

## بررسی تأثیر زئولیت و رطوبت خاک بر افزایش جذب کود فسفات، پتاسیم قابل جذب خاک و شاخص‌های زراعی ذرت

امیرحسین شکوهی<sup>۱</sup>، مسعود پارسی‌نژاد<sup>۲</sup>، حمیده نوری<sup>۳\*</sup>، بابک متشع زاده<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲. دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳. استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۴. استادیار گروه مهندسی علوم خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۶/۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۰/۲۲)

### چکیده

به علت محدودیت دسترسی گیاهان به فسفر در خاک به‌خصوص خاک‌های آهکی، بررسی راهکارهای افزایش قابلیت جذب فسفر به‌وسیله گیاه اهمیت ویژه‌ای دارد. در این پژوهش، تأثیر مدیریت زمان آبیاری و وجود زئولیت و وجود منافذ مصنوعی ایجادشده (ماکروپور) در جذب فسفر به‌وسیله گیاه ذرت به‌طور هم‌زمان و به‌طور مستقل مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به شکل گلدانی در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار انجام و تیمارها شامل وجود و عدم وجود زئولیت، سطوح مجاز تخلیه رطوبتی ۴۰ و ۵۰ درصد و وجود و عدم وجود منافذ مصنوعی ایجادشده (ماکروپور مصنوعی) بود. در این بررسی، تأثیر تیمارها بر افزایش جذب پتاسیم قابل جذب خاک نیز مورد بررسی قرار گرفت. غلظت فسفر جذب‌شده در تیمار حاوی زئولیت ۱۵۹۳/۳ و در تیمار بدون زئولیت ۱۵۴۵/۲، در سطح تخلیه مجاز ۴۰ درصد ۱۵۵۷/۳ و ۵۰ درصد ۱۵۸۱/۲ و در تیمارهای با منافذ مصنوعی ایجادشده ۱۵۶۱/۸ و تیمارهای بدون این منافذ ۱۵۷۶/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل، تفاوت معنی‌داری به لحاظ آماری از نظر افزایش جذب فسفر را نشان نداد. همچنین، تیمارهای مورد بررسی در جذب پتاسیم قابل جذب خاک نیز تفاوت معنی‌داری به لحاظ آماری نداشتند. وزن بلال در تیمارهای حاوی زئولیت کاهش معنی‌داری یافت، اما تیمارها تأثیر معنی‌داری بر سایر صفات زراعی نداشتند ( $P < 0.05$ ).

واژه‌های کلیدی: سطوح مجاز تخلیه رطوبت، خاک آهکی، فسفر، ماکروپور.

### مقدمه

فسفر مهم‌ترین عنصر غذایی مورد نیاز گیاه بعد از نیتروژن است. اهمیت زیاد فسفر به دلیل نقش مهمی است که در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ایفا می‌کند. از سوی دیگر، فسفر به دلیل منابع محدود آن، دارای اهمیت ویژه‌ای است (Syers, 2008). با توجه به محدود بودن منابع خاک فسفات، استفاده بهینه و مناسب برای افزایش چرخه استفاده از این عنصر ضروری است. جذب فسفر به‌وسیله گیاه به عواملی چون اسیدیته خاک، بافت خاک و سیستم توسعه ریشه بستگی دارد. جذب فسفر به دلیل سرعت تثبیت بالا، انحلال کم و عدم پویایی این عنصر در خاک، با مشکلاتی روبروست. لذا، کشاورزان برای حل این مشکل، عموماً از مقادیر زیاد کود فسفات در اراضی کشاورزی استفاده می‌کنند (Malakouti, 2004). استفاده بیش‌ازحد کود فسفات، مشکلاتی از قبیل ورود فسفر به آب‌های

سطحی و پیدایش پدیده غنی شدن آب‌های سطحی (Eutrophication) را به وجود می‌آورد.

مناسب‌ترین خاک‌ها برای جذب فسفر، خاک‌هایی با مقادیر اسیدیته ۶/۵ (Malakouti, 2004) و بین ۶/۵ الی ۷/۵ (Dubbin, 2001) گزارش شده است. یکی از عوامل مهم دیگر در جذب فسفر، رطوبت است. با افزایش رطوبت خاک، جذب فسفر به‌وسیله گیاه افزایش می‌یابد که دلیل این امر انحلال بیشتر فسفر و توسعه بیشتر ریشه در اثر رطوبت است (Misra, 2003). زئولیت، ماده‌ای معدنی است که عمدتاً از آلومینوسیلیکات تشکیل شده و در صنایع به‌عنوان جاذب سطحی کاربرد دارد. زئولیت به دلیل قابلیت تبادل یونی، در کشاورزی به‌عنوان ماده مغذی نیز استفاده می‌شود (Ramesh et al., 2011). بیش از ۵۰ نوع از این ماده تاکنون شناسایی شده که زئولیت طبیعی کلینوپتیلولایت (Clinoptilolite)، بیشترین فراوانی را دارد (Abadzic and Ryan, 2011). مطالعات انجام شده در مورد این نوع زئولیت، اثرات اصلاح‌کنندگی خاک و حفاظت نیتروژن در

پتاسیم در کشت ذرت نشان داد که در کل، اثر ژئولیت از نظر آماری در سطح یک درصد، در تمام صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود، اما سطح ۱۰ درصد ژئولیت، بهترین و سطح ۱۵ درصد، ضعیف‌ترین پاسخ گیاهی را نشان داد (Moteszarezhadeh and Asgari, 2013). نتایج مطالعات (Aainaa et al, 2014) نشان داد که از ژئولیت کلینوپتیلولایت، می‌توان در راستای کاهش مصرف کودهای فسفر، نیتروژن و پتاسیم استفاده کرد، بدون این‌که عملکرد به‌طور معنی‌داری کاهش یابد. بررسی مدیریت رطوبت خاک بر جذب فسفر در گیاه ذرت نشان داد با افزایش رطوبت، وزن کل گیاه، جذب فسفر و طول ریشه افزایش یافت (Misra, 2003). Kouchakzadeh et al. (2007) در یک آزمایش گلدانی نشان دادند که تمام صفات اندازه‌گیری شده به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر ژئولیت قرار گرفتند، اما درصد تخلیه رطوبت به لحاظ آماری تأثیر معنی‌داری در شاخص زراعی برگ و ساقه نداشت. در مجموع، مطالعات صورت گرفته تأثیر استفاده از ژئولیت در افزایش جذب کود فسفات و پتاسیم در شرایط مناسب از جمله درصد مناسب اختلاط و pH اسیدی خاک را نشان می‌دهند. همچنین، با افزایش رطوبت، رشد ریشه افزایش یافته و جذب مواد مغذی از جمله فسفر توسط گیاه افزایش می‌یابد.

هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر ژئولیت کلینوپتیلولایت به مقدار دو درصد وزنی خاک با توجه به توجه‌پذیری اقتصادی و تلفیق با سایر مدیریت‌ها، بر افزایش جذب کود فسفات، پتاسیم قابل‌جذب خاک و برخی صفات زراعی ذرت در خاک آهکی است. با توجه به کارایی بالای ژئولیت کلینوپتیلولایت در خاک‌های اسیدی، در این مطالعه کارایی این ماده در تلفیق با مدیریت‌های یادشده در خاک‌های آهکی بررسی شده است.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۲ در یک فصل زراعی در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات آب‌و‌خاک گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران، واقع در کرج انجام شد. مشخصات خاک مورد استفاده در جدول (۱) نشان داده شده است. مقادیر بارندگی در مدت انجام این بررسی، ۴/۱ میلی‌متر گزارش شد.

خاک (He, 2002)، قابلیت بالا در تبادل آمونیوم (Inglezakis et al, 2004)، افزایش جذب فسفر و کاهش بار آلودگی این عنصر (Ramesh et al, 2011) را نشان دادند. از سایر کاربردهای ژئولیت در کشاورزی می‌توان به پیشگیری در راستای بروز مشکلات زیست‌محیطی از طریق افزایش کارایی مصرف نیتروژن (Millan et al, 2008)، فسفر (Hua et al, 2006) و آب (Olczyk, 2005) اشاره کرد. یکی از راهکارهای افزایش جذب فسفر به‌وسیله گیاه و کاهش بار آلودگی آن، استفاده از ژئولیت طبیعی کلینوپتیلولایت است. کلینوپتیلولایت به‌عنوان تبادل‌گر آمونیومی با خاک فسفات واکنش داده، کلسیم را از خاک فسفات خارج کرده و حلالیت خاک فسفات را افزایش می‌دهد. قیمت ژئولیت‌ها بر اساس نوع و کاربرد آن تعیین می‌شود. کاتالیزورهای طبیعی در آمریکا سه الی چهار دلار بر کیلوگرم، ژئولیت‌های طبیعی در کاربردهای وسیع ۰/۲۵ الی ۰/۴ دلار بر کیلوگرم و ژئولیت‌های طبیعی که کاربرد جاذب دارند ۱/۵ الی ۳/۵ دلار بر کیلوگرم قیمت دارند (Kulprathipanja, 2010). لذا، در کاربرد ژئولیت‌ها توجه اقتصادی حائز اهمیت است.

برای بررسی تأثیر ژئولیت کلینوپتیلولایت بر جذب فسفر و عملکرد گیاه، مطالعات مختلفی انجام شده است. et al. Barbarick (1990) مطالعه‌ای گلدانی به‌منظور بررسی جذب فسفر به‌وسیله گیاه سورگوم در وجود ژئولیت انجام دادند. در این بررسی از دو مقدار ۱۷۰ و ۳۴۰ میلی‌گرم خاک فسفات بر کیلوگرم خاک و نسبت‌های صفر، ۱/۵، ۳، ۴/۵، ۶ و ۷/۵ به یک ژئولیت کلینوپتیلولایت در مقابل خاک فسفات استفاده شد. بیشترین عملکرد ماده خشک در وجود ۳۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک فسفات مشاهده شد. با افزایش نسبت ژئولیت در خاک، مقدار جذب فسفر نیز افزایش یافت. بررسی اثر ژئولیت بر جذب فسفر (منبع خاک فسفات)، نیتروژن و پتاسیم در کشت ذرت در خاک‌های اسیدی نشان داد که جذب فسفر، نیتروژن و پتاسیم در وجود ژئولیت افزایش می‌یابد (Ahmed et al, 2010). بررسی تأثیر ژئولیت بر جذب فسفر از خاک فسفات به‌وسیله گیاه آفتابگردان نشان داد که جذب فسفر از خاک فسفات در وجود ژئولیت، افزایش می‌یابد (Pickering et al, 2002). تأثیر سطوح مختلف ژئولیت غنی‌شده (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی) بر عملکرد ماده<sup>۵</sup> خشک، اجزای عملکرد، جذب فسفر و

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در پژوهش

ECe	pH	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	کربن آلی	کلاس بافت خاک	سیلت	رس	شن	خصوصیت خاک
(dS/m)		(mg/kg)	(mg/kg)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)	
۱/۵	۷/۸	۴۱۰	۲۲/۷	۰/۱۲	۱/۳۷	لوم	۳۵	۲۵	۴۰	مقدار

گلدان‌ها و محل کشت در شکل (۱) مشاهده می‌شود. در هر گلدان زهکش لازم برای امکان تخلیه زهاب قرار داده شد. آبیاری هر گلدان به صورت سطحی، بر اساس تخلیه رطوبت و به منظور پیشگیری از رسیدن رطوبت خاک به حد تنش انجام شد. آبیاری گیاهان حاشیه‌ای گلدان‌ها به صورت قطره‌ای و با توجه به نیاز آبیاری محاسبه شده با استفاده از نرم‌افزار AGWAT انجام می‌شد. رطوبت گلدان‌ها با استفاده از دستگاه TDR و پروب‌های ۳۰ سانتی‌متری به صورت روزانه قرائت شد.

نمونه‌برداری از خاک گلدان‌ها قبل از مرحله گل‌دهی انجام شد. نمونه‌های خاک با آگر ضربه‌ای، از اعماق ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متری هر گلدان به دست آمد. برای اندازه‌گیری فسفر قابل استفاده خاک، از روش اولسن (Olsen) استفاده شد. از نمونه‌های خاک، عصاره‌گیری صورت گرفت. برای عصاره‌گیری از خاک، ۴۲ گرم بی‌کربنات سدیم ( $\text{NaHCO}_3$ ) به ازای ۱۰ نمونه خاک (هر نمونه ۱۰۰ سی‌سی) استفاده شد (۲۱۰ گرم بی‌کربنات سدیم برای ۵۰ نمونه خاک). سپس بی‌کربنات سدیم با ۴/۵ لیتر آب مقطر مخلوط شده و به pH ۸/۵ رسانده شد و محلول حاصل در بالن پنج لیتری به حجم رسانده شد. پنج گرم از هر نمونه خاک با ۱۰۰ سی‌سی محلول به مدت ۳۰ دقیقه در شیکر قرار داده و از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شد (Sparks, 1996). قرائت غلظت فسفر عصاره خاک به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (روش رنگ سنجی) مدل 6705 UV/VIS صورت گرفت. در روش رنگ سنجی، ابتدا ۵/۲۲ گرم آمونیوم مولیبدات در ۴۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل گردید و ۲۵/۱ میلی‌گرم آمونیوم وانادات در ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر جوش حل گردید. پس از خنک شدن، محلول‌ها مخلوط و ۲۵۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ اضافه گردید و با آب مقطر به حجم لیتر رسید. ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره گرفته شده و ۱۰ میلی‌لیتر محلول در بالن ۵۰ میلی‌لیتر ریخته شد و به حجم رسید. در نهایت محلول جدید ایجاد شده پس از ۳۰ دقیقه، قرائت گردید (Sparks, 1996). برای تعیین میزان فسفر جذب شده به وسیله گیاه نیز از نمونه‌های گیاه، عصاره‌گیری صورت گرفت. ابتدا بوته‌های ذرت هر گلدان به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. سپس، نمونه‌های خشک گیاه به طور کامل آسیاب شدند. از هر نمونه خشک و آسیاب شده، یک گرم در بوته چینی قرار داده و در کوره با دمای ۴۸۰ درجه سلسیوس گذاشته شد. سپس، خاکستر گیاه با اسید کلریدریک یک نرمال عصاره‌گیری شد، از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده و غلظت فسفر عصاره گیاه به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین شد. با توجه به وزن اندام هوایی، غلظت فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

نمونه‌برداری از خاک به منظور تعیین مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک انجام و بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962) تعیین شد. از عصاره اشباع به دست آمده از نمونه‌های خاک، مقادیر فسفر و نیتروژن به روش اسپکتروفتومتری (Sparks, 1996; Bremner & Mulvaney, 1996) پتانسیم با استفاده از روش فلیم‌فتمتر (Sparks, 1996) و هدایت الکتریکی (ECe) و اسیدیته (pH) با استفاده از EC متر (۳۵ و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر و با تراکم دو بوته ذرت در هر گلدان انجام شد.

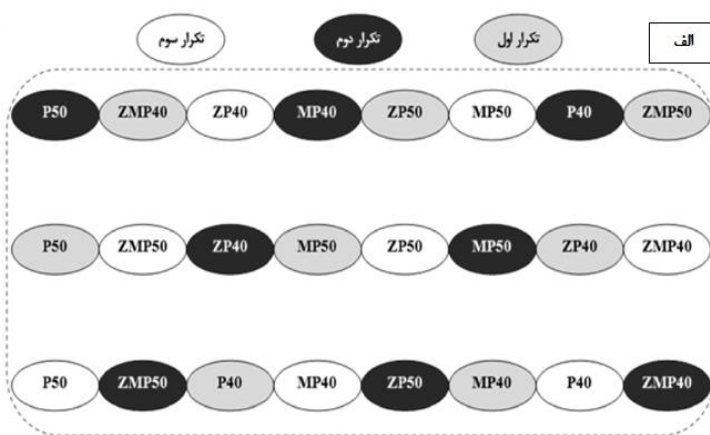
ذرت کشت شده رقم زودرس سینگل کراس ۷۰۴ و با هدف کشت علوفه‌ای بود. در شرایط رطوبت کافی، هر چه درجه حرارت خاک بالاتر باشد، رویش ذرت در مدت زمان کوتاه‌تری صورت خواهد گرفت. ذرت برای تولید یک واحد ماده خشک، بسته به شرایط آب و هوایی و پتانسیل تولید ارقام مختلف، به طور متوسط نیاز به ۳۴۲ (۲۳۳-۴۴۵) واحد آب دارد (Nourmohamadi *et al*, 2010). بهترین اراضی برای ذرت، خاک‌های عمیق با بافت متوسط، زهکشی خوب و قدرت نگهداری زیاد آب است. همچنین، میزان کود مورد نیاز ذرت بر اساس آزمون خاک تعیین شد (Nourmohamadi *et al*, 2010).

مطالعه به صورت طرح کامل تصادفی با سه فاکتور وجود و عدم وجود زئولیت، سطوح مجاز تخلیه رطوبت ۴۰ و ۵۰ درصد و وجود و عدم وجود منافذ ایجاد شده مصنوعی (ماکروپور مصنوعی)، در سه تکرار انجام شد. در محل قرارگیری گلدان‌ها گودالی به ابعاد ۰/۵×۴×۴ متر حفر و گلدان‌ها در داخل آن قرار داده شد. در اطرف گودال و به منظور حذف اثر حاشیه‌ای، چهار ردیف ذرت کشت شد. کود سوپر فسفات تریپل، به مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به عنوان منبع فسفر (۳۰ گرم کود در گلدان حاوی ۶۰ کیلوگرم خاک)، ۴۰ قطعه لوله‌های باریک پلاستیکی، هر یک به اندازه پنج سانتی‌متر به عنوان قطعات ماکروپور مصنوعی برای تسهیل در برقراری جریان ترجیحی و ایجاد زهاب و زئولیت کلینوپتیلولایت با دانه‌بندی یک میلی‌متر به مقدار دو درصد وزنی خاک و با در نظر داشتن توجیه اقتصادی آن در مقیاس بزرگ، هر یک متناسب با تیمار مورد نظر با خاک به صورت یکنواخت ترکیب شد.

تیمار شاهد تیمارهای P40 و P50 شامل کود فسفات در دو سطح رطوبتی بودند. کود اوره به تمام گلدان‌ها، بر اساس نتایج آزمون خاک، به مقدار یکسان داده شد. نمایی از قرارگیری

پژوهش از خاک شسته شد. تجزیه واریانس برای صفات اندازه‌گیری شده با نرم‌افزار SAS انجام گرفت و میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون مقایسه میانگین دانکن در سطح پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفت.

به فسفر جذب‌شده بر حسب گرم تبدیل شد. فسفر جذب‌شده به وسیله ریشه نیز از بیلان فسفر به دست آمد. در این پژوهش اثر تیمارها بر شاخص‌های عملکرد شامل وزن بلال، برگ، ساقه، وزن تر، وزن خشک کل و بر پتاسیم جذب‌شده از خاک بررسی شد. برای بررسی تراکم ریشه ایجاد شده، ریشه‌ها در انتهای



شکل ۱. جانمایی گلدان‌ها، Z معرف تیمار حاوی زئولیت، M ماکروپور، P کود و ۴۰ و ۵۰ سطوح مجاز تخلیه رطوبت (الف)، محل انجام آزمایش (ب)

و مقایسه این مقادیر با مقدار اولیه فسفر اضافه‌شده (۳۰ گرم سوپر فسفات تریپل) و ۱/۳۶۵ گرم فسفر اولیه قابل جذب در خاک، مشاهده می‌شود میانگین فسفر جذب‌شده به وسیله گیاه ۳۳ درصد، فسفر جذب‌شده به وسیله ریشه ۳۷ درصد و فسفر باقی‌مانده در خاک ۳۰ درصد است. با توجه به این که ریشه گیاه در خاک باقی‌مانده و دوباره با شخم مجدد زمین، برای کشت فصل بعد با خاک مخلوط می‌شود، می‌توان مقادیر فسفر جذب‌شده به وسیله ریشه را عملاً جزو فسفر باقی‌مانده در خاک به حساب آورد که نهایتاً به عنوان فسفر قابل جذب خاک منظور می‌شود. لذا، می‌توان مطرح نمود که ۳۳ درصد جذب فسفر به وسیله گیاه و ۶۷ درصد فسفر باقی‌مانده در خاک (قابل جذب) مشاهده شد.

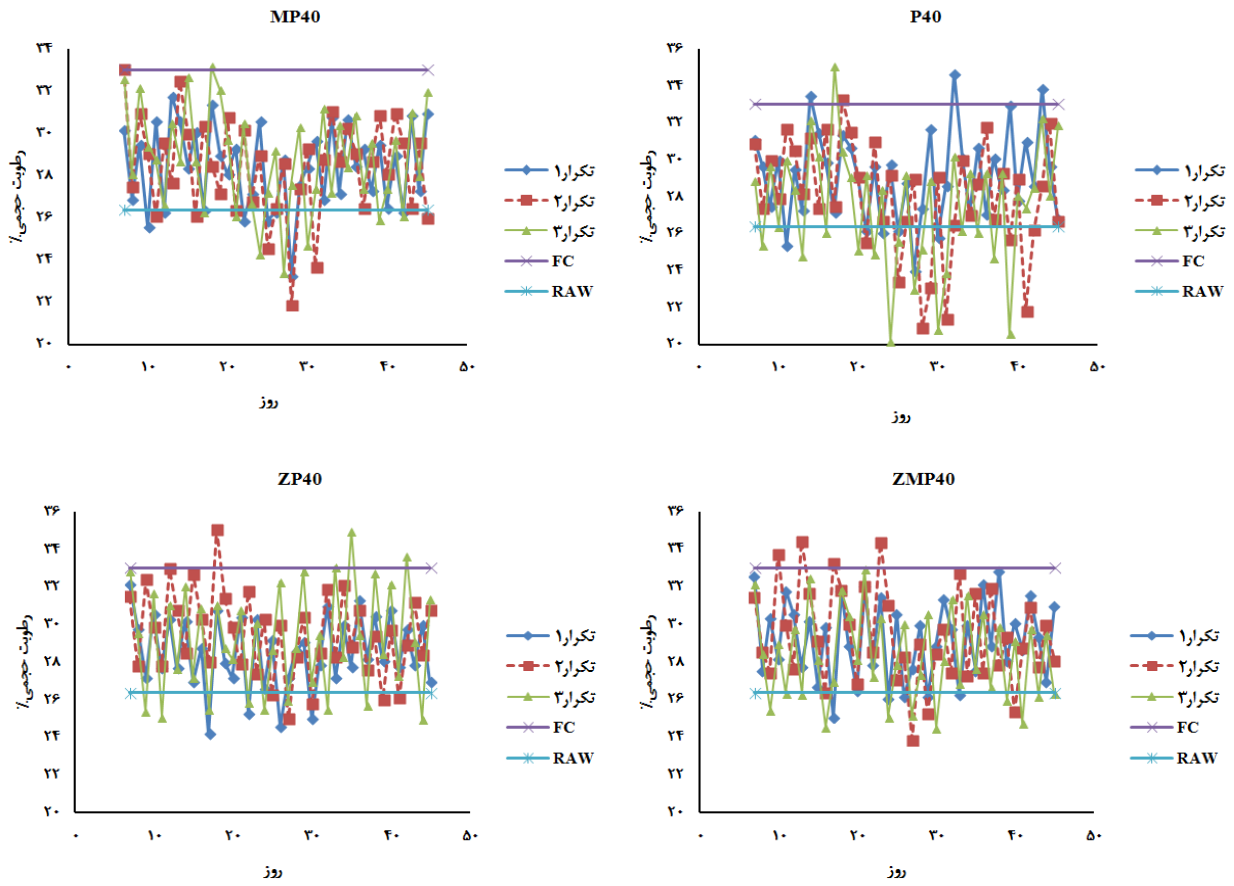
## نتایج و بحث

با توجه به این که مبنای آبیاری گلدان‌ها در راستای پیشگیری از تنش گیاهی صورت گرفت، قرائت روزانه رطوبت برای تعیین دور آبیاری انجام شد. با بررسی داده‌های رطوبتی (شکل ۲)، مشاهده می‌شود تغییرات رطوبتی خاک در طول دوره مطالعه به طور کلی در بازه سه‌الوصول قرار داشت مگر در تیمار P40 که رطوبت خاک در چند مرحله به پایین‌تر از حد سه‌الوصول کاهش پیدا کرده است. در این شرایط، به لحاظ تثوریک، گیاه تحت تنش قرار گرفته لیکن با توجه به فواصل کم آبیاری، عملکرد گیاه تحت تأثیر قرار نگرفت. مقادیر آبیاری در تیمارهای مختلف در جدول (۲) ارائه شده است. مقایسه میانگین تیمارها در آزمون دانکن در سطح پنج درصد، کاهش حجم آب آبیاری در وجود زئولیت را نشان داد. دلیل این امر جذب بودن زئولیت است که رطوبت را بیشتر در خاک نگه‌داشته و کاهش رطوبت کندتر می‌شود، لذا نیاز به آبیاری کمتر می‌شود (Ramesh et al, 2011)؛ اما این تفاوت نسبت به عدم وجود زئولیت معنی‌دار نبود که ناکافی بودن نسبت زئولیت استفاده‌شده و تراکم بالای ریشه از دلایل آن است (جدول ۳). به عبارتی، در اثر تراکم کشت ایجادشده، آب آبیاری داده‌شده در تیمارها به سرعت جذب ریشه شده است.

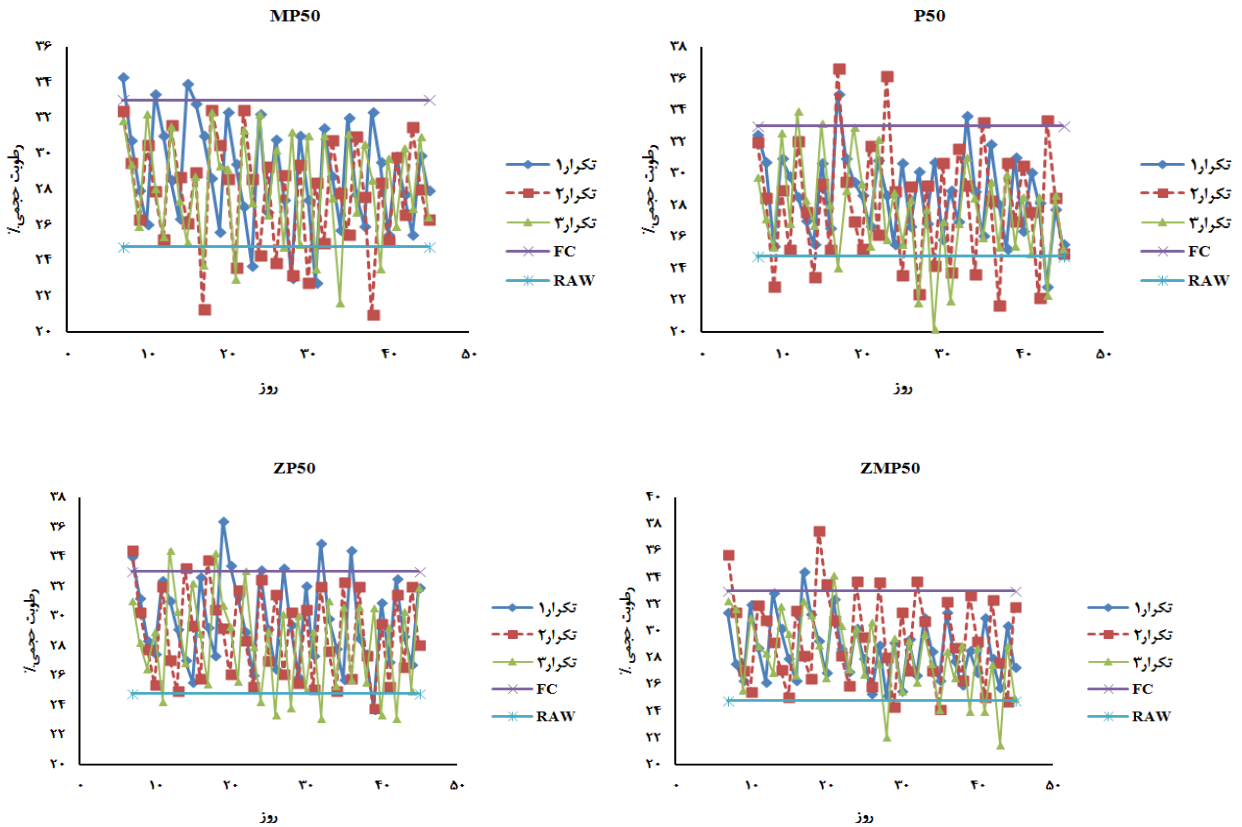
نتایج مربوط به مقادیر فسفر جذب‌شده به وسیله گیاه، ریشه و فسفر باقی‌مانده در خاک (قابل جذب) در جدول (۴) مشاهده می‌شود. با بررسی مقادیر فسفر جذب‌شده در هر تیمار

جدول ۲. مقادیر آبیاری در تیمارها

تیمار	میانگین ارتفاع آب آبیاری (میلی‌متر)	میانگین آب داده شده (لیتر)
ZMP50	۹۷۵	۹۳/۶
P40	۱۱۴۷/۹۱	۱۱۰/۲
MP50	۱۰۵۰	۱۰۰/۸
ZP50	۱۰۲۵	۹۸/۴
MP40	۱۱۲۸/۱۲	۱۰۸/۳
ZP40	۱۱۰۸/۳۳	۱۰۶/۴
ZMP40	۱۰۸۸/۵۴	۱۰۴/۵
P50	۱۱۵۰	۱۱۰/۴



شکل ۲. الف. داده‌های رطوبتی تیمارهای ۴۰ درصد تخلیه مجاز



شکل ۲. ب. داده‌های رطوبتی تیمارهای ۵۰ درصد تخلیه مجاز

جدول ۳. مقایسه میانگین مقادیر آبیاری در تیمارهای زئولیت

تیمار	حجم آب داده شده (لیتر)
وجود زئولیت	۱۰۰/۷ <sup>A</sup>
عدم وجود زئولیت	۱۰۷/۴ <sup>A</sup>

جدول ۴. فسفر جذب شده به وسیله ریشه، خاک و گیاه

تیمار	جذب گیاهی (گرم)	جذب به وسیله ریشه (گرم)	باقی مانده در خاک (گرم)
ZMP50	۲/۱۸	۲/۸۵	۲/۳۳
P40	۲/۴۳	۲/۷۸	۲/۱۵
MP50	۲/۴۶	۲/۷۸	۲/۱۳
ZP50	۲/۳۷	۲/۸۱	۲/۱۹
MP40	۲/۴۸	۲/۵۲	۲/۳۶
ZP40	۲/۴۱	۲/۶۷	۲/۲۸
ZMP40	۲/۲۴	۲/۹۲	۲/۲۱
P50	۲/۴	۲/۷۳	۲/۲۴

تجزیه واریانس مقادیر فسفر جذب شده به وسیله گیاه، از نظر آماری، تفاوت معنی داری در تیمارهای زئولیت، ماکروپور و سطوح مجاز تخلیه رطوبتی به لحاظ افزایش جذب فسفر نسبت به تیمارهای شاهد نشان نداد. آزمون مقایسه میانگین دانکن در

سطح پنج درصد، نشان داد غلظت فسفر جذب شده گیاهی در وجود زئولیت افزایش یافته اما این مقدار افزایش، تفاوت معنی داری نسبت به عدم وجود زئولیت ایجاد نکرده است (جدول ۵). دلیل این امر می تواند ناکافی بودن نسبت زئولیت استفاده شده در سطح دو درصد وزنی خاک با توجه به قلیابیت خاک تحت کشت باشد. خاک های آهکی حاوی مقادیر بالای کلسیم می باشند. زئولیت اضافه شده به خاک اسیدی، با توجه به قابلیت تبادل آمونیوم رئولیت، کلسیم را از خاک فسفات (در این مطالعه کود فسفات) خارج کرده و قابلیت انحلال کود افزایش می یابد، به عبارتی، کار آبی زئولیت در خاک های اسیدی بسیار مناسب است (Barbarick, 1990)؛ اما در خاک های عمده مناطق ایران که آهکی است، مقدار کلسیم بسیار زیاد است، بنابراین نیاز به زئولیت بیشتری است که این افزایش مقدار زئولیت در بعضی موارد توجیه اقتصادی نخواهد داشت.

مقایسه میانگین تیمارهای حاوی ماکروپور و سطوح مختلف تخلیه رطوبت به لحاظ آماری، تفاوت معنی داری در غلظت و مقدار فسفر جذب شده به وسیله گیاه نسبت به تیمارهای شاهد نشان نداد (جدول های ۶ و ۷). Nahar and Gretzmacher (2002) گزارش کردند که سطوح مختلف رطوبتی تفاوت معنی داری در عملکرد و جذب فسفر ندارد، اما به طور کلی، با کاهش رطوبت، جذب فسفر با شیب ملایمی کاهش پیدا کرد.

جدول ۵. مقایسه میانگین غلظت فسفر جذب شده گیاهی در تیمارهای زئولیت

تیمار	میانگین غلظت فسفر جذب شده گیاهی (میلی گرم بر کیلوگرم)
وجود زئولیت	۱۵۹۳/۳ <sup>A</sup>
عدم وجود زئولیت	۱۵۴۵/۲ <sup>A</sup>

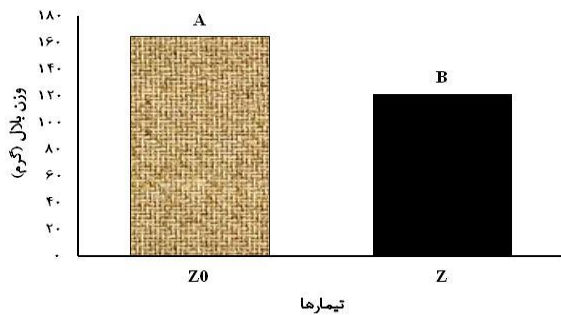
جدول ۶. مقایسه میانگین غلظت فسفر جذب شده گیاهی در تیمارهای ماکروپور و تخلیه رطوبتی

تیمار	میانگین غلظت فسفر جذب شده گیاهی (میلی گرم بر کیلوگرم)
وجود ماکروپور	۱۵۶۱/۸ <sup>A</sup>
عدم وجود ماکروپور	۱۵۷۶/۶ <sup>A</sup>
سطح تخلیه ۴۰٪	۱۵۵۷/۳ <sup>A</sup>
سطح تخلیه ۵۰٪	۱۵۸۱/۲ <sup>A</sup>

جدول ۷. مقایسه میانگین فسفر جذب شده گیاهی در تیمارهای ماکروپور و تخلیه رطوبتی

تیمار	میانگین فسفر جذب شده گیاهی (گرم)
وجود ماکروپور	۱/۱۴ <sup>A</sup>
عدم وجود ماکروپور	۱/۱۷ <sup>A</sup>
سطح تخلیه ۴۰٪	۱/۱۹ <sup>A</sup>
سطح تخلیه ۵۰٪	۱/۱۱ <sup>A</sup>

کشت است که مانع تشکیل زهاب و شسته شدن رسوبات فسفر به وسیله زهاب خروجی شد.



شکل ۳. مقایسه وزن بلال در تیمارهای زئولیت

### نتیجه‌گیری

فسفر عنصری با قابلیت انتقال پایین، انحلال کم و در نتیجه قابلیت جذب گیاهی پایین است. اگرچه نگرانی از بروز زمینه‌های آلاینده‌ی محیط‌زیست در مقایسه با نیترات به مراتب کمتر است، لیکن بررسی راهکارهای مدیریتی در راستای افزایش جذب گیاهی فسفر اهمیت بسیاری دارد. افزایش جذب گیاهی فسفر در شرایطی که احتمال بروز تلفات و آلودگی محیط‌زیست بیشتر باشد، از اهمیت مضاعفی برخوردار است. نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان داد به دلیل قلیابیت خاک منطقه و ناکافی بودن نسبت زئولیت استفاده شده (به مقدار دو درصد وزنی خاک)، جذب گیاهی فسفر و پتاسیم در سطح پنج درصد افزایش نیافت. مقادیر زئولیت استفاده شده با توجه به در نظر داشتن توجیه اقتصادی اجرای طرح در مقیاس کلان انجام گرفت، لیکن با استفاده از مقادیر بالاتر زئولیت، انتظار می‌رود جذب فسفر و پتاسیم افزایش یابد. توجیه‌پذیری استفاده از نسبت‌های بالای زئولیت در مقیاس‌های بزرگ قابل تأمل و بررسی بیشتر است. هم‌چنین، مدیریت زمانی آبیاری در راستای بالاتر نگاه داشتن به وسیله رطوبت خاک و شبیه‌سازی ماکروپور مصنوعی نیز در راستای فرضیه اولیه افزایش جذب گیاهی فسفر و پتاسیم مؤثر نبودند. این نتایج نیز می‌تواند به دلیل دست‌خوردگی خاک در زمان پر کردن گلدان‌ها و از بین رفتن ساختمان خاک، تراکم بالای کشت و در نتیجه میزان بالای آب مصرفی در واحد سطح و نهایتاً عدم تشکیل تلفات عمقی باشد. در میان شاخص‌های زراعی نیز تنها وزن بلال در وجود زئولیت به‌طور معنی‌داری در سطح پنج درصد کاهش یافت که نشان می‌دهد در شاخص‌های زراعی گیاه ذرت، بلال نسبت به کاهش آب آبیاری حساس‌تر است.

منافذ ایجاد شده مصنوعی برای تسهیل جریان ترجیحی و تشکیل زهاب، به دلیل تراکم کشت بالا که منجر به مصرف تمام آب آبیاری به وسیله گیاه شده، نتوانست مطابق با انتظار رفتار کند و تأثیرات این منافذ می‌تواند تنها به توزیع مجدد رطوبت در داخل خاک منجر شده باشد.

تجزیه واریانس غلظت پتاسیم جذب شده از خاک در سطح پنج درصد، در تیمارهای حاوی زئولیت، ماکروپور و سطوح مجاز تخلیه رطوبتی تفاوت معنی‌داری در جذب پتاسیم به وسیله گیاه نسبت به تیمارهای شاهد به لحاظ آماری نشان نداد (جدول ۸). آزمون مقایسه میانگین دانکن نشان داد وجود زئولیت باعث افزایش غلظت پتاسیم جذب شده به وسیله گیاه شد، ولی این تفاوت نسبت به عدم وجود زئولیت معنی‌دار نبود. دلیل این عدم مشاهده تفاوت معنی‌دار با وجود افزایش جذب، ناکافی بودن نسبت زئولیت استفاده شده است. به‌طور کلی، وجود زئولیت باعث افزایش جذب پتاسیم در خاک‌های با مقادیر بالای پتاسیم اولیه می‌شود (Barbarick, 1990).

جدول ۸. تجزیه واریانس غلظت پتاسیم جذب شده گیاهی

منبع	درجه آزادی	میانگین مربعات	احتمال
Z	۱	۵۲۵۹۱۵۲/۸۲	۰/۶۹
M	۱	۱۰۸۷۳۹۷/۸۵	۰/۸۵
MAD	۱	۶۸۵۷۳۶۲۱/۹۶	۰/۱۷
Z*M	۱	۱۰۳۸۰۷۹۷/۱۸	۰/۵۸
Z*MAD	۱	۱۹۷۹۳۰/۲۵	۰/۹۳
M*MAD	۱	۶۵۹۲۳۰۶/۴۸	۰/۶۶
Z*M*MAD	۱	۸۸۴۴۶۶۴۱/۵۲	۰/۱۲

مقایسه میانگین تیمارها در آزمون دانکن نشان داد، در سطح احتمال پنج درصد، وجود زئولیت باعث کاهش مقادیر وزن تر کل، وزن خشک کل، وزن برگ، وزن ساقه و وزن بلال شد که می‌تواند به دلیل کاهش مقدار آبیاری در تیمارهای زئولیت باشد. رشد ذرت کاملاً به مقدار آب دریافتی وابسته بوده و با کاهش مقادیر آبیاری رشد گیاه نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Nourmohamadi, 2010)؛ اما این کاهش تنها در شاخص وزن بلال تفاوت معنی‌داری نسبت به عدم وجود زئولیت ایجاد کرده است (شکل ۳). ریشه‌های شسته شده از گلدان‌ها مقادیر ۶۰ تا ۶۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد که با توجه به ارتفاع خاک ۴۰ سانتی‌متر موجود در گلدان‌ها و قرار گرفتن دو بوته ذرت در گلدانی به قطر ۳۵ سانتی‌متر، این مقادیر کاملاً موید تراکم بالای

## REFERENCES

- Aainaa, H. N., Ahmed, O. H., Kasim, S., & Majid, N. M. A. (2014). Use of Clinoptilolite Zeolite on Selected Soil Chemical Properties, Dry Matter Production, Nutrients Uptake and Use Efficiency of Zea mays Cultivated on an Acid Soil. *International Journal of Agricultural Research*, 9(3), 136-148.
- Abadzic, S. D., & Ryan, J. N. (2001). Particle release and permeability reduction in a natural zeolite (clinoptilolite) and sand porous medium. *Environmental Science & Technology*, 35(22), 4502-4508.
- Ahmed, O. H., Majid, N. & Muhamad, N. (2010). Use of zeolite in maize (*Zea mays*) cultivation on nitrogen, potassium, and phosphorus uptake and use efficiency. *International Journal of the Physical Sciences*, 5(15), 2393-2401.
- Barbarick, K. A., Lai, T. M., & Eberl, D. D. (1990). Exchange fertilizer (phosphate rock plus ammonium-zeolite) effects on sorghum-sudangrass. *Soil Science Society of America Journal*, 54(3), 911-916.
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal*, 54(5), 464-465.
- Bremner, J., Mulvaney, C. (1996). Nitrogen-total. Methods of soil analysis. Part 3-chemical methods. 1085-1121.
- Dubbin, W. (2001). Soils. London: The Natural History Museum.
- Haluschak, P. (2000). Laboratory Methods of Soil Analysis. Canada-Manitoba Soil Survey.
- He, Z. L., Calvert, D. V., Alva, A. K., Li, Y. C., & Banks, D. J. (2002). Clinoptilolite zeolite and cellulose amendments to reduce ammonia volatilization in a calcareous sandy soil. *Plant and Soil*, 247(2), 253-260.
- Hua, Q. X., Zhou, J. M., Wang, H. Y., Du, C. W., Chen, X. Q., & Li, J. Y. (2006). Effects of modified clinoptilolite on phosphorus mobilisation and potassium or ammonium release in Ferrosols. *Soil Research*, 44(3), 285-290.
- Inglezakis, V. J., Loizidou, M. M., & Grigoropoulou, H. P. (2004). Ion exchange studies on natural and modified zeolites and the concept of exchange site accessibility. *Journal of Colloid and Interface Science*, 275(2), 570-576.
- Kouchakzadeh, M., Khashei, A., & Shahabifar, M. (2007). Effect of natural Zeolite (Clinoptilolite) and soil moisture on yield in Corn cultivation. *Scientific Information Database Journal*, 22(2), 235-241. (In Farsi).
- Kulprathipanja, S. Ed. (2010). Zeolites in industrial separation and catalysis. Weinheim, Germany: Wiley-Vch.
- Malakouti, M. G., & Homayi, M. (2004). Soil fertility of arid regions"problems and solutions". Tarbiyat Modarres University Press, second edition, 483p. (In Farsi).
- Misra, A. (2003). Influence of water conditions on growth and mineral nutrient uptake of native plants on calcareous soil (Doctoral dissertation, Lund University).
- Motesharezadeh, B., & Asgari, H. (2013). The effect of different levels of enriched Zeolite on dry matter, yield components and nutrient uptake in two cultivars of corn. *Applied Soil Research Journal*, 2(2), 90-110. (In Farsi).
- Nahar, K., & Gretzmacher, R. (2002). Effect of water stress on nutrient uptake, yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under subtropical conditions. *Bodenkultur*, 53(1), 45-51.
- Nourmohamadi, Gh., Siadat, S.A., & Kashani, A. (2010). Kernel of Wheat. Chamran University Press. 468 pp. (In Farsi).
- Olczyk, T. (2005). Vegetarian News Letter. Horticultural sciences department. A Vegetable Crops Extension Publication, (Vegetarian Apr).
- Pickering, H. W., Menzies, N. W., & Hunter, M. N. (2002). Zeolite/rock phosphate—a novel slow release phosphorus fertiliser for potted plant production. *Scientia Horticulturae*, 94(3), 333-343.
- Ramesh, K., Damodar Reddy, D., Kumar Biswas, A., & Subba Rao, A. (2011). 4 Zeolites and Their Potential Uses in Agriculture. *Advances in Agronomy*, 113-215.
- Syers, J. K., Johnston, A. E., & Curtin, D. (2008). Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin*, 18.
- Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A. and Sumner, M. E. (1996). Methods of soil analysis. Part 3-Chemical methods. *Soil Science Society of America Inc.*