تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۷، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۵ (ص ۴۶۶-۴۵۹)

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

امیرحسین شکوهی[۱]، مسعود پارسی‌نژاد[۲]، حمیده نوری*[۳]، بابک متشرع زاده[۴]

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 موردبررسی 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 قابل‌جذب خاک نیز موردبررسی 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 ازنظر افزایش جذب فسفر را نشان نداد. همچنین، تیمارهای موردبررسی در جذب پتاسیم قابل‌جذب 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 موردنیاز 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) گزارش‌شده 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 تشکیل‌شده 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 شناسایی‌شده که زئولیت طبیعی کلینوپتیلولایت (Clinoptilolite)، بیشترین فراوانی را دارد (Abadzic and Ryan, 2011). مطالعات انجام‌شده در مورد این نوع زئولیت، اثرات اصلاح‌کنندگی خاک و حفاظت نیتروژن در

* نویسنده مسئول: hnoory@ut.ac.ir

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 زئولیت در کشاورزی می‌توان به پیشگیری در راستای بروز مشکلات زیست‌محیطی از طریق افزایش کارآیی 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 زئولیت 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 زئولیت‌ها بر اساس نوع و کاربرد آن تعیین می‌شود. کاتالیزورهای طبیعی در آمریکا سه الی چهار دلار بر کیلوگرم، زئولیت‌های طبیعی در کاربردهای وسیع ۰/۲۵ الی ۰/۴ دلار بر کیلوگرم و زئولیت‌های طبیعی که کاربرد جاذب دارند ۱/۵ الی ۳/۵ دلار بر کیلوگرم قیمت دارند (Kulprathipanja, 2010). لذا، در کاربرد زئولیت‌ها توجیه اقتصادی حائز اهمیت است.

برای بررسی تأثیر زئولیت 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 زئولیت 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 زئولیت کلینوپتیلولایت در مقابل خاک فسفات استفاده شد. بیشترین عملکرد ماده خشک در وجود ۳۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک فسفات مشاهده شد. با افزایش نسبت زئولیت در خاک، مقدار جذب فسفر نیز افزایش یافت. بررسی اثر زئولیت 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 زئولیت افزایش می‌یابد (Ahmed *et al*, 2010). بررسی تأثیر زئولیت بر جذب فسفر از خاک فسفات به‌وسیله گیاه آفتابگردان نشان داد که جذب فسفر از خاک فسفات در وجود زئولیت، افزایش می‌یابد (Pickering *et al*, 2002). تأثیر سطوح مختلف زئولیت غنی‌شده (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی) بر عملکرد ماده خشک، اجزای عملکرد، جذب فسفر و پتاسیم در کشت ذرت نشان داد که در کل، اثر زئولیت از نظر آماری در سطح یک درصد، در تمام صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود، اما سطح ۱۰ درصد زئولیت، بهترین و سطح ۱۵ درصد، ضعیف‌ترین پاسخ گیاهی را نشان داد (Motesharezadeh and Asgari, 2013). نتایج مطالعات Aainaa *et al* (2014) نشان داد که از زئولیت 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 زئولیت قرار گرفتند، اما درصد تخلیه رطوبت به لحاظ آماری تأثیر معنی‌داری در شاخص زراعی برگ و ساقه نداشت. درمجموع، مطالعات صورت گرفته تأثیر استفاده از زئولیت در افزایش جذب کود فسفات و پتاسیم در شرایط مناسب ازجمله درصد مناسب اختلاط و pH اسیدی خاک را نشان می‌دهند. همچنین، با افزایش رطوبت، رشد ریشه افزایش‌یافته و جذب مواد مغذی ازجمله فسفر توسط گیاه افزایش می‌یابد.

هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر زئولیت کلینوپتیلولایت به مقدار دو درصد وزنی خاک با توجه به توجیه‌پذیری 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 کارآیی بالای زئولیت کلینوپتیلولایت در خاک‌های اسیدی، در این مطالعه کارآیی 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 مورداستفاده در جدول (۱) نشان داده شده است. مقادیر بارندگی در مدت انجام این بررسی، ۴/۱ میلی‌متر گزارش شد.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورداستفاده در پژوهش

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

نمونه‌برداری از خاک به‌منظور تعیین مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک انجام و بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962) تعیین شد. از عصاره اشباع به‌دست‌آمده از نمونه‌های خاک، مقادیر فسفر و نیتروژن به روش اسپکتروفتومتری (Bremner & Mulvaney, 1996; Sparks, 1996)، پتاسیم با استفاده از روش فلیم‌فتومتر (Sparks, 1996) و هدایت الکتریکی (ECe) و اسیدیته (pH) با استفاده از EC متر و pH متر (Haluschak, 2000) اندازه‌گیری شد. کربن آلی خاک نیز با استفاده از کوره حرارتی (Walkely & Black, 1934) اندازه‌گیری شد. آزمایش به صورت گلدانی در گلدان‌هایی با قطر ۳۵ و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر و با تراکم دو بوته ذرت در هر گلدان انجام شد.

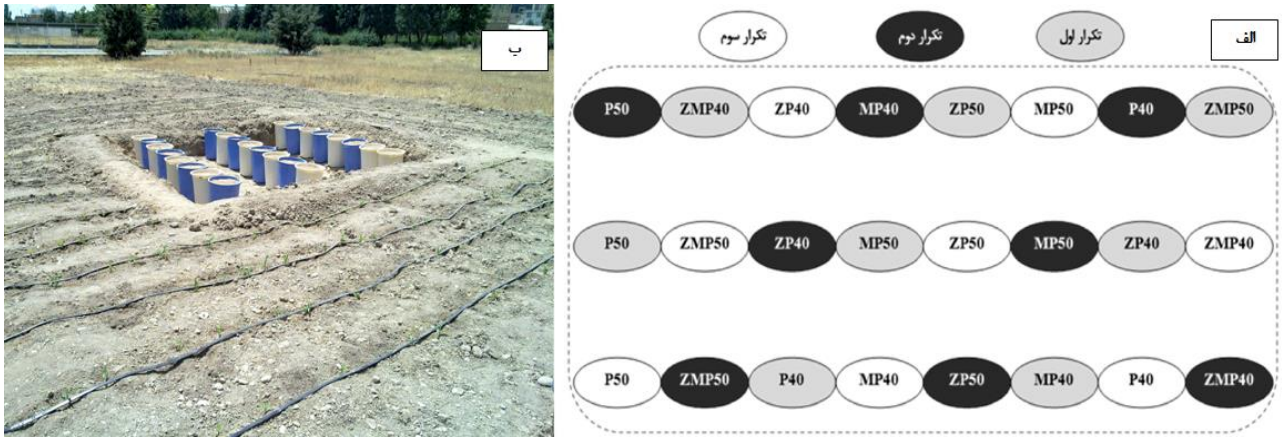
ذرت کشت‌شده رقم زودرس سینگل‌کراس ۷۰۴ و با هدف کشت علوفه‌ای بود. در شرایط رطوبت کافی، هر چه درجه حرارت خاک بالاتر باشد، رویش ذرت در مدت زمان کوتاه‌تری صورت خواهد گرفت. ذرت برای تولید یک واحد ماده خشک، بسته به شرایط آب و هوایی و پتانسیل تولید ارقام مختلف، به‌طور متوسط نیاز به ۳۴۲ (۴۴۵-۲۳۳) واحد آب دارد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

مطالعه به‌صورت 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 ایجادشده مصنوعی (ماکروپور مصنوعی)، در سه تکرار انجام شد. در محل قرارگیری گلدان‌ها گودالی به ابعاد ۴×۴×۰/۵ متر حفر و گلدان‌ها در داخل آن قرار داده شد. در اطرف گودال و به‌منظور حذف اثر حاشیه‌ای، چهار ردیف ذرت کشت شد. کود سوپر فسفات تریپل، به مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به‌عنوان منبع فسفر (۳۰ گرم کود در گلدان حاوی ۶۰ کیلوگرم خاک)، ۴۰ قطعه لوله‌های باریک پلاستیکی، هر یک به‌اندازه پنج سانتی‌متر به‌عنوان 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 موردنظر با خاک به‌صورت یکنواخت ترکیب شد.

تیمار شاهد تیمارهای P40 وP50 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 گلدان‌ها و محل کشت در شکل (۱) مشاهده می‌شود. در هر گلدان زهکش لازم برای امکان تخلیه زهاب قرار داده شد. آبیاری هر گلدان به‌صورت سطحی، بر اساس تخلیه رطوبت و به‌منظور پیشگیری از رسیدن رطوبت خاک به حد تنش انجام شد. آبیاری گیاهان حاشیه‌ای گلدان‌ها به‌صورت قطره‌ای و با توجه به نیاز آبیاری محاسبه‌شده 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 عصاره گیری از خاک، ۴۲ گرم بی‌کربنات سدیم ($NaHCO_3$) 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 گرفته‌شده و ۱۰ میلی‌لیتر محلول در بالن ۵۰ میلی‌لیتر ریخته شد و به حجم رسید. در نهایت محلول جدید ایجادشده پس از ۳۰ دقیقه، قرائت گردید (Sparks, 1996). برای تعیین میزان فسفر جذب‌شده به‌وسیله 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 به‌طور کامل آسیاب شدند. از هر نمونهٔ 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 عصاره گیری 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)

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، وزن‌تر، وزن خشک کل و بر پتاسیم جذب‌شده از خاک بررسی شد. برای بررسی تراکم ریشه ایجاد شده، ریشه‌ها در انتهای 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.



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)

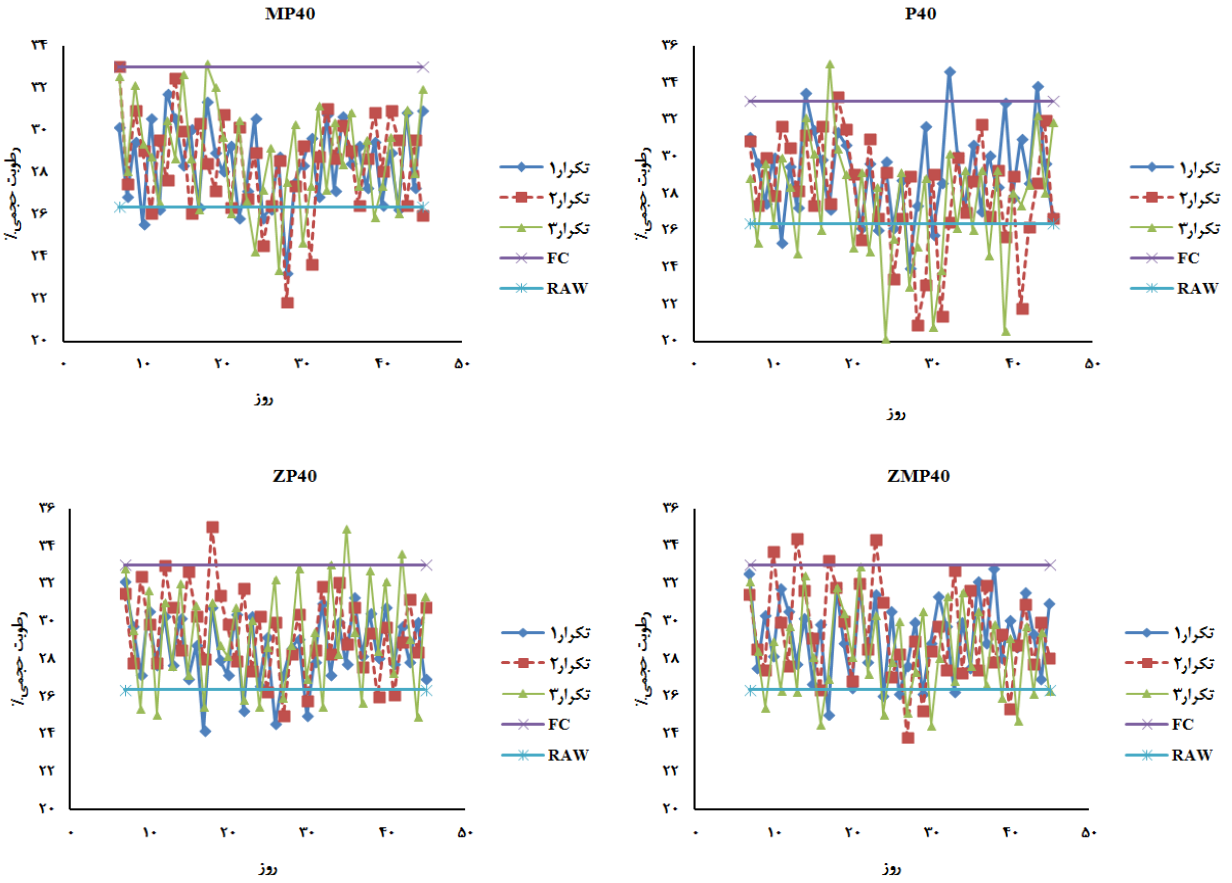
نتایج و بحث

با توجه به این‌که 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 به‌طورکلی در بازه سهل‌الوصول قرار داشت مگر در تیمار P40 که رطوبت خاک در چند مرحله به پایین‌تر از حد سهل‌الوصول کاهش پیدا کرده است. در این شرایط، به لحاظ تئوریک، گیاه تحت تنش قرارگرفته 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 جاذب 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 به‌سرعت جذب ریشه شده است.

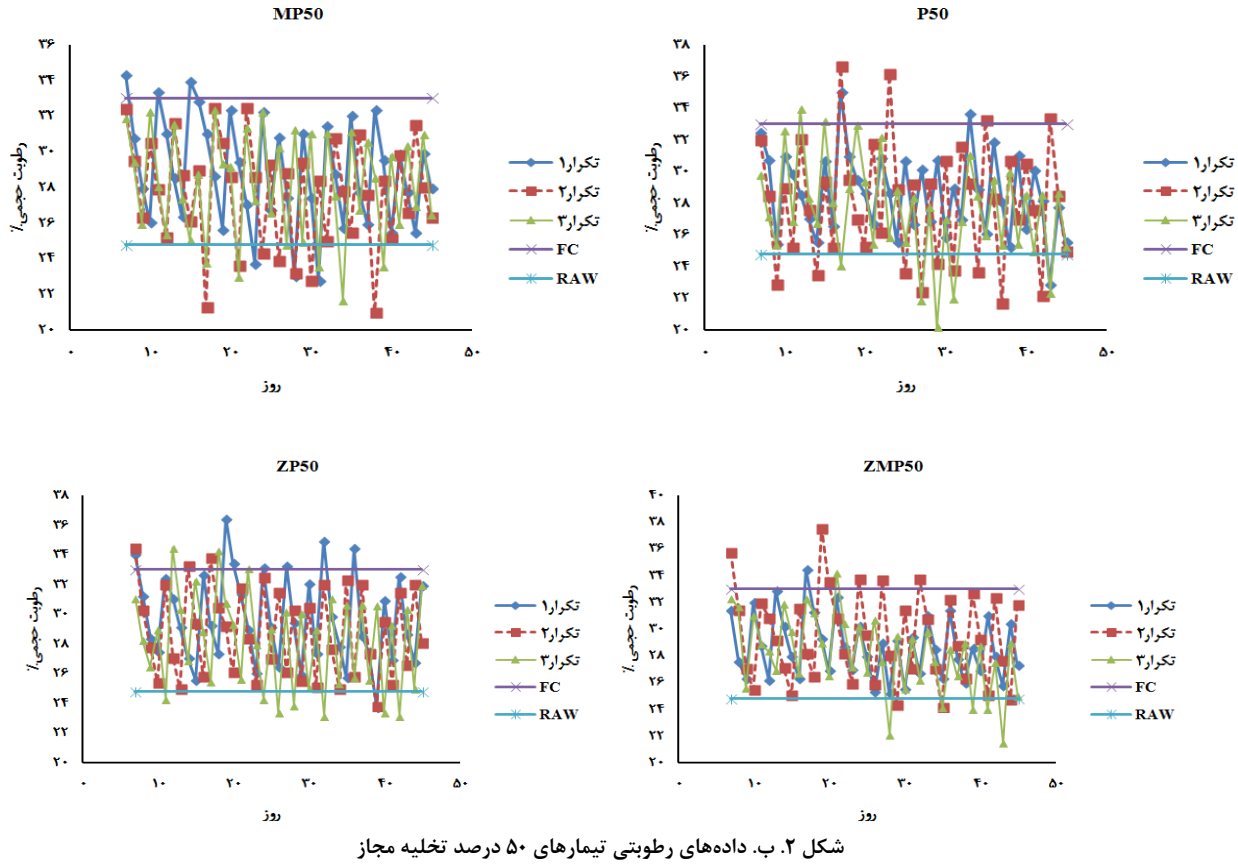
نتایج مربوط به مقادیر فسفر جذب‌شده به‌وسیله گیاه، ریشه و فسفر باقی‌مانده در خاک (قابل‌جذب) در جدول (۴) مشاهده می‌شود. با بررسی مقادیر فسفر جذب‌شده در هر تیمار و مقایسه این مقادیر با مقدار اولیه فسفر اضافه‌شده (۳۰ گرم سوپر فسفات تریپل) و ۱/۳۶۵ گرم فسفر اولیه قابل‌جذب در خاک، مشاهده می‌شود میانگین فسفر جذب‌شده به‌وسیله گیاه ۳۳ درصد، فسفر جذب‌شده به‌وسیله ریشه ۳۷ درصد و فسفر باقی‌مانده در خاک ۳۰ درصد است. با توجه به این‌که ریشه گیاه در خاک باقی‌مانده و دوباره با شخم مجدد زمین، برای کشت فصل بعد با خاک مخلوط می‌شود، می‌توان مقادیر فسفر جذب‌شده به‌وسیله ریشه را عملاً جزو فسفر باقی‌مانده در خاک به‌حساب آورد که نهایتاً به‌عنوان فسفر قابل‌جذب خاک منظور می‌شود. لذا، می‌توان مطرح نمود که ۳۳ درصد جذب فسفر به‌وسیله گیاه و ۶۷ درصد فسفر باقی‌مانده در خاک (قابل‌جذب) مشاهده شد.

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 داده‌شده (لیتر)
وجود زئولیت	۱۰۰/۷^{A}
عدم وجود زئولیت	۱۰۷/۴^{A}

جدول ۴. فسفر جذب‌شده به‌وسیله ریشه، خاک و گیاه

تیمار	جذب گیاهی (گرم)	جذب به وسیله ریشه (گرم)	باقی‌مانده 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 جذب‌شده به‌وسیله گیاه، ازنظر آماری، تفاوت معنی‌داری 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 جذب‌شده گیاهی در وجود زئولیت افزایش‌یافته اما این مقدار افزایش، تفاوت معنی‌داری نسبت به عدم وجود زئولیت ایجاد نکرده است (جدول ۵). دلیل این امر می‌تواند ناکافی بودن نسبت زئولیت استفاده‌شده در سطح دو درصد وزنی خاک با توجه به قلیاییت خاک تحت کشت باشد. خاک‌های آهکی حاوی مقادیر بالای کلسیم می‌باشند. زئولیت اضافه‌شده 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 می‌یابد، به عبارتی، کار آیی زئولیت در خاک‌های اسیدی بسیار مناسب است (Barbarick, 1990)؛ اما در خاک‌های 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 معنی‌داری در غلظت و مقدار فسفر جذب‌شده به‌وسیله گیاه نسبت به تیمارهای شاهد نشان نداد (جدول‌های ۶ و ۷). Nahar and Gretzmacher (2002) گزارش کردند که سطوح مختلف رطوبتی تفاوت معنی‌داری در عملکرد و جذب فسفر ندارد، اما به‌طورکلی، با کاهش رطوبت، جذب فسفر با شیب ملایمی کاهش پیدا کرد.

جدول ۵. مقایسه میانگین غلظت فسفر جذب‌شده گیاهی در تیمارهای زئولیت

تیمار	میانگین غلظت فسفر جذب شدهٔ گیاهی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
وجود زئولیت	۱۵۹۳/۳^{A}
عدم وجود زئولیت	۱۵۴۵/۲^{A}

جدول ۶. مقایسه میانگین غلظت فسفر جذب‌شده‌گیاهی در تیمارهای ماکروپور و تخلیه رطوبتی

تیمار	میانگین غلظت فسفر جذب‌شدهٔ گیاهی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
وجود ماکروپور	۱۵۶۱/۸^{A}
عدم وجود ماکروپور	۱۵۷۶/۶^{A}
سطح تخلیه ۴۰٪	۱۵۵۷/۳^{A}
سطح تخلیه ۵۰٪	۱۵۸۱/۲^{A}

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

تیمار	میانگین فسفر جذب‌شده گیاهی (گرم)
وجود ماکروپور	۱/۱۴^{A}
عدم وجود ماکروپور	۱/۱۷^{A}
سطح تخلیه ۴۰٪	۱/۱۹^{A}
سطح تخلیه ۵۰٪	۱/۱۱^{A}

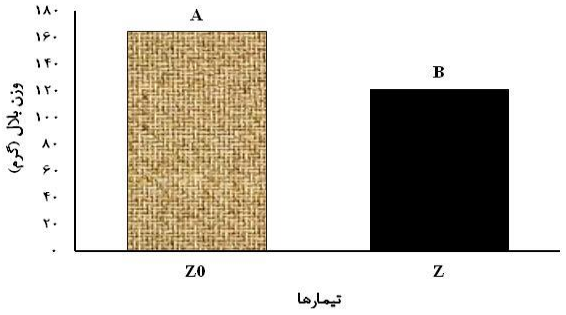
منافذ ایجادشده مصنوعی برای تسهیل جریان ترجیحی و تشکیل زهاب، به دلیل تراکم کشت بالا که منجر به مصرف تمام آب آبیاری به‌وسیله گیاه شده، نتوانست مطابق با انتظار رفتار کند و تأثیرات این منافذ می‌تواند تنها به توزیع مجدد رطوبت در داخل خاک منجر شده باشد.

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

جدول ۸. تجزیه واریانس غلظت پتاسیم جذب‌شده 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 وزن‌تر 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 کشت است که مانع تشکیل زهاب و شسته شدن رسوبات فسفر به‌وسیله زهاب خروجی شد.



شکل ۳. مقایسه وزن بلال در تیمارهای زئولیت

نتیجه‌گیری

فسفر عنصری با قابلیت انتقال پایین، انحلال کم و درنتیجه قابلیت جذب گیاهی پایین است. اگرچه نگرانی از بروز زمینه‌های آلایندگی محیط‌زیست در مقایسه با نیترات به‌مراتب 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 به‌دست‌آمده در این تحقیق نشان داد به دلیل قلیاییت خاک منطقه و ناکافی بودن نسبت زئولیت استفاده‌شده (به مقدار دو درصد وزنی خاک)، جذب گیاهی فسفر و پتاسیم در سطح پنج درصد افزایش نیافت. مقادیر زئولیت استفاده‌شده 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 قابل‌تأمل و بررسی بیشتر است. هم‌چنین، مدیریت زمانی آبیاری در راستای بالاتر نگاه‌داشتن به‌وسیله 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 درنتیجه 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.

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*.