

Determining the Critical Limit of Available Potassium for Corn (*Zea mays L.*) in Some Calcareous Soils

Marzieh Barati Zanyani¹^{*}, Alireza Hossienpur², Mohammad Hasan Salehi³
and Azam Jafari⁴

1-Department of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Chaharmahal and Bakhtiari, Iran.
marziehbarati99@yahoo.com

2-Department of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Chaharmahal and Bakhtiari, Iran.
alirezahosseinpur1347@gmail.com

3-Department of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Chaharmahal and Bakhtiari,
Iran. mehsalehi@yahoo.com

4-Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman. Kerman, Iran. a.jafari@uk.ac.ir

«Research Article»

Received: March 3, 2025 and Accepted: April 26, 2025

Abstract

The present study, aimed to investigate the potassium status and determine the potassium (K) critical level by Mitscherlich-Bray, Cate-Nelson graphical, and Cate-Nelson variance analysis methods for corn plant (*Zea mays L.*) in some calcareous soils. Soil samples were collected (0-30 cm) from farmlands soils of Shahrekord Plain and selected 15 soil samples for pot experiment. Before planting, the potassium content of the soils was determined by using the of 1 N NH₄OAc, AB- DTPA, 0.1M barium chloride, 0.01M calcium chloride and Mehlich 1 methods. 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 amount) with three replications. At the end of the vegetative period, corn plants were harvested and plant indices including; dry matter weight, K concentration, K uptake, relative yield and plant response 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, K concentration and uptake. The results showed that different extractants, extracted varying concentrations of potassium. The average K extracted in the soils followed the order: 1N NH₄OAc > AB- DTPA > 0.1 M barium chloride > 0.01 M calcium chloride > Mehlich1. Based on the correlation between potassium extracted, by 1 N NH₄OAc, 0.1M barium chloride and 0.01M calcium chloride with relative yield indices, they can be considered as appropriate extractants for these soils. The results showed that the K critical level by using the Mitscherlich-Bray method in the 1 N NH₄OAc, 0.1M barium chloride, and 0.01M calcium chloride were 257.6, 245.8, and 40.3 mg kg⁻¹, respectively. By using the Cate-Nelson graphical method, K critical level in the 1N ammonium acetate, 0.1M barium chloride, and 0.01M calcium chloride were 260, 240, and 43 mg kg⁻¹, respectively, and by using the Cate-Nelson of variance analysis, K critical level in those extractants were 325.5, 265.2, and 53.0 mg kg⁻¹ of soil, respectively. The results of this study showed that the K critical level determined using the Cate-Nelson of variance analysis was higher than that of the other two methods.

Keywords: Shahrekord Plain, Cate-Nelson, Mitscherlich-Bray.

* - Corresponding author's email: marziehbarati99@yahoo.com



تعیین حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده گیاه ذرت در تعدادی از خاک‌های آهکی

مرضیه براتی زانیانی^{۱*}، علیرضا حسین پور^۲، محمدحسن صالحی^۳ و اعظم جعفری^۴

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد. چهارمحل و بختیاری، ایران. رایانامه: marziehbarati99@yahoo.com

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

alirezahosseinpur1347@gmail.com

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

mehsalehi@yahoo.com

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

a.jafari@uk.ac.ir

« مقاله پژوهشی »

دریافت: ۱۳/۱۲/۱۴۰۳ و پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۶

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی وضعیت پتاسیم و تعیین حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده گیاه ذرت (*Zea mays L.*) با روش‌های میچرلیخ-بری، تصویری کیت-نلسون و روش تجزیه واریانس کیت-نلسون در تعدادی از خاک‌های آهکی انجام شد. به این منظور، ۱۵ نمونه خاک از خاک‌های کشاورزی (۳۰-۰ سانتیمتر) دشت شهرکرد انتخاب شد. قبل از کاشت، پتاسیم خاک‌ها با روش‌های استات آمونیوم ۱ نرمال، بی‌کربنات آمونیوم-DTPA، باریم کلرید ۰/۱ مولار، کلسیم کلرید ۰/۱ مولار و مهلیج ۱ عصاره‌گیری و تعیین 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 شامل؛ وزن ماده خشک، غلظت پتاسیم، جذب کل پتاسیم و عملکرد نسبی تعیین شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات خاک و کود پتاسیم در سطح یک درصد اثر معنی‌داری بر وزن خشک، غلظت و جذب کل پتاسیم گیاه داشت. نتایج نشان داد که عصاره‌گیرهای مختلف، غلظت‌های متفاوتی از پتاسیم را عصاره‌گیری نموده‌اند. میانگین پتاسیم عصاره‌گیری شده در خاک‌ها به ترتیب؛ استات آمونیوم ۱ نرمال < بی‌کربنات آمونیوم-DTPA < باریم کلرید ۰/۱ مولار < کلسیم کلرید ۰/۱ مولار < مهلیج ۱ بود. عصاره‌گیرهای استات آمونیوم ۱ نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۱ مولار به دلیل همبستگی با شاخص عملکرد نسبی را می‌توان به عنوان عصاره‌گیر مناسب در این خاک‌ها دانست. نتایج نشان داد که حد بحرانی پتاسیم با روش میچرلیخ-بری در عصاره‌گیرهای استات آمونیوم ۱ نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۱ مولار به ترتیب؛ ۲۵۷/۶، ۲۴۵/۸ و ۴۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. در روش تصویری کیت-نلسون، حد بحرانی پتاسیم با عصاره‌گیرهای استات آمونیوم ۱ نرمال، کلرید باریم ۰/۱ مولار و کلرید کلسیم ۰/۱ مولار به ترتیب، ۲۶۰، ۲۴۰ و ۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در روش تجزیه واریانس کیت نلسون، حد بحرانی پتاسیم با عصاره‌گیرهای ذکر شده به ترتیب، ۳۲۵/۵، ۲۶۵/۲ و ۵۳/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. نتایج این پژوهش نشان داد که حد بحرانی پتاسیم تعیین شده در هر عصاره‌گیر با روش تجزیه واریانس کیت-نلسون بیشتر از دو روش دیگر بود.

واژه‌های کلیدی: دشت شهرکرد، کیت-نلسون، میچرلیخ-بری.

*-آدرس ایمیل نویسنده مسئول: marziehbarati99@yahoo.com

پتاسیم جزء عناصر پرنیاز گیاه می‌باشد. 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. پتاسیم به عنوان فراوان‌ترین کاتیون در گیاه، فعال کننده بیش از ۵۰ نوع آنزیم می‌باشد. در فتوسنتز، تنفس، ساخت پروتئین، متابولیسم مواد هیدروکربنه و تنظیم اسمز نقش دارد. همچنین، این عنصر موجب تسریع در تعدادی از واکنش‌های بیوشیمیایی در گیاهان می‌شود و مقاومت گیاهان را در برابر خشکی و حملات آفات افزایش می‌دهد. بنابراین، پتاسیم در بهبود کیفیت محصولات کشاورزی و حفظ رشد ضروری است (مکلین و واتسون، ۱۹۸۵). یکی از مهمترین گیاهان زراعی کشور، ذرت (*Zea mays L.*) است. کراوس (۱۹۹۴)، گزارش کرد که مقدار برداشت پتاسیم توسط ذرت، از نیتروژن بیشتر می‌باشد. ذرت در طول روز حدود ۵ کیلوگرم در هکتار، پتاسیم برداشت می‌کند که این مقدار برداشت در مقایسه با برداشت پتاسیم توسط بسیاری از گیاهان، نسبتاً بالا است. کمبود پتاسیم در ذرت می‌تواند منجر به کاهش عملکرد، آسیب به برگ‌ها و کاهش مقاومت گیاه در برابر شرایط نامساعد محیطی مانند خشکسالی شود (ماسچر، ۱۹۹۵). در سال‌های اخیر، به علت استفاده فشرده از اراضی زراعی و استفاده از ارقام با قابلیت استفاده بالای پتاسیم و افزایش سیستم‌های کشت آبی، نشانه‌هایی از کمبود پتاسیم و پاسخ گیاه به کاربرد کود پتاسیم، مشاهده شده است.

حد بحرانی، غلظتی از عنصر غذایی در خاک است که در مقادیر کمتر از آن، احتمال پاسخ گیاه به مصرف کود افزایش می‌یابد. با تعیین حد بحرانی یک عنصر در خاک، می‌توان خاک‌ها را از نظر نیاز یا عدم نیاز به مصرف کود دسته‌بندی نمود (سیدو و همکاران، ۱۹۸۲). به منظور تعیین حد بحرانی روش‌های مختلفی، از جمله؛ روش میچرلیخ-بری (بری، ۱۹۵۸)، روش ترتیب ستونی پاسخ گیاه (هاولین و

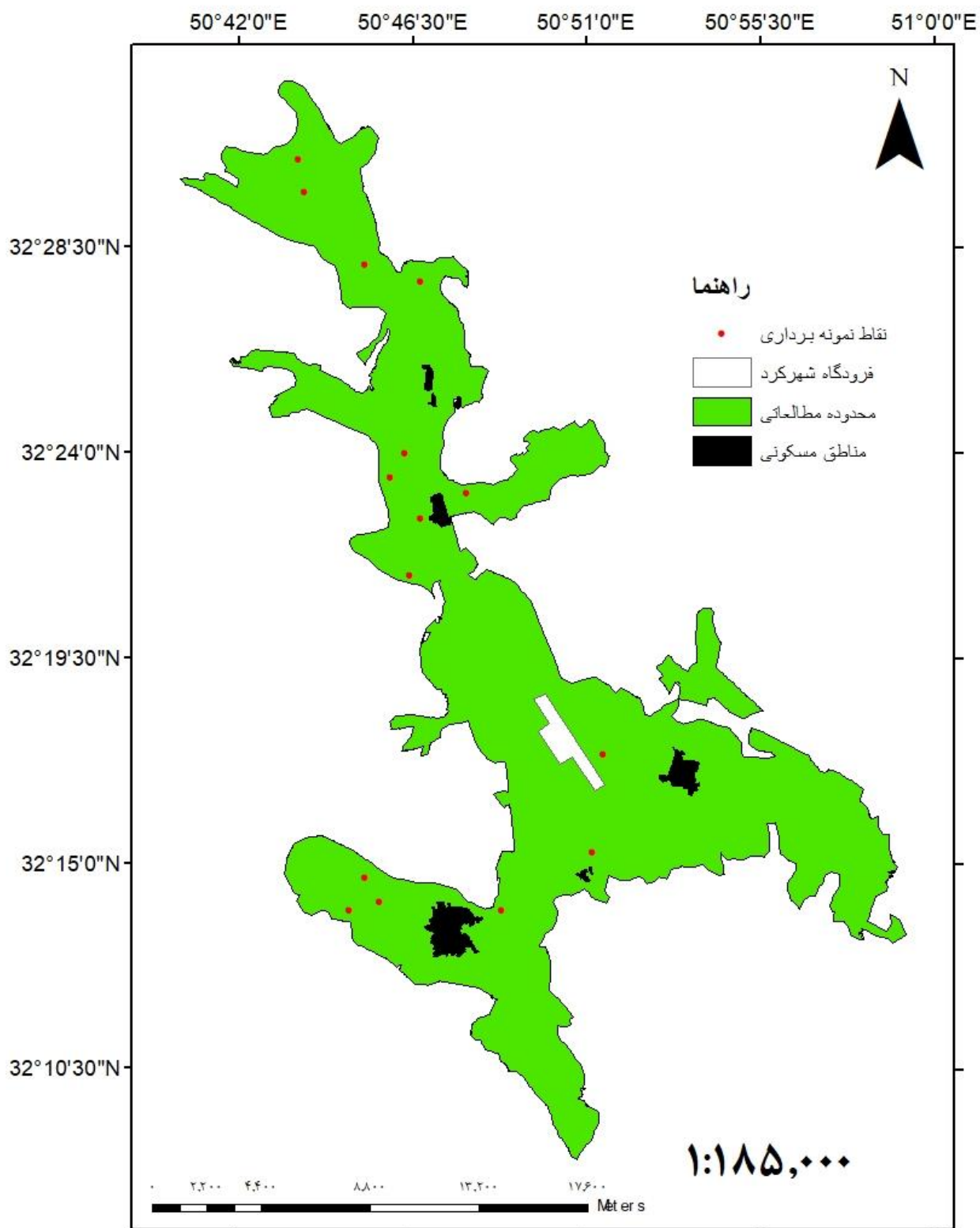
سلطان‌پور، ۱۹۸۵)، روش تصویری کیت-نلسون (کیت-نلسون، ۱۹۸۵) و روش تجزیه واریانس کیت-نلسون (کیت-نلسون، ۱۹۷۱) استفاده می‌شود. حد بحرانی پتاسیم در خاک‌ها، با توجه به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، نوع عصاره‌گیر به کار رفته و نوع گیاه کشت شده متفاوت می‌باشد. نظری و دردی پور (۱۳۹۵)، حد بحرانی پتاسیم برای گیاه ذرت و گندم در عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ نرمال، را به ترتیب؛ ۲۱۲ و ۲۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند. مونی‌شوار ساین و همکاران (۲۰۱۹)، حد بحرانی پتاسیم در خاک‌های ورتی‌سول با سیستم کشت مختلف شامل برنج-گندم و سویا-گندم را در عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ نرمال با استفاده از روش تصویری کیت-نلسون ۳۳۵ و با استفاده از روش تجزیه واریانس کیت-نلسون ۳۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نمودند. نظری و همکاران (۱۴۰۰)، حد بحرانی پتاسیم با عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ نرمال را به روش تصویری کیت-نلسون در گیاه کینوا، ۲۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند. کشاورز و همکاران (۲۰۰۴)، حد بحرانی پتاسیم در پنبه با عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ نرمال به روش میچرلیخ-بری و روش تصویری کیت-نلسون را به ترتیب ۲۱۳ و ۲۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند. عبداللهی و همکاران (۱۳۹۰)، حد بحرانی پتاسیم با روش میچرلیخ-بری در برخی مزارع گندم آبی استان کرمانشاه با عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ نرمال را ۱۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند. تفرجی و حق‌پرست تنها (۱۳۸۴)، حد بحرانی پتاسیم را با استفاده از روش تصویری کیت-نلسون و معادله میچرلیخ-بری برای ذرت در خاک‌های استان گیلان به ترتیب ۱۴۸ و ۱۶۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند.

با توجه به نقش پتاسیم به عنوان یک عنصر ضروری در رشد گیاه، این مطالعه با هدف تعیین حد بحرانی پتاسیم در گیاه ذرت به روش میچرلیخ-بری، روش تصویری کیت-نلسون و روش تجزیه واریانس کیت-نلسون در تعدادی از خاک‌های زراعی دشت شهرکرد انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور تعیین حد بحرانی پتاسیم در گیاه ذرت در خاک‌های زراعی دشت شهرکرد، ۳۰ نمونه خاک زراعی از عمق ۳۰ سانتی‌متری در فروردین ماه ۱۴۰۳ تهیه شد. پس از هوا خشک کردن نمونه‌ها و عبور از الک ۲ میلی متری، مقدار پتاسیم قابل استفاده در خاک‌ها با عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال تعیین و از بین آنها، ۱۵ 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 (جی و بادر، ۱۹۸۶)، قابلیت هدایت الکتریکی

در عصاره ۲ به ۱ آب به خاک (رودز، ۱۹۹۶)، pH در سوسپانسیون ۲ به ۱ آب به خاک (توماس، ۱۹۸۲)، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (نلسون و سامر، ۱۹۹۶)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی با اسید (لاپرت و همکاران، ۱۹۹۶) و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش استات سدیم در $pH = 7$ (سامر و میلر، ۱۹۹۶)، اندازه‌گیری شد. همچنین، عصاره‌گیرهای؛ استات آمونیوم ۱ مولار (نادسن و همکاران، ۱۹۸۲)، باریم کلرید ۰/۱ مولار (سیمارد و زیزکا، ۱۹۹۴)، مهلیچ ۱ (مهلیچ، ۱۹۵۳)، بی کربنات آمونیوم - DTPA (سلطان‌پور و شواب، ۱۹۷۷) و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار (سالومون، ۱۹۹۸)، برای استخراج پتاسیم استفاده شد (جدول ۱).



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه برداری در خاک‌های زراعی دشت شهرکرد

جدول ۱- مشخصات روش‌های عصاره‌گیری‌های مورد استفاده

شماره	عصاره‌گیر	غلظت	نسبت خاک/آب	زمان تکان دادن (دقیقه)	منبع
۱	استات آمونیوم	۱ مولار	۱:۲۰	۱۵	نارسن و همکاران، ۱۹۸۲
۲	باریم کلرید	۰/۱ مولار	۱:۱۰	۳۰	سیمارد و زیزکا، ۱۹۹۴
۳	مهلیج ۱	اسید کلریدریک ۰/۰۵ مولار و اسید سولفوریک ۰/۰۲۵ مولار	۱ : ۵	۵	مهلیج، ۱۹۵۳
۴	بی‌کربنات آمونیوم-DTPA	بی‌کربنات آمونیوم یک مولار و DTPA ۰/۰۰۵ مولار	۱:۲	۱۵	سلطان‌پور و شواب، ۱۹۷۷
۵	کلسیم کلرید	۰/۰۱ مولار	۱:۱۰	۱۲۰	سالومون، ۱۹۹۸

عملکرد در تیمار شاهد

$$100 * \frac{\text{عملکرد در تیمار شاهد}}{\text{عملکرد در تیمار کود داده شده}} = \text{درصد عملکرد نسبی}$$
 به منظور معنی‌دار بودن اثر تیمارها از نظر پاسخ‌های گیاهی، تجزیه واریانس آزمایش فاکتوریل انجام شد. سپس، حد بحرانی پتاسیم در خاک‌ها در عصاره‌گیری‌های مختلف به روش‌های میچرلیخ-بری، تصویری کیت-نلسون و تجزیه واریانس کیت-نلسون انجام شد.

روش میچرلیخ-بری

بر اساس روش میچرلیخ-بری (بری، ۱۹۸۵)، تغییر در عملکرد نسبت به تغییر غلظت عنصر غذایی در خاک، به صورت نزولی متناسب با اختلاف حداکثر عملکرد و عملکرد نسبی می‌باشد. هر چه این اختلاف بیشتر باشد، تغییر در عملکرد نسبت به تغییر در مقدار غلظت عنصر غذایی قابل استفاده خاک، بیشتر خواهد بود. رابطه زیر برای تعیین حد بحرانی و پیش‌بینی عملکرد محصولات زراعی استفاده می‌شود.

$$\text{Log}(100-y) = \log 100 - C_1 b$$

که در این رابطه، b مقدار پتاسیم استخراج شده از خاک، y عملکرد نسبی گیاه و C_1 ضریب تأثیر خاک می‌باشد. در هر خاک، ضریب C_1 محاسبه و میانگین آن به عنوان ضریب C_1 معادله محاسبه خواهد شد. سپس برای رسیدن به عملکرد نسبی ۹۰ درصد، حد بحرانی محاسبه خواهد شد.

مطالعه گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۱۵ نمونه خاک با دو سطح پتاسیم (مقدار صفر و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم از منبع سولفات پتاسیم) در سه تکرار انجام شد. به همین منظور، بذر ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴، در گلدان‌هایی با ۷ کیلوگرم خاک کشت شد. برای کشت گیاه، بذرهای ذرت با محلول قارچ‌کش بنومیل ضد عفونی شده و تعداد ۵ بذر در هر گلدان کشت شد. بعد از جوانه‌زنی، تعداد بذرها به ۲ عدد در هر گلدان کاهش داده شد. مقادیر ۵۰، ۱۰ و ۵ میلی‌گرم 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 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، مراقبت‌های لازم از قبیل آبیاری در رطوبت ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه و حذف علف‌های هرز انجام شد. پس از تکمیل مرحله رویشی، بخش‌های هوایی گیاه برداشت، با آب مقطر شسته شد. سپس، به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس خشک و وزن خشک اندام هوایی تعیین گردید. نمونه‌های خشک شده در آون، به روش خاکستر خشک هضم و غلظت پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر اندازه‌گیری شد (والینگ و همکاران، ۱۹۸۹). همچنین، تفاوت عملکرد گیاه در تیمارهای کود داده شده و کود داده نشده به عنوان پاسخ گیاه (ΔY_{max}) تعیین و جذب پتاسیم و عملکرد نسبی با استفاده از رابطه‌های زیر، محاسبه شد.

غلظت پتاسیم در گیاه × عملکرد گیاه = جذب پتاسیم

روش تصویری کیت-نلسون

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

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

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 ۱/۳۳ درصد، کربنات کلسیم معادل ۲۰ تا ۴۴/۵ درصد، گنجایش تبادل کاتیونی ۱۷ تا ۲۵ سانتی مول‌بار بر کیلوگرم و بافت خاک‌ها متوسط تا سنگین بودند. نتایج تجزیه واریانس آزمایش فاکتوریل در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که نوع خاک و اثر سطح پتاسیم مصرفی بر عملکرد خشک، غلظت و جذب پتاسیم در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری دارد. بنابراین، می‌توان گفت که مصرف پتاسیم باعث افزایش شاخص‌های رشد گیاه ذرت شده است. فتحی و همکاران، (۱۳۹۳) در پژوهش خود به نتیجه مشابهی دست یافتند. اثر متقابل خاک و پتاسیم در سطح ۵ درصد بر عملکرد خشک پتاسیم معنی‌دار نشده است ولی با غلظت و جذب کل پتاسیم در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری دارد. خودشناس، قدبیک‌لو و دادیور (۱۳۹۹)، گزارش نمودند که اثر متقابل خاک و پتاسیم در سطح ۵ درصد بر غلظت پتاسیم گیاه لوبیا اثر معنی‌داری داشت.

کیت-نلسون (۱۹۶۵)، این روش را به‌منظور گروه بندی 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 عصاره گیری شده از خاک با نتایج درصد عملکرد نسبی نقطه گذاری 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.

روش تجزیه واریانس کیت-نلسون

کیت-نلسون (۱۹۷۱)، یک روش آماری تکرارپذیری را برای تفکیک داده‌های آزمون خاک به دو یا سه گروه، براساس حداکثر کردن کلاس 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 می‌گردد (ΔY_{\max}). اطلاعات مربوط به پاسخ گیاه براساس افزایش مقدار عنصر عصاره‌گیری شده با هر روش مرتب خواهند شد. سپس، مجموع مربعات بین گروه‌ها (SS_B)، با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌شود:

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

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

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

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس آزمایش فاکتوریل

میانگین مربعات	منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد خشک	غلظت	جذب
۲۱/۱۵۳**	نوع خاک	۱۴	۲۱/۱۵۳**	۱/۲۱*۱۰.۸**	۵۶۸۹۳**
۳۷/۴۰۶**	مقدار پتاسیم	۱	۳۷/۴۰۶**	۲/۲۴*۱۰.۹**	۵۳۲۴۰.۸**
۲/۰۴ ^{ns}	نوع خاک × مقدار پتاسیم	۱۴	۲/۰۴ ^{ns}	۷/۳۶*۱۰.۷**	۹۹۱۱**
۲/۴۱ ^{ns}	خطا	۶۰	۲/۴۱ ^{ns}	۹/۵۲*۱۰.۶ ^{ns}	۴۹۶۹ ^{ns}

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

اثر مصرف کود پتاسه بر عملکرد گیاهی در هر خاک در جدول ۴، نشان داده شده است. نتایج نشان داد که کاربرد پتاسیم در اکثر خاک‌ها باعث افزایش عملکرد شد. عدم افزایش عملکرد گیاه در اثر مصرف کود پتاسه در برخی خاک‌ها، نشان می‌دهد که پتاسیم در این خاک‌ها محدود کننده رشد گیاه نیست.

جدول ۴- اثر مصرف کود پتاسه بر شاخص‌های گیاهی

شماره خاک	ماده خشک (گرم بر گلدان)	غلظت پتاسیم (درصد)	جذب کل پتاسیم (میلی‌گرم بر گلدان)	عملکرد نسبی (درصد)	پاسخ گیاه (گرم بر گلدان)	سطوح پتاسیم مصرفی (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)			
						۱۰۰		۰	
						۱۰۰	۰	۱۰۰	۰
۱	۷/۶۲	۸/۶۰	۲/۶۸	۴/۰	۳۴۴/۸۱	۲۰۴/۶۶	۸۸/۶۲	۰/۹۸	
۲	۷/۹۵	۱۱/۳۳	۳/۸۷	۴/۹۸	۵۶۵/۰۹	۳۰۸/۱۵	۷۰/۲۱	۲/۳۸	
۳	۷/۰۳	۹/۱۰	۳/۷۱	۴/۴۳	۴۰۳/۲۸	۲۶۰/۸۹	۷۷/۲۲	۲/۰۷	
۴	۱۱/۳۵	۱۳/۳۰	۴/۲۲	۴/۵۶	۶۰۶/۸۰	۲۷۹/۷۳	۸۵/۳۸	۱/۹۴	
۵	۸/۰۶	۸/۵۳	۳/۲۱	۵/۲۳	۴۴۶/۰۱	۲۵۸/۷۱	۹۴/۴۸	۰/۴۷	
۶	۱۴/۴۵	۱۴/۵۱	۴/۱۰	۴/۴۵	۵۹۳/۷۲	۵۹۳/۷۲	۹۹/۵۹	۰/۰۶	
۷	۸/۵۱	۹/۳۲	۳/۱۰	۵/۹۴	۵۵۳/۸۶	۲۶۳/۹۳	۹۱/۲۵	۰/۸۲	
۸	۹/۶۵	۱۱/۱۶	۴/۳۸	۴/۸۹	۵۴۵/۸۲	۴۲۳/۱۰	۸۶/۴۸	۱/۵۱	
۹	۱۱/۰	۱۲/۰۸	۴/۶۳	۵/۱۱	۶۱۶/۷۳	۵۰۸/۹۹	۹۱/۰۳	۱/۰۸	
۱۰	۱۱/۰۵	۱۳/۲۴	۴/۲۲	۴/۸۲	۶۳۸/۱۵	۴۶۶/۲۷	۸۳/۴۲	۲/۲۰	
۱۱	۹/۹۹	۱۲/۶۵	۴/۱۲	۵/۳۱	۶۷۱/۴۵	۴۱۱/۶۷	۷۸/۹۸	۲/۶۶	
۱۲	۱۰/۰۱	۱۲/۲۳	۲/۷۸	۴/۲۷	۵۲۲/۹۲	۳۷۸/۷۹	۸۱/۸۴	۲/۲۲	
۱۳	۹/۸۰	۸/۵۳	۳/۹۸	۴/۶۰	۳۹۲/۴۱	۳۹۰/۲۷	۱۱۴/۹۳	-۱/۲۷	
۱۴	۱۱/۷۴	۱۲/۳۶	۳/۳۳	۴/۲۷	۵۲۸/۶۴	۳۹۱/۶۶	۹۴/۹۷	۰/۶۲	
۱۵	۱۰/۵۷	۹/۶۴	۴/۶۰	۵/۰۶	۴۸۷/۸۹	۴۸۶/۲۲	۱۰۹/۶۰	-۰/۹۳	
میانگین	۱۰/۴۰**	۱۱/۰۶**	۳/۷۹**	۴/۷۹**	۵۳۱/۲۹**	۳۶۸/۴۵**	۸۶/۸۹	۰/۹۳	

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال و باریم کلرید ۰/۱ مولار را به ترتیب ۱۷۰ و ۲۰۲/۷۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند. به‌منظور انتخاب عصاره‌گیر مناسب، ارتباط پتاسیم عصاره‌گیری شده در عصاره‌گیرهای مختلف با شاخص‌های گیاه ذرت بررسی شد (جدول ۶). نتایج نشان داد که عملکرد نسبی همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد با عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار و پاسخ گیاه همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح یک درصد با عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار، کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار و مهلیچ یک 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. المفرجی و همکاران (۲۰۲۰)، عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار را به عنوان عصاره‌گیر مناسب بر رشد و

نتایج پتاسیم قابل استفاده در عصاره‌گیرهای مختلف در جدول ۵ نشان داده شده است. میانگین مقادیر پتاسیم عصاره‌گیری شده در عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای، باریم کلرید ۰/۱ مولار، کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار و مهلیچ یک به ترتیب ۲۴۸/۴، ۲۴۷/۱، ۲۲۲/۹، ۴۰/۳ و ۳۶/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است. بیشترین مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده در عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال و کمترین مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده در عصاره‌گیر مهلیچ یک بود. 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 تأثیر ویژگی‌های خاک بر پتاسیم عصاره‌گیری شده می‌باشد. احمراری و همکاران (۱۳۹۵)، میانگین مقادیر پتاسیم عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار را به ترتیب ۲۳۱/۱، ۲۰۲/۶ و ۹۷/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند. زیبک و همکاران (۲۰۱۷)، میانگین پتاسیم

گندم و سویا-گندم را با عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال با روش تصویری کیت-نلسون و روش آماری کیت-نلسون به ترتیب ۳۳۵ و ۳۳۷ کیلوگرم بر هکتار گزارش نمودند. حسین‌پور و زارع‌نیا (۲۰۱۲)، حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده لوبیا با روش تصویری کیت-نلسون برای عصاره‌گیر کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار را ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نمودند.

عملکرد سیب‌زمینی دانستند. فتحی و همکاران (۱۳۹۳)، گزارش کردند که پتاسیم جذب شده به وسیله گیاه ذرت با پتاسیم استخراج شده در عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت.

حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده خاک‌ها در عصاره‌گیرهای مناسب به روش میچرلیخ-بری در جدول ۷ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که حد بحرانی پتاسیم با عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار به ترتیب؛ ۲۵۷/۶۶، ۲۴۵/۸۲ و ۴۰/۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. کشاورز و همکاران (۲۰۰۴)، حد بحرانی پتاسیم در پنبه با عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال به روش میچرلیخ-بری را ۲۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند. نتایج حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده خاک در عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار به روش تصویری کیت-نلسون در شکل‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که حد بحرانی پتاسیم در عصاره‌گیرهای ذکر شده به ترتیب ۲۶۰، ۲۴۰ و ۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. همچنین، نتایج حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده خاک در عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار به روش آماری کیت-نلسون در جدول ۸، نشان داده شده است. نتایج جدول نشان داد که حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده خاک در عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار به ترتیب، ۳۲۵/۵۰، ۲۶۵/۲۵ و ۵۳/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. در خاک‌هایی که مقادیر پتاسیم قابل استفاده بالاتر از حد بحرانی باشد، احتمال پاسخ گیاه به مصرف کود در این خاک‌ها ناچیز است. فرشادی‌راد و دردی‌پور (۱۳۸۸)، حد بحرانی پتاسیم در گندم را با عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال به روش تصویری کیت-نلسون، ۲۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نمودند. مونی‌شوار ساین و همکاران (۲۰۱۹)، حد بحرانی پتاسیم در خاک‌های زیر کشت برنج-

۳۴۰/ تعیین حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده گیاه ذرت در تعدادی از خاک‌های آهکی

جدول ۵- مقادیر پتاسیم قابل استفاده خاک در عصاره‌گیرهای مختلف

شماره خاک	استات آمونیوم ۱ نرمال	بی‌کربنات آمونیوم-DTPA	باریم کلرید ۰/۱ مولار	کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار	مهلیج ۱
۱	۲۰۶	۲۱۴/۶	۲۰۶	۳۹/۵	۳۶/۷۵
۲	۱۹۵	۲۰۸/۳	۲۰۶	۴۰/۵	۲۸/۵۰
۳	۲۴۲	۲۲۵/۳	۲۲۵	۴۸/۰	۴۲/۰
۴	۱۶۸	۱۸۴/۹	۱۷۷	۱۷/۵	۲۲/۵۰
۵	۱۸۷	۲۰۶/۳	۲۰۲	۳۲/۵	۲۸/۵۰
۶	۲۳۰	۲۱۵/۹	۲۲۳	۴۲/۵	۳۶/۵۰
۷	۲۱۸	۲۱۷/۳	۲۰۵	۳۱/۰	۲۸/۰
۸	۱۸۴	۲۰۲/۱	۲۰۲	۳۶/۰	۳۲/۲۵
۹	۲۸۳	۳۰۳/۱	۲۵۲	۶۰/۵	۵۷/۰
۱۰	۲۵۸	۲۷۰/۰	۲۳۵	۴۰/۵	۴۰/۵
۱۱	۲۵۰	۲۵۵/۲	۲۱۵	۲۹/۰	۳۱/۵
۱۲	۲۵۱	۲۴۵/۳	۲۱۴	۳۴/۰	۲۶/۵
۱۳	۴۰۳	۳۲۸/۹	۲۷۹	۶۱/۰	۵۷/۰
۱۴	۳۰۸	۳۱۱/۴	۲۲۴	۳۳/۵	۲۸/۰
۱۵	۳۴۳	۳۱۸/۲	۲۷۹	۵۸/۰	۴۹/۷۵
حداقل	۱۶۸	۱۸۴/۹	۱۷۷	۱۷/۵	۲۲/۵۰
حداکثر	۴۰۳	۳۲۸/۹	۲۷۹	۶۱/۰	۵۷/۰
میانگین	۲۴۸/۴	۲۴۷/۱	۲۲۲/۹	۴۰/۳	۳۶/۴

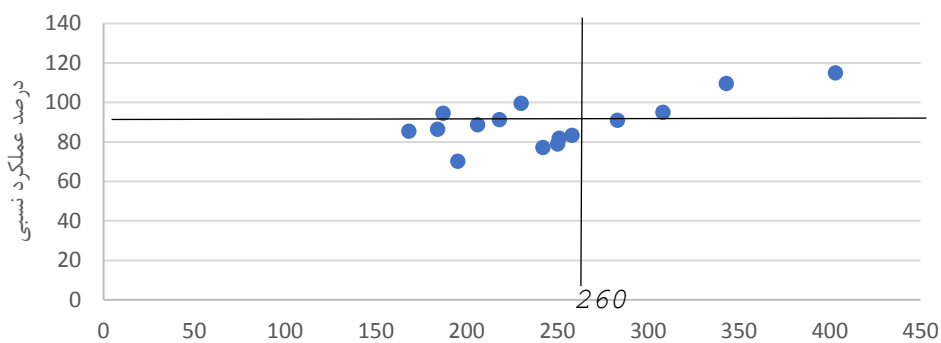
جدول ۷- همبستگی بین پتاسیم عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای مختلف و شاخص‌های گیاهی

پاسخ گیاه	غلظت پتاسیم	جذب پتاسیم	عملکرد نسبی	ماده خشک	
-.۱۵۹**	۰/۲۳ ^{ns}	۰/۲۵ ^{ns}	۰/۶۷**	۰/۲۳ ^{ns}	استات آمونیوم ۱ نرمال
-.۰۱۵ ^{ns}	۰/۲۸ ^{ns}	۰/۳۰ ^{ns}	۰/۵۷**	۰/۲۷ ^{ns}	بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌بی‌ای
-.۰۱۶۶**	۰/۳۹ ^{ns}	۰/۳۳ ^{ns}	۰/۶۶**	۰/۱۸ ^{ns}	باریم کلرید ۰/۱ مولار
-.۰۱۶۸**	۰/۴۵ ^{ns}	۰/۳۱ ^{ns}	۰/۵۴**	۰/۰۷ ^{ns}	کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار
-.۰۱۶۳**	۰/۳۵ ^{ns}	۰/۲۰ ^{ns}	۰/۵۰ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	مهلیج ۱

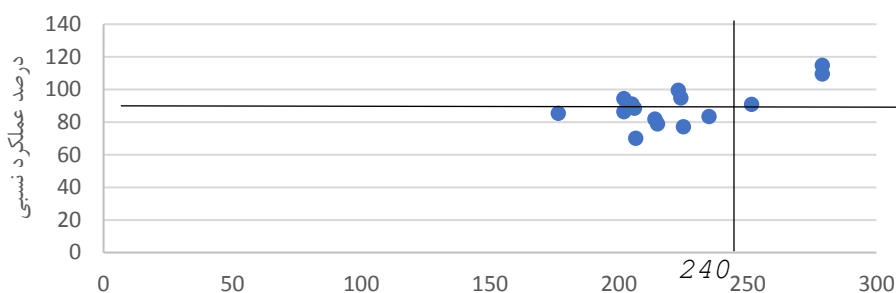
** : معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} : غیر معنی‌دار

جدول ۸- حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده خاک‌ها در عصاره‌گیرهای مناسب به روش میچرلیخ-بری

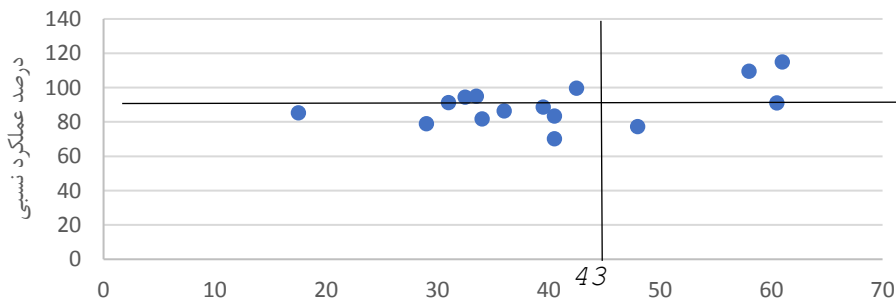
نام عصاره گیر	ضریب C1	حد بحرانی (میلی گرم بر کیلوگرم)
استات آمونیوم ۱- نرمال	۰/۰۰۳۸۸۱	۲۵۷/۶۶
باریم کلرید ۰/۱ مولار	۰/۰۰۴۰۶۸	۲۴۵/۸۲
کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار	۰/۰۲۴۷۸۰	۴۰/۳۵



شکل ۱- پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم ۱ نرمال (میلی گرم بر کیلوگرم)



شکل ۲- پتاسیم عصاره‌گیری شده با باریم کلرید ۰/۱ مولار (میلی گرم بر کیلوگرم)



شکل ۳- پتاسیم عصاره‌گیری شده با کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار (میلی گرم بر کیلوگرم)

جدول ۹- حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده خاک‌ها در عصاره‌گیرهای مناسب به روش آماری کیت-نلسون

حد بحرانی (میلی گرم بر کیلوگرم)	کلاس		نام عصاره‌گیر
	n ₂	n ₁	
۳۲۵/۵۰	۲	۱۳	استات آمونیوم ۱- نرمال
۲۶۵/۲۵	۲	۱۳	باریم کلرید ۰/۱ مولار
۵۳/۰	۳	۱۲	کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار

نتیجه‌گیری

بحرانی پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه به روش تصویری کیت-نلسون در عصاره‌گیرهای استات آمونیوم ۱ نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار به ترتیب ۲۶۰، ۲۴۰ و ۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. همچنین، حد بحرانی پتاسیم به روش آماری کیت-نلسون در عصاره‌گیرهای ذکر شده به ترتیب ۳۲۵/۵۰، ۲۶۵/۲۵ و ۵۳/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. نتایج این مطالعه نشان داد که حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده در روش‌های تصویری کیت-نلسون و میچرلیخ-بری مشابه و با روش تجزیه واریانس کیت-نلسون تفاوت دارند. این نتیجه احتمالا، به دلیل استفاده از دو شاخص متفاوت در تعیین حد بحرانی می‌باشد. در روش‌های تصویری کیت-نلسون و میچرلیخ-بری تعیین حد بحرانی براساس شاخص عملکرد نسبی می‌باشد. در حالی‌که در روش تجزیه واریانس کیت-نلسون براساس پاسخ گیاه است. در رابطه با اینکه کدام روش‌ها در تعیین حد بحرانی پتاسیم دقت بالاتری دارند، نیاز به تحقیقات بیشتر و انجام مطالعه در مزرعه می‌باشد.

نتایج نشان داد که مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم باعث افزایش عملکرد ذرت در برخی خاک‌ها شد. بیشترین مقدار پتاسیم عصاره‌گیری، در عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ نرمال با میانگین ۲۴۸/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و کمترین مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده در عصاره‌گیر مهلیچ ۱ با میانگین ۳۶/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. با توجه به همبستگی مقادیر پتاسیم عصاره‌گیری شده در عصاره‌گیرهای ذکر شده با شاخص عملکرد نسبی، عصاره‌گیرهای استات آمونیوم ۱ نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار عصاره‌گیر مناسب در این خاک‌ها بودند. حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده خاک‌ها به روش میچرلیخ-بری با عصاره‌گیرهای استات آمونیوم ۱ نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار به ترتیب؛ ۲۵۷/۶۶، ۲۴۵/۸۲ و ۴۰/۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. حد

فهرست منابع

۱. احراری، م. اولیایی، ح.م. ادهمی، ا. و نجفی‌قیری، م. ۱۳۹۶. مطالعه وضعیت پتاسیم و ارزیابی عصاره‌گیرهای شیمیایی برای استخراج پتاسیم قابل جذب در برخی خاک‌های زیتون‌کاری استان فارس. نشریه آب و خاک. ۳۱ (۳): ۸۴۵-۸۳۵.
۲. تفرجی، س.ح. و حق‌پرست‌تنها، م.ر. ۱۳۸۴. تعیین سطح بحرانی پتاسیم با استفاده از روش گرافیکی کیت - نلسون و معادله میچرلیخ - بری برای ذرت در خاک‌های استان گیلان. نهمین کنگره علوم خاک ایران. تهران. ایران.
۳. خودشناس، م.ع.، قدبیک‌لو، ج. و دادپور، م. ۱۳۹۹. ارزیابی عصاره‌گیرهای شیمیایی و تعیین حد بحرانی پتاسیم در خاک‌های زیر کشت لوبیا. پژوهش‌های خاک. ۳۴ (۴): ۴۶۴-۴۵۱.
۴. دردپور، ا. و فرشادی‌راد، ا. ۱۳۸۸. تعیین حد بحرانی پتاسیم برای گندم و بررسی پاسخ آن به سولفات پتاسیم در تعدادی از خاک‌های لسی استان گلستان. یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، گرگان. ایران.
۵. فتحی، س.، صمدی، ع.، داوری، م. و اسدی‌کپورچال، ص. ۱۳۹۳. ارزیابی عصاره‌گیرهای مختلف برای تعیین پتاسیم قابل استفاده ذرت در خاک‌های آهکی استان کردستان. دانشگاه گیلان، تحقیقات غلات. ۴ (۳): ۲۶۶-۲۵۳.
۶. عبداللهی، ع. ملکوتی، م.ج. و قادری، ج. ۱۳۹۰. انجام توصیه کودی پتاسیم با استفاده از معادله میچرلیخ-بری در برخی از مزارع گندم آبی استان کرمانشاه. تحقیقات آب و خاک ایران. ۱۲۸-۱۲۱.

۷. نظری، ط. دردی‌پور، ا. ۱۳۹۵. تعیین حد بحرانی پتاسیم برای کشت گندم و ذرت. سومین کنگره سراسری در مسیر توسعه علوم کشاورزی و منابع طبیعی. گرگان. ایران.
۸. نظری، ط. سوسرای، ن. بارانی مطلق، م. و دردی‌پور، ا. ۱۴۰۰. تعیین حد بحرانی پتاسیم به روش کیت-نلسون در گیاه کینوا.
۹. سومین کنفرانس بین‌المللی مطالعات مهندسی کشاورزی، زراعت و اصلاح نباتات. تهران. ایران.
10. Al-Mafraji, R.J., Saad Hannon, T.M. and 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.
11. 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>.
12. Cate, R.B., Jr., and Nelson. L.A. 1965. A rapid method for correlation of soil test analyses with plant response data. North Carolina. Agricultural Experiment Statistics. International Soil Testing Series, Tech. Bull. Number 1.
<https://lib.ugent.be/catalog/rug01:000226900>.
13. Cate, R.B.Jr., and Nelson. L.A. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Science Society of America. Proceeding*. 35:658-660.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1971.03615995003500040048x>.
14. Gee, G.W. and 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.
15. Havlin, J.L., and Soltanpour, P.N. 1982. Greenhouse and field evaluation of the NH₄HCO₃-DTPA soil test for Fe. *Journal of Plant Nutrition*. 5: 769-783.
<https://doi.org/10.1080/01904168209363007>.
16. Hosseinpour, A.R., and Zarenia, M. 2012. Evaluating chemical extractants to estimate available potassium for pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in some calcareous soils. *Plant, Soil and Environ*. 58: 42–48. [10.17221/314/2011-PSE](https://doi.org/10.17221/314/2011-PSE).
17. Knudsen, D., Peterson, G.A., and 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. Krauss, A. 1994. Potassium in soils dynamic and availability. Iran Agrofood, export promoteion center, Tehran, Iran. 42 pp.
19. Keshavarz, P. NoriHosieni, M. and Malakouti, M.J. 2004. Effect of Soil Salinity on K Critical Level for Cotton and its Response to Sources and Rates of K Fertilizers. In IPI regional workshop on Potassium and Fertigation development in West Asia and North Africa. 24-28. <https://doi.org/10.1080/02571862.2008.10639897>
20. Loeppert, R.H., and 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>
21. McLean, E.O., and 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.

22. Mustscher, H. 1995. "Measurement and assessment of soil potassium." International potash institute Research Topics Number 4".
23. Muneshwar Singh, R.H., Wanjari, B.L., Abhay Shirale, L., Kumar, U., and 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.
24. Mehlich, A. 1953. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄, North Carolina Soil Test Division, Department of Agriculture, Raleigh, North Carolina.
25. Nelson, D.W. and 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.
26. 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.
27. Sumner, M.E. and Miller W.P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. In: Sparks D.I.(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.
28. Simard, R.R., and Zizka, J. 1994. Evaluation plant available potassium with strontium chlorid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 25: 1779-1789. <https://doi.org/10.1080/00103629409369152>.
29. 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>
30. Soltanpour, P.N., and 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>.
31. Sidhu . A.S. Dhillon A.S. and Daw G. 1982. Field avaluation of NPK soil test for wheat in alkaline soils of Punjab. Punjab Agriculture Uneversity.
32. 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.
33. Waling, I., Van Vark, W., Houba,,V.J. G., and Der Lee, J. J. 1989. *Soil and Plant Analysis, a Series of Syllabi*. Part 7, *Plant Analysis Procedures*. Wageningen Agriculture University.
34. Zebec, V., Rastija, D., Loncaric, Z., Bensa, A., Popovic, B., and Ivesic v. 2017. Comparison of chemical extraction methods for determination of soil potassium in different soil types. *Soil Chemistry*. 50 (12): 1420-1427. [10.1134/S1064229317130051](https://doi.org/10.1134/S1064229317130051)