نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۳، ص. ۳۴۲-۳۳۰

Journal of Water and Soil
Vol. 28, No. 2, May.-Jun. 2014, p. 330-342

تعیین سطح بحرانی فسفر قابل‌جذب گیاه ذرت در خاک‌های استان آذربایجان شرقی

محمدرضا مقصودی[۱]- عادل ریحانی تبار[۲*]- نصرت اله نجفی[۳]

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۳/۶
تاریخ پذیرش:۱۳۹۳/۱/۲۶

چکیده

اطلاع از سطح بحرانی فسفر در خاک و پاسخ‌های گیاه به مصرف آن می‌تواند کمک مؤثری در توصیه بهینه کود فسفر باشد. در این تحقیق، سطح بحرانی فسفر قابل‌جذب گیاه ذرت (*Zea mays* L.) در ۲۵ نمونه خاک که از مناطق مختلف استان آذربایجان شرقی در سال ۱۳۹۰ جمع‌آوری شده بود، تعیین شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور کود فسفر در دو سطح صفر و ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک از منبع منوکلسیم فسفات و ۲۵ نوع خاک با سه تکرار انجام شد. پس از ۶۰ روز رشد، بخش هوایی و ریشه ذرت برداشت شد. خاک‌های مورد مطالعه دارای ۵۷/۳-۱۲/۴ درصد رس با میانگین ۳۱/۱ درصد، کربنات کلسیم معادل ۳۵-۷ درصد با میانگین ۲۱/۵ درصد و کربنات کلسیم معادل فعال بین ۱۰/۷۸-۱/۴۷ درصد با میانگین ۵/۱ درصد بودند. نتایج نشان داد که سطوح فسفر کاربردی، نوع خاک و اثر متقابل آنها تأثیر معنی‌دار بر شاخص‌های رشد ذرت داشت. سطح بحرانی فسفر قابل‌جذب به روش اولسن برای دستیابی به ۹۰ درصد حداکثر ماده خشک نسبی ذرت با استفاده از روش‌های تصویری کیت-نلسون، آماری کیت-نلسون و میچرلیخ-بری، به‌ترتیب ۱۲، ۱۴/۴۴ و ۱۰/۴۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک تعیین گردید. میانگین ضرایب C_1 و C معادله میچرلیخ-بری به‌ترتیب ۰/۰۹۵۶ و ۰/۰۰۷۳ کیلوگرم خاک بر میلی‌گرم فسفر بود. همچنین وزن خشک بخش هوایی ذرت با فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک همبستگی معنی‌داری داشت.

واژه‌های کلیدی: فسفر، ذرت، سطح بحرانی، کیت-نلسون، میچرلیخ-بری

مقدمه

ذرت یکی از مهمترین غلات بوده و مصارف بسیار زیادی در تغذیه انسان، طیور و دام، صنایع داروسازی، تولید نشاسته، الکل، روغن، چسب، کاغذ دیواری و غیره دارد (۲۸). فسفر بعد از نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذایی پرمصرف گیاهان است. کمبود و بیش‌بود این عنصر در خاک‌های کشور ما به دلیل مصرف نامتعادل کودهای فسفری گزارش شده است (۱۱ و ۱۵). در سال‌های اخیر با استفاده از ارقام اصلاح شده و پرمحصول گیاهان زراعی از جمله ذرت که نیاز بیشتری به عناصر غذایی از جمله فسفر دارند، تخلیه تدریجی خاک‌های کشور از فسفر اتفاق افتاده و بدین ترتیب استفاده از کودهای فسفری به طور بارزی افزایش یافته است (۱۵و ۱۶).
کودهای شیمیایی فسفاتی حاوی فلزات سنگین بویژه کادمیم و سرب می‌باشند. بنابراین، تجمع آلاینده‌ها در نتیجه مصرف این نوع کودها، علاوه بر آنکه باعث کاهش فعالیت‌های میکروبی در خاک می‌شوند، توسط گیاهان جذب و از آن طریق وارد زنجیره غذایی انسان و حیوان می‌شوند. بدیهی است وجود مقدار زیادی از این فلزات سنگین در زنجیره غذایی روزانه برای انسان و حیوان بسیار خطرناک است (۱۵ و ۱۷). امروزه می‌توان گفت که قابل اعتمادترین راه برای توصیه کودها، اجرای آزمایش‌های تعیین سطح مصرف کود در هر مزرعه و هر گیاه می‌باشد ولی از آنجا که این عمل بسیار هزینه‌بر و مشکل است، بنابراین مناسب‌ترین روش برای انتقال اطلاعات و تعمیم نتایج حاصله در سطح مناطق استفاده از برنامه‌های آزمون خاک و واسنجی نتایج آن می‌باشد. اعداد حاصل از تجزیه خاک به خودی خود و بدون تعیین ارتباط آنها با پاسخ گیاه ارزش و مفهوم چندانی ندارند؛ بنابراین بایستی آنها را به دو یا چند گروه تقسیم کرد (۱۸). سطح بحرانی مشخص می‌کند که آیا مزرعه نیاز به کود دارد یا خیر ولی مقدار مصرف کود را مشخص نمی‌کند. مطابق گزارش اهلرت و همکاران (۲۷) ظرفیت بافری فسفر (PBC[۴]) در تعیین سطح بحرانی با استفاده از هر آزمون خاک تأثیری قطعی دارد به طوریکه با افزایش آن سطح بحرانی نیز

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
(* - نویسنده مسئول: (Email: areyhani@tabrizu.ac.ir

4- Phosphorus buffering capacity

افزایش می‌یابد. فرشادی‌راد و دردی‌پور (۱۲) عوامل مؤثر بر سطح بحرانی فسفر خاک را در خاک‌های آهکی مقدار آهک فعال خاک، درصد رس و ماهیت رس‌ها، میزان اکسیدهای آهن و آلومینیوم، نحوه مدیریت، میزان عملکرد، نوع محصول و اقلیم بیان کردند. فرقانی و کلباسی (۱۳) سطح بحرانی فسفر را برای خاک‌های استان اصفهان و گیاه ذرت با استفاده از روش تصویری کیت–نلسون و عصاره‌گیر اولسن ۱۵ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک گزارش کردند. صادقی مطلق (۷) با استفاده از معادله میچرلیخ–بری ضرایب C و C_1 را برای خاک‌هایی از استان کرمانشاه و گیاه چغندر قند به‌ترتیب ۰/۹۹۳۶ و ۰/۰۰۹۵ بدست آوردند.

سطح بحرانی برای برخی گیاهان که با عصاره‌گیرهای متفاوت و با روش تصویری کیت–نلسون در خاک‌های مختلف تعیین شده‌اند، در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به جدول ۱ مشاهده می‌شود به رغم آهکی بودن اکثر خاک‌های کشور و به رغم شباهت‌های اقلیمی و عصاره‌گیر یکسان باز هم سطح بحرانی فسفر از ۸ تا ۲۶ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک نوسان می‌کند. این نوسان در برخی کشورهای دیگر با استفاده از عصاره‌گیر اولسن بین ۹ تا ۱۸ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک گزارش شده است (۱۶). علاوه بر تغییر نوع گیاه سایر دلایل احتمالی این موضوع عبارتند از: تنوع کانی‌شناسی و در نتیجه ظرفیت متفاوت بافری خاک‌ها، تفاوت در کاربری اراضی، تفاوت مناطق از لحاظ دسترسی کشاورزان به کودهای فسفاتی و استفاده از این کودها، سطح و مقدار سایر عناصر غذایی (۲۵). تفاوت سطح بحرانی در کشورهای دیگر نیز علاوه بر موارد ذکر شده احتمالاً می‌تواند به دلیل تفاوت در اقلیم و روش اندازه گیری فسفر باشد.

کیت و نلسون (۲۴) روش تصویری را برای گروه‌بندی دو گروهی درصد عملکرد نسبی در مقابل میزان عنصر استخراج شده از خاک ارائه کردند. با این روش می‌توان خاک‌ها را به دو گروه خاک‌هایی که احتمال پاسخ به مصرف کود در آن خیلی زیاد است و خاک‌هایی که احتمال پاسخ به مصرف کود در آنها اندک است، تقسیم نمود. میانگین عددی حاصل از تجزیه خاک که این دو گروه را از یکدیگر جدا می‌کند، به عنوان نقطه بحرانی عنصر غذایی مورد آزمایش انتخاب می‌شود. از مزایای دیگر روش تصویری کیت–نلسون می‌توان به سادگی، ارائه یک نقطه مشخص به عنوان سطح بحرانی، عدم نیاز به محاسبات پیچیده و فرض‌های معمول در روش‌های آماری متداول و تأثیر کم داده‌های غیرواقعی یا نقاط پرت در تعیین سطح بحرانی اشاره کرد. همچنین از معایب این روش می‌توان، نداشتن قدرت تفکیک داده‌ها در مواردی که همبستگی میان عملکرد نسبی و داده‌های آزمون خاک کم باشد، عدم توانایی تفکیک مقادیر آزمون خاک به بیش از دو گروه، عدم امکان بررسی پاسخ گیاه به مصرف کود در دو گروه تفکیک شده از لحاظ آماری و گاهی ارائه محدوده‌ای از سطح بحرانی به جای یک نقطه مشخص را نام برد (۱۸). روش آماری کیت – نلسون (روش ANOVA[1]) یک روش کمی است؛ بنابراین سلیقه در آن تأثیری نداشته و گروهی که R^2 بالاتری دارد، انتخاب می‌شود. از معادله میچرلیخ – بری برای تعیین سطح بحرانی و نیاز کودی اغلب محصولات استفاده می‌شود (۱۸). معادله‌ای که برای تخمین میزان کود به کار می‌رود به صورت زیر است (۲۳):

$$\text{Log (A-Y)} = \log A - (C_1 b + CX) \qquad (۱)$$

که در آن A بالاترین درصد رشد نسبی (۱۰۰ درصد)، Y درصد رشد نسبی مورد انتظار، b میزان قابل جذب عنصر مورد نظر در خاک و X مقدار کود مصرفی است. با توجه به اینکه گزارش چاپ شده‌ای در مورد سطح بحرانی فسفر قابل‌جذب گیاه ذرت در خاک‌های استان آذربایجان شرقی وجود ندارد، لذا هدف از این تحقیق بررسی تأثیر کود منوکلسیم فسفات بر شاخص‌های رشد گیاه ذرت و تعیین سطح بحرانی فسفر قابل‌جذب گیاه ذرت در خاک‌های استان آذربایجان شرقی بود.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از خاک‌های استان آذربایجان شرقی بر اساس ویژگی‌هایی مثل بافت خاک، pH، درصد کربنات کلسیم معادل، درصد کربن آلی و فسفر قابل‌جذب انجام و در نهایت با توجه به دامنه ویژگی‌های یاد شده ۲۵ نمونه مرکب از مناطق مختلف استان از عمق ۳۰ – ۰ سانتی‌متری برای این مطالعه انتخاب شدند. نمونه‌های خاک پس از هواخشک شدن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده و ویژگی‌هایی همچون بافت خاک به روش هیدرومتری ۴ زمانه (۲۹)، pH با استفاده از $CaCl_2$ ۰/۰۱ مولار با نسبت ۱:۲ خاک به محلول و در ۱:۱ خاک به آب (۳۷)، کربن آلی خاک به روش اکسایش‌تر (۳۳)، درصد کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش خنثی‌سازی با اسید و تیتر کردن با سود (۲۰)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در نسبت ۱:۲ خاک به آب (۳۶) و کربنات کلسیم معادل فعال (ACCE) با اگزالات آمونیم (۲۶) در آنها تعیین شد. فسفر قابل‌جذب خاک‌ها نیز به روش اولسن (۳۴) تعیین گردید. سپس آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور کود فسفر در دو سطح صفر و ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک از منبع منوکلسیم فسفات ($Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$) و ۲۵ نوع خاک با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. در گلدان‌هایی که حاوی ۲/۵ کیلوگرم خاک بودند، پنج بذر گیاه ذرت (*Zea mays* L.) رقم سینگل کراس ۷۰۴ کاشته شد و پس از دو هفته به سه بوته تنک شد. رطوبت خاک در طول ۲ ماه رشد بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه به روش وزنی نگهداشته شد.

1- Cate – Nelson analysis of variance method

جدول ۱- سطح بحرانی فسفر در مناطقی از ایران و جهان با استفاده از عصاره‌گیر اولسن (۳٤) و روش تصویری کیت-نلسون (۲٤)

محل آزمایش	گیاه	pH خاک	سطح بحرانی ($mg\ kg^{-1}$)	منبع
استان اصفهان	ذرت	-	۱۵	فرقانی و کلباسی (۱۳)
استان گلستان	گندم دیم	-	۱۲/۵	صلاحی فراهی (۸)
استان فارس	گندم دیم	-	۱۵	حسینی (۳)
استان فارس	ذرت	-	۲۱/۵	غیبی و ملکوتی (۱۰)
استان مازندران	پنبه	-	۱۲-۱۵	افضلی (۱)
غرب و شمال غرب ایران	گندم دیم	۷/۲-۷/۸	۹/۳	فیضی اصل و همکاران (۱۴)
ورامین	گندم دیم	۷/۲	۸	سیلسپور و ممیزی (۵)
استان خوزستان	برنج	-	۱۲	جعفر نژاد و همکاران (۲)
استان مرکزی	لوبیا چیتی	۷/۷-۸/۱	۱۳	خودشناس و دادیور (۴)
استان خراسان جنوبی	سورگوم	۷/۸-۸/۴	۱۷	عطاردی و خوراسگانی (۹)
استان اردبیل	یونجه	۷/۳۲-۷/۸۲	۲۶	هاشمی‌مجد و همکاران (۱۹)
استان گلستان	گندم دیم	-	۱۱	فرشادی‌راد و دردی‌پور (۱۲)
خاک‌های منتخب ایران	گندم دیم	۷-۸/۲	۱۳	شهبازی و داودی (۶)
عربستان	ذرت	۷/۵-۸/۴	۱۵	المصطفی و آید (۲۱)
شمال غربی کانادا	جو (گلخانه)	۵/۲-۷/۴	۱۱	سون (۳۹)
شمال غربی کانادا	جو (مزرعه)	۵/۲-۷/۴	۱۴	سون (۳۹)
شمال غربی کانادا	کلزا	۵/۲-۷/۴	۱۱	سون (۳۹)
ایتالیا، انگلیستان، آلمان، اسپانیا	گندم، سورگوم، سویا، ذرت	۵/۵-۷/۷	۱۰-۱۲	دلگادو و تورنت (۲۵)
منتانا	گندم دیم	۶/۱-۸/۴	۱۶	جکسون و همکاران (۳۱)
تانزانیا، کانادا، آفریقا	ذرت	۴/۸-۷/۷	۱۰/۵	اوسیری و همکاران (۴۰)
هند	برنج	۶/۵	۱۷	بادو و همکاران (۲۲)

به غیر از فسفر بقیه عناصر بر طبق آزمون خاک و توصیه‌های رایج کودی مصرف شد. برای این منظور مقدار ۱۲۰ میلی‌گرم اوره، ۱۰ میلی‌گرم روی ($ZnSO_4.7H_2O$) و ۵ میلی‌گرم آهن (سکوسترین ۱۳۸) بر کیلوگرم خاک به گلدان‌ها استفاده شد. به دلیل اینکه خاک‌ها کمبود پتاسیم نداشتند، پتاسیم مصرف نشد. پس از ۶۰ روز، بخش هوایی از نزدیک سطح خاک برداشت شد. ریشه‌ها نیز همزمان برداشت شدند. نمونه‌ها در داخل پاکت‌های کاغذی قرار داده شد و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس خشکانیده شد. سپس نمونه‌ها به وسیله آسیاب برقی پودر و از الک ۰/۵ میلی‌متری گذرانده شد. هضم نمونه‌های گیاهی با استفاده از روش اکسایش تر (۴۱) و اندازه‌گیری غلظت فسفر در آنها با روش زرد (۳۵) انجام شد. فاکتور انتقال فسفر نیز از تقسیم کردن غلظت فسفر بخش هوایی ذرت بر غلظت فسفر ریشه آن بدست آمد (۴۱). سطح بحرانی فسفر با استفاده از روش تصویری کیت-نلسون، روش آماری کیت-نلسون و روش میچرلیخ-بری تعیین شد. همچنین ضرایب C و C_1 در معادله میچرلیخ-بری تعیین گردید. داده های حاصله نرمال بودند و رسم نمودارها با اکسل و ضرایب همبستگی و توصیف آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. همچنین روش تصویری کیت-نلسون و محاسبه ضریب تغییرات با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTATC و آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام شد.

نتایج و بحث

در جدول ۲ توصیف آماری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود خاک‌های مورد استفاده مشکل شوری نداشتند. کلاس بافت این خاک‌ها نیز از لوم شنی تا رسی تغییر می‌کرد (جدول ۲). در جدول ۳ شاخص‌های رشد گیاه ذرت در سطح صفر فسفر ارائه شده است. در جدول ۵ ضرایب همبستگی خطی فسفر استخراج شده توسط روش اولسن و شاخص‌های رشد گیاه ذرت ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود این همبستگی‌ها در ۲۵ خاک مورد مطالعه معنی‌دار نیست اما با بررسی داده‌ها مشخص شد که دو خاک ۲ و ۵ با مقدار فسفر بالا (به‌ترتیب ۷۴/۴۸ و ۳۶/۶۳ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک) دارای مقدار کوکس[1] بیشتر از یک بوده و داده‌های پرت

1- Coock's value

محسوب می‌شوند (نقاط بی‌رنگ در شکل ۱) و بنابراین می‌توان آنها را حذف کرد (شکل‌های ۱ و ۲ به عنوان نمونه جهت نمایش موقعیت داده‌های پرت ارائه شده‌اند).

با حذف این دو خاک فسفر استخراج شده توسط روش اولسن و وزن تر ریشه در سطح احتمال ۵ درصد و وزن تر و خشک بخش هوایی، مقدار فسفر بخش هوایی و درصد رشد نسبی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شدند و دیگر شاخص‌ها همبستگی معنی‌دار با فسفر استخراج شده نداشتند.

جدول ۶ تجزیه واریانس تأثیر سطوح فسفر و نوع خاک بر غلظت و مقدار فسفر بخش هوایی و ریشه گیاه ذرت را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود تأثیر سطح فسفر مصرفی بر غلظت و مقدار فسفر بخش هوایی و ریشه ذرت و همچنین فاکتور انتقال فسفر در سطح احتمال ۰/۱ درصد معنی‌دار است. بنابراین می‌توان گفت مصرف فسفر باعث افزایش شاخص‌های رشد گیاه شده است. همچنین خاک‌های مورد مطالعه و نیز اثر متقابل انواع خاک‌ها و سطوح فسفر اعمال شده اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۱ درصد بر غلظت و مقدار فسفر بخش هوایی و ریشه گیاه ذرت داشتند ولی اثر آنها بر فاکتور انتقال فسفر معنی‌دار نبود (جدول ۶). جدول ۷ نشان می‌دهد که تأثیر سطوح فسفر و نوع خاک و اثر متقابل آنها بر شاخص‌های رشد بخش هوایی و ریشه ذرت در سطح احتمال ۰/۱ درصد معنی‌دار بود. این نتایج نشان دهنده ضرورت مصرف کودهای فسفره در خاک‌های استان به ویژه در شرایط رفع دیگر عوامل محدود کننده رشد گیاه ذرت می‌باشد.

جدول ۲- برخی ویژگی‌های عمومی خاک‌ها

ویژگی‌ها	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)
کربنات کلسیم معادل (درصد)	۷	۳۵	۲۱/۵	۹/۱۵	۴۳
pH*	۷/۸	۸/۵	۸/۱	۰/۱۹	۲
pH**	۷/۳	۸/۲	۷/۷	۰/۲۳	۳
کربن آلی (درصد)	۰/۱۶	۱/۹۳	۱/۰۴	۰/۵۵	۵۳
شن (درصد)	۱۵/۵۷	۶۷/۷۸	۰/۹۴	۱۸/۴۸	۴۷
سیلت (درصد)	۱۵/۵۹	۴۳/۲۴	۲۹/۹۳	۸/۰۴	۲۷
رس (درصد)	۱۲/۳۹	۵۷/۲۷	۱/۱۱	۱۲/۵۵	۴۰
کربنات کلسیم معادل فعال (درصد)	۰/۴۷	۱۰/۷۸	۵/۱	۲/۷۹	۵۵
هدایت الکتریکی (dS/m)	۰/۱۳	۴/۱۶	۰/۶۹	۱/۰۱	۱۴۶
فسفر استخراج شده به روش اولسن (mg/ kg)	۱/۷۶	۷۴/۴۸	۱۱/۸۸	۱۴/۸۲	۱۲۵

*- در نسبت ۱:۱ آب مقطر به خاک؛ **- در نسبت ۱:۲ کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار به خاک

جدول ۳- شاخص‌های گیاه ذرت در سطح بدون فسفر (شاهد)

شاخص های رشد گیاه ذرت	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)
وزن تر ریشه (g/pot)	۷/۸۷	۳۸/۸۶	۲۰/۱۳	۷/۴۴	۳۷
وزن خشک ریشه (g/pot)	۰/۳۲	۱/۸۵	۱/۰۳	۰/۴	۳۹
وزن تر هوایی (g/pot)	۲۳/۶۳	۱۰۱/۷۱	۶۷/۲۸	۲۰/۲۲	۳۰
وزن خشک بخش هوایی (g/pot)	۲/۱۵	۱۰/۱	۵/۷۱	۱/۹۳	۳۴
غلظت فسفر ریشه (mg/g)	۰/۱۹	۰/۶۶	۰/۴۶	۰/۱۲	۲۶
غلظت فسفر بخش هوایی(mg/g)	۱/۹۸	۵/۱۵	۴/۰۷	۰/۷۹	۱۹
مقدار فسفر ریشه (mg/pot)	۰/۱۴	۰/۷۴	۰/۴۷	۰/۱۹	۴۱
مقدار فسفر بخش هوایی(mg/pot)	۹/۷۶	۳۲/۹۲	۲۲/۶۲	۶/۷۵	۳۰
درصد رشد نسبی	۲۱/۲۹	۱۰۰/۰	۵۶/۵۸	۱۹/۱۵	۳۴
قطر ساقه (mm)	۴/۴	۱۰/۴	۶/۹۴	۱/۳۸	۲۰
ارتفاع بوته (cm)	۶۳/۱۷	۱۱۴/۱۱	۹۷/۳۵	۱۴/۳	۱۵
فاکتور انتقال	۶	۱۴/۲۸	۹/۴۷	۱/۹۲	۲۰

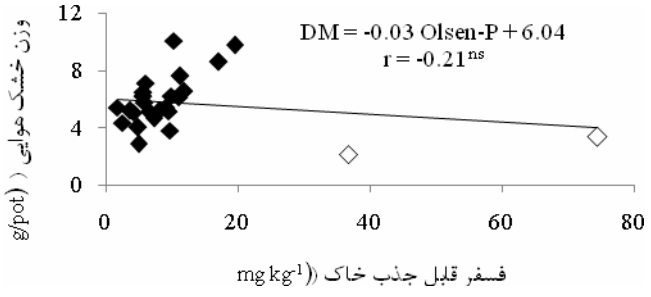
جدول ٤- شاخص‌های گیاه ذرت در سطح ٤٠ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک

شاخص های رشد گیاه ذرت	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)
وزن تر ریشه (g/pot)	۷/۱۳	۵۶/۸۲	۲۹/۵۷	۱۱/۶۶	۳۹
وزن خشک ریشه (g/pot)	۰/۳۳	۳/۰۴	۱/۵۲	۰/۶۷	۴۴
وزن تر هوایی (g/pot)	۱۲/۲۸	۱۲۵/۱۵	۷۷/۲۷	۲/۹	۳۲
وزن خشک بخش هوایی (g/pot)	۱/۴	۱۳/۰۳	۷/۸۵	۲/۷۲	۳۵
غلظت فسفر ریشه (mg/g)	۲/۸۸	۵/۳۹	۴/۱۸	۰/۶۴	۱۵
غلظت فسفر بخش هوایی(mg/g)	۲/۹۸	۵/۸۲	۴/۴۶	۰/۶۸	۱۵
مقدار فسفر ریشه (mg/pot)	۱/۲۱	۱۰/۴۸	۶/۱	۲/۲۷	۳۷
مقدار فسفر بخش هوایی (mg/pot)	۵/۹۸	۶۱/۱۸	۳۶/۰۵	۱۵/۲۹	۴۲
درصد رشد نسبی	۹/۲۱	۱۰۰/۰	۵۷/۸۳	۲۰/۱۹	۳۵
قطر ساقه (mm)	۳/۸۱	۱۰/۶۸	۷/۶۷	۱/۵	۲۰
ارتفاع بوته (cm)	۴۸/۲۲	۱۲۳/۶۱	۱۰۲/۶۷	۱۶/۹۵	۱۷
فاکتور انتقال	۰/۵۸	۱/۵۵	۱/۱۱	۰/۲۶	۲۳

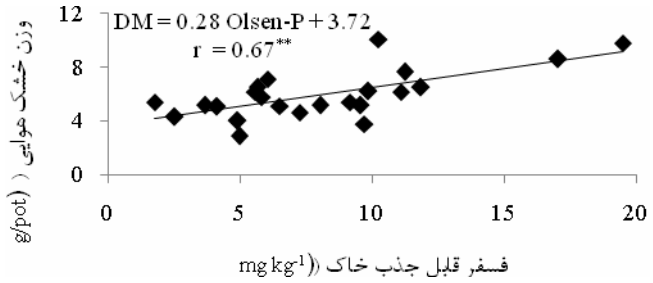
جدول ۵- همبستگی فسفر استخراج شده توسط روش اولسن ($mg\ kg^{-1}$) و شاخص‌های رشد گیاه ذرت

شاخص های رشد گیاه ذرت در سطح شاهد فسفر	فسفر استخراج شده به روش اولسن در ۲۵ خاک	فسفر استخراج شده به روش اولسن در ۲۳ خاک
وزن تر ریشه (g/pot)	$^{ns}-۰/۱۵$	$^{*}۰/۵$
وزن خشک ریشه (g/pot)	$^{ns}-۰/۲$	$^{ns}۰/۳۶$
وزن تر هوایی (g/pot)	$^{ns}-۰/۳$	$^{**}۰/۵۹$
وزن خشک هوایی (g/pot)	$^{ns}-۰/۲۱$	$^{**}۰/۶۷$
غلظت فسفر ریشه (mg/g)	$^{ns}۰/۲۸$	$^{ns}-۰/۰۵$
غلظت فسفر بخش هوایی(mg/g)	$^{ns}۰/۳$	$^{ns}-۰/۱۵$
مقدار فسفر ریشه (mg/pot)	$^{ns}-۰/۰۹$	$^{ns}۰/۱۴$
مقدار فسفر بخش هوایی(mg/pot)	$^{ns}-۰/۱۵$	$^{**}۰/۵۶$
درصد عملکرد نسبی	$^{ns}-۰/۲۱$	$^{**}۰/۶۷$
قطر ساقه (mm)	$^{ns}۰/۱۵$	$^{ns}۰/۱۴$
ارتفاع بوته (cm)	$^{ns}-۰/۱۲$	$^{ns}۰/۱۴$

ns غیر معنی‌دار، *- در سطح احتمال ۰/۰۵ معنی‌دار، **- در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار



شکل ۱- همبستگی فسفر استخراج شده توسط روش اولسن و وزن خشک هوایی در ۲۵ خاک مورد مطالعه



شکل ۲- همبستگی فسفر استخراج شده توسط روش اولسن و وزن خشک هوایی در ۲۳ خاک مورد مطالعه

حداکثر و حداقل ماده خشک بخش هوایی به ترتیب در خاک ۱۹ (با اولسن-P ۱۰/۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و سطح ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک و خاک ۵ و سطح ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک (با بافت لوم شنی) قبل از کود دهی ۳۶ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک داشت و شاید تاثیر منفی فسفر بر جذب سایر عناصر موجب کاهش ماده خشک در این خاک شده است. حداکثر و حداقل غلظت فسفر بخش هوایی به ترتیب در خاک ۶ و سطح ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک و خاک ۲۲ و سطح شاهد فسفر بود. حداکثر و حداقل مقدار فسفر بخش هوایی به ترتیب در خاک ۶ و سطح ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک و خاک ۵ و سطح ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک بود که علت احتمالی جذب حداقل فسفر توسط گیاه ذرت در این خاک می‌تواند رشد بسیار کم گیاه در این خاک باشد. حداکثر و حداقل مقدار فسفر ریشه به ترتیب در خاک ۱۹ و سطح ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک و خاک ۵ و سطح شاهد بود. حداکثر و حداقل فاکتور انتقال فسفر به ترتیب در خاک ۲۱ و سطح شاهد فسفر و خاک ۴ و سطح ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک بود (جدول‌های ۸ و ۹). شکل ۳ همبستگی بین شاخص رشد نسبی را با فسفر قابل‌جذب خاک نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود بین آنها یک رابطه درجه دوم وجود دارد. با توجه به نتایج بدست آمده سطح بحرانی فسفر در خاک‌های مورد مطالعه و برای ۹۰ درصد رشد نسبی گیاه ذرت توسط روش اولسن تعیین شد. شکل ۴ تعیین سطح بحرانی را با روش تصویری-کیت نلسون نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود سطح بحرانی توسط روش اولسن ۱۲ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک بدست آمد که ۲۱ عدد از خاک‌های مورد مطالعه کمتر از این مقدار فسفر داشتند. فرقانی و کلباسی (۱۳) سطح بحرانی فسفر را برای گیاه ذرت با استفاده از عصاره‌گیر اولسن در استان اصفهان به روش ترسیمی کیت-نلسون ۱۵میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک و غیبی و ملکوتی (۱۰) نیز در یک مطالعه گلخانه‌ای سطح بحرانی فسفر را برای گیاه ذرت با استفاده از عصاره‌گیر اولسن در استان فارس ۲۱/۵ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک گزارش کردند. اخیراً شهبازی و داودی (۶) هم در یک مطالعه گلخانه‌ای سطح بحرانی فسفر را برای گیاه گندم با استفاده از عصاره‌گیر اولسن در برخی خاک‌های منتخب ایران ۱۳میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک گزارش کردند. با حذف نقاطی که در قسمت ۱ و ۳ شکل ۴ قرار دارند رابطه بین شاخص رشد نسبی و فسفر قابل‌جذب خاک به شکل خطی بود و همبستگی قابل توجه معنی‌داری داشت (شکل ۵).

جدول ٦- تجزیه واریانس تأثیر سطوح فسفر و نوع خاک بر غلظت و مقدار فسفر بخش هوایی و ریشه ذرت

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		غلظت فسفر بخش هوایی	مقدار فسفر بخش هوایی	غلظت فسفر ریشه	مقدار فسفر ریشه	فاکتور انتقال فسفر
بلوک	۲	^{ns}۰/۷۸	^{ns}۳۶/۷۷	^{ns}۰/۰۴	^{ns}۱/۹۲	^{ns}۸/۳۳
فسفر	۱	***۵/۷۹	***۶۷۶۱/۶۷	***۵۱۷/۸۶	***۱۱۹۰/۷۷	***۲۶۱۹/۱۱
خاک	۲۴	***۱/۴۳	***۵۶۶/۴۵	***۰/۶۴	***۸/۱	^{ns}۵/۶۴
فسفر × خاک	۲۴	***۱/۸۲	***۲۶۸/۹۵	***۰/۶۳	***۷/۴۱	^{ns}۵/۵۸
خطای آزمایشی	۹۸	^{ns}۰/۴۸	^{ns}۱۰۲/۱۷۴	^{ns}۰/۲۲	^{ns}۱/۹۳	^{ns}۴/۰۸

ns و ***- به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۱ درصد

جدول ۷- تجزیه واریانس تأثیر سطوح فسفر و نوع خاک بر شاخص‌های رشد بخش هوایی و ریشه ذرت

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن تر بخش هوایی	وزن خشک بخش هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	قطر ساقه	ارتفاع بوته
بلوک	۲	^{ns}۶/۴	^{ns}۲/۷۳	^{ns}۲/۱۸	^{ns}۰/۰۳	^{ns}۰/۵	^{ns}۴/۸۸
فسفر	۱	۳۷۴۲/۷***	۱۷۰/۹۷***	۳۳۴۶/۲***	۸/۹۷***	۱۹/۴۲***	۱۰۶۱/۲۳***
خاک	۲۴	۲۴۹۸/۱۶***	۲۴/۴۷***	۳۷۴/۹۲***	۱/۱۶***	۹/۸۶***	۱۲۷۶/۰۳***
فسفر × خاک	۲۴	۵۸۹/۳۵***	۸/۹۶***	۱۹۸/۷۷***	۰/۶۶***	۲/۶۲***	۱۹۸/۷۸***
خطای آزمایشی	۹۸	^{ns}۱۱۵/۱۱	^{ns}۲/۶۲	^{ns}۲۳/۱۷	^{ns}۰/۱۷	^{ns}۰/۵۷	^{ns}۵۴/۹۴

ns و ***- به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۱ درصد

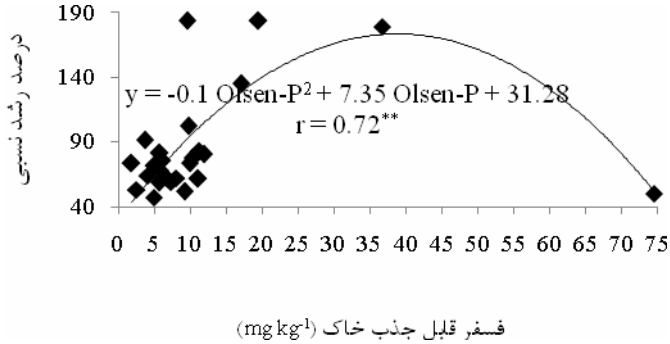
جدول ۸- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل فسفر و خاک بر برخی شاخص‌های رشد گیاه ذرت در سطح شاهد فسفر

شماره خاک	وزن خشک بخش هوایی (g)	غلظت فسفر بخش هوایی ($mg\ kg^{-1}$)	مقدار فسفر بخش هوایی ($mg\ pot^{-1}$)	مقدار فسفر ریشه ($mg\ pot^{-1}$)	فاکتور انتقال فسفر
۱	۶/۲ h-q	۴/۵۶ b-g	۲۸/۷۴ e-m	۰/۶۶ j	۸/۷۷ d-f
۲	۳/۳۶ r-u	۵/۱۵ a-c	۱۷/۱۸ k-q	۰/۴۷ j	۷/۹۶ ef
۳	۴/۰۵ n-t	۴/۰۵ c-l	۱۶/۵۵ k-q	۰/۲۹ j	۸/۰ ef
۴	۳/۸۱ p-u	۴/۲۳ c-j	۱۶/۰۳ l-q	۰/۲۷ j	۷/۵۵ ef
۵	۲/۱۵ tu	۴/۸۴ a-d	۱۰/۳۶ o-q	۰/۱۴ j	۱۱/۴۶ a-d
۶	۵/۴۲ k-s	۴/۴۴ b-h	۲۳/۹۵ g-p	۰/۵۸ j	۸/۱۲ ef
۷	۵/۸ i-r	۵/۱۱ a-c	۲۹/۴۸ e-l	۰/۶۶ j	۱۰/۰۶ b-e
۸	۵/۱۸ l-s	۴/۲۱ c-j	۲۱/۶ i-q	۰/۳۹ j	۸/۲۵ d-f
۹	۶/۵۵ g-o	۵/۰۱ a-c	۳۲/۹۲ e-k	۰/۷۳ j	۸/۵۸ d-f
۱۰	۶/۱۸ h-q	۴/۸۹ a-d	۳۰/۲۷ e-l	۰/۵۴ j	۸/۵ d-f
۱۱	۵/۲۲ l-s	۴/۲۵ c-j	۲۲/۰۷ i-q	۰/۶۷ j	۸/۳۶ d-f
۱۲	۵/۱۴ l-s	۳/۸۳ d-l	۲۰/۱۵ j-q	۰/۵۹ j	۷/۸۶ ef
۱۳	۶/۲۶ h-q	۴/۸۶ a-d	۳۰/۴۸ e-l	۰/۶۱ j	۹/۱۲ d-f
۱۴	۵/۰۸ l-s	۴/۶۵ b-f	۲۳/۶۴ h-p	۰/۴۴ j	۱۰/۰۷ b-e
۱۵	۴/۶۸ m-t	۴/۱۹ c-j	۱۹/۳۶ j-q	۰/۵۶ j	۸/۵۸ d-f
۱۶	۵/۲ l-s	۴/۲۳ c-j	۲۲/۲۲ i-q	۰/۶۶ j	۸/۵۴ d-f
۱۷	۴/۳۶ n-t	۴/۲۱ c-j	۱۸/۳ j-q	۰/۵۵ j	۸/۵۵ d-f
۱۸	۹/۸۲ b-e	۳/۰۳ k-m	۳۰/۲۵ e-l	۰/۳۳ j	۱۳/۰۳ ab
۱۹	۱۰/۱ b-e	۳/۲۸ i-l	۳۲/۶۸ e-k	۰/۷۱ j	۹/۶۳ c-f
۲۰	۲/۸۹ s-t	۳/۲۴ j-l	۹/۷۶ pq	۰/۱۴ j	۱۲/۴۳ a-c
۲۱	۷/۱۶ f-m	۳/۶۹ e-l	۲۶/۲۵ f-o	۰/۲۲ j	۱۴/۲۸ a
۲۲	۶/۵۳ g-o	۱/۹۸ m	۱۲/۸۸ m-q	۰/۲۹ j	۱۰/۵۴ b-e
۲۳	۵/۵۴k-s	۳/۴۱ h-l	۱۸/۱۸ j-q	۰/۱۹ j	۱۲/۶۵ a-c
۲۴	۷/۶۶ e-l	۳/۱۹ j-l	۲۴/۳ g-p	۰/۳۲ j	۶/۷۲ f
۲۵	۸/۶۲ b-h	۳/۲ j-l	۲۷/۸۴ e-n	۰/۶۶ j	۹/۱۵ d-f

در هر ستون و در هر فاکتور، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

با توجه به جدول ۱۰ سطح بحرانی فسفر در خاک‌های مورد مطالعه و برای گیاه ذرت توسط روش اولسن با روش آماری کیت- نلسون ۱۴/۴۴ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک بدست آمد. همچنین سطح بحرانی با روش میچرلیخ-بری به‌ترتیب ۱۰/۴۶ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک بدست آمد. جدول ۷ ضرایب C_1 و C معادله میچرلیخ-بری را نیز ارائه می‌کند. میانگین این ضرایب به‌ترتیب

۰/۰۹۵۶ و ۰/۰۰۷۳ کیلوگرم خاک بر میلی‌گرم فسفر بود. صادقی مطلق (۷) با استفاده از معادله میچرلیخ- بری ضرایب C_1 و C را برای خاک‌هایی از استان کرمانشاه و گیاه چغندر قند به‌ترتیب ۰/۹۹۳۶ و ۰/۰۰۹۵ گزارش کردند. ایشان همچنین سطح بحرانی فسفر را با استفاده از معادله میچرلیخ-بری برابر ۸/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش کرد.

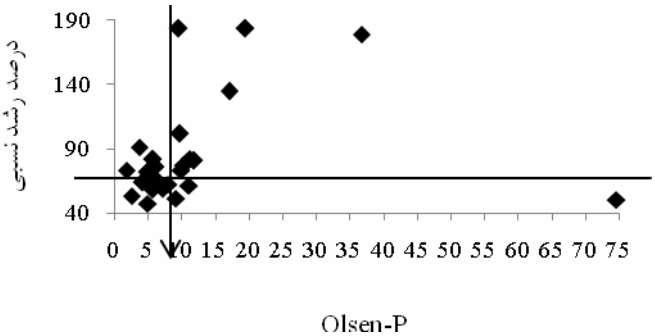


شکل ۳- همبستگی درصد رشد نسبی و فسفر قابل جذب خاک در ۲۵ خاک مورد مطالعه

جدول ۹- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل فسفر و خاک بر برخی شاخص‌های رشد گیاه ذرت در سطح ٤٠ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک

شماره خاک	وزن خشک بخش هوایی (g)	غلظت فسفر بخش هوایی ($mg\ Kg^{-1}$)	مقدار فسفر بخش هوایی ($mg\ pot^{-1}$)	مقدار فسفر ریشه ($mg\ pot^{-1}$)	فاکتور انتقال فسفر
۱	۱۰/۵۸ a-c	۵/۰۱ a-c	۵۳/۸۳ a-c	۷/۹۶ b-d	۱/۱۹ g
۲	۶/۶۶ g-n	۴/۵۷ b-g	۳۰/۰۴ e-l	۴/۸۳ f-h	۱/۰۳ g
۳	۸/۵۵ b-h	۴/۸۷ a-d	۴۱/۲۲ c-f	۸/۰ b-d	۰/۹۲ g
۴	۳/۷۴ q-u	۲/۹۸ lm	۱۱/۱۵ o-q	۳/۷۴ gh	۰/۵۸ g
۵	۱/۴ u	۴/۲۹ c-j	۵/۹۸ q	۱/۲۱ ij	۱/۱۹ g
۶	۱۰/۵ a-d	۵/۸۲ a	۶۱/۱۸ a	۶/۱ d-f	۱/۴۳ g
۷	۸/۴۹ b-h	۴/۷۵ a-e	۴۰/۱۶ c-g	۶/۱۴ c-f	۱/۳۱ g
۸	۳/۳۳ r-u	۳/۵۶ f-l	۱۱/۸۳ n-q	۳/۷ gh	۰/۷۴ g
۹	۸/۱ c-j	۴/۲۴ c-j	۳۳/۹ d-j	۵/۴ f-h	۰/۹۹ g
۱۰	۱۰/۷۷ ab	۴/۶۵ b-f	۵۰/۰۸ a-d	۷/۷۹ b-d	۱/۴۹ g
۱۱	۸/۳۸ b-i	۳/۵۲ g-l	۲۹/۰۶ e-m	۷/۶۷ b-e	۰/۸۲ g
۱۲	۸/۲۳ b-j	۳/۸۸ d-l	۳۲/۹ e-k	۴/۳۲ f-h	۱/۴ g
۱۳	۱۰/۵ a-d	۵/۰۵ a-c	۵۵/۸۲ a-c	۸/۱۱ b-d	۱/۳۳ g
۱۴	۷/۹۱d-k	۳/۸۵ d-l	۳۰/۴۷ e-l	۴/۷۶ f-h	۰/۹ g
۱۵	۸/۹۲ b-g	۴/۱ c-k	۳۶/۷۵ d-i	۸/۱۸ b-d	۰/۹۱ g
۱۶	۵/۶۸ j-r	۴/۳۷ b-i	۲۵/۲۶ f-p	۴/۶۳ f-h	۰/۹۶ g
۱۷	۸/۱۸ b-j	۴/۹۲ a-d	۳۹/۸۸ c-h	۵/۴۵ e-g	۱/۴۸ g
۱۸	۵/۳۴ k-s	۴/۷ b-e	۲۵/۱۳ f-p	۳/۸ gh	۱/۰۱ g
۱۹	۱۳/۰۳ a	۴/۵۵ b-g	۵۹/۳۴ ab	۱۰/۴۸ a	۱/۲۷ g
۲۰	۴/۰۲ o-t	۴/۲۲ c-j	۱۶/۸۲ k-q	۳/۱۹ hi	۱/۰۵ g
۲۱	۹/۴۶ b-f	۳/۲۸ i-l	۳۱/۰۴ e-l	۶/۲ c-f	۰/۸۴ g
۲۲	۸/۹۹ b-g	۴/۸۶ a-d	۴۳/۸۲ b-e	۸/۱۸ b-d	۱/۰ g
۲۳	۹/۸۴ b-e	۴/۹۴ a-d	۵۳/۴۷ a-c	۹/۷۱ ab	۱/۵۵ g
۲۴	۹/۲۹ b-f	۵/۴۲ ab	۵۰/۱۷ a-d	۸/۳۵ a-c	۱/۲ g
۲۵	۶/۳۹ g-p	۵/۱۶ a-c	۳۱/۸۳ e-l	۴/۶۴ f-h	۱/۲۳ g

در هر ستون و در هر فاکتور، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ٤- سطح بحرانی فسفر قابل جذب خاک با روش اولسن

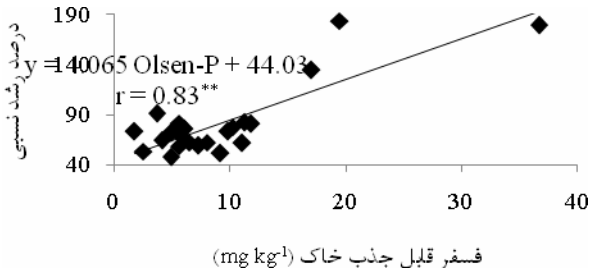
جدول ۱۰- سطح بحرانی فسفر با روش آماری کیت-نلسون و ضرایب C_1 و C معادله میچرلیخ با عصاره‌گیر اولسن

شماره خاک	اولسن-P (mg/kg)	CSS*	R^{2**}	C_1 (kg/mg)	C (kg/mg)
۲۳	۱/۷۶	-***	-***	۰/۳۲۹۱	۰/۰۱۳۵
۱۷	۲/۵۲	۳/۸	۰/۵۹	۰/۱۳۱۲	۰/۰۰۶۸
۱۶	۳/۶۷	۱۲۵/۵۸	۰/۵۷	۰/۲۹۰۲	۰/۰۲۴۵
۱۴	۴/۱۳	۱۳/۳۱	۰/۵۸	۰/۱۰۸۱	۰/۰۰۸۸
۳	۴/۸۹	۵/۳۷	۰/۶۱	۰/۰۵۷	۰/۰۰۴۲
۲۰	۴/۹۷	۵/۴۹	۰/۵۹	۰/۱۱۰۹	۰/۰۱۱
۱	۵/۵۸	۱۰/۳۵	۰/۶۳	۰/۰۶۸۶	۰/۰۰۶۴
۲۲	۵/۶۵	۶۱/۹۴	۰/۶۲	۰/۱۳۰۷	۰/۰۱۵۲
۷	۵/۸۱	۱۰۰/۵۱	۰/۶۳	۰/۰۸۵۹	۰/۰۰۹۲
۲۱	۶/۰۴	۱۰/۳۲	۰/۶۴	۰/۱۰۱۷	۰/۰۱۱۹
۱۲	۶/۴۹	۱۲۳/۳۷	۰/۶۶	۰/۰۶۵۶	۰/۰۰۶۹
۱۵	۷/۲۶	۵۶/۴۶	۰/۶۹	۰/۰۵۳۵	۰/۰۰۵۶
۱۱	۸/۰۲	۳/۰۵	۰/۷۳	۰/۰۵۲۸	۰/۰۰۶
۶	۹/۱۷	۱۲۵/۰۷	۰/۸۳	۰/۰۳۴۴	۰/۰۰۲۷
۸	۹/۵۵	۱۳/۵۳	۰/۷۱	-****	-****
۴	۹/۷	۵/۰۲	۰/۶۷	-****	-****
۱۳	۹/۸۵	۵/۱۵	۰/۶۸	۰/۰۵۸۷	۰/۰۰۸۸
۱۹	۱۰/۲۴	۱۰/۵۲	۰/۷۲	۰/۰۶۳۳	۰/۰۱۰۴
۱۰	۱۱/۰۸	۶۱/۴۷	۰/۸۱	۰/۰۳۷۶	۰/۰۰۴۱
۲۴	۱۱/۲۳	۱۰۰/۷۶	۰/۸۴	۰/۰۶۷۵	۰/۰۱۲۶
۹	۱۱/۸۴	۱۰/۶۸	۰/۸۸	۰/۰۶۰۵	۰/۰۱۱۲
۲۵	۱۷/۰۴	۱۲۳/۱۷	۰/۷۴	-****	-****
۱۸	۱۹/۴۸	۶۱/۲۴	۰/۵۸	-****	-****
۵	۳۶/۶۷	-***	-***	-****	-****
۲	۷۴/۴۸	-***	-***	۰/۰۰۴۱	۰/۰۳۴۷
میانگین	۱۱/۸۸	-	-	۰/۰۹۵۶	۰/۰۰۷۳

*- مجموع مربعات گروه‌ها، **- ضریب تبیین، ***- عدم وجود گروه قبلی یا بعدی برای محاسبه R^2، ****- درصد رشد نسبی بیش از ۱۰۰ درصد

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که مصرف فسفر در خاک‌های مورد مطالعه استان موجب افزایش معنی‌دار شاخص‌های رشد گیاه ذرت در گلخانه شد. سطح بحرانی فسفر قابل‌جذب گیاه ذرت در خاک‌های مورد مطالعه با استفاده از روش‌های تصویری کیت- نلسون، آماری کیت-نلسون و میچرلیخ-بری به‌ترتیب ۱۲، ۱۴/۴۴ و ۱۰/۴۶ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک تعیین شد.



شکل ۵- همبستگی درصد رشد نسبی و فسفر قابل جذب خاک در ۲۲ خاک مورد مطالعه

میانگین ضرایب C_1 و C معادله میچرلیخ-بری نیز به‌ترتیب ۰/۰۹۵۶ و ۰/۰۰۷۳ کیلوگرم خاک بر میلی‌گرم فسفر بود. بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان معادله میچرلیخ-بری را برای خاک‌های مورد مطالعه بر اساس عصاره‌گیر اولسن به صورت زیر نوشت که می‌تواند مورد استفاده مشاوران و آزمایشگاه‌های خصوصی تجزیه خاک جهت مشاوره با کشاورزان استان آذربایجان شرقی قرار گیرد:

$$\text{Log } (A - y) = \text{Log } A - (۰/۰۹۵۶\ b + ۰/۰۰۷۳\ x) \qquad (۲)$$

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول بوده که بدین وسیله از معاون محترم پژوهشی دانشگاه تبریز به‌دلیل تأمین هزینه‌های لازم تشکر می‌گردد.

منابع

۱- افضلی م. ۱۳۷۸. تعیین سطح بحرانی فسفر و پتاسیم خاک در مزارع تحت کشت پنبه در استان مازندران. صفحه‌های ۵۶۰-۵۵۸. ششمین کنگره علوم خاک ایران. ۶ تا ۹ شهریور، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۲- جعفرنژادی ع.ر.، گیلانی ع. و صیاد غ. ۱۳۸۶. تعیین غلظت بحرانی فسفر در شالیزارهای خوزستان. صفحه‌های ۵۶۳-۵۶۲. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران. ۴ تا ۶ شهریور، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳- حسینی س.م. ۱۳۷۸. تعیین سطح بحرانی فسفر برای گندم. صفحه‌های ۴۳۴-۴۳۳. ششمین کنگره علوم خاک ایران. ۶ تا ۹ شهریور، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۴- خودشناس م.ع. و دادیور م. ۱۳۸۶. مطالعه پاسخ گیاه لوبیا به مصرف فسفر در تعدادی از خاکهای استان مرکزی. صفحه‌های ۵۱۳-۵۱۲. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران. ۴ تا ۶ شهریور، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۵- سیلسپور م. و ممیزی م. ۱۳۸۴. تعیین حد بحرانی فسفر و پتاسیم در خاک‌های تحت کشت گندم در دشت ورامین. مجله دانش کشاورزی ایران ۳و ۴: ۱-۱۱.

۶- شهبازی ک. و داودی م.ح. ۱۳۹۱. ارزیابی نیاز فسفر گندم در خاک‌های آهکی با استفاده از هم‌دماهای جذب فسفر. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) ۱: ۱۷-۱.

۷- صادقی مطلق م. ۱۳۷۵. تعیین نقطه بحرانی فسفر در زراعت چغندرقند. صفحه‌های ۱۰۵-۱۰۱. پنجمین کنگره علوم خاک ایران. ۱۰ تا ۱۳ شهریور، آموزشکده کشاورزی کرج، کرج، ایران.

۸- صلاحی فراهی م. ۱۳۷۸. تعیین سطح بحرانی فسفر و پتاسیم خاک برای محصول بهینه گندم. صفحه‌های ۴۱۴-۴۱۳. ششمین کنگره علوم خاک ایران. ۶ تا ۹ شهریور، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۹- عطاردی ب. و نادری خوراسگانی م. ۱۳۸۸. تعیین عصاره‌گیر مناسب و حد بحرانی فسفر برای سورگوم (Sorghum bicolor L. Var. Speedfeed) در خاک‌های آهکی منطقه بیرجند. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۵۰: ۱۳۳-۱۴۶.

۱۰- غیبی م.ن. و ملکوتی م.ج. ۱۳۷۸. تعیین حد بحرانی فسفر و پتاسیم برای ذرت دانه‌ای در خاک‌های آهکی استان فارس. صفحه‌های ۵۰۸-۵۰۷. ششمین کنگره علوم خاک ایران. ۶ تا ۹ شهریور، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۱۱- فتحی م. و رضایی م. ۱۳۸۹. عوامل مؤثر بر تخمین بهینه میزان کود فسفره مورد نیاز خاک. مجموعه مقالات اولین کنگره چالش‌های کود در ایران: نیم قرن مصرف کود. ۱۰ الی ۱۲ اسفندماه، هتل المپیک. تهران.
۱۲- فرشادی‌راد ا. و دردی‌پور ا. ۱۳۸۸. تعیین حد بحرانی فسفر برای گندم و بررسی پاسخ آن به کود سوپرفسفات تریپل در تعدادی از خاک‌های لسی استان گلستان. صفحه‌های ۱۰۷۹-۱۰۷۷. مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران. ۲۱ الی ۲۴ تیر، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۱۳- فرقانی ا. و کلباسی م. ۱۳۷۵. ارتباط بین عملکرد ذرت و فسفر قابل‌جذب خاک و تعیین حد بحرانی فسفر برای گیاه ذرت. صفحه‌های ۲۰۱-۱۹۹. چهارمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. ۷ تا ۴ شهریور، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
۱۴- فیضی اصل و.، کسرایی ر.، مقدم م. و ولیزاده غ. ۱۳۸۳. بررسی تشخیص کمبود و محدودیت‌های جذب عناصر غذایی با استفاده از روش‌های مختلف با مصرف کودهای فسفر و روی برای گندم دیم رقم سرداری. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۳: ۲۳-۳۳.
۱۵- کریمیان ن. ۱۳۷۳. پیامدهای زیاده روی در مصرف کودهای شیمیایی فسفری. نشریه علمی پژوهشی خاک و آب ۱۲: ۱-۱۱.
۱۶- ملکوتی م.ج. ۱۳۷۳. حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران-ایران.
۱۷- ملکوتی م.ج.، ترابی م. و طباطبائی ج. ۱۳۷۹. اثرات سوء کادمیم و روش‌های کاهش غلظت آن در محصولات کشاورزی، نشر آزمون کشاورزی.
۱۸- ملکوتی م.ج.، کریمیان ن. و کشاورز پ. ۱۳۸۴. روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کود برای کشاورزی پایدار. انتشارات مرکز نشر دانشگاه تربیت مدرس، تهران-ایران.
۱۹- هاشمی مجد ک.، محمدی فرانی ط.، هماپورگورابجیری م.، یعقوبی ع.، کوچک پور ش.، کمکلایی ف. و عبدالهی ج. ۱۳۸۸. تعیین حد بحرانی فسفر برای گیاه یونجه در خاک‌های شهرستان اردبیل. فتحی. صفحه‌های ۱۴۹۵-۱۴۹۴. مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران. ۲۱ الی ۲۴ تیر، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
20- Allison L.E. and Moodie C.D. 1965. Carbonates, In C. A. Black, ed. Method of Soil Analaysis. Part3. American Society of Agronomy, Madison, WI. p. 1379-1396.
21- Al-Mustafa W.A., and Ayed I.A. 1989. Comparsion of various extractants for evaluating phosphorus availability to plants in Saudi Arabia soils. Journal of King Saud University 1:145-153.
22- Bado B.V., De Vries M.E., Haefele S.M., Marco M.C.S. and Ndiaye M.K. 2008. Critical limit of extractable phosphorous in a Gleysol for rice production in the Senegal river valley of west Africa. Communications in Soil Science and Plant Analysis 39:202–206.
23- Black C.A. 1992. Soil Fertility Evaluation and Control. Lewis, USA.
24- Cate R.B.J., 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.
25- Delgado A. and Torrent J. 1997. Phosphate-rich soils in the European Union: estimating total plant-available phosphorus. European Journal of Agronomy 6 205-214.
26- Drouinean G. 1942. Dosage rapide du calcarire actif du sol: nouvelles donnees sur la separation et la nature des fractions calcaires. Ann. Agronomy 12: 441-450.
27- Ehlert P., Morel C., Fotyma M. and Destain J.P. 2003. Potential role of phosphate buffering capacity of soils in fertilizer management strategies fitted to environmental goals. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 166:409–415.
28- Evans L.T. and Dunstone R.L. 1970. Some physiological aspects of evolution in wheat. Australian Journal of Biological Sciences 23:725-741.
29- Gee G.W. and Bauder J.W. 2002. Particle size analysis, In H. D. Jacob and G. Clarke Topp, eds. Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. Soil Science Society of America, Madison, WI. p. 201-214.
30- Gikonyo E.W., Zaharah A.R., Hanafi M.M. and Anuar A.R. 2010. Comparison of soil phosphorus tests for assessing plant availability of phosphorus in an Ultisol amended with water-soluble and phosphate rock sources The Scientific World 10:1679–1693.
31- Jackson G.D., Kushnak G.D., Carlson G.R. and Wichman D.M. 1997. Correlation of the Olsen phosphorus soil test: spring wheat response. Communications in Soil Science Plant Analysis 28:813-822.
32- Mason S., McNeill A., McLaughlin M.J. and Zhang H. 2010. Prediction of wheat response to an application of phosphorus under field conditions using diffusive gradients in thin-films (DGT) and extraction methods. Plant Soil 337:243–258.
33- Nelson D.W. and Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter, In D. L. Sparks, ed. Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of America, Madison, WI. p. 961-1010.
34- Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S. and Dean L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by

extraction with sodium bicarbonate. USDA, Cire. 939, U. S. Gover. Prin. Office, Washington DC.
35- Olsen S.R. and Sommers L.E. 1982. Phosphorus, In A. L. Page, et al., eds. Methods of Soil Analysis, 2nd ed. Part 2. Agronomy No. 9. American Society of Agronomy, Madison, WI. p. 403-430.
36- Rhoades J.D. 1996. Salinity . Electrical conductivity and total dissolved solids, In D. Sparks, ed. Methods of Soil Analysis. part3. Chemical methods. Soil Science Society of America, Madison WI. p. 417-435.
37- Richards L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils, p. 84. USDA Handbook. number, 60, U.S. Government printing office, Washington, DC.
38- Six L., Smolders E. and Merckx R. 2012. The performance of DGT versus conventional soil phosphorus tests in tropical soils—maize and rice responses to P application. Plant Soil:1-18.
39- Soon Y .K. 1990. Comparison of parameters of soil phosphate availability for the northwestern Canadian prairie. Canadian Journal of Soil Science 70:227-237.
40- Ussiri D.A., Mnkeni P.N.S, Kenzie A.F.M. and Semokad J.M.R. 1998. Soil test calibration studies for formulation of phosphorus fertilizer recommendations for maize in Morogoro district, Tanzania. I. Evaluation of soil test methods. Communications in Soil Science Plant Analysis 29:2801-2813.
41- Waling I., VanVark W., Houba V.J.G. and Vanderlee J.J. 1989. Soil and Plant Analysis, a series of syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University. Netherland.

Journal of Water and Soil
Vol. 28, No. 2, May.-Jun. 2014, p. 330-342

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۳، ص. ۳۴۲-۳۳۰

Determination of Soil Phosphorus Critical Level for Corn plant in East Azerbaijan Province

M.R. Maghsoodi[1]- A. Reyhanitabar[2*]- N. Najafi[3]

Received: 27-05-2013
Accepted: 15-04-2014

Abstract

Knowledge about the P critical level and plant response to application of P can effectively help with the proper use of this element. In this study, P critical level for corn (*Zea mays L.*) was determined in 25 combined soils samples from corn fields of East Azerbaijan province during 2011-2012. Corn have been cultivated in two level of P (zero and 40 mg P kg^{-1}) as a factorial experiment in a randomized complete blokes design with three replications .After 60 days, the plant growth parameters in shoot and root were measured. According to the results, in studied soils, clay content ranged from 12.4 to 57.3 with a mean 31.1 %. Calcium carbonate equivalent ranged from 7 to 35 with a mean 21.5 % and active calcium carbonate ranged from 1.47 to 10.78 with a mean 5.1 %. Application of P significantly increased shoot and root dry weight and their P content. According to the results, applied phosphorus levels, soil type and their interaction had a significant effect on corn growth parameters. Critical level of soil P for corn with Olsen-P, based on 90% relative yield, was determined 12, 14.44 and 10.46 (mg P kg^{-1} soil) by using graphical Cate–Nelson, Cate–Nelson analysis of variance and Mitscherlich-Bray methods, respectively. Mitscherlich-Bray equation coefficient C_1 and C_2, for Olsen-P, were 0.0956 and 0.0073 (kg soil $mg^{-1}P$) respectively. Dry weight of shoot was positively and significant correlated with Olsen –P.

Keywords: Phosphorus, Corn, Critical level, Cate–Nelson, Mitscherlich-Bray

1,2,3- MSc Graduate, Assistant Professor and Associate Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Respectively
(* - Corresponding Author Email: areyhani@tabrizu.ac.ir)