

نقش کودهای آلی و بیولوژیک در جذب فسفر و پتاسیم توسط سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)

پرویز رضوانی مقدم^{۱*} - سید محمد سیدی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۹/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۸/۷

چکیده

کمبود فسفر و نیز کارایی جذب پایین این عنصر در خاک‌های با pH بالا، یکی از مشکلات مهم در سیستم‌های زراعی مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. از این رو، به منظور بررسی اثر کودهای آلی و بیولوژیک بر کارایی مصرف فسفر و نیز پتاسیم سیاهدانه در خاکی با pH بالا، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۵ تیمار در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. تیمارهای این آزمایش بر اساس ترکیبی از سه منبع کود آلی (کمپوست حاصل از کود گاوی، ورمی کمپوست و شاهد (بدون اعمال هیچ‌گونه کودی)) و نیز پنج کود بیولوژیک (ازتوباکتر + آروسپیریولوم، میکوریزا (*Glomus mosseae*))، ازتوباکتر + آروسپیریولوم + میکوریزا، تیوباسیلوس + گوگرد و شاهد (بدون هیچ‌گونه کودی)) تعیین شدند. نتایج آزمایش حاکی از وجود اثر معنی‌دار منابع کود آلی در افزایش کارایی مصرف فسفر و پتاسیم سیاهدانه بود. با این وجود نتایج نشان داد که بجز تیمار تیوباسیلوس + گوگرد، سایر کودهای بیولوژیک تأثیر معنی‌داری در افزایش شاخص‌های ذکر شده نداشتند. تیمار تیوباسیلوس + گوگرد در مقایسه با شاهد کارایی جذب فسفر و پتاسیم سیاهدانه را به ترتیب ۳۴/۷ و ۱۴/۶ درصد افزایش داد. نتایج اثر متقابل نیز نشان داد که اعمال تیمار ورمی کمپوست + تیوباسیلوس + گوگرد در مقایسه با تیوباسیلوس + گوگرد، مقدار فسفر دانه را بیش از دو برابر افزایش داد. همچنین اثر تیمار ورمی کمپوست + تیوباسیلوس + گوگرد در افزایش شاخص ذکر شده به طور معنی‌دار بیش از تیمار ورمی کمپوست بود. بر اساس نتایج این آزمایش به نظر می‌رسد که در خاک‌هایی با pH بالا و با میزان فسفر قابل استفاده پایین، استفاده از تیوباسیلوس به همراه مصرف گوگرد می‌تواند نقش موثری در افزایش کارایی جذب و مصرف فسفر داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: ازتوباکتر، آروسپیریولوم، باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد، کمپوست، گیاه دارویی، میکوریزا، ورمی کمپوست

مقدمه

بوته، تعداد شاخه جانبی در بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد نهایی سیاهدانه دارد (۴۰). محمد و همکاران (۳۲) نیز اعمال سطوح کودی شامل فسفر را در افزایش عملکرد و نیز عملکرد روغن و اسانس سیاهدانه ضروری دانستند. نتایج تحقیق ال-دین و احمد (۲۷) نیز بیان کننده نقش مثبت اعمال فسفر در افزایش عملکرد، اجزای عملکرد، عملکرد روغن و اسانس سیاهدانه بود.

در بسیاری از سیستم‌های کشاورزی به علت تحرک پایین فسفر در خاک، فراهمی این عنصر به منظور جذب توسط گیاه پایین می‌باشد (۳۶). سرعت پایین انتشار این عنصر در خاک نیز می‌تواند نقش موثری در کمبود یون‌های این عنصر در محلول موجود در منطقه توسعه ریشه داشته باشد (۳۷). کارایی جذب و مصرف فسفر در سال و در خاک حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد بوده و تنها جزیی از باقیمانده این عنصر در خاک ممکن است در سالیان متوالی و در نتیجه فعالیت‌های

سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) گیاهی است که به خانواده Ranunculaceae تعلق دارد. جنس *Nigella* در ایران شامل ۸ گونه می‌باشد که به طور طبیعی در نقاط مختلف کشور گسترش یافته و مورد کشت و کار قرار می‌گیرند (۳۴). به دلیل وجود خواص ضد باکتریایی و ضد انگلی در بذره‌های سیاهدانه، در ایران استفاده از این گیاه دارویی در طب سنتی سابقه ای بسیار طولانی دارد (۳۵).

فسفر و پتاسیم از جمله مهم ترین عناصر پر مصرف در تغذیه گیاهان به ویژه گیاهان دارویی می‌باشند (۱۸، ۲۶ و ۴۰). در این راستا گزارش شده است که فسفر نقش موثری در افزایش معنی‌دار ارتفاع

۱ و ۲- به ترتیب استاد و دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

*- نویسنده مسئول: (Email: Rezvani@ferdowsi.um.ac.ir)

این خاک‌ها داشته باشد (۳۹).

در خاک‌های مناطق خشک و آهکی با میزان ماده آلی پایین، استفاده از کودهای آلی مانند کمپوست و ورمی کمپوست نیز می‌تواند با بهبود خصوصیات فیزیکی خاک نقش موثری در افزایش قابلیت جذب فسفر ایفا کند. در این ارتباط محمدی آریا و همکاران (۲۳) گزارش کردند که اعمال کود ورمی کمپوست نقش موثری در کاهش pH خاک و نیز افزایش میزان فسفر محلول در آب داشت. حلاج نیا (۵) نیز اظهار داشت که در خاک‌های آهکی، اعمال کود دامی به طور معنی‌دار منجر به افزایش درصد بازیافت فسفر از خاک شد.

علاوه بر تیوباسیلوس، باکتری‌های آروسپیریلوم، ازتوباکتر و قارچ میکوریزا نیز می‌توانند نقش موثری در توسعه سیستم ریشه و در نتیجه جذب بهتر عناصر غذایی مانند فسفر در گیاهان دارویی مانند سیاهدانه، بابونه و رازیانه داشته باشند (۸، ۱۰، ۱۱ و ۱۷). از این رو، با توجه به نقش موثر کودهای آلی و نیز باکتری‌های تیوباسیلوس، آروسپیریلوم، ازتوباکتر و قارچ‌های میکوریزا در افزایش کارایی جذب استفاده از فسفر در خاک و نیز به دلیل این که بحث کارایی جذب فسفر عموماً در خاک‌هایی با مقادیر کم فسفر قابل استفاده ضرورت پیدا می‌کند (۶)، این تحقیق با هدف بررسی اثر کودهای آلی و بیولوژیک بر کارایی جذب و شاخص برداشت فسفر سیاهدانه در شرایط کشت در خاک با pH بالا و فسفر قابل استفاده بسیار پایین (جدول ۲) انجام شد. از سویی به دلیل وجود همبستگی مثبت بین جذب فسفر با جذب سایر عناصر غذایی به ویژه پتاسیم در خاک‌های آهکی (۲۰)، کارایی جذب و شاخص برداشت پتاسیم در سیاهدانه نیز مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۸۸-۸۹ به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و ۱۵ تیمار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد به اجرا در آمد. اطلاعات مربوط به داده‌های هواشناسی محل مورد آزمایش در جدول ۱ آمده است.

بیولوژیکی در خاک آزاد شده و در دسترس گیاه قرار گیرد (۳۱). در واقع نقش فسفر به عنوان عامل محدود کننده رشد گیاه زراعی همواره به معنای پایین بودن مقدار فسفر در خاک نیست، بلکه قسمتی از فسفر قابل دسترس در خاک ممکن است به دلیل واکنش‌های پیچیده در خاک محبوس شده و به شکل غیر قابل استفاده برای گیاه تبدیل شود (۶).

pH خاک همبستگی بالایی با فراهمی عناصر غذایی در خاک داشته و می‌تواند رشد و نمو و نیز تولید گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار دهد (۲۵). از این رو فراهمی پایین فسفر در خاک به ویژه در خاک‌های قلیایی می‌تواند در ارتباط با خواص فیزیکی و شیمیایی خاک به ویژه pH باشد. به عبارتی دیگر، با وجود آنکه فسفر در pH حدود ۶ تا ۷ بیشترین قابلیت استفاده را برای گیاه دارد، در pH کمی اسیدی و یا قلیایی ممکن است به ترتیب با عناصری مانند آهن و کلسیم واکنش داده و ترکیبات نامحلولی را در خاک تولید کند (۱۶). از این رو در بسیاری از خاک‌های نواحی خشک و نیز خاک‌های آهکی با pH قلیایی، به دلیل وفور کربنات‌های معدنی (CO₃) مانند کربنات کلسیم (CaCO₃)، کمبود فسفر مشاهده می‌شود (۱۶، ۳۰ و ۳۶).

در خاک‌های قلیایی، استفاده از باکتری‌های جنس *Tiobacillus* به همراه مصرف گوگرد از جمله راه کارهای افزایش فراهمی فسفر در خاک می‌باشد (۱۶). باکتری‌های این جنس از مهم ترین باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد در خاک‌های زراعی بوده که می‌توانند طبق معادله زیر با تولید اسید سولفوریک در نتیجه اکسایش بیولوژیکی گوگرد، ضمن تولید انرژی برای اعمال حیاتی خود، با کاهش pH خاک منجر به افزایش حلالیت ترکیبات فسفاتی نامحلول گردند (۱۶).



از این رو کاربرد گوگرد و اکسایش بیولوژیکی این عنصر و در نتیجه کاهش موضعی pH خاک در ناحیه ریزوسفر گیاه می‌تواند در افزایش قابلیت جذب فسفر در خاک‌های آهکی موثر باشد (۱۲). نتایج تحقیق محمدی آریا و همکاران (۲۲ و ۲۳) نیز حاکی از آن بود که اعمال گوگرد به همراه تلقیح با باکتری *Tiobacillus*، نقش موثری در کاهش pH خاک و نیز افزایش میزان فسفر محلول داشت. علاوه بر این در خاک‌های شور و یا سدیمی مناطق خشک و نیمه خشک، اعمال سولفور و در نتیجه جایگزین شدن سدیم و سایر کاتیون‌های تبدالی توسط گوگرد و به دنبال آن افزایش آب شویی نمک‌ها از خاک، می‌تواند نقش موثری در کاهش هدایت الکتریکی عصاره اشباع

جدول ۱- داده‌های هواشناسی محل مورد آزمایش در طول فصل رشد سیاهدانه از اسفند ۱۳۸۸ تا خرداد ۱۳۸۹ (سازمان هواشناسی کشور)

ماه	دما (درجه سانتی‌گراد)		بارندگی (میلی‌متر)	رطوبت (درصد)	
	میانگین حداقل	میانگین حداکثر		میانگین حداقل	میانگین حداکثر
اسفند	۶/۴	۱۷/۴	۱/۸	۴۵/۳	۸۹/۱
فروردین	۸/۳	۲۲/۲	۰/۹	۳۷/۵	۸۱/۷
اردیبهشت	۱۳/۴	۲۶/۹	۱/۲	۳۲/۰	۷۳/۹
خرداد	۱۸/۹	۳۵/۲	۰/۲	۱۵/۰	۴۶/۶

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مزرعه جهت انجام آزمایش

وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	pH	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	فسفر قابل استفاده (میلی گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل استفاده (میلی گرم بر کیلوگرم)	مقدار کربن آلی (%)	مقدار نیتروژن کل (%)	بافت
۱/۴	۸/۳۶	۳/۷۲	۱/۳۸	۵۰/۷۶	۰/۱۹۵	۰/۰۹۵	لومی- سیلتی

اوایل اسفند ماه سال ۱۳۸۸ بود. هر یک از کرت‌های آزمایش با ابعاد ۲×۴ (هشت متر مربع) ایجاد شد. فاصله کرت‌ها از یکدیگر ۰/۵ متر، فاصله پشته‌ها از یکدیگر ۰/۵ متر و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر یک متر در نظر گرفته شد.

با توجه به آنکه مقدار فسفر قابل دسترس (قابل استفاده) توسط گیاه زراعی در خاک در طول زمان به تعادل می‌رسد، مقدار فسفر قابل استفاده از خاک به عنوان معیار کودی در نظر گرفته شد. اما از آنجایی که فسفر موجود در کودهای آلی کمپوست و ورمی کمپوست می‌تواند هماهنگ با نیاز گیاه به خاک آزاد شود (۱۹)، کل مقدار فسفر موجود در این کودهای آلی در محاسبه معیار کودی مد نظر قرار گرفت.

اعمال ۴۰ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص (به صورت سوپر فسفات تریپل) به خاک به عنوان نیاز کودی سیاهدانه به فسفر در نظر گرفته شد (۴۰)، اما به دلیل آنکه ممکن است بخشی از عناصر معدنی مانند فسفر در کودهای آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی در طول فصل رشد به خاک آزاد نشود (۱۶) (که این مقدار در طول فصل رشد سیاهدانه مشخص نبود)، از این رو اعمال ۵۰ کیلوگرم فسفر خالص به خاک از هر یک از منابع آلی کمپوست و ورمی کمپوست به خاک صورت گرفت. از این رو، بر اساس مقدار فسفر قابل استفاده و اولیه در خاک (معادل ۱/۳۸ پی پی ام که نشان دهنده مقدار بسیار ناچیز فسفر قابل استفاده در خاک بود) (جدول ۲) و نیز بر اساس درصد کل فسفر موجود در کمپوست و ورمی کمپوست (معادل ۱/۱ درصد) (جدول ۳)، در یک مرحله (قبل از کاشت) معادل ۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار از دو کود آلی ذکر شده به هر یک از کرت‌های مورد نظر اعمال شد.

تیمارهای این آزمایش بر اساس ترکیبی از سه منبع کود آلی (کمپوست (حاصل از کود گاوی)، ورمی کمپوست (حاصل از کود گاوی) و شاهد (بدون اعمال هیچ‌گونه کودی)) و نیز پنج کود بیولوژیک (ازتوباکتر + آزوسپیریوم، میکوریزا (*Glomus mosseae*))، ازتوباکتر + آزوسپیریوم + میکوریزا، تیوباسیلوس + گوگرد و شاهد (بدون هیچ‌گونه کودی)) تعیین شدند.

زمین مورد نظر در سال قبل از اجرای این آزمایش به صورت آیش بود. قبل از انجام آزمایش، از خاک این زمین نمونه برداری تصادفی انجام گرفت که نتایج آنالیز آن در جدول ۲ ذکر شده است. به طور کلی پیش از اجرای آزمایش‌های مربوط به مطالعات کودهای بیولوژیک می‌بایست از عدم وجود جمعیت طبیعی میکروارگانیسم‌های مورد مطالعه در خاک اطمینان حاصل نمود. اما از آنجایی که امکان استریل کردن کل سطح زمین مورد نظر تا عمق ۳۰ سانتی متر (به منظور نابودی میکروارگانیسم‌های ذکر شده در تیمار بندی آزمایش که احتمالاً ممکن بود به طور طبیعی در خاک وجود داشته باشند) وجود نداشت، از زمین آیش جهت اجرای این آزمایش استفاده شد؛ زیرا در زمین‌های آیش، جمعیت میکروارگانیسم‌های طبیعی در خاک کاهش می‌یابد (۲۱). از سویی به دلیل حساسیت ریزوباکتری‌ها به pH خاک (۲۱) و نیز به دلیل قلیایی بودن خاک مزرعه مورد آزمایش (جدول ۲)، به نظر می‌رسد که میکروارگانیسم‌های موجود در خاک، از فعالیت چندان بر خوردار نباشند. مراحل آماده سازی زمین شامل شخم اولیه، دو دیسک عمود بر هم، تسطیح زمین و همچنین ایجاد جوی و پشته قبل از کاشت در

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی شیمیایی کودهای آلی کمپوست و ورمی کمپوست مورد استفاده در آزمایش

شاخص‌های مورد اندازه گیری	کمپوست	ورمی کمپوست
رطوبت (درصد)	۱۵	۲۷/۵
pH	۷/۲۵	۶/۹۰
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۶	۵
کربن آلی (درصد)	۲۰/۵	۱۹/۵
نیتروژن کل (درصد)	۱/۴۵	۱/۶۰
مواد آلی (درصد)	۳۷/۵	۳۷/۵
فسفر کل (درصد)	۱/۱۱	۱/۱
پتاسیم کل (درصد)	۱/۲	۱/۲
سدیم کل (درصد)	۰/۷۵	۰/۷۵

شد. به منظور اندازه گیری فسفر و پتاسیم موجود در اندام‌های سیاهدانه (روش سوزاندن در کوره الکتریکی) به ترتیب از دستگاه‌های اسپکتوفتومتر و فلانم فتومتر استفاده شد (۱۵).

جهت تعیین کارایی جذب و کارایی مصرف (زرعی) فسفر و پتاسیم و همچنین شاخص برداشت این عناصر در سیاهدانه به ترتیب از معادلات زیر استفاده شد (۳، ۱۴ و ۲۸):

$100 \times (\text{مقدار فسفر (پتاسیم) اعمال شده در خاک} / \text{مقدار فسفر (پتاسیم) زیست توده}) = \text{کارایی جذب فسفر (پتاسیم) (درصد)}$

$(\text{مقدار فسفر (پتاسیم) اعمال شده در خاک} / \text{عملکرد دانه}) = \text{کارایی مصرف فسفر (پتاسیم)}$

$100 \times (\text{مقدار فسفر (پتاسیم) زیست توده} / \text{مقدار فسفر (پتاسیم) دانه}) = \text{شاخص برداشت فسفر (پتاسیم) (درصد)}$

در تمامی معادلات ذکر شده عملکرد دانه، مقدار فسفر (پتاسیم) دانه، کاه و کلش (ساقه و برگ)، زیست توده و خاک بر حسب گرم در متر مربع محاسبه شد. همچنین مقدار فسفر (پتاسیم) دانه، کاه و کلش (ساقه و برگ) و زیست توده سیاهدانه به ترتیب از حاصل ضرب درصد فسفر (پتاسیم) در وزن خشک هر یک از آن‌ها (بر حسب گرم در متر مربع) تعیین شد. مقدار فسفر (پتاسیم) اعمال شده در خاک نیز بر اساس مجموع فسفر (پتاسیم) قابل استفاده و اولیه در خاک و همچنین مقدار کل فسفر (پتاسیم) ناشی از اعمال کودهای آلی کمپوست و ورمی کمپوست محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS انجام گرفت. همچنین جهت مقایسه میانگین اثرات متقابل از نرم‌افزار MSTAT-C و به منظور رسم شکل اثرات متقابل از نرم افزار Excel استفاده شد. میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد مورد مقایسه آماری قرار گرفتند.

نتایج و بحث

اثر منابع کود آلی بر درصد جذب فسفر و پتاسیم اندام‌های سیاهدانه

نتایج آزمایش نشان داد که با وجود افزایش معنی‌دار درصد جذب فسفر دانه در نتیجه اعمال کودهای کمپوست و ورمی کمپوست، این تیمارهای کودی تأثیر معنی‌داری در افزایش درصد فسفر ساقه و برگ و نیز زیست توده سیاهدانه نداشتند (جدول ۴ و ۵). افزایش معنی‌دار درصد فسفر دانه در نتیجه اعمال کمپوست و ورمی کمپوست در مقایسه با تیمار شاهد را می‌توان در ارتباط با فراهمی متعادل عناصر پر مصرف و کم مصرف در نتیجه اعمال این کودها دانست؛ به طوری که منجر به جذب بیشتر فسفر توسط ریشه سیاهدانه از خاک شد.

جهت تلقیح بذره‌های سیاهدانه با میکوریزا از نژاد *Glomus mosseae* استفاده شد که همزمان با کاشت به صورت دو لایه تلقیح با خاک در بالا و پایین بذرها صورت پذیرفت. اعمال باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپیریولوم (با جمعیتی معادل 10^4 سلول زنده از هر یک از جنس‌های باکتری در هر میلی لیتر (1 CFU)) در سه مرحله به صورت تلقیح با بذور قبل از کاشت (۴ لیتر در هکتار) و به صورت سرک (تلقیح با خاک بستر کاشت) در مراحل ۴ برگی (همزمان با تنک کردن) و نیز قبل از شروع رشد زایشی (هر مرحله به میزان ۵ لیتر در هکتار) انجام شد (بر اساس توصیه کودی شرکت تولید کننده (شرکت زیستی مهر آسیا)). همچنین اعمال تیوباسیلوس (با جمعیتی معادل 10^9 سلول زنده در هر گرم) به همراه مصرف گوگرد آلی بنتونیت دار (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) در یک مرحله به صورت تلقیح با بذور انجام گرفت (بر اساس توصیه کودی شرکت تولید کننده (شرکت زیستی مهر آسیا)). به منظور جلوگیری از کاهش فعالیت موثر باکتری‌ها در مایه تلقیح (حاوی چسب گیاهی)، حداقل فاصله زمانی ممکن بین فرآیند تلقیح تا کاشت بذر در نظر گرفته شد. همچنین خشک کردن بذور تلقیح یافته در سایه و تلقیح خاک همزمان با طلوع آفتاب صورت گرفت.

عملیات کاشت در هجدهم اسفند ماه ۱۳۸۸ انجام شد. به منظور کاشت از توده بومی بذر اصفهان استفاده شد. بذره‌های سیاهدانه در طرفین پشته‌ها کشت شدند. به منظور اعمال تراکم مورد نظر (۲۰۰ بوته در متر مربع) گیاه چه‌های سیاهدانه در مرحله چهار برگی با فاصله روی ردیف دو سانتی متر تنک شدند. اولین آبیاری به طور همزمان برای تمامی کرت‌ها پس از کاشت و سایر آبیاری‌ها هر هفت روز یک‌بار صورت گرفت. به منظور جلوگیری از آلودگی تیمارهای باکتریایی با یکدیگر (با در نظر گرفتن یک ردیف نکاشت بین دو کرت) از ورود آب آبیاری بین کرت‌ها خودداری شد. آخرین آبیاری نیز همزمان با شروع خشک شدن بوته‌ها (۲ هفته قبل از عملیات برداشت) انجام شد.

عملیات برداشت با زرد شدن بوته‌ها و فولیکول‌ها در هفتم تیر ماه ۱۳۸۹ انجام شد. عملکرد دانه و نیز عملکرد بیولوژیک در ۵۰ درصد مساحت هر یک از کرت‌ها و با در نظر گرفتن اثر حاشیه (عدم برداشت ردیف‌های کناری و ۲۵ سانتیمتر ابتدا و انتهای هر کرت) محاسبه گردید. به منظور جلوگیری از کاهش رشد و توسعه میکروارگانیسم‌های مورد بررسی در خاک، در طول مراحل اجرای این آزمایش از هیچ‌گونه کود شیمیایی، علف کش و یا آفت کش استفاده نشد.

نمونه‌های مورد نیاز جهت تعیین درصد فسفر و پتاسیم به طور جداگانه برای هر تیمار از مجموعه وزن خشک اندام‌های تفکیک شده این گیاه شامل دانه، ساقه و برگ و نیز زیست توده در هر کرت تهیه

افزایش عملکرد نهایی این گیاه شود. در این ارتباط آستارایی (۱) به نقش کودهای کمپوست و ورمی کمپوست در بهبود عملکرد و برخی اجزای عملکرد اسفزه (*Plantago ovata*) اشاره کرد. مرادی و همکاران (۲۴) نیز نقش کودهای کمپوست و ورمی کمپوست را در افزایش معنی دار عملکرد دانه رازیانه (*Foeniculum vulgare*) مثبت ارزیابی کردند. تهامی زرنیدی و همکاران (۴) نیز گزارش کردند اعمال ورمی کمپوست می تواند نقش مثبتی در افزایش معنی دار شاخص سطح سبز و نیز وزن خشک بوته در ریحان (*Ocimum basilicum*) L. داشته باشد.

اثر منابع کود آلی بر شاخص برداشت فسفر و پتاسیم

با وجود اثر معنی دار منابع کودهای آلی (کمپوست، ورمی کمپوست و شاهد) بر کارایی جذب و مصرف فسفر و پتاسیم سیاهدانه، نتایج نشان داد که شاخص برداشت فسفر و پتاسیم (نسبت بین مقدار فسفر و یا پتاسیم در دانه به زیست توده) تحت تأثیر اعمال تیمارهای ذکر شده قرار نگرفت (جدول ۷). به نظر می رسد شاخص برداشت فسفر و پتاسیم، از جمله شاخص هایی در سیاهدانه می باشد که چندان تحت تأثیر اعمال کودهای آلی قرار نمی گیرد.

اثر کودهای بیولوژیک بر درصد جذب فسفر و پتاسیم اندام های سیاهدانه

با وجود تأثیر معنی دار کودهای بیولوژیک بر درصد فسفر دانه، اثر این کودها بر درصد فسفر ساقه و برگ (کاه و کلش) و نیز زیست توده سیاهدانه معنی دار نبود (جدول ۴). با این وجود نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بجز تیوباسیلوس + گوگرد، سایر کودهای بیولوژیک (ازتوباکتر + آروسپیریوم، میکوریزا و ازتوباکتر + آروسپیریوم + میکوریزا) نقش معنی داری در افزایش شاخص های ذکر شده نداشتند (جدول ۶). هم چنین بجز تیوباسیلوس + گوگرد، اثر سایر کودهای

بیولوژیک در افزایش مقدار فسفر دانه و زیست توده سیاهدانه معنی دار نبود (جدول ۶). با این وجود خرم دل و همکاران (۷) گزارش کردند که میکوریزا و آروسپیریوم می توانند نقش موثری در افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی و در نتیجه بهبود شاخص های رشدی سیاهدانه داشته باشند. شیرانی راد و همکاران (۱۴) نیز به نقش موثر قارچ میکوریزا در بهبود جذب فسفر و پتاسیم در گندم اشاره کردند. بر این اساس، عدم تأثیر میکروارگانیسم های آروسپیریوم و ازتوباکتر و همچنین قارچ میکوریزا را می توان در ارتباط با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک دانست (جدول ۲). در این ارتباط به نظر می رسد ویژگی ها و شرایط خاک از نظر رطوبت، فراهمی عناصر غذایی، میزان مواد آلی و به ویژه شاخص pH خاک می تواند به طور مستقیم فعالیت و پویایی این میکروارگانیسم ها را تحت تأثیر قرار دهد (۲۱).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر کودهای بیولوژیک در افزایش درصد و مقدار پتاسیم اندام های سیاهدانه معنی دار نبود (جدول ۴). همان طور که پیش تر ذکر شد، عدم تأثیر کودهای بیولوژیک می تواند در ارتباط با فراهمی متعادل این عنصر در خاک باشد.

اثر کودهای بیولوژیک بر مقدار و کارایی جذب و مصرف فسفر و

پتاسیم

با وجود عدم تأثیر کودهای بیولوژیک ازتوباکتر + آروسپیریوم، میکوریزا و ازتوباکتر + آروسپیریوم + میکوریزا بر کارایی جذب فسفر (جدول ۸)، نتایج مقایسه میانگین حاکی از نقش موثر تیمار تیوباسیلوس + گوگرد در افزایش کارایی جذب و مصرف فسفر در سیاهدانه بود (جدول ۸). همچنین نتایج نشان داد که با وجود عدم تأثیر تیمارهای ازتوباکتر + آروسپیریوم، میکوریزا و ازتوباکتر + آروسپیریوم + میکوریزا، تیمار تیوباسیلوس + گوگرد منجر به افزایش کارایی مصرف پتاسیم سیاهدانه شد (جدول ۸).

ادامه جدول ۴- تجزیه واریانس شاخص های مورد مطالعه سیاهدانه در ارتباط با اعمال کودهای آلی و بیولوژیک

منابع تغییر	درجه آزادی	کارایی جذب		کارایی مصرف		شاخص برداشت	
		پتاسیم	فسفر	پتاسیم	فسفر	پتاسیم	فسفر
بلوک	۲	۰/۹۸۱*	۰/۰۱۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۱۳ ^{ns}	۱۵۹/۶۸۱ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}
منابع کود آلی	۲	۱۸/۸۵۴**	۱۷۵/۴۱۵**	۶/۳۹۲**	۰/۰۱۳ ^{ns}	۲۵/۲۹۷ ^{ns}	۰/۰۱۳ ^{ns}
کودهای بیولوژیک	۴	۰/۴۲۸ ^{ns}	۱۸/۷۱۲**	۰/۶۸۴**	۰/۰۰۳ ^{ns}	۱۶۰/۶۶*	۰/۰۰۳ ^{ns}
منابع کود آلی × کودهای بیولوژیک	۸	۰/۲۵۱ ^{ns}	۰/۱۴۸ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۸۸/۵۵۰ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}
خطا	۲۸	۰/۲۲۲	۰/۴۲۶	۰/۰۱۵	۰/۰۰۵	۵۶/۹۷۲	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات	-	۱۶/۲۴	۶/۰۲	۶/۰۱	۱۷/۰۲	۸/۸۸	-

ns، ** و * به ترتیب معنی داری در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و عدم تفاوت معنی دار

جدول ۶- اثر کودهای بیولوژیک بر درصد و مقدار فسفر و پتاسیم اندامهای سیاهدانه

تیمار	ساقه و برگ			دانه			ساقه و برگ			دانه		
	پتاسیم (گرم در متر مربع)	فسفر (گرم در متر مربع)	نسبت توده	پتاسیم (گرم در متر مربع)	فسفر (گرم در متر مربع)	نسبت توده	پتاسیم (گرم در متر مربع)	فسفر (گرم در متر مربع)	نسبت توده	پتاسیم (گرم در متر مربع)	فسفر (گرم در متر مربع)	نسبت توده
ازتوآکتر + آزوسپیریلوم	۰/۷۵۸ ^a	۰/۶۴۳ ^b	۰/۱۴۲ ^a	۰/۶۱۲ ^a	۰/۳۳۰ ^c	۰/۲۶۰ ^a	۰/۲۸۲ ^a	۰/۰۸۸ ^a	۰/۲۳۳ ^a	۱/۱۷۸ ^a	۰/۴۳۴ ^c	
میکوریزا	۰/۷۵۷ ^a	۰/۶۴۱ ^b	۰/۱۳۵ ^a	۰/۶۲۲ ^a	۰/۳۷۸ ^b	۰/۳۵۷ ^a	۰/۲۹۲ ^a	۰/۰۸۴ ^a	۰/۲۲۲ ^a	۱/۱۹۷ ^a	۰/۵۲۱ ^b	
ازتوآکتر + آزوسپیریلوم + میکوریزا	۰/۷۱۳ ^a	۰/۵۹۴ ^b	۰/۱۵۷ ^a	۰/۳۲۶ ^a	۰/۲۵۵ ^{bc}	۰/۳۳۲ ^a	۰/۲۷۲ ^a	۰/۰۹۲ ^a	۰/۲۰۸ ^a	۱/۰۴۶ ^a	۰/۴۷۳ ^{bc}	
تیوباسیلوس + گوگرد	۰/۸۷۰ ^a	۰/۸۶۶ ^a	۰/۲۰۱ ^a	۰/۶۶۷ ^a	۰/۴۴۶ ^a	۰/۳۲۲ ^a	۰/۳۱۵ ^a	۰/۰۹۶ ^a	۰/۲۱۱ ^a	۰/۹۶۸ ^a	۰/۶۲۵ ^a	
شاهد	۰/۷۸۵ ^a	۰/۵۸۱ ^b	۰/۱۴۷ ^a	۰/۳۲۵ ^a	۰/۲۵۶ ^{bc}	۰/۲۶۰ ^a	۰/۲۶۷ ^a	۰/۰۸۲ ^a	۰/۲۰۵ ^a	۱/۱۹۱ ^a	۰/۴۶۵ ^{bc}	

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشند.

جدول ۵- اثر منابع کودهای آلی (کمپوست و ورمی کمپوست) بر درصد و مقدار فسفر و پتاسیم اندامهای سیاهدانه

منابع کودی	ساقه و برگ			دانه			ساقه و برگ			دانه		
	پتاسیم (گرم در متر مربع)	فسفر (گرم در متر مربع)	نسبت توده	پتاسیم (گرم در متر مربع)	فسفر (گرم در متر مربع)	نسبت توده	پتاسیم (گرم در متر مربع)	فسفر (گرم در متر مربع)	نسبت توده	پتاسیم (گرم در متر مربع)	فسفر (گرم در متر مربع)	نسبت توده
کمپوست	۰/۹۲۵ ^a	۰/۷۸۵ ^a	۰/۱۷۴ ^b	۰/۴۲۵ ^a	۰/۷۵۲ ^a	۰/۳۵۹ ^a	۰/۳۳۴ ^a	۰/۲۸۲ ^a	۰/۰۸۱ ^a	۰/۲۰۱ ^a	۱/۱۶۰ ^a	۰/۵۵۱ ^a
ورمی کمپوست	۰/۹۷۳ ^a	۰/۸۷۶ ^a	۰/۲۲۳ ^a	۰/۴۹۸ ^a	۰/۷۵۰ ^a	۰/۳۷۷ ^a	۰/۳۳۸ ^a	۰/۳۰۲ ^a	۰/۱۰۰ ^a	۰/۲۲۵ ^a	۱/۱۸۵ ^a	۰/۵۶ ^a
شاهد	۰/۴۳۲ ^b	۰/۳۳۴ ^b	۰/۰۷۳ ^c	۰/۱۸۹ ^b	۰/۳۵۸ ^b	۰/۱۴۴ ^b	۰/۲۶۶ ^a	۰/۲۷۳ ^a	۰/۰۸۵ ^a	۰/۲۲۲ ^a	۱/۰۴۰ ^b	۰/۴۱ ^b

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشند.

جدول ۷- اثر منابع کودهای آلی (کمپوست و ورمی کمپوست) بر کارایی جذب، مصرف و شاخص برداشت فسفر و پتاسیم سیاهدانه

منابع کودی	کارایی جذب (درصد)		کارایی مصرف (گرم در متر مربع)		شاخص برداشت (درصد)	
	فسفر	پتاسیم	فسفر	پتاسیم	فسفر	پتاسیم
کمپوست	۱۵/۳۷۸ ^a	۳/۴۵۸ ^a	۱۲/۶۶۴ ^a	۲/۴۱۸ ^a	۴۵/۷۶۷ ^a	۰/۸۱۰ ^a
ورمی کمپوست	۱۷/۱۴۴ ^a	۳/۶۴۲ ^a	۱۲/۹۵۷ ^a	۲/۴۷۴ ^a	۴۴/۰۸۳ ^a	۰/۷۶۷ ^a
شاهد	۶/۵۳۷ ^b	۱/۶۱۴ ^b	۶/۸۹۳ ^b	۱/۳۱۶ ^b	۴۳/۲۱۲ ^a	۰/۸۲۴ ^a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشند.

جدول ۸- اثر کودهای بیولوژیک بر کارایی جذب، مصرف و شاخص برداشت فسفر و پتاسیم سیاهدانه

کودهای بیولوژیک	کارایی جذب (درصد)		کارایی مصرف (گرم در متر مربع)		شاخص برداشت (درصد)	
	فسفر	پتاسیم	فسفر	پتاسیم	فسفر	پتاسیم
ازتوباکتر + آروسپیریوم	۱۲/۵۹۴ ^b	۲/۸۲۸ ^a	۱۰/۱۳۸ ^b	۱/۹۳۶ ^b	۳۸/۵۷۱ ^b	۰/۸۰۵ ^a
میکوریزا	۱۲/۵۳۸ ^b	۲/۸۳۱ ^a	۱۰/۰۴۳ ^b	۱/۹۳۶ ^b	۴۴/۵۱۳ ^{ab}	۰/۸۱۷ ^a
ازتوباکتر + آروسپیریوم + میکوریزا	۱۱/۶۲۳ ^b	۲/۶۶۳ ^a	۱۰/۲۱۳ ^b	۱/۹۳۶ ^b	۴۴/۴۱۴ ^{ab}	۰/۷۸۸ ^a
تیوباسیلوس + گوگرد	۱۶/۹۷۱ ^a	۳/۲۵۳ ^a	۱۳/۴۰۷ ^a	۲/۵۶۱ ^a	۵۰/۴۸۷ ^a	۰/۷۷۲ ^a
شاهد	۱۱/۳۷۴ ^b	۲/۹۳۷ ^a	۱۰/۳۹۰ ^b	۱/۹۸۳ ^b	۴۳/۷۸۲ ^{ab}	۰/۸۱۷ ^a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشند.

با ژنوتیپ رقم مورد نظر باشد. به طوری که کمتر تحت تأثیر تیمارهای کودی و یا شرایط محیطی قرار می‌گیرد.

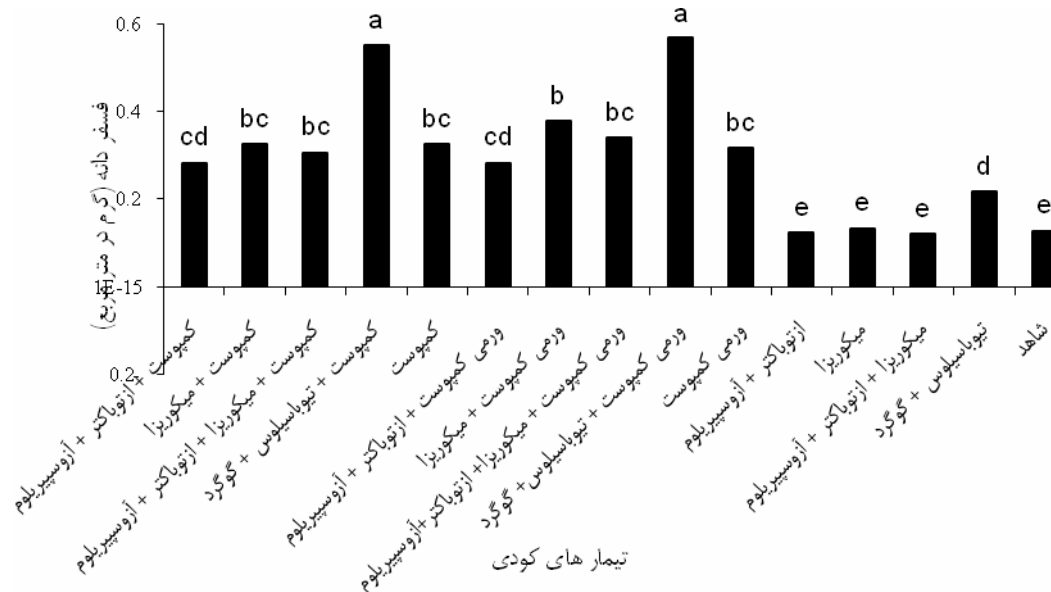
اثر متقابل منابع کود آلی و کود بیولوژیک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که بجز شاخص درصد فسفر دانه که به طور معنی‌دار تحت تأثیر اثر متقابل منابع کود آلی و کود بیولوژیک قرار گرفت، اثر متقابل ذکر شده بر سایر شاخص‌های مورد مطالعه سیاهدانه معنی‌دار نبود (جدول ۴ و شکل ۱). افزایش معنی‌دار مقدار فسفر دانه در تیمار کمپوست + تیوباسیلوس + گوگرد در مقایسه با تیمار تیوباسیلوس + گوگرد (شکل ۱) می‌تواند ناشی از افزایش تأمین عناصر غذایی مورد نیاز به منظور فعالیت باکتری‌های اکسید کننده گوگرد باشد. محمدی آریا و همکاران (۲۳) نیز اثر متقابل بین ورمی کمپوست و تیوباسیلوس در افزایش مقدار فسفر محلول در آب را مرتبط با افزایش مواد آلی و وجود منبع کربن برای میکرو ارگانیسم‌های تلقیح شده و در نتیجه افزایش فعالیت و تکثیر آن‌ها دانستند. در این ارتباط گودرزی (۲۰) اظهار داشت که در خاک‌های شدیداً آهکی، مصرف توأم گوگرد و کمپوست به نحو چشمگیری منجر به افزایش جذب عناصر غذایی در گندم شد. به طوری که برای فسفر ۷۸ درصد، پتاسیم ۷۳ درصد، آهن ۶۸ درصد، منگنز ۴۲ درصد، روی ۶۴ درصد و برای مس ۵۴ درصد نسبت به شاهد افزایش جذب مشاهده شد.

در این ارتباط همان‌طور که پیش‌تر ذکر گردید تأثیر مثبت تیوباسیلوس به همراه گوگرد می‌تواند در نتیجه فعالیت این باکتری‌های اکسید کننده گوگرد و تولید اسید سولفوریک باشد که با تحت تأثیر قرار دادن pH خاک، افزایش فراهمی فسفر را امکان پذیر کند. در این راستا استامفورد و همکاران (۳۸) گزارش کردند که در خاک‌های با میزان پایین فسفر قابل دسترس، اعمال گوگرد به همراه باکتری‌های اکسید کننده این عنصر نقش مثبتی در افزایش مقدار فسفر اندام‌های هوایی لوبیای یام (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) داشته باشد. مصطفویان و همکاران (۳۳) نیز عنوان کردند که در خاک‌های قلیایی با میزان پایین فسفر قابل استفاده، کاربرد باکتری تیوباسیلوس می‌تواند نقش مثبتی در افزایش عملکرد، عملکرد کیفی و نیز غلظت فسفر دانه سویا داشته باشد.

اثر کودهای بیولوژیک بر شاخص برداشت فسفر و پتاسیم

نتایج تجزیه واریانس حاکی از معنی‌دار بودن اثر کودهای بیولوژیک از نظر شاخص برداشت فسفر در سیاهدانه بود (جدول ۴). در این ارتباط در بین تیمارهای کود بیولوژیک، تیوباسیلوس + گوگرد نقش بیشتری در افزایش این شاخص نشان داد (جدول ۸). همچنین نتایج نشان داد که همانند اثر منابع کودی، اثر کودهای بیولوژیک نیز در افزایش شاخص برداشت پتاسیم معنی‌دار نبود (جدول ۸). همان‌طور که پیش‌تر ذکر گردید، به نظر می‌رسد شاخص برداشت پتاسیم (نسبت مقدار پتاسیم دانه به پتاسیم زیست توده) شاخصی است که در ارتباط



شکل ۱- اثر متقابل منابع کودهای آلی (کمپوست و ورمی کمپوست) و کودهای بیولوژیک بر مقدار فسفر دانه در سیاهدانه

می تواند نقش موثری در افزایش قابلیت جذب فسفر از خاک داشته باشد. با این وجود، فراهمی مواد آلی در خاک در نتیجه اعمال کودهایی مانند کمپوست و یا ورمی کمپوست می تواند منجر به افزایش فعالیت باکتری های اکسید کننده گوگرد در خاک شود. از این رو در راستای توسعه کشاورزی پایدار کاربرد کودهای آلی در کنار استفاده از کود بیولوژیک تیوباسیلوس می تواند در کاهش مشکلات ناشی از مصرف کودهای شیمیایی به ویژه در خاک های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک مفید باشد.

از این رو به نظر می رسد بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می تواند نقش تأثیر گذاری در واکنش بیولوژیکی اکسیداسیون گوگرد و در نتیجه افزایش کارایی باکتری های اکسید کننده گوگرد داشته باشد (۲۹).

نتیجه گیری

بر اساس نتایج این آزمایش به نظر می رسد که در شرایط بالا بودن pH خاک، استفاده از باکتری های تیوباسیلوس به همراه گوگرد

منابع

- ۱- آستارائی ع. ۱۳۸۵. تأثیر کمپوست زباله شهری و ورمی کمپوست بر اجزای عملکرد و عملکرد اسفروزه (*Plantago ovata*). فصلنامه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۲ (۳): ۱۸۰-۱۸۷.
- ۲- آستارائی ع. و فتاحی کیاسری ا. ۱۳۸۵. اثر شیرابه کمپوست زباله شهری بر بعضی از خصوصیات شیمیایی خاک و گیاه فلفل. مجله کشاورزی ۸ (۱): ۱-۱۲.
- ۳- پارسا س.، کافی م. و نصیری محلاتی م. ۱۳۸۸. مطالعه اثرات سطوح شوری و نیتروژن بر محتوی نیتروژن ارقام گندم نان. مجله پژوهش های زراعی ایران ۷ (۲): ۳۴۷-۳۵۵.
- ۴- تهمانی زرنندی س.م.ک.، رضوانی مقدم پ. و جهان م. ۱۳۸۹. مقایسه تأثیر کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد و درصد اسانس گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum L.*). بوم شناسی کشاورزی ۲ (۱): ۶۳-۷۴.
- ۵- حلاج نیا ا.، حق نیا غ.ج.، فتوت ا. و خراسانی ر. ۱۳۸۵. تأثیر ماده آلی بر فراهمی فسفر در خاک های آهکی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۰: ۱۲۱-۱۳۳.
- ۶- خراسانی ر. ۱۳۸۹. کارایی جذب فسفر در ذرت، چغندر قند و بادام زمینی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۴ (۱): ۱۸۰-۱۸۸.

- ۷- خرم دل س.، کوچکی ع.، نصیری محلاتی م. و قربانی ر. ۱۳۸۷. اثر کاربرد کودهای بیولوژیک بر شاخص‌های رشدی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۶ (۲): ۲۸۵-۲۹۴.
- ۸- خرم دل س.، کوچکی ع.، نصیری محلاتی م. و قربانی ر. ۱۳۸۹. اثر کاربرد کودهای بیولوژیک بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۸ (۵): ۷۵۸-۷۶۶.
- ۹- خندان ا. و آستارایی ع. ۱۳۸۴. تأثیر کودهای آلی (کمپوست زباله شهری، کود گاوی) و شیمیایی بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک. بیابان ۱۰ (۲): ۳۶۱-۳۶۸.
- ۱۰- درزی م.ت.، قلاوند ا.، سفید کن ف. و رجالی ف. ۱۳۸۷. تأثیر کاربرد میکوریزا، ورمی کمپوست و کود فسفات زیستی بر کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی رازیانه. فصلنامه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۴ (۴): ۳۹۶-۴۱۳.
- ۱۱- درزی م.ت.، قلاوند ا. و رجالی ف. ۱۳۸۸. تأثیر مصرف کودهای بیولوژیک بر روی جذب عناصر K، P، N و عملکرد دانه در گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) فصلنامه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۵ (۱): ۱-۱۹.
- ۱۲- دورودیان ح.ر.، بشارتی کلایه ح.، فلاح نصرت آباد ع.، حیدری شریف آباد ح.، درویش ف. و اله وردی ع. ۱۳۸۹. بررسی امکان تغییر فسفر قابل جذب خاک‌های آهکی و اثر آن بر عملکرد ذرت. دانش نوین کشاورزی ۶ (۱۸): ۲۷-۳۵.
- ۱۳- ده دشتی زاده ب.، آروبی ح.، عزیزی م. و داوری نژاد غ.خ. ۱۳۸۸. بررسی اثر سطوح مختلف ورمی کمپوست و عنصر معدنی فسفر بر رشد و نمو و جذب برخی از عناصر غذایی در نشاء گوجه فرنگی. مجله علوم باغبانی ایران (علوم کشاورزی ایران) ۴۰ (۳): ۴۹-۵۸.
- ۱۴- شیرانی راد ا.ح.، علیزاده ع.ا. و هاشمی دزفولی ا. ۱۳۷۹. بررسی اثر قارچ‌های میکوریزوسیکولار-آربوسکولار، فسفر و تنش خشکی بر کارایی جذب عناصر غذایی در گیاه گندم. نهال و بذر ۱۶ (۳): ۳۲۷-۳۴۹.
- ۱۵- طاهر خانی م. و گلچین ا. ۱۳۸۵. اثر سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد روغن، کیفیت دانه و جذب پتاسیم و فسفر از خاک در کلزا رقم SLM046. دانش نوین کشاورزی ۲ (۳): ۷۷-۸۵.
- ۱۶- فروغی فرح و پور کاسمانی م.ا. ۱۳۸۱. علوم و مدیریت خاک (جلد اول) (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۱۷- فلاحی ج.، کوچکی ع. و رضوانی مقدم پ. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*) مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۷ (۱): ۱۲۷-۱۳۵.
- ۱۸- کرمی ا. و خوشخوی م. ۱۳۸۵. اثرهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر عملکرد و ویژگی‌های کمی دو جمعیت اهلی و وحشی بابونه آلمانی (*Chamomilla recutita* L. Rauschert). مجله علوم و فنون باغبانی ایران ۷ (۳): ۱۸۱-۱۹۲.
- ۱۹- کوچکی ع.، غلامی ا.، مهدوی دامغانی ع.م. و تبریزی ل. ۱۳۸۶. اصول کشاورزی زیستی (ارگانیک) (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۲۰- گوردوزی ک. ۱۳۸۰. بررسی اثرات گوگرد و کمپوست بر افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی خاک و عملکرد گندم. علوم خاک و آب ۱۵ (۴): ۱۵۴-۱۶۶.
- ۲۱- کوچکی ع. و نجیب نیا س. ۱۳۸۷. نقش تنوع در کشاورزی پایدار (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۲۲- محمدی آریا م.، لکزبان ا. و حق نیا غ. ۱۳۸۹. تأثیر مایه تلقیحی حاوی باکتری تیوباسیلوس و قارچ اسپرژیلوس بر رشد گیاه ذرت. مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۸ (۱): ۸۲-۸۹.
- ۲۳- محمدی آریا م.، لکزبان ا.، حق نیا غ.م.، حسین بشارتی ح. و فتوت ا. ۱۳۸۹. تأثیر *Thiobacillus* و *Aspergillus* بر فراهمی فسفر از خاک فسفات غنی شده با گوگرد و ورمی کمپوست. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۴ (۱): ۱-۹.
- ۲۴- مرادی ر.، رضوانی مقدم پ.، نصیری محلاتی م. و لکزبان ا. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک و آلی بر عملکرد، اجزای عملکرد دانه و میزان اسانس گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare*) مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۷ (۲): ۶۲۵-۶۳۵.
- ۲۵- مظاهری د. و مجنون حسینی ن. ۱۳۸۵. مبانی زراعت عمومی. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲۶- نجف پورنوبی م. ۱۳۸۱. تأثیر کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر بر عملکرد بذر گیاه گاوزبان. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۱۳: ۴۱-۵۰.

- 27- El-Deen E., and Ahmed T. 1997. Influence of plant distance and some phosphorus fertilization sources on black cumin (*Nigella sativa* L.) plants. Assist Journal of Agricultural Sciences, 28 (2): 39-56.
- 28- Johnston A.E.J., and Syers J.K. 2009. A new approach to assessing phosphorus use efficiency in agriculture. Better Crops, 93 (3): 14-16.
- 29- Janzen H.H., and Bettany J.R. 1987. The effect of temperature and water potential on sulfur oxidation in soils. Soil Science, 144 (2): 81-89.
- 30- Korkmaz K., Ibrikci H., Karnez E., Buyuk G., Ryan J., Ulger A.C., and Oguz H. 2009. Phosphorus use efficiency of

- wheat genotypes grown in calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition*, 32 (12): 2094-2106.
- 31-Malhi S.S., Haderlein L.K., Pauly D.G., and Johnston A.M. 2002. Improving fertilizer phosphorus use efficiency. *Better Crops*, 86 (4): 8-9.
- 32-Mohamed S.A., Medani R.A., and Khafaga E.R. 2000. Effect of nitrogen and phosphorus applications with or without micronutrients on black cumin (*Nigella sativa* L.) plants. *Annals of Agricultural Science (Cairo)*, 3: 1323-1338.
- 33-Mostafavian S.R., Pirdashti H., Ramzanpour M.R., Andarkhor A.A., and Shamsavari A. 2008. Effect of mycorrhizae, *Thiobacillus* and sulfur nutrition on the chemical composition of soybean [*Glycine max* (L.) Merr. seed. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11 (6): 826-835.
- 34-Mozaffarian V. 1998. A Dictionary of Iranian plants names. Farhang Moaser Publishers, Tehran.
- 35-Nickavar B., Mojab F., Javidnia K., and Roodgar Amoli M.A. 2003. Chemical composition of the fixed and volatile oils of *Nigella sativa* L. from Iran. *Naturforsch*, 58: 629-631.
- 36-Shenoy V.V., and Kalagudi G.M. 2005. Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping. *Biotechnology Advances* 23: 501-513.
- 37-Smith F.W. 2002. The phosphate uptake mechanism. *Plant and Soil*, 245: 105-114.
- 38-Stamford N.P., Dos Santos P.R., De Moura A.M.M.F., De Rosália e Silva Santos C.E., and De Freitas A.D.S. 2003. Biofertilizers with natural phosphate, sulphur and *Acidithiobacillus* in a soil with low available-P. *Scientia Agricola*, 60 (4): 767-773.
- 39-Stamford N.P., Silva A.J.N., Freitas A.D.S., and Araujo Filho J.T. 2002. Effect of sulphur inoculated with *Thiobacillus* on soil salinity and growth of tropical tree legumes. *Bioresource Technology*, 81: 53-59.
- 40-Tuncturk M., Tuncturk R., and Yildirim B. 2011. The effects of varying phosphorus doses on yield and some yield components of black cumin (*Nigella Sativa* L.). *Advances in Environmental Biology*, 5(2): 371-374.