

Research Article

Vol. 39, No. 5, Dec. 2025-Jan. 2026, p. 465-478

Study of the Effect of Ammonium Acetate Concentration on Extracted Potassium in Some Calcareous Soils

M. Barati^{1*}, A.R. Hosseinpour¹, M.H. Salehi¹, A. Jafari²

1- Department of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

(*-Corresponding Author Email: marziehbarati99@yahoo.com)

2- Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Received: 22 July 2025

Revised: 03 November 2025

Accepted: 12 November 2025

Available Online: 12 November 2025

How to cite this article:

Barati, M., Hosseinpour, A.R., Salehi, M.H., & Jafari, A. (2026). Study of the effect of ammonium acetate concentration on extracted potassium in some calcareous soils. *Journal of Water and Soil*, 39(5), 465-478. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jsw.2026.95838.1504>

Introduction

Potassium is one of the macronutrients essential for plant growth 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. Determining the concentration of available potassium using an efficient extractant that is applicable to different soil types is essential for soil and crop management, such as fertilizer recommendations. One of the most common extractants for available potassium is 1N ammonium acetate (NH₄OAc). This extractant is widely used in many soil science studies and fertilizer recommendations due to its ability to extract exchangeable potassium and a portion of non-exchangeable potassium. However, this method may not have sufficient accuracy to measure the potassium readily available for plant uptake. In soils with high amounts of potassium-containing minerals, due to the presence of specific adsorption sites, a large portion of potassium is held strongly at these sites and can be partially extracted during NH₄OAc extraction. This issue could be one reason for the weak correlation between NH₄OAc-extracted potassium and plant response to potassium fertilizer in such soils. The critical level of available potassium is the threshold below which plant growth is limited. Since the amount of potassium extracted depends on the concentration of the extractant, evaluating the effect of different NH₄OAc concentrations on the determining the critical level is important. The objective of this study was to assess the impact of various NH₄OAc concentrations on the extraction of available potassium and to determine the critical potassium level in the calcareous soils of Shahrekord Plain.

Material and Methods

In order to evaluate different concentrations of NH₄OAc of the calcareous soils of the Shahrekord plain, 30 agricultural soil samples were collected from a depth of 0–30 cm. Four different concentrations of NH₄OAc including 1, 0.5, 0.25, and 0.1 molar were evaluated for extracting available potassium. The greenhouse experiment was carried out as a factorial experiment in a completely randomized design with two factors (soil type and potash fertilizer rate) and three replications. The potash fertilizer (potassium sulfate) was applied at two levels of potassium: 0 and 100 mg K kg⁻¹. At the end of the vegetative period, corn plants were 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 correlation between plant indices and potassium extracted using different concentrations of NH₄OAc was calculated, and based on the results, the most suitable concentration for extracting available potassium by NH₄OAc was determined. The potassium critical level was determined using the Cate-



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jsw.2026.95838.1504>

Nelson graphical method for NH_4OAc extractants with concentrations of 1, 0.5, 0.25, and 0.1 molar.

Results and Discussion

The results showed the range of available potassium extracted using NH_4OAc extractants at concentrations of 1, 0.5, 0.25, and 0.1 molar was 157–581, 155–598, 160–596, and 168–590 mg kg^{-1} , respectively. Furthermore, the results showed that the differences among the mean values of potassium extracted at different concentrations of ammonium acetate were not statistically significant. The results of the analysis of variance showed that the main effects of soil type and potassium fertilizer were significant ($p < 0.01$) for dry matter weight, potassium concentration and uptake. However, the interaction between soil and fertilizer was not significant for dry matter weight. Based on the strong correlation between potassium extracted by NH_4OAc at concentrations of 1, 0.5, 0.25, and 0.1 molar and the relative yield and plant response indices, these concentrations can be considered suitable for use in these soils. By using the Cate-Nelson graphical method, the potassium critical level with concentrations of 1, 0.5, 0.25, and 0.1 molar was 250, 250, 255, and 250 mg kg^{-1} respectively.

Conclusion

The results showed that reducing the concentration of ammonium acetate does not affect the efficiency of this extractant. The results showed that the amounts of available potassium extracted with NH_4OAc at different concentrations were close to each other, with less than one percent difference. Commonly, NH_4OAc 1 M is used for extracting available potassium; however, our results show that lower concentrations of NH_4OAc (0.5, 0.25, and 0.1 M) can be effectively used as a substitute to the 1 M solution. Therefore, it is recommended to use 0.1 molar ammonium acetate for the extraction of available potassium. This substitution could result in a considerable reduction in chemical consumption.

Acknowledgements

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

Keywords: Ammonium acetate, Available potassium, Concentration, Corn

مطالعه غلظت استات آمونیوم بر پتاسیم عصاره‌گیری شده در تعدادی از خاک‌های آهکی

مرضیه براتی^{۱*} ID - علیرضا حسین‌پور^۱ ID - محمدحسن صالحی^۱ ID - اعظم جعفری^۲ ID

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۱

چکیده

یکی از رایج‌ترین عصاره‌گیرها در تعیین پتاسیم قابل استفاده خاک‌های آهکی، استات آمونیوم یک مولار است که به‌طور گسترده در آزمایشگاه‌های خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف این پژوهش، تأثیر غلظت‌های مختلف استات آمونیوم بر مقدار پتاسیم استخراج‌شده بود. تعداد ۳۰ نمونه خاک از خاک‌های کشاورزی (۳۰- سانتیمتر) دشت شهرکرد انتخاب شد. پتاسیم قابل استفاده خاک‌ها با استفاده از عصاره‌گیر استات آمونیوم با غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ مولار استخراج شد. آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور (نوع خاک و مقدار کود پتاسیم)، در ۳ تکرار انجام شد. پس از اتمام دوره رویشی، بخش هوایی ذرت برداشت و شاخص‌های گیاهی تعیین شد. نتایج نشان داد که غلظت‌های مختلف استات آمونیوم مقادیر مشابهی پتاسیم استخراج کردند و کاهش غلظت استات آمونیوم تأثیری بر مقدار پتاسیم قابل استفاده نداشت. دامنه تغییرات پتاسیم قابل استفاده در عصاره‌گیر استات آمونیوم با غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ مولار به‌ترتیب: ۵۸۱-۱۵۷، ۵۹۸-۱۵۵، ۵۹۶-۱۶۰ و ۵۹۰-۱۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. همچنین، نتایج نشان داد که اختلاف بین میانگین پتاسیم استخراج‌شده در غلظت‌های مختلف استات آمونیوم از نظر آماری معنی‌دار نبود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات خاک و کود پتاسیم در سطح یک درصد اثر معنی‌داری بر وزن خشک، غلظت و جذب پتاسیم گیاه ذرت داشت. علاوه بر این، همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r = 0.99$)، بین مقادیر پتاسیم استخراج‌شده با استفاده از غلظت‌های مختلف استات آمونیوم مشاهده شد. عصاره‌گیر استات آمونیوم با غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ مولار، همبستگی معنی‌داری با شاخص عملکرد نسبی و پاسخ گیاه، داشت. نتایج نشان داد که حد بحرانی پتاسیم به روش تصویری کیت-نلسون به‌ترتیب ۲۵۰، ۲۵۵، ۲۵۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ مولار عصاره‌گیر استات آمونیوم بودند. نتایج نشان داد که کاهش غلظت استات آمونیوم بر میزان پتاسیم استخراج‌شده و تعیین حد بحرانی تأثیری ندارد. لذا توصیه می‌شود جهت عصاره‌گیری پتاسیم قابل استفاده، استات آمونیوم ۰/۱ مولار استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: استات آمونیوم، پتاسیم قابل استفاده، ذرت

مقدمه

فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه مانند تنظیم فشار اسمزی، تعادل کاتیون-آنیون، سنتز پروتئین و فعال‌سازی آنزیم‌ها نقش دارد. از دیدگاه کشاورزی، پتاسیم در خاک عمدتاً به چهار شکل، شامل پتاسیم محلول، پتاسیم تبادلی، پتاسیم غیرتبادلی و پتاسیم ساختمانی وجود دارد. این اشکال در تعادل پویا با یکدیگر قرار دارند و این تعادل نقش مؤثری در فراهمی پتاسیم قابل استفاده برای گیاهان ایفا می‌کند (Lalitha & Dhakshinamoorthy, 2014). عوامل مختلفی بر قابلیت استفاده

آنالیز شیمیایی خاک برای برآورد میزان در دسترس بودن عناصر غذایی، یکی از مؤثرترین روش‌ها در مدیریت بهینه تغذیه گیاه است، که نه تنها در راهنمایی توصیه‌های کوددهی نقش دارد، بلکه به حفظ و بهبود پایداری خاک و کیفیت آب نیز کمک می‌کند (Ferrando et al., 2020). پتاسیم به عنوان هفتمین عنصر فراوان در پوسته زمین، یکی از عناصر ضروری جهت رشد گیاهان می‌باشد و در بسیاری از

۱- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
(*)- نویسنده مسئول: Email: marziehbarati99@yahoo.com

۲- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

پتاسیم در خاک تأثیر می‌گذارند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به اندازه ذرات خاک، نوع کانی‌های تشکیل‌دهنده خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، ظرفیت بافری خاک، رطوبت و دمای خاک و همچنین pH نیز اشاره کرد (Havlin et al., 2016). پتاسیم قابل استفاده را می‌توان از طریق مطالعات رشد گیاه که توانایی خاک در تأمین پتاسیم را ارزیابی می‌کنند، یا با استفاده از عصاره گیرهای شیمیایی که قدرت آزادسازی پتاسیم را تعیین می‌کنند، و یا با استفاده از ترکیبی از هر دو روش ارزیابی کرد. در این راستا، آزمون خاک به عنوان روش کاربردی، سریع و مقرون به صرفه، معیاری مناسب برای برآورد دقیق پتاسیم قابل جذب محسوب می‌شود و نقش مهمی در مدیریت کودهای پتاسیمی دارد. دستیابی به نتایج قابل اعتماد در آزمون خاک، مستلزم استفاده از یک عصاره گیر کارآمد و سازگار با انواع مختلف خاک است. عملکرد موفق یا ناموفق یک عصاره گیر در ارزیابی وضعیت پتاسیم خاک، به طور عمده، به نوع و مقدار شکل‌های مختلف پتاسیم موجود در کانی‌های خاک بستگی دارد. همبستگی میان پتاسیم استخراج شده توسط هر عصاره گیر و میزان جذب آن توسط گیاه، یکی از معیارهای اصلی در ارزیابی کارایی عصاره گیرها و انتخاب مناسب‌ترین روش برای برآورد پتاسیم قابل جذب گیاه محسوب می‌شود (Zarrabi & Jalali, 2008). با توجه به تأثیر نوع گیاه، شرایط اقلیمی و ترکیب کانی‌شناسی خاک بر میزان پتاسیم قابل استفاده، انتخاب عصاره گیر مناسب برای هر منطقه و با در نظر گرفتن نوع گیاه کشت شده، ضروری به نظر می‌رسد، اگرچه امکان تعمیم برخی از این روش‌ها به مناطق مشابه وجود دارد. در برخی مطالعات، عصاره گیرهای مختلف در یک نوع خاک و منطقه خاص بررسی و بهترین عصاره گیر برای آن شرایط معرفی شده است.

حسین‌پور و سماواتی (Hosseinpour & Samavati, 2008)، گزارش کردند که عصاره گیرهای مختلفی برای برآورد پتاسیم قابل استفاده در خاک به کار می‌روند از جمله می‌توان به: استات آمونیوم یک مولار، بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای، نیترات سدیم، نیترات آمونیوم، کلسیم کلرید، بری ۱، ۲ و ۳، مهلیج ۱، ۲ و ۳، بی‌کربنات سدیم و اسیدهای معدنی اشاره کرد.

عصاره گیر استات آمونیوم یک مولار خنثی، رایج‌ترین عصاره گیر برای تعیین پتاسیم قابل استفاده در خاک‌ها می‌باشد (Haby et al., 1990). این روش برای استخراج پتاسیم تبدلی بسیار کارآمد است، اما ممکن است دقت کافی برای اندازه‌گیری پتاسیم به راحتی قابل جذب توسط گیاه را نداشته باشد. در خاک‌هایی که دارای مقادیر بالایی از کانی‌های حاوی پتاسیم هستند، به دلیل وجود مکان‌های اختصاصی جذب پتاسیم، بخش زیادی از این عنصر با انرژی بالا در این مکان‌ها نگهداری می‌شود و در زمان عصاره‌گیری با استات آمونیوم، بخشی از آن استخراج می‌شود. این مسئله می‌تواند یکی از دلایل همبستگی ضعیف بین پتاسیم استخراج شده با استات آمونیوم و پاسخ گیاه به کود

پتاسیم در چنین خاک‌هایی باشد. (Havlin et al., 2016). آموریوم و همکاران (Amorim et al., 2021)، چهار عصاره گیر، شامل: استات آمونیوم یک مولار، مهلیج ۱، مهلیج ۳ و کلرید آمونیوم یک مولار را برای ارزیابی عصاره گیر مناسب پتاسیم قابل دسترس ذرت در برخی خاک‌های برزیل بررسی کردند. نتایج نشان داد که مهلیج ۱ بیشترین همبستگی را با شاخص‌های رشد ذرت داشت و پتاسیم قابل دسترس بیشتری را برای این گیاه استخراج نمود. فتحی و همکاران (Fathi et al., 2014)، به ارزیابی عصاره گیرهای مختلف، شامل: استات آمونیوم یک مولار، استات سدیم یک مولار، سدیم کلرید یک مولار، باریم کلرید ۰/۱ مولار، اسید نیتریک ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۱ مولار برای تعیین پتاسیم قابل استفاده ذرت در خاک‌های آهکی استان کردستان پرداختند و گزارش نمودند که عصاره گیر استات آمونیوم ۱ مولار با ضریب همبستگی $r = 0.84$ ($P \leq 0.01$) رابطه معناداری با جذب پتاسیم توسط ذرت دارد و به دلیل سادگی، هزینه پایین و عملکرد مناسب، به عنوان عصاره‌گیری مناسب برای پیش‌بینی پتاسیم قابل استفاده ذرت در این خاک‌ها معرفی شد.

پس از انتخاب عصاره گیر مناسب، تعیین حد بحرانی پتاسیم در خاک به منظور ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاه و پیش‌بینی پاسخ گیاه به مقادیر مختلف پتاسیم، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. (Black, 2013). اعداد متفاوتی برای حدود بحرانی پتاسیم در خاک‌های آهکی در مطالعات گلخانه‌ای و مزرعه‌ای گزارش شده است. به منظور تعیین حد بحرانی روش‌های مختلفی، از جمله: روش میچرلیخ-بری (Bray, 1958)، روش ترتیب ستونی پاسخ گیاه (Havlin & Soltanpour, 1982)، روش تصویری کیت-نلسون (Cate & Nelson, 1965) و روش تجزیه واریانس کیت-نلسون (Cate & Nelson, 1971) استفاده می‌شود. حد بحرانی پتاسیم در خاک‌ها، با توجه به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، نوع عصاره گیر به کار رفته و نوع گیاه کشت شده متفاوت می‌باشد. نظری و همکاران (Nazari et al., 2021)، حد بحرانی پتاسیم با عصاره گیر استات آمونیوم یک نرمال را به روش تصویری کیت-نلسون در ۹۰ درصد عملکرد نسبی در گیاه کینوا، ۲۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند. منا و همکاران (Meena et al., 2015)، در یک آزمایش کشت گلدانی با استفاده از خاک‌های دارای سطوح مختلف پتاسیم از ۱۸ منطقه در ایالت مهاراشترا هند، حد بحرانی پتاسیم برای گیاه سورگوم را با استفاده از عصاره گیر استات آمونیوم یک نرمال و روش تصویری کیت-نلسون، ۵۲۷ کیلوگرم در هکتار گزارش نمودند.

در اغلب مطالعات، از عصاره گیر استات آمونیوم با غلظت ۱ مولار برای استخراج پتاسیم استفاده شده است. با این حال، تأثیر غلظت‌های کمتر این عصاره گیر تاکنون بررسی نشده است. بنابراین، هدف از این پژوهش، ارزیابی کارایی عصاره گیر استات آمونیوم در چهار غلظت مختلف (۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ مولار) و انتخاب عصاره گیر مناسب

می‌باشد، همچنین، مقایسه مقادیر پتاسیم استخراج‌شده به‌منظور تعیین پتاسیم قابل استفاده و برآورد حد بحرانی پتاسیم برای گیاه ذرت در تعدادی از خاک‌های آهکی در شرایط گلخانه‌ای بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور مطالعه اثر غلظت استات آمونیوم در استخراج پتاسیم قابل استفاده ذرت، 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 شد. براساس میانگین مقادیر پتاسیم استخراج شده، ۳۰ نمونه خاک (شکل ۱)، که حاوی مقادیر مختلف پتاسیم بودند، انتخاب شدند. 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 ۷= pH (Sumner & Miller, 1996)، اندازه‌گیری شد. همچنین، پتاسیم محلول خاک توسط آب مقطر با نسبت ۱ به ۵ خاک به آب، پتاسیم قابل استفاده خاک‌ها تحت شرایط یکسان با عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال (Knudsen et al., 1982)، استات آمونیوم ۰/۵ مولار (Shokri Vahed, 2018) استات آمونیوم ۰/۲۵ مولار (Ahrari et al., 2017) و استات آمونیوم ۰/۱ مولار (Shokri Vahed, 2018)، عصاره‌گیری شدند.

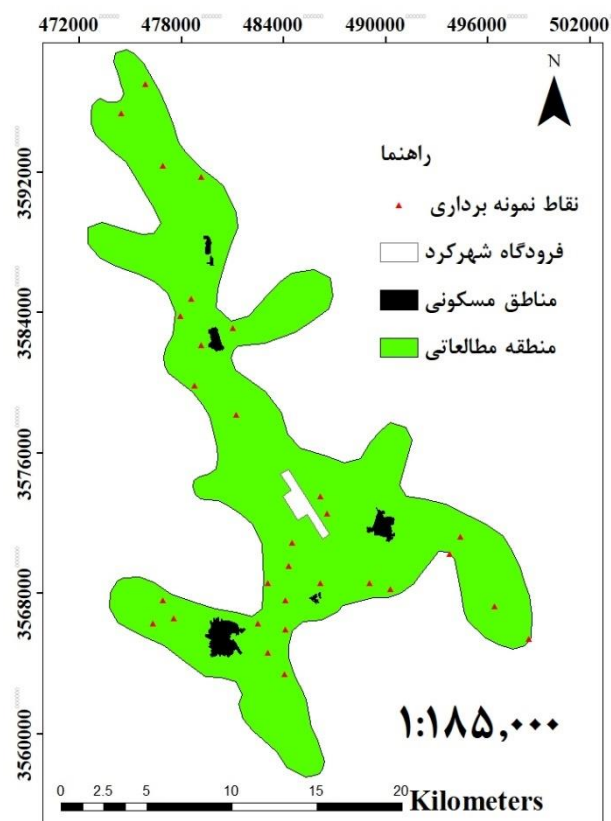
آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳۰ نمونه خاک با دو سطح پتاسیم (مقدار صفر و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم از منبع سولفات پتاسیم) در سه تکرار در گلخانه انجام شد. به همین منظور، بذر ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴، در گلدان‌هایی با هفت کیلوگرم خاک کشت شد. برای کشت گیاه، بذرهای ذرت با محلول قارچ‌کش بنومیل ضدعفونی شده و تعداد پنج بذر در هر گلدان کشت شد. بعد از جوانه‌زنی، تعداد بذرها به دو عدد در هر گلدان کاهش داده شد. بر اساس نتایج آزمون خاک، مقادیر ۵۰، ۱۰ و ۵ میلی‌گرم بر

کیلوگرم فسفر، آهن و روی به‌صورت کودهای مونوکلسیم دی‌هیدروژن فسفات، سکوسترین ۱۳۸ آهن و سولفات روی به هر گلدان اضافه شد. همچنین، مقدار ۱۵۰ میلی‌گرم 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 به‌صورت نسبتاً کنترل‌شده نگهداشته شد، به‌طوری‌که دمای روز در محدوده ۲۳ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد، دمای شب بین ۱۷ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد، 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 شدند. سپس، به‌مدت 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 فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شد (Waling et al., 1989). همچنین، تفاوت ماده خشک گیاه در تیمارهای کود داده شده و کود داده نشده به عنوان پاسخ گیاه ($\Delta Y_{\max}$) و جذب پتاسیم و عملکرد نسبی با استفاده از معادله‌های ۱ و ۲، محاسبه شد.

$$(۱) \quad \text{غلظت پتاسیم در گیاه} \times \text{عملکرد گیاه} = \text{جذب پتاسیم}$$

$$(۲) \quad ۱۰۰ * \frac{\text{عملکرد در تیمار شاهد}}{\text{عملکرد در تیمار کود داده شده}} = \text{عملکرد نسبی (درصد)}$$

غلظت‌های مختلف عصاره‌گیر با مقایسه میانگین پتاسیم قابل استفاده حاصل از هر غلظت و با استفاده از تحلیل واریانس یک‌طرفه و آزمون دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند. به‌منظور 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. به منظور بررسی ارتباط غلظت‌های مختلف استات آمونیوم با یکدیگر، ضرایب همبستگی پیرسون بین مقادیر پتاسیم استخراجی در غلظت‌های مختلف استات آمونیوم تعیین شد. سپس، حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده خاک‌ها در غلظت‌های مناسب عصاره‌گیر استات آمونیوم، با روش تصویری کیت-نلسون انجام شد.



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه برداری خاکهای مورد مطالعه در دشت شهرکرد
Figure 1- Location of the study area map and soil sampling points in the Shahrekord plain

نتایج و بحث

نتایج برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه شده در جدول ۱، 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 سانتی مول‌بار بر کیلوگرم و بافت خاک‌ها متوسط تا سنگین بودند. مقادیر پتاسیم عصاره‌گیری شده در خاک‌های مطالعاتی در عصاره‌گیر استات آمونیوم با غلظت‌های ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱ مولار، در جدول ۲ نشان داده شده است. دامنه تغییرات پتاسیم قابل استفاده در عصاره‌گیر استات آمونیوم با غلظت‌های ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱ مولار به‌ترتیب: ۵۸۱-۱۵۷، ۵۹۸-۱۵۵، ۵۹۶-۱۶۰ و ۵۹۰-۱۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار پتاسیم قابل استفاده در غلظت یک نرمال استات آمونیوم با میانگین ۳۴۱/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین مقدار پتاسیم قابل استفاده در غلظت ۰/۱ نرمال استات آمونیوم با میانگین ۳۳۸/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

روش تصویری کیت-نلسون

کیت-نلسون (Cate & Nelson, 1965)، این روش را به‌منظور گروه‌بندی مقادیر عناصر غذایی خاک به دو دسته کم و زیاد، طراحی نمودند. در این روش خاک‌ها به خاک‌هایی که احتمال پاسخ به مصرف کود در آنها اندک و خاک‌هایی که احتمال پاسخ به مصرف کود در آنها زیاد می‌باشد، تقسیم می‌شوند. در این روش، محور X ، میزان عنصر غذایی عصاره‌گیری شده از خاک و محور Y ، درصد عملکرد نسبی می‌باشد. در این نمودار، محل تلاقی عنصر غذایی عصاره‌گیری شده از خاک با نتایج درصد عملکرد نسبی نقطه‌گذاری می‌شود. خط عمود بر محور Y ها، از ۹۰ درصد عملکرد نسبی ترسیم خواهد شد. سپس، خط عمود بر محور X ها، به‌گونه‌ای ترسیم می‌شود که نمودار پراکنش نقاط به چهار قسمت تقسیم و بیشترین نقاط در ربع‌های دوم و چهارم قرار گیرد. محل تلاقی خط عمود بر محور X ، حد بحرانی عنصر غذایی در خاک در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

Table 1- Some physical and chemical properties of the studied soil

شماره خاک	pH 1:2	EC 1:2	بافت خاک	رس	سیلت	شن	ماده آلی	کربنات کلسیم معادل	ظرفیت تبادل کاتیونی
Soil number		(dS m ⁻¹)	Soil texture	Clay	Silt	Sand	Organic matter %	Calcium carbonate equivalent	Cation exchange capacity (Cmol _c kg ⁻¹)
1	7.8	0.35	C.L	27.4	24.0	48.6	0.90	38.5	21.2
2	7.8	0.32	C.L	27.4	29.0	43.6	0.78	40.5	17.1
3	8.0	0.32	C.L	25.4	26.0	48.6	0.65	23.5	21.3
4	8.0	0.32	S.C.L	23.4	26.0	50.6	0.40	34.0	15.3
5	7.9	0.33	C.L	37.4	18.0	44.6	0.45	35.0	25.0
6	8.1	0.32	S.L	19.4	16.0	64.6	0.32	46.0	15.0
7	7.9	0.31	S.L	17.4	16.0	66.6	0.23	33.5	20.0
8	7.8	0.37	S.L	17.4	20.0	62.6	0.82	43.0	18.0
9	8.0	0.31	C	41.4	28.0	30.6	0.51	38.0	23.7
10	8.0	0.35	C.L	23.4	38.0	38.6	1.30	33.0	19.1
11	8.0	0.35	C	43.4	34.0	22.6	0.97	29.0	21.0
12	8.0	0.35	C.L	35.4	38.0	26.6	1.28	26.5	20.3
13	8.1	0.31	C.L	27.4	30.0	42.6	0.59	44.5	17.0
14	8.2	0.36	C.L	35.4	36.0	28.6	1.05	45.0	18.5
15	8.1	0.35	C.L	33.4	40.0	26.6	1.66	43.0	23.2
16	8.1	0.31	S.C.L	25.4	30.0	44.6	0.71	44.5	19.0
17	8.0	0.33	C.L	29.4	42.0	28.6	0.83	20.0	21.7
18	8.2	0.37	C.L	27.4	32.0	40.6	1.53	39.5	19.1
19	8.0	0.42	C.L	29.4	38.0	32.6	0.88	25.0	15.5
20	8.2	0.35	C.L	31.4	32.0	36.6	1.43	38.0	19.5
21	7.9	0.34	C.L	29.4	28.0	42.6	1.33	24.0	21.7
22	8.0	0.33	C	47.4	28.0	24.6	0.72	36.0	21.1
23	8.0	0.31	S.C.L	31.4	12.0	56.6	0.41	44.5	18.0
24	8.0	0.33	C	47.4	26.0	26.6	0.55	38.5	18.4
25	8.1	0.33	C	43.4	20.0	36.6	0.70	29.5	21.7
26	8.2	0.30	C	43.4	22.0	34.6	0.50	34.0	21.7
27	7.8	0.31	C.L	33.4	22.0	44.6	0.83	23.5	23.0
28	7.7	0.33	S.L	19.4	16.0	64.6	0.48	20.0	22.3
29	8.1	0.31	C	41.4	32.0	26.6	0.90	26.5	24.8
30	8.1	0.32	C	41.4	32.0	26.6	0.68	30.0	21.4
میانگین Mean	0.8	0.33		33.0	28.0	39.0	0.83	34.4	20.0

لومی شنی، لومی رسی شنی، لومی رسی، رسی

SL: Sandy Loam ,SCL: Sandy Clay Loam ,CL: Clay Loam ,C: Clay

داد که بین میانگین مقادیر پتاسیم قابل استفاده حاصل از غلظت‌های مختلف استات آمونیوم اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بازرگان و همکاران (Bazargan et al., 2022)، دامنه تغییرات مقدار پتاسیم قابل

نتایج نشان داد که مقادیر پتاسیم قابل استفاده عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم با غلظت‌های مختلف به یکدیگر نزدیک بود و کمتر از یک درصد تفاوت داشت. همچنین، نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان

استخراج شده در عصاره‌گیر استات آمونیوم با غلظت‌های ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱ مولار در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که اختلاف بین میانگین پتاسیم استخراج‌شده در غلظت‌های مختلف استات آمونیوم از نظر آماری معنی‌دار نبود، که بیانگر توان مشابه استخراج عصاره‌گیر در غلظت‌های مورد بررسی است. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر غلظت غیرمعنی‌دار، اثر نوع خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار و اثر متقابل غلظت و خاک نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. این نتایج نشان می‌دهد که هرچند بین غلظت‌های مختلف استات آمونیوم تفاوت کلی وجود ندارد، اما خاک‌ها از نظر مقدار پتاسیم استخراج‌شده با یکدیگر تفاوت دارند و واکنش آن‌ها به تغییر غلظت عصاره‌گیر یکسان نیست.

استفاده در خاک‌های استان فارس با عصاره‌گیر استات آمونیوم با غلظت‌های ۱ و ۰/۱ نرمال را به ترتیب ۱۵۲ تا ۸۰۰ با میانگین ۳۱۹ و ۱۷۲ تا ۶۵۰ با میانگین ۳۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نمودند. شکری واحد (Shokri Vahed, 2018)، دامنه تغییرات مقدار پتاسیم قابل استفاده در خاک‌های شالیزاری را با عصاره‌گیر استات آمونیوم با غلظت‌های ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱ به ترتیب ۹۱ تا ۳۷۳، ۵۸ تا ۳۲۱، ۵۴ تا ۳۰۵ و ۴۵ تا ۲۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نمود. احراری و همکاران (Ahrari et al., 2017)، دامنه تغییرات مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک با عصاره‌گیر استات آمونیوم در غلظت‌های ۱ و ۰/۲۵ نرمال را به ترتیب ۵۲/۴ تا ۹۲۱/۹ با میانگین ۲۳۱/۱ و ۵۲/۳ تا ۹۳۷/۸ با میانگین ۲۲۳/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نمودند.

نتایج تجزیه واریانس اثر نوع عصاره‌گیر و خاک بر مقدار پتاسیم

جدول ۲- مقادیر پتاسیم قابل استفاده خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در عصاره‌گیر استات آمونیوم با غلظت‌های مختلف

Table 2- Available potassium concentrations in soil (mg kg^{-1}) extracted using NH_4OAc at different concentrations

شماره خاک Soil number	استات آمونیوم ۱ نرمال NH_4OAc 1 N	استات آمونیوم ۰/۵ نرمال NH_4OAc 0.5 N	استات آمونیوم ۰/۲۵ نرمال NH_4OAc 0.25 N	استات آمونیوم ۰/۱ نرمال NH_4OAc 0.1 N
1	301	302	304	308
2	352	350	323	341
3	206	208	209	216
4	272	274	276	280
5	195	205	207	190
6	310	299	297	303
7	242	237	230	262
8	168	160	155	157
9	285	282	281	288
10	338	334	330	330
11	311	308	290	290
12	295	291	290	283
13	187	184	177	171
14	230	229	228	227
15	377	377	379	382
16	332	334	329	334
17	456	459	474	471
18	324	324	318	309
19	390	393	405	400
20	324	324	327	308
21	590	596	598	581
22	218	224	226	220
23	184	189	190	202
24	283	311	314	320
25	258	270	269	283
26	250	245	248	238
27	251	249	251	247
28	403	359	358	356
29	308	306	303	300
30	343	341	340	305
Mean میانگین	299.43 ^a	298.80 ^a	297.53 ^a	296.73 ^a

حروف مشابه بیانگر نبود اختلاف بین میانگین تیمارهاست.

Similar letters indicate no significant difference among the treatment means.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر غلظت و خاک بر مقدار پتاسیم استخراج شده با استات آمونیوم

Table 3- Analysis of variance for the effect of ammonium acetate concentration and soil type on the amount of extracted potassium

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات مقدار پتاسیم استخراج شده Mean square of extracted potassium content
اثر غلظت Concentration effect	3	135 ^{ns}
خاک Soil	29	92744 ^{**}
اثر غلظت × خاک Concentration effect × Soil	87	246 ^{**}
خطا Error	240	1

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

^{ns}: non significant and ^{**}: Significant at the 1% level of probability

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس ماده خشک ذرت و غلظت و جذب پتاسیم در تیمارهای نوع خاک و مقدار پتاسیم

Table 4- Analysis of variance results for maize dry matter, potassium concentration, and potassium uptake as affected by soil type and potassium application rate treatments

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of Square		
		عملکرد ماده خشک Dry matter	غلظت پتاسیم Potassium concentration	جذب پتاسیم Potassium uptake
نوع خاک Soil type	29	26.17 ^{**}	1.45 ^{**}	0.074 ^{**}
مقدار پتاسیم Potassium content	1	38.34 ^{**}	44.55 ^{**}	0.878 ^{**}
نوع خاک × مقدار پتاسیم Soil type × Potassium content	29	2.84 ^{ns}	0.535 ^{**}	0.013 ^{**}
خطا Error	120	3.84 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.007 ^{ns}
ضریب تغییرات Coefficient of Variation		26.4	18.7	35.0

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

^{**}: Significant at the 1% level of probability and ^{ns}: non significant

جدول ۵- همبستگی بین مقادیر پتاسیم عصاره‌گیری شده در غلظت‌های مختلف استات آمونیوم

Table 5- Coefficient of correlations between potassium extracted by NH₄OAc at different concentrations

عصاره‌گیر Extractant	استات آمونیوم ۰/۲۵ + مولار NH ₄ OAc 0.25 N	استات آمونیوم ۰/۵ + مولار NH ₄ OAc 0.5 N	استات آمونیوم ۱ + مولار NH ₄ OAc 1 N
استات آمونیوم ۰/۱ + مولار NH ₄ OAc 0.1N	0.99 ^{**}	0.99 ^{**}	0.99 ^{**}
استات آمونیوم ۰/۲۵ + مولار NH ₄ OAc 0.25N		0.99 ^{**}	0.99 ^{**}
استات آمونیوم ۰/۵ + مولار NH ₄ OAc 0.5N			0.99 ^{**}

^{**}: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

^{**}: Significant at the 1% level of probability

تغییر لزوماً به افزایش ماده خشک منجر نمی‌شود، که احتمالاً به دلیل محدودیت‌های دیگر خاکی یا آستانه پاسخ گیاه به پتاسیم در شرایط آزمایش است. خودشناس و همکاران (Khodshenas et al., 2021)، گزارش نمودند که تأثیر برهمکنش خاک و کود در سطح ۵ درصد بر غلظت پتاسیم گیاه معنی‌دار و بر عملکرد ماده خشک و جذب کل پتاسیم معنی‌دار نبود. نتایج نشان می‌دهد که پتاسیم جذب‌شده در این شرایط، عمدتاً در بافت‌های گیاهی انباشته می‌شود، بدون آن که لزوماً به بهبود عملکرد ماده خشک منجر گردد.

نتایج تجزیه واریانس آزمایش فاکتوریل در جدول ۴ 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. همچنین، اثر متقابل نوع خاک و میزان مصرف پتاسیم بر عملکرد ماده خشک ذرت غیرمعنی‌دار، اما بر غلظت و جذب پتاسیم معنی‌دار بود. این نتایج نشان می‌دهد که اگرچه غلظت و جذب پتاسیم در نتیجه‌ی تعامل نوع خاک و میزان مصرف آن تغییر می‌کند، اما این

جدول ۶- اثر مصرف کود پتاسیمی بر پارامترهای گیاهی
Table 6- Effects of potassium fertilizer on plant parameters

شماره خاک Soil Number	پاسخ گیاه Plant response (g pot ⁻¹)	عملکرد نسبی Relative yield %	جذب کل پتاسیم Potassium uptake (mg pot ⁻¹)		غلظت پتاسیم Potassium concentration %		عملکرد ماده خشک Dry Matter (g pot ⁻¹)	
			سطوح پتاسیم مصرفی Potassium application levels (mg kg ⁻¹)					
			100	0	100	0	100	0
1	-0.92	109.20	460.99 ^a	438.94 ^a	4.61 ^b	4.02 ^a	10.0 ^a	10.92 ^a
2	2.27	83.57	620.04 ^b	314.60 ^a	4.49 ^b	2.72 ^a	13.81 ^b	11.54 ^a
3	0.98	88.62	343.81 ^b	204.66 ^a	4.0 ^b	2.68 ^a	8.60 ^b	7.62 ^a
4	-0.67	107.50	501.56 ^a	439.19 ^a	5.58 ^b	4.55 ^a	8.98 ^a	9.65 ^a
5	3.38	70.21	565.09 ^b	308.15 ^a	4.98 ^a	3.87 ^a	11.33 ^b	7.95 ^a
6	0.51	95.23	419.58 ^b	254.22 ^a	3.94 ^b	2.51 ^a	10.64 ^a	10.13 ^a
7	2.07	77.22	403.28 ^a	260.89 ^a	4.43 ^b	3.71 ^a	9.10 ^b	7.03 ^a
8	1.94	85.38	606.80 ^a	479.73 ^a	4.56 ^a	4.22 ^a	13.30 ^b	11.35 ^a
9	3.66	125.77	947.29 ^b	553.18 ^a	5.30 ^b	3.89 ^a	14.20 ^b	17.86 ^a
10	0.67	94.80	594.14 ^b	441.06 ^a	4.61 ^b	3.61 ^a	12.87 ^a	12.20 ^a
11	0.11	98.88	496.84 ^b	338.77 ^a	4.91 ^b	3.38 ^a	10.11 ^a	10.0 ^a
12	-0.24	102.54	399.97 ^a	340.65 ^a	4.25 ^b	3.53 ^a	9.42 ^a	9.66 ^a
13	0.47	94.48	446.01 ^b	258.71 ^a	5.23 ^b	3.21 ^a	8.53 ^a	8.06 ^a
14	0.06	99.59	646.45 ^a	593.72 ^a	4.45 ^b	4.10 ^a	14.51 ^a	14.45 ^a
15	-1.33	117.75	315.40 ^a	296.64 ^a	4.22 ^b	3.37 ^a	7.47 ^a	8.79 ^a
16	2.22	85.88	808.54 ^b	507.46 ^a	5.13 ^b	3.75 ^a	15.75 ^b	13.52 ^a
17	0.20	102.07	422.57 ^a	392.23 ^a	4.28 ^a	4.06 ^a	9.66 ^a	9.86 ^a
18	2.49	84.0	832.06 ^b	602.12 ^a	5.35 ^b	4.61 ^a	15.55 ^b	13.06 ^a
19	0.38	94.92	300.19 ^a	178.17 ^a	4.05 ^b	2.53 ^a	7.42 ^a	7.04 ^a
20	0.55	92.74	361.87 ^a	299.41 ^a	4.74 ^b	4.23 ^a	7.63 ^a	7.08 ^a
21	0.08	99.37	528.38 ^a	503.42 ^a	4.42 ^a	4.24 ^a	11.95 ^a	11.88 ^a
22	0.82	91.25	553.86 ^b	263.93 ^a	5.94 ^b	3.10 ^a	9.32 ^a	8.51 ^a
23	1.51	86.48	545.82 ^a	423.10 ^a	4.89 ^a	4.38 ^a	11.16 ^b	9.65 ^a
24	1.08	91.03	616.73 ^b	508.99 ^a	5.11 ^b	4.63 ^a	12.08 ^a	11.0 ^a
25	2.20	83.42	638.15 ^b	466.27 ^a	4.82 ^b	4.22 ^a	13.24 ^b	11.05 ^a
26	2.66	78.98	671.45 ^b	411.67 ^a	5.31 ^b	4.12 ^a	12.65 ^b	9.99 ^a
27	2.22	81.84	522.92 ^b	278.79 ^a	4.27 ^b	2.78 ^a	12.23 ^b	10.01 ^a
28	-1.27	114.93	392.41 ^a	390.27 ^a	4.60 ^b	3.98 ^a	8.53 ^a	9.80 ^a
29	0.62	94.97	528.64 ^b	391.66 ^a	4.27 ^b	3.33 ^a	12.36 ^a	11.74 ^a
30	-0.93	109.60	487.89 ^a	486.22 ^a	5.06 ^b	4.60 ^a	9.64 ^a	10.57 ^a
میانگین Mean	0.93	94.74	532.62 ^b	387.56 ^a	4.73 ^b	3.73 ^a	11.06 ^b	10.40 ^a

حروف مشابه بیانگر نبود اختلاف بین میانگین تیمارها در هر ردیف است.

Similar letters indicate that there is no significant difference among the treatment means within each row.

۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ مولار محاسبه شد (جدول ۵). همان طور که نتایج نشان می‌دهد، همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد

به‌منظور بررسی ارتباط بین غلظت‌های مختلف استات آمونیوم، ضرایب همبستگی بین مقادیر پتاسیم استخراج شده در غلظت‌های

وجود دارد. احراری و همکاران (Ahrari et al., 2017)، نیز ضریب همبستگی بسیار بالا ($r = 0.999$)، بین پتاسیم قابل استفاده استخراج‌شده با غلظت‌های ۱ و ۰/۲۵ مولار استات آمونیوم را در سطح یک درصد گزارش نمودند که تأییدکننده نتایج حاضر است. به‌منظور ارزیابی تأثیر مصرف پتاسیم بر عملکرد ماده خشک، غلظت و جذب پتاسیم از آمون دانکن استفاده شد که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که هر چند تیمار پتاسیم تنها در ۱۲ نمونه خاک باعث افزایش ماده خشک در سطح احتمال ۵ درصد شده، اما جذب و غلظت پتاسیم را در بیشتر خاک‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش داده است.

انتخاب عصاره‌گیر مناسب برای استخراج پتاسیم قابل استفاده خاک بر مبنای بررسی همبستگی بین پتاسیم استخراج شده توسط عصاره‌گیر با شاخص‌های گیاهی می‌باشد (Hosseinpour & Samavati, 2008). برهمین اساس، ارتباط بین پتاسیم استخراج شده در غلظت‌های مختلف استات آمونیوم با شاخص‌های گیاه ذرت در جدول ۷ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که عصاره‌گیر استات آمونیوم با غلظت‌های مختلف با پاسخ گیاه همبستگی منفی و معنی‌دار و با عملکرد نسبی همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. اما بین پتاسیم استخراج شده با عملکرد ماده خشک، غلظت و جذب پتاسیم همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد. بنابراین، می‌توان غلظت‌های مختلف استات آمونیوم را به‌عنوان عصاره‌گیر مناسب برای ارزیابی پتاسیم قابل جذب در این خاک‌ها در نظر گرفت. فتحی و همکاران (Fathi et al., 2014)، عصاره‌گیر استات آمونیوم یک مولار را به عنوان عصاره‌گیر مناسب برای پیش‌بینی پتاسیم قابل استفاده ذرت در خاک‌های آهکی استان کردستان معرفی کردند. بارونی و همکاران

(Barooni et al., 2017)، عصاره‌گیر استات آمونیوم یک مولار را، عصاره‌گیر مناسب جهت استخراج پتاسیم قابل جذب برنج در برخی از خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد دانستند. شکری واحد (Shokri Vahed, 2018)، گزارش کرد که بین غلظت‌های مختلف عصاره‌گیر استات آمونیوم (۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۱ و ۰/۱) و جذب و غلظت پتاسیم در گیاه برنج، همبستگی بالایی وجود دارد که این امر استفاده از آن را به‌عنوان شاخص مفید برای ارزیابی پتاسیم قابل استفاده در خاک تأیید می‌کند.

شکل‌های ۲ تا ۵ حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده برای دستیابی به ۹۰ درصد عملکرد نسبی ذرت را به روش تصویری کیت-نلسون در عصاره‌گیر استات آمونیوم با غلظت‌های مختلف نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که حد بحرانی پتاسیم به روش تصویری کیت-نلسون در عصاره‌گیر استات آمونیوم ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ مولار، به‌ترتیب؛ ۲۵۰، ۲۵۵، ۲۵۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. این نتایج نشان می‌دهد که با وجود تفاوت در غلظت عصاره‌گیر استات آمونیوم، حد بحرانی پتاسیم تقریباً ثابت بوده و تفاوت قابل توجهی نداشته است. شکری واحد (Shokri Vahed, 2018)، حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده به روش تصویری کیت-نلسون را، در خاک‌های شالیزاری با عصاره‌گیر استات آمونیوم با غلظت ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ مولار، به‌ترتیب؛ ۱۰۵، ۱۰۹، ۱۱۹ و ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نمود. براین اساس، در خاک‌هایی با شرایط مشابه استفاده از عصاره‌گیر استات آمونیوم با غلظت ۰/۱، ۰/۲۵ و ۰/۵ مولار می‌تواند جایگزین مناسبی برای غلظت ۱ مولار استات آمونیوم در استخراج پتاسیم از خاک باشد.

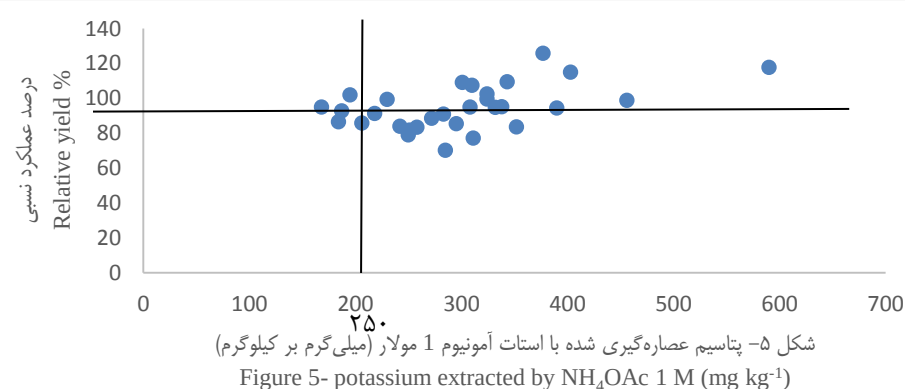
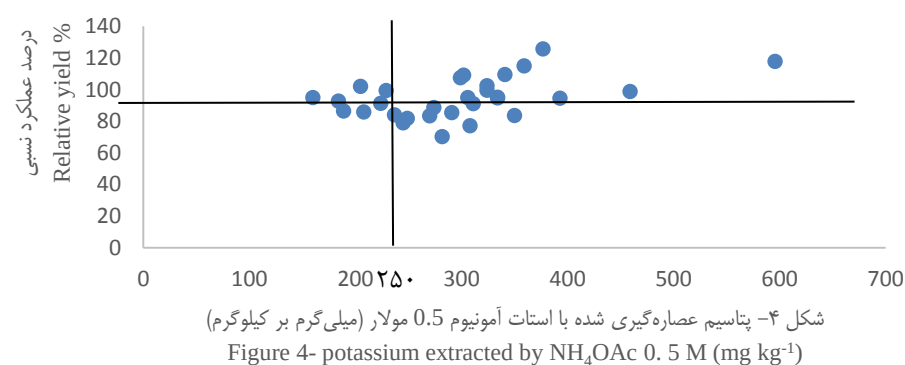
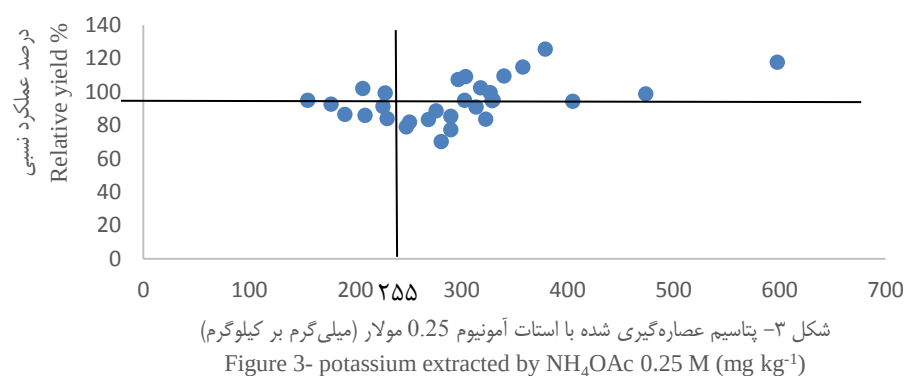
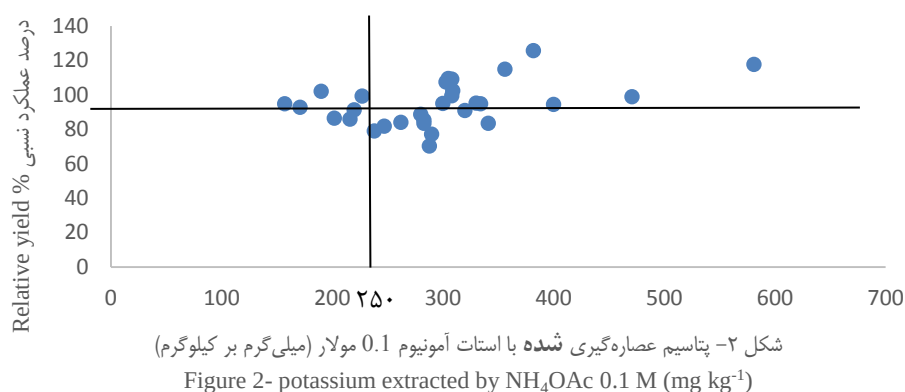
جدول ۷- همبستگی بین مقادیر پتاسیم عصاره‌گیری شده در غلظت‌های مختلف استات آمونیوم با شاخص‌های گیاهی

 Table 7- Coefficient of correlations between potassium extracted by NH_4OAc at different concentrations and plant indices

عملکرد ماده خشک	غلظت پتاسیم	جذب کل پتاسیم	پاسخ گیاه	عملکرد نسبی	غلظت استات آمونیوم
Dry matter	Potassium concentration	Potassium uptake	Plant response	Relative yield	Concentrations of NH_4OAc
0.22 ^{ns}	0.26 ^{ns}	0.27 ^{ns}	-0.48 ^{**}	0.52 ^{**}	استات آمونیوم ۰/۱ مولار NH_4OAc 0.1 N
0.26 ^{ns}	0.28 ^{ns}	0.30 ^{ns}	-0.54 ^{**}	0.59 ^{**}	استات آمونیوم ۰/۲۵ مولار NH_4OAc 0.25 N
0.25 ^{ns}	0.28 ^{ns}	0.30 ^{ns}	-0.55 ^{**}	0.61 ^{**}	استات آمونیوم ۰/۵ مولار NH_4OAc 0.5 N
0.22 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.25 ^{ns}	-0.62 ^{**}	0.67 ^{**}	استات آمونیوم ۱ مولار NH_4OAc 1 N

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

** : Significant at the 1% level of probability and ^{ns} : non significant



یکدیگر تفاوت دارند و واکنش آن‌ها به تغییر غلظت عصاره‌گیر یکسان نیست. 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. مقدار پتاسیم استخراج شده با عصاره‌گیر استات آمونیوم در این غلظت‌ها، همبستگی معنی‌داری با عملکرد نسبی و پاسخ گیاه داشت، اما با سایر شاخص‌ها همبستگی نداشت. همچنین، نتایج نشان داد که عصاره‌گیر استات آمونیوم با غلظت‌های مختلف احتمالاً می‌تواند به عنوان عصاره‌گیر مناسب در خاک‌های آهکی باشد. حد بحرانی پتاسیم با روش تصویری کیت-نلسون در عصاره‌گیر استات آمونیوم با غلظت‌های مختلف (۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱)، به ترتیب، ۲۵۰، ۲۵۵، ۲۵۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. معمولاً از محلول استات آمونیوم ۱ مولار برای عصاره‌گیری پتاسیم قابل استفاده بهره گرفته می‌شود، نتایج این پژوهش نشان داد که امکان استفاده از محلول استات آمونیوم با غلظت پایین‌تر (۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱ مولار) به جای محلول ۱ مولار وجود دارد که این امر منجر به صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف مواد شیمیایی می‌شود. لذا توصیه می‌شود از استات آمونیوم ۰/۱ مولار، برای عصاره‌گیری پتاسیم خاک‌ها استفاده شود.

دردی‌پور و فرشادی‌راد (Dordipoor & Farshadyrad, 2009)، در مطالعه‌ای بر روی خاک‌های لسی استان گلستان، حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده گندم به روش تصویری کیت-نلسون با عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ مولار را ۲۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش نمود. مونی‌شوار ساین و همکاران (Muneshwar Singh et al., 2019)، حد بحرانی پتاسیم با عصاره‌گیر استات آمونیوم یک مولار به روش تصویری کیت-نلسون در خاک‌های ورتی‌سول با سیستم‌های زراعی مختلف، ۳۳۵ کیلوگرم پتاسیم در هکتار گزارش نمودند. سان‌دانا و همکاران (Sandana et al., 2020)، در مطالعه‌ای که در مؤسسه تحقیقات کشاورزی در جنوب شیلی انجام شده بود، حد بحرانی پتاسیم تبادل‌ی سبب‌زمینی به روش تصویری کیت-نلسون را با عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ مولار، ۲۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که عصاره‌گیر استات آمونیوم با غلظت‌های مختلف (۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱)، مقدار مشابهی پتاسیم استخراج می‌کند. نتایج تجزیه واریانس یک طرفه اثر نوع عصاره‌گیر و خاک بر مقدار پتاسیم استخراج شده نشان داد که بین غلظت‌های مختلف استات آمونیوم تفاوت وجود ندارد، اما خاک‌ها از نظر مقدار پتاسیم استخراج شده با

References

- Amorim, M.B., Rogeri, D.A., & Gianello, C. (2021). Potassium available to corn plants extracted by ammonium acetate, ammonium chloride, Mehlich-1 and Mehlich-3 solutions in southern Brazilian soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(15), 1790-1797. <https://doi.org/10.1080/00103624.2021.1892736>
- Ahrari, M., Owliaie, H.R., Adhami, E., & Ghiri, M.N. (2017). Study of potassium status and evaluating chemical extractants for estimating available K in some soils of olive orchards of Fars province. *Journal of Water and Soil*, 31(3), 835-845. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jsw.v31i3.54445>
- 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 Journal*, 22(4), 314-317. <https://doi.org/10.2136/sssaj1958.03615995002200040013x>
- Black, C.A. (2013). *Soil fertility evaluation and control*. CRC Press.
- Bazargan, K., Marzi, M., Hasheminasab, K.S., Shahbazi, K., & Zare, A.A. (2022). Optimizing ammonium acetate procedure for determining available potassium in Iranian calcareous soils, testing the concentration and contact time. *Dryland Soil Research (DLSR)*, 1(1), 125-136.
- Barooni, F., Owliaie, H., Adhami, E., & Najafi Ghiri, M. (2017). Comparison of some extractants for extracting available potassium for rice in some soils of Kohgiluyeh Province. *Applied Soil Research*, 5(1), 13-24. (In Persian with English abstract)
- 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 Jr, R.B., & Nelson, L.A. (1971). A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Science Society of America Journal*, 35(4), 658-660. <https://doi.org/10.2136/sssaj1971.03615995003500040048x>
- Dordipoor, A., & Farshadyrad, A. (2009). Determination of critical level of potassium for wheat and its response to potassium sulfate in some loess soils of Golestan Province. *11th Congress of Soil Science of Iran, Gorgan, Iran*. (In Persian). <https://civilica.com/doc/291759>
- Gee, G.W., & Bauder, J.W. (1986). Particle- size analysis. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 383-411.

11. Ferrando, M.G., Barbazán, M.M., García, F.O., & Mallarino, A.P. (2020). Comparison of the ammonium acetate, Mehlich 3, and sodium tetraphenylboron as extractants to evaluate crop available potassium. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(8), 997-1005. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1744625>
12. 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 Persian with English abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22520163.1393.4.3.6.4>
13. 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>
14. Havlin, J.L., Tisdale, S.L., Nelson, W.L., & Beaton, J.D. (2016). Soil fertility and fertilizers. *Pearson Education India*.
15. 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. <https://doi.org/10.1080/00103620802006693>
16. Haby, V.A., Russelle, M.P., & Skogley, E.O. (1990). Testing soil for potassium, calcium, and magnesium. In R. L. Westerman (Ed.), *Soil Testing and Plant Analysis* (3rd ed., pp. 181–227). *Soil Science Society of America*, Madison, WI. <https://doi.org/10.2136/sssabookser3.3ed.c8>
17. 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.
18. Khodshenas, M.A., Ghadbeyklou, J., & Dadivar, M. (2021). Evaluation of chemical extractants and determination of the potassium critical level in soils under the bean cultivation. *Iranian Journal of Soil Research*, 34(4), 451-463. (In Persian with English abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22287124.1399.34.4.3.2>
19. Lalitha, M., & Dhakshinamoorthy, M. (2014). Forms of soil potassium-a review. *Agricultural Reviews*, 35(1). <https://doi.org/10.5958/j.0976-0741.35.1.008>
20. Loeppert, R.H., & Suarez, D.L. (1996). Carbonate and gypsum. *Methods of soil analysis: Part 3 chemical methods*, 5, 437-474.
21. Meena, R.K., Amrutsagar, V.M., Verma, M.K., Seth, V., Meena, R., Kumar, M., & Jat, L.K. (2015). Critical limits of potassium in soil and plant for increased productivity of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Ecology, Environment and Conservation*, 2015, 116.
22. Muneshwar Singh, R.H., Wanjari, B.L., Abhay Shirale, L., Kumar, U., & Jamra, S.H. (2019). Response of crops to applied potassium and estimation of critical limits in vertisols. *Indian Journal of Fertilisers*, 15(7), 748-753.
23. Nelson, D.W., & Sommers, L.E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*, 5, 961-1010.
24. Nazari, T., Suseraei, N., Barani Motlagh, M., & Dordipour, A. (2021). Determination of potassium critical level using Cate-Nelson method in quinoa plant. *The 3rd International Conference on Agricultural Engineering, Agronomy and Plant Breeding Studies, Tehran, Iran*. (In Persian). <https://civilica.com/doc/1402210>
25. Rhoades, J.D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*, 5, 417-435.
26. Sumner, M.E., & Miller, W.P. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficients. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*, 5, 1201-1229.
27. Shokri Vahed, H.S. (2018). Evaluation of various concentrations of ammonium acetate in potassium extraction and its critical levels determination in some of paddy soils. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 7(1), 6-11.
28. Sandana, P., Orena, S., Rojas, J.S., Kalazich, J., & Uribe, M. (2020). Critical value of soil potassium for potato crops in volcanic soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(3), 1171-1177. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00202-4>
29. Thomas, G.W. (1982). Exchangeable cations. *Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties*, 9, 159-165.
30. 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.
31. 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. <https://doi.org/10.1080/00103620802358797>