۰/۶۷	۶۲/۳۷	۱/۰۳
۵	۷/۹۵ ^a	۳/۸۷ ^a	۵۶۵/۰۹ ^b	۳۰۸/۱۵ ^a	۷۰/۲۱	۳/۳۸	۲۵۶/۹۴	۱/۱۱
۶	۱۰/۱۳ ^a	۲/۵۱ ^a	۴۱۹/۵۸ ^b	۲۵۴/۲۲ ^a	۹۵/۲۳	۰/۵۱	۱۶۵/۳۶	۱/۴۳
۷	۷/۰۳ ^a	۳/۷۱ ^a	۴۰۳/۲۸ ^a	۲۶۰/۸۹ ^a	۷۷/۲۲	۲/۰۷	۱۴۲/۴۰	۰/۷۲
۸	۱۱/۳۵ ^a	۴/۲۳ ^a	۶۰۶/۸۰ ^a	۴۷۹/۷۳ ^a	۸۵/۳۸	۱/۹۴	۱۲۷/۰۷	۰/۳۴
۹	۱۷/۸۶ ^a	۳/۸۹ ^a	۹۴۷/۲۹ ^b	۵۵۳/۱۸ ^a	۱۲۵/۷۷	۳/۶۶	۳۹۴/۱۱	۱/۴۰
۱۰	۱۲/۲۰ ^a	۳/۶۱ ^a	۵۹۴/۱۴ ^b	۴۴۱/۰۶ ^a	۹۴/۸۰	-۰/۶۷	۱۵۳/۰۷	۱/۰۰
۱۱	۱۰/۰۱ ^a	۳/۳۸ ^a	۴۹۶/۸۴ ^b	۳۳۸/۷۷ ^a	۹۸/۸۸	۰/۱۱	۱۵۸/۰۷	۱/۵۲
۱۲	۹/۶۶ ^a	۳/۵۳ ^a	۳۹۹/۹۷ ^a	۳۴۰/۶۵ ^a	۱۰۲/۵۴	-۰/۲۴	۵۹/۳۱	۰/۷۲
۱۳	۸/۰۶ ^a	۳/۲۱ ^a	۴۴۶/۰۱ ^b	۲۵۸/۷۱ ^a	۹۴/۴۸	-۰/۴۷	۱۸۷/۳۰	۲/۰۲
۱۴	۱۴/۴۵ ^a	۴/۱۰ ^a	۶۴۶/۴۵ ^a	۵۹۳/۷۲ ^a	۹۹/۵۹	-۰/۰۶	۵۲/۷۳	۰/۳۵
۱۵	۸/۷۹ ^a	۳/۳۷ ^a	۳۱۵/۴۰ ^a	۲۹۶/۶۴ ^a	۱۱۷/۷۵	-۱/۳۳	۱۸/۷۵	۰/۸۵
۱۶	۱۳/۵۳ ^a	۳/۷۵ ^a	۸۰۸/۵۴ ^b	۵۰۷/۴۶ ^a	۸۵/۸۸	۲/۲۲	۳۰۱/۰۸	۱/۳۸
۱۷	۹/۸۶ ^a	۴/۰۶ ^a	۴۲۲/۵۷ ^a	۳۹۲/۲۳ ^a	۱۰۲/۰۷	-۰/۲۰	۳۰/۳۴	۰/۲۲
۱۸	۱۳/۰۶ ^a	۴/۶۱ ^a	۸۳۲/۰۶ ^b	۶۰۲/۱۲ ^a	۸۴/۰	۲/۴۹	۲۲۹/۹۴	۰/۷۴
۱۹	۷/۰۴ ^a	۲/۵۳ ^a	۳۰۰/۱۹ ^a	۱۷۸/۱۷ ^a	۹۴/۹۲	-۰/۳۸	۱۲۲/۰۲	۱/۵۲
۲۰	۷/۰۸ ^a	۴/۲۳ ^a	۳۶۱/۸۷ ^a	۲۹۹/۴۱ ^a	۹۲/۷۴	-۰/۵۵	۶۲/۴۶	۰/۵۱
۲۱	۱۱/۸۸ ^a	۴/۲۴ ^a	۵۲۸/۳۸ ^a	۵۰۳/۴۲ ^a	۹۹/۳۷	-۰/۰۸	۲۴/۹۶	۰/۱۸
۲۲	۸/۵۱ ^a	۳/۱۰ ^a	۵۵۳/۸۶ ^b	۲۶۳/۹۳ ^a	۹۱/۲۵	-۰/۸۲	۲۸۹/۹۳	۲/۸۴
۲۳	۹/۶۵ ^a	۴/۳۸ ^a	۴۲۳/۱۰ ^a	۵۴۵/۸۳ ^a	۸۶/۴۸	۱/۵۱	۱۲۲/۷۲	۵/۰۷
۲۴	۱۱/۰۱ ^a	۴/۶۳ ^a	۵۰۸/۹۹ ^a	۵۰۸/۹۹ ^a	۹۱/۰۳	۱/۰۸	۱۰۷/۷۴	۰/۴۸
۲۵	۱۱/۰۵ ^a	۴/۲۳ ^a	۶۳۸/۱۵ ^b	۴۶۶/۲۷ ^a	۸۳/۴۲	۲/۲۰	۱۷۱/۸۸	۰/۶۰
۲۶	۹/۹۹ ^a	۴/۱۲ ^a	۶۷۱/۴۵ ^b	۴۱۱/۶۷ ^a	۷۸/۹۸	۲/۶۶	۲۵۹/۷۸	۱/۱۹
۲۷	۱۰/۰۱ ^a	۲/۷۸ ^a	۵۲۲/۹۲ ^b	۲۷۸/۷۹ ^a	۸۱/۸۴	۲/۲۲	۲۴۴/۱۳	۱/۴۹
۲۸	۹/۸۰ ^a	۳/۹۸ ^a	۳۹۰/۴۱ ^a	۳۹۰/۲۷ ^a	۱۱۴/۹۳	-۱/۳۷	۲/۱۴	۰/۶۲
۲۹	۱۱/۷۴ ^a	۳/۳۳ ^a	۵۲۸/۶۴ ^b	۳۹۱/۶۶ ^a	۹۴/۹۷	-۰/۶۲	۱۳۶/۹۸	۰/۹۴
۳۰	۱۰/۵۷ ^a	۴/۰۶ ^a	۴۸۷/۸۹ ^a	۴۸۶/۲۲ ^a	۱۰۹/۶۰	-۰/۹۳	۱/۶۶	۰/۴۶
میانگین	^a ۱۰/۴۰	۳/۷۳ ^a	^b ۵۳۳/۶۲	^a ۳۸۷/۵۶	۹۴/۷۴	-۰/۹۳	۱۴۵/۱۶	۱/۰

*: میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

جدول ۴، اثر مصرف کود پتاس بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده بوته ذرت در هر خاک را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که تیمارهای پتاسیم از نظر عملکرد ماده خشک در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند. همچنین، نتایج نشان داد که کاربرد پتاسیم در ۱۲ نمونه خاک باعث افزایش ماده خشک شد که می‌توان این افزایش را به نوع خاک و کود پتاسیم نسبت داد. عدم افزایش ماده خشک گیاه در اثر مصرف کود پتاس در سایر خاک‌ها، نشان می‌دهد که پتاسیم در این خاک‌ها محدود کننده رشد گیاه نیست و عواملی محدوده‌کننده‌تر از پتاسیم در خاک برای رشد گیاه وجود دارد.

مقادیر پتاسیم عصاره‌گیری شده در هر خاک در عصاره‌گیرهای؛ استات آمونیوم یک نرمال، بی‌کربنات آمونیوم - DTPA، کلرید باریم ۰/۱ مولار، کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و مهلیج ۱، متفاوت بود (جدول ۵). این نتیجه نشان‌دهنده مکانیسم‌های مختلف عصاره‌گیرها در عصاره‌گیری پتاسیم می‌باشد. از طرف دیگر در هر عصاره‌گیر مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده در خاک‌ها متفاوت بود. این نتیجه نشان‌دهنده تاثیر ویژگی‌های خاک بر پتاسیم عصاره‌گیری شده می‌باشد. بیشترین مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده مربوط به عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال با میانگین، ۲۹۹/۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و کمترین مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده مربوط به عصاره‌گیر مهلیج ۱ با میانگین، ۵۸/۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. عصاره‌گیر استات آمونیوم عمدتاً پتاسیم محلول، تبادلی و بخشی از پتاسیم غیرتبادلی را عصاره‌گیری می‌کند (McClean & Watson, 1985). اسیدهای رقیق در عصاره‌گیر مهلیج ۱ قادر نیستند پتاسیم زیادی را از خاک عصاره‌گیری نمایند. Kumar Meena et al, (2015) گزارش کردند که مقدار پتاسیم استخراج شده با عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال در ۱۸ نمونه خاک هند از غلظت کم تا زیاد با مقادیر ۱۰۰/۸ تا ۹۰۷/۲ کیلوگرم بر هکتار متغیر بود. شهبازی و همکاران (۱۴۰۱)، میانگین پتاسیم عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال در ۶۲ نمونه خاک را ۳۴۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند. زاده‌پاریزی و همکاران (۱۳۹۴)، مقدار میانگین پتاسیم استخراج شده با عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال و مهلیج ۱ را در خاک‌های آهکی رفسنجان به‌ترتیب ۲۴۹ و ۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش کردند.

به‌منظور انتخاب عصاره‌گیر مناسب، ارتباط پتاسیم عصاره‌گیری شده در عصاره‌گیرهای مختلف با شاخص‌های گیاه ذرت بررسی شد (جدول ۶). براساس نتایج همبستگی عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار، کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار و مهلیج ۱ با پاسخ گیاه، همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح یک درصد و عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، بی‌کربنات آمونیوم - DTPA، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار با عملکرد نسبی گیاه، همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد داشت. با توجه به نتایج، عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار می‌توانند به عنوان عصاره‌گیر مناسب در ارزیابی پتاسیم قابل استفاده ذرت استفاده شوند. حسین‌پور (۱۳۸۳)، گزارش نمود که عصاره‌گیرهای کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار، باریم کلرید ۰/۱ مولار، اسید کلریدریک ۰/۱ مولار، اسید کلریدریک ۰/۰۵ مولار، اسید سولفوریک ۰/۰۲۵ مولار، استرانسیوم کلرید ۰/۰۰۲ مولار، مهلیج ۱، استات سدیم، استرانسیوم کلرید و اسید سیتریک و آب مقطر با شاخص‌های عملکرد نسبی و پاسخ گیاه سیر همبستگی بالایی داشته و به عنوان عصاره‌گیرهای مناسب در برخی خاک‌های همدان معرفی شدند. فتحی و همکاران (۱۳۹۳)، عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال را به عنوان عصاره‌گیر مناسب برای پیش‌بینی پتاسیم قابل استفاده ذرت در خاک‌های آهکی استان کردستان، گزارش نمودند. Al-Mafraji et al., (2020) عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار را به عنوان عصاره‌گیر مناسب بر رشد و عملکرد سبب‌زمینی گزارش کردند.

به‌منظور گروه‌بندی خاک‌ها به دو یا سه گروه از روش تجزیه واریانس کیت-نلسون استفاده شد. نتایج گروه‌بندی خاک‌ها به دو گروه در جدول ۷ نشان داده شده است. در مدل دو کلاسه، مرز گروه کم و زیاد پتاسیم در هر عصاره‌گیر، حد بحرانی پتاسیم برای آن عصاره‌گیر می‌باشد. خاک‌هایی که مقدار پتاسیم آنها کمتر از حد بحرانی باشد، در گروه کم آزمون خاک قرار می‌گیرند. در این خاک‌ها احتمال پاسخ گیاه به کاربرد کود زیاد است. خاک‌هایی که مقدار پتاسیم آنها بیشتر از حد بحرانی باشد، در گروه زیاد آزمون خاک قرار می‌گیرند. در این خاک‌ها احتمال پاسخ گیاه به کاربرد کود کم می‌باشد. بر این اساس، حد بحرانی تعیین شده به‌ترتیب در عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار به‌ترتیب؛ ۲۹۰/۰، ۲۷۰/۲۵ و ۶۹/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که براساس حد بحرانی تعیین شده در عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار به‌ترتیب ۴۷، ۶۷ و ۷۷ درصد خاک‌ها دارای پتاسیم قابل استفاده کمتر از حد بحرانی می‌باشند. که در این خاک‌ها، احتمال پاسخ گیاه به کاربرد کود بیشتر است. Singh et al., (2019) به بررسی پاسخ گیاهان به کاربرد پتاسیم با سیستم‌های کشت مختلف، شامل؛ سوپا-



گندم و برنج-گندم در بوپال، برنج-گندم در رایپور، برنج-برنج در جگتال و سویا-گندم در جبالپور، در خاک‌های ورتی سولز و گروه‌بندی خاک‌ها به روش تجزیه واریانس دو گروهه کیت-نلسون پرداختند. نتایج نشان داد که مرز گروه‌بندی خاک‌ها به دو گروه کم و زیاد و حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده با عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال به روش تجزیه واریانس دو گروهه کیت-نلسون، ۳۳۷ کیلوگرم بر هکتار بود.

جدول ۵. مقادیر پتاسیم قابل استفاده خاک (میلی گرم بر کیلوگرم) با عصاره‌گیرهای مختلف

شماره خاک	استات آمونیوم ۱	بی کربنات آمونیوم - DTPA	کلرید باریم ۰/۱ مولار	کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار	مهلیج ۱
۱	۳۰۱	۳۱۱/۳	۲۸۲	۷۱/۵	۶۷/۷۵
۲	۳۵۲	۳۱۰/۲	۲۷۹	۶۷/۰	۶۴/۲۵
۳	۲۰۶	۲۱۴/۶	۲۰۶	۳۹/۵	۳۶/۷۵
۴	۲۷۲	۲۸۰/۴	۲۳۱	۴۹/۰	۴۶/۵۰
۵	۱۹۵	۲۰۸/۳	۲۰۶	۴۰/۵	۲۸/۵۰
۶	۳۱۰	۳۳۳/۴	۲۷۷	۷۶/۵	۷۳/۲۵
۷	۲۴۲	۲۲۵/۳	۲۲۵	۴۸/۰	۴۲/۰
۸	۱۶۸	۱۸۴/۹	۱۷۷	۱۷/۵	۲۲/۵۰
۹	۲۸۵	۳۰۸/۰	۲۴۰	۵۳/۵	۵۵/۵۰
۱۰	۳۳۸	۳۴۰/۰	۲۵۲	۵۰/۵	۵۳/۷۵
۱۱	۳۱۱	۲۹۳/۷	۲۳۱	۴۹/۰	۴۸/۵۰
۱۲	۲۹۵	۲۹۷/۰	۲۴۳	۶۴/۰	۶۱/۷۵
۱۳	۱۸۷	۲۰۶/۳	۲۰۲	۳۲/۵	۲۸/۵۰
۱۴	۲۳۰	۲۱۵/۹	۲۲۳	۴۲/۵	۳۶/۵۰
۱۵	۳۷۷	۳۴۸/۷	۳۰۰	۹۳/۰	۸۴/۰
۱۶	۳۳۲	۳۲۱/۲	۲۶۳	۶۳/۰	۶۵/۵۰
۱۷	۴۵۶	۴۲۲/۴	۴۰۱	۱۸۰/۰	۱۷۱/۰
۱۸	۳۲۴	۳۳۲/۲	۲۶۴	۶۷/۵	۷۰/۰
۱۹	۳۹۰	۴۳۵/۶	۳۲۵	۹۵/۰	۹۳/۷۵
۲۰	۳۲۴	۳۶۰/۸	۲۷۶	۷۸/۵	۷۴/۰
۲۱	۵۹۰	۴۸۵/۵	۴۶۵	۱۸۰/۰	۱۷۱/۰
۲۲	۲۱۸	۲۱۷/۳	۲۰۵	۳۱/۰	۲۸/۰
۲۳	۱۸۴	۲۰۲/۱	۲۰۲	۳۶/۰	۳۲/۲۵
۲۴	۲۸۳	۳۰۳/۱	۲۵۲	۶۰/۵	۵۷/۰
۲۵	۲۵۸	۲۷۰/۰	۲۳۵	۴۰/۵	۴۰/۵
۲۶	۲۵۰	۲۵۵/۲	۲۱۵	۲۹/۰	۳۱/۵
۲۷	۲۵۱	۲۴۵/۳	۲۱۴	۳۴/۰	۲۶/۵
۲۸	۴۰۳	۳۲۸/۹	۲۷۹	۶۱/۰	۵۷/۰
۲۹	۳۰۸	۳۱۱/۴	۲۲۴	۳۳/۵	۲۸/۰
۳۰	۳۴۳	۳۱۸/۲	۲۷۹	۵۸/۰	۴۹/۷۵
میانگین	۲۹۹/۴۳	۲۹۶/۲۴	۲۵۵/۷۷	۶۱/۴۰	۵۸/۱۹

جدول ۶. همبستگی بین پتاسیم عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای مختلف و شاخص‌های گیاهی

شاخص‌های گیاهی						عصاره‌گیرها
افزایش غلظت	جذب اضافی	پاسخ گیاه	عملکرد نسبی	جذب کل پتاسیم	غلظت پتاسیم	ماده خشک
-۰/۳۳ ^{ns}	-۰/۵۹ ^{**}	-۰/۶۲ ^{**}	-۰/۶۷ ^{**}	-۰/۲۵ ^{ns}	-۰/۲۳ ^{ns}	استات آمونیوم ۱ نرمال
-۰/۳۳ ^{ns}	-۰/۵۰ ^{ns}	-۰/۵۱ ^{ns}	-۰/۵۷ ^{**}	-۰/۳۰ ^{ns}	-۰/۲۸ ^{ns}	بی کربنات آمونیوم - DTPA
-۰/۴۰ ^{ns}	-۰/۶۶ ^{**}	-۰/۶۲ ^{**}	-۰/۶۵ ^{**}	-۰/۳۳ ^{ns}	-۰/۳۹ ^{ns}	کلرید باریم ۰/۱ مولار
-۰/۴۷ ^{ns}	-۰/۶۸ ^{**}	-۰/۵۳ ^{**}	-۰/۵۴ ^{**}	-۰/۳۱ ^{ns}	-۰/۴۵ ^{ns}	کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار
-۰/۴۰ ^{ns}	-۰/۶۳ ^{**}	-۰/۵۱ ^{**}	-۰/۵۰ ^{ns}	-۰/۲۰ ^{ns}	-۰/۳۵ ^{ns}	مهلیج ۱

** : معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} : غیر معنی‌دار

نتایج گروه‌بندی خاک‌ها به سه گروه در جدول ۸ نشان داده شده است. براساس این نتایج اگر در عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار به ترتیب؛ پتاسیم قابل استفاده کمتر از ۲۰۰/۵، ۲۰۵/۵ و ۳۳/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم باشند، خاک‌ها در گروه کم قرار می‌گیرند و اگر مقادیر پتاسیم عصاره‌گیری شده در عصاره‌گیرهای ذکر شده به ترتیب بیشتر از ۳۶۴/۵، ۲۷۰/۵ و ۶۹/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم باشد، در گروه زیاد قرار می‌گیرند. نتایج نشان می‌دهد که در عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار به ترتیب ۱۳، ۱۳ و ۱۳ درصد خاک‌ها در گروه کم آزمون خاک و ۱۷، ۳۰ و ۲۰ درصد خاک‌ها در گروه زیاد آزمون خاک قرار دارند. خاک‌هایی که پتاسیم استخراج شده در عصاره‌گیرهای مختلف در گروه کم قرار می‌گیرد، احتمال پاسخ گیاه به کاربرد کود پتاسیم بیشتر از ۵۰ درصد است و خاک‌هایی که پتاسیم استخراج شده در عصاره‌گیرهای مختلف در گروه زیاد باشد، احتمال پاسخ گیاه به کاربرد کود پتاسیم کمتر از ۵۰ درصد است (Dahnke & Olson, 1990). در خاک‌هایی که در گروه متوسط آزمون خاک قرار می‌گیرند احتمال پاسخ گیاه به کاربرد کود ۵۰ درصد می‌باشد.

جدول ۷. گروه‌بندی پتاسیم قابل استفاده خاک‌ها به روش تجزیه واریانس دو گروه کیت-نلسون در عصاره‌گیرهای مناسب

نام عصاره گیر	گروه		مرز گروه کم و زیاد (حد بحرانی) (میلی گرم بر کیلوگرم)
	n ₁	n ₂	
استات آمونیوم ۱- نرمال	۱۴	۱۶	۲۹۰/۰
باریم کلرید ۰/۱ مولار	۲۰	۱۰	۲۷۰/۲۵
کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار	۲۳	۷	۶۹/۵

جدول ۸. گروه‌بندی پتاسیم قابل استفاده خاک‌ها به روش تجزیه واریانس سه گروه کیت-نلسون در عصاره‌گیرهای مناسب

نام عصاره گیر	گروه			مرز گروه کم و متوسط و زیاد (میلی گرم بر کیلوگرم)
	n ₁	n ₂	n ₃	
استات آمونیوم ۱- نرمال	۴	۲۱	۵	۲۰۰/۵
باریم کلرید ۰/۱ مولار	۴	۱۶	۱۰	۲۰۵/۵
کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار	۴	۱۹	۷	۳۳/۰

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم باعث افزایش عملکرد نسبی ذرت در برخی خاک‌ها شد. درحالی‌که عملکرد نسبی در برخی خاک‌ها افزایش نیافت، که نشان می‌دهد پتاسیم در این خاک‌ها محدود کننده رشد گیاه نیست. در بین عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، بی‌کربنات آمونیوم-DTPA، باریم کلرید ۰/۱ مولار، کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار و مهلیج ۱، عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال، بیشترین و عصاره‌گیر مهلیج ۱، کمترین میزان پتاسیم در خاک‌ها را استخراج نمود که به علت استخراج شکل‌های متفاوتی از پتاسیم به وسیله هر عصاره‌گیر، غلظت متفاوت عصاره‌گیرها، زمان‌های مختلف عصاره‌گیری و خصوصیات متفاوت خاک‌هاست. نتایج نشان داد که برای برآورد پتاسیم قابل استفاده ذرت، عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار مناسب‌ترین عصاره‌گیرها هستند. براساس گروه‌بندی نتایج آزمون خاک پتاسیم با روش تجزیه واریانس دو گروه کیت-نلسون، حد بحرانی پتاسیم، در عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار به ترتیب ۲۹۰/۰، ۲۷۰/۲۵ و ۶۹/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. همچنین، برای گروه‌بندی نتایج آزمون خاک پتاسیم به روش تجزیه واریانس سه گروه کیت-نلسون، مرز گروه کم و متوسط در عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار به ترتیب ۲۰۰/۵، ۲۰۵/۵ و ۳۳/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و مرز گروه متوسط و زیاد در عصاره‌گیرهای ذکر شده به ترتیب؛ ۳۶۴/۵، ۲۷۰/۵ و ۶۹/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. نتایج این تحقیق، می‌تواند معیار دقیقی برای تفسیر نتایج اندازه‌گیری و مصرف کود پتاسیم در خاک‌های تحت کشت ذرت باشد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد."

منابع

تفرجی، سید حسن و حق‌پرست‌تنها، محمدرضا (۱۳۸۴). مطالعه وضعیت پتاسیم در خاک‌های استان گیلان و تأثیر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک



بر آن. نهمین کنگره علوم خاک ایران. مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری ایران.

حسین پور، علی رضا و کلباسی، محمود (۱۳۸۰). سرعت آزادشدن پتاسیم غیرتبادلی از خاک و اجزای آن در تعدادی از خاک‌های مناطق مرکزی ایران. هفتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه شهرکرد.

حسین پور، علی رضا (۱۳۸۳). ارزیابی چند عصاره‌گیر به منظور تعیین پتاسیم قابل استفاده سیر در برخی خاک‌های همدان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۸ (۲): ۵۶-۴۴.

خودشناس، محمدعلی؛ قدبیک‌لو، جواد و دادپور، مسعود (۱۳۹۹). ارزیابی عصاره‌گیرهای شیمیایی و تعیین حد بحرانی پتاسیم در خاک‌های زیر کشت لوبیا. پژوهش‌های خاک. ۳۴ (۴): ۴۶۴-۴۵۱.

زاده‌پاریزی، سمانه؛ تاج‌آبادی‌پور، احمد و اسفندیارپور، بروجنی، عیسی (۱۳۹۴). ارزیابی عصاره‌گیرهای شیمیایی در تعیین پتاسیم قابل استفاده پسته در خاک‌های آهکی رفسنجان. به‌زراعی کشاورزی. ۱۸ (۴): ۹۴۷-۹۳۵.

شریفی، مهدی و کلباسی، محمود (۱۳۸۰). انتخاب عصاره‌گیر مناسب برای استخراج پتاسیم قابل جذب ذرت در خاک‌های منطقه مرکزی استان اصفهان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۵ (۱): ۹۱-۷۷.

شهبازی، کریم؛ چراغی، میثم؛ مارزی، مصطفی و هاشمی‌نسب‌زواره، کبری سادات (۱۴۰۱). تأثیر نوع عصاره‌گیر و نسبت خاک به عصاره‌گیر بر استخراج میزان پتاسیم قابل جذب خاک. تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۳ (۷): ۱۴۹۷-۱۴۸۱.

فتحی، سامان؛ صمدی، عباس؛ داوری، مسعود و اسدی کپورچال، صفورا (۱۳۹۳). ارزیابی عصاره‌گیرهای مختلف برای تعیین پتاسیم قابل استفاده ذرت در خاک‌های آهکی استان کردستان. دانشگاه گیلان، تحقیقات غلات. ۴ (۳): ۲۶۶-۲۵۳.

REFERENCE

- Al-kanani, T., Mackenzie, A. F., & Ross, G. L. (1984). Potassium status of some Quebec Soils: K release by nitric and sodium tetrakis-phenylboran as related to particle size and mineralogy. *Canadian Journal of Soil Science*. 64(1) : 99-106. <https://doi.org/10.4141/cjss84-009>.
- Al-Mafraji, R. J., Saad Hannon, T. M. & Al-Barakat N. K. (2022). The impact of potassium levels and its extraction methods on growth and yield of potassium (*Solanum Tuberosum* L.). *Plant Archives*. 20 (1): 416- 419.
- Bray, R. H. (1958). The correlation of a phosphorus soil test with the response of wheat through a modified Mitscherlich equation. *Soil Science Society of America, Proceeding*. 22: 314-317. <https://doi.org/10.2136/sssaj1958.03615995002200040013x>.
- Corey, R. B. (1987). Soil testing procedures: Correlation. In: JR Brown et. al. (Eds.), *Soil testing: Sampling, Correlation, Calibration and Interpretation. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin*. pp. 15-22. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub21.c2>.
- Cate, R. B., & Nelson, L. A. (1965). A rapid method for correlation of soil test analyses with plant response data. NC State University Agricultural Experiment Station. <https://lib.ugent.be/catalog/rug01:000226900>.
- Cate, R. B. Jr., & Nelson, L. A. (1971). A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Science Society of America. Proceeding*. 35(4):658-660. <https://doi.org/10.2136/sssaj1971.03615995003500040048x>.
- Dahnke, D., & Olson R. A. (1990). Soil test correlation, calibration and recommendation. In: Westerman R.L. (Ed.). *Soil Testing and Plant Analysis*, 3rd ed., *Soil Science Society of America Book Series Number 3, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin*. pp. 45-71. <https://doi.org/10.2136/sssabookser3.3ed.c4>.
- 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. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22520163.1393.4.3.6.4> [In Persian]
- Gee, G. W. & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis. In: Klute A. (ed.) *Methods of Soil Analysis: Part I-Physical and mineralogy methods. Agron. Monogr. 9. 2nd ed. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin*. pp. 383-412.
- Havlin, J. L., & Soltanpour, P. N. (1982). Greenhouse and field evaluation of the NH_4HCO_3 -DTPA soil test for Fe. *Journal of Plant Nutrition*. 5(4-7): 769-783. <https://doi.org/10.1080/01904168209363007>.
- Hoseinpour, A. R., & Kolbasi, M. (2001). Kinetics of non-exchangeable potassium release from soil and its components in some soils of central Iran. *7th Iranian Soil Science Congress, Shahrood University*. [In Persian]

- Hoseinpur, A. R. (2004). Evaluation of the Capability of Extractants in Determining Garlic Available K for Certain Soils in Hamadan. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science* 8(2): 45-56. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1383.8.2.5.8> [In Persian]
- 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. *Journal of Soil Research*. 34 (4), 451-463. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22287124.1399.34.4.3.2> [In Persian]
- Knudsen, D., Peterson, G. A., & Pratt, P. F. (1982). Lithium, Sodium and Potassium. Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. (2nd ed.). *American Society of Agronomy and Soil Science Society of America*, Madison, Wisconsin. pp. 225-246.
- Kumar Meena, R., Amrutsagar, V. M., Verma, M. K., Seth, V., Meena, R., & Kumar, M. (2015). Critical limits of potassium in soil and plant for increased productivity of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Ecology, Environment and Conservation*. Pap, 21, 345-351.
- Loeppert, R. H., & Suarez, D. L. (1996). Carbonate and gypsum In: Sparks D.L. (ed.) *Chemical Methods of Soil Analysis*. *Soil Science Society of America*, Madison pp. 437-447. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c15>.
- McLean, E. O., & Watson, M. E. (1985). Soil measurements of plant available potassium. In: Munson, R.D. (ed.), *Potassium in agriculture*. *American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America*, Madison, Wisconsin. pp. 277-308.
- Mustscher, H. (1995). "Measurement and assessment of soil potassium." *International potash institute Research Topics Number 4*".
- Mulugeta, D., Tekalign, M., Sheleme, B., & Selamyihun. K. (2019). Potassium critical level in soil for Teff (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) grown in the central highland soils of Ethiopia. *SN Applied Sciences*. 1(9),958. <https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-019-0873-x>.
- Muneshwar Singh, R. H., Wanjari, B. L., Abhay Shirale, L., Kumar, U., & Jamra, SH. (2019). Response of Crops to Applied Potassium and Estimation of Critical Limits in Vertisols. *Indian Journal of Fertilisers*. 15(7): 748-753.
- Mehlich, A. (1953). Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄, North Carolina Soil Test Division, Department of Agriculture, Raleigh, North Carolina.
- Nelson, D. W. & Sommers, L. E. (1996). Carbon, organic carbon, and organic matter. In: Sparks D.L. (ed) *Methods of Soil Analysis*. *Soil Science Society of America*, Madison. pp. 961-1010.
- Rhoades, J. D. (1996). Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks D.L. (ed) *Methods of Soil Analysis*. *Soil Science Society of America*, Madison. pp. 417-435.
- Shahbazi, K., Cheraghi, M., Marzi, M., & Hasheminasab Zavareh, K. S. (2022). The effect of extractant type and soil/extractant ratio on the extraction of soil available potassium. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008479.1401.53.7.2.7> [In Persian]
- Sharifi, M., & Kolbasi, 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, Water and Soil Science*, 5(1), 77-91. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22518517.1380.5.1.7.2> [In Persian]
- Sheldrick, W. F. (1985). World potassium reserves. In: Muuson R.D. (ed.), *Potassium in Agriculture*. *Soil Science Society of America Journal*. Madison, Wisconsin. pp.3-29. <https://doi/abs/10.2134/1985.potassium.c1>
- Sparks, D. L. (2000b). Bioavailability of soil potassium. *Handbook of soil science*. *CRC Press*, New York.
- Sparks, D. L., & Huang, M. (1985). Physical chemistry of soil potassium. *American Society of Agronomy and Soil Science Society of America*, Madison, Wisconsin pp. 201-276. <https://doi.org/10.2134/1985.potassium.c9>
- Sumner, M. E. & Miller W. P. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficients. In: Sparks D.L.(ed.), *Methods of Soil Analysis Part3, Chemical Methods*. *Soil Science Society of America Book Series 5*, *Soil Science Society of America*, Madison, WI. 1201-1231.
- Simard, R. R., & Zizka, J. (1994). Evaluation plant available potassium with strontium chlorid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 25(9-10), 1779-1789. <https://doi.org/10.1080/00103629409369152>.
- Salomon, E. (1998). Extraction of soil potassium with 0.01 M calcium chloride compared to official Swedish methods. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 29(19-20), 2841-2854. <https://doi.org/10.1080/00103629809370159>.



- 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. <https://doi.org/10.1080/00103627709366714>.
- Tisdal, S. L., Nelson, W. L. & Beaton. J. D. (1985). Soil fertility and fertilizers. 4 th.ed., *McMillan Publishing co.*, New York, NY.
- Thomas, G. W. (1982). Exchangeable cations. In: A.L. Page et al. (eds.) *Methods of Soil Analysis: chemical and microbiological properties*. Agron. Monogr. 9. Part 2. 2nd ed. *American Society of Agronomy and Soil Science Society of America*, Madison, Wisconsin. pp.159-166.
- Tafaraji, S. H., & Haghparest Tanha, M. R. (2005). Study of potassium status in soils of Gilan province and the effect of physico-chemical properties of soil on it. *9th Iranian Soil Science Congress, Soil and Water Conservation Research Center of Iran*. [In Persian]
- Waling, I., Van Vark, W., Houba, V. J. G., & Van der Lee, J. J. (1989). Soil and plant analysis, a series of syllabi: Part 7. *Plant Analysis Procedures Wageningen Agriculture University*.
- Zadehparizi, S., Tajabadi Pour, A., & Esfandiarpour Boroujeni, E. (2015). Evaluation chemical extractants in determination of available potassium for pistachio in calcareous soils of Rafsanjan. *Journal of Crops Improvement* , 18(4), 935-947. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.83372008.1395.18.4.15.0> [In Persian]