مقاله پژوهشی

نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال شانزدهم، شماره ۶۴، زمستان ۱۴۰۰ / صفحات: ۹۶-۸۶

Doi: 10.30495/iper.2022.679537 Dor: 20.1001.1.24237671.1400.16.64.9.3

اثر کودهای آلی، زیستی و شیمیایی بر عملکرد و مؤلفه‌های کارایی عناصر در کنجد (*Sesamum indicum* L.)

اسماعیل گنجینه[۱]، فرزاد بابایی[۱*]، افشین مظفری[۱]، محمد میرزایی حیدری[۱]، رحیم ناصری [۲]

[۱]گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ایلام، ایلام، ایران.

[۲] گروه تکنولوژی تولیدات گیاهی، آموزشکده فنی‌مهندسی و کشاورزی دهلران، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۳

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کودهای آلی، زیستی و شیمیایی بر عملکرد و مؤلفه‌های کارایی عناصر در کنجد آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ در کرمانشاه اجرا شد. عامل اول شامل کود نیتروژن با چهار سطح (صفر، ۳۳، ٦٦ و ۱۰۰درصد) نیتروژن و عامل دوم تلقیح کودهای زیستی با بذر در چهار سطح (بدون تلقیح کود زیستی، تلقیح با ازتوباکتر، تلقیح با آزوسپریلیوم و تلفیق با هر دو باکتری) بود. این آزمایش در هر سال در سه قطعه زمین شامل شاهد، مصرف ۱۰ تن کود دامی و مصرف ۱۰ تن کود کمپوست زباله شهری اجرا شد. نتایج این تحقیق نشان داد که اثر سطوح کود نیتروژن و کود بیولوژیک بر عملکرد دانه و بیولوژیکی در سه محیط مورد مطالعه معنی‌دار بود و بیشترین مقادیر در هر سه محیط آزمایشی در تیمار تلفیقی کودهای ازتوباکتر و آزسپریلیوم بدست آمد. مقدار عملکرد دانه در تیمارهای سطوح کود نیتروژن در محیط‌های مورد مطالعه متفاوت بود، بنحوی که بیشترین عملکرددانه (۱۲۹۸ کیلوگرم در هکتار) در محیط شاهد در تیمار ۱۰۰درصد نیاز نیتروژن، در محیط کود دامی در تیمار ۳۳درصد نیاز نیتروژن (۱۵٦۵ کیلوگرم در هکتار) و در محیط کمپوست در تیمار ٦٦درصد نیتروژن (۱٦۸٤/۱ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد. بطور کلی بیشترین عملکرد دانه در تیمار مصرف کمپوست و ٦٦درصد نیتروژن به مقدار ۱٦۸٤/۱ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که می‌توان این ترکیب را جایگزینی برای مصرف به تنهایی کود نیتروژن دانست. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد با کاربرد تلفیقی کودهای بیولوژیک و دامی یا کمپوست علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف کودهای شیمیایی و حذف اثر مضر آن‌ها، عملکرد دانه قابل قبولی نیز داشت. همچنین مصرف کودهای بیولوژیک و آلی موجب افزایش کارایی استفاده از عناصر نیتروژن و فسفر شد که علاوه بر کاهش هزینه‌های تولید، افزایش عملکرد را بدنبال دارد.

واژه‌های کلیدی: ازتوباکتر، آزسپریلیوم، عملکرد دانه، کمپوست، کودهای بیولوژیک.

مقدمه

رشد جمعیت، بهبود سطح تغذیه و افزایش مصرف کنجاله دانه‌های روغنی در تغذیه دام و طیور نیاز به تولید دانه‌های روغنی را در جهان افزایش داده است. دانه‌های روغنی بعد از غلات دومین منبع تأمین انرژی مورد نیاز جوامع انسانی به شمار می‌روند. کنجاله حاصل از آن به لحاظ پروتئین بالا در تغذیه دام، طیور و آبزیان مهم می باشد (Khajehpour, 2010).

امروزه با توجه به افزایش جمعیت و تغییر الگوهای غذایی مردم، مصرف روغن‌های گیاهی در

*نویسنده مسئول: farzadbabaei609@gmail.com

حال افزایش است. یکی از گیاهان دانه روغنی با سازگاری بالا نسبت به شرایط کشور ما کنجد می باشد. کنجد (*Sesamum indicum* L.) گیاهی یکساله و روغنی (٤٥درصد) با پروتئین بالا (۱۹ تا ۲۵درصد) است. میزان روغن و پروتئین دانهٔ کنجد بسته به رقم و شرایط محیطی می‌تواند متغیر باشد (Mehrabi and Ehsanzadeh, 2011).

با توجه به اینکه کشور ایران در منطقه خشک و نیمه خشک قرار دارد، میزان مواد آلی خاک‌های آن پایین بوده و در نتیجه دارای سطوح پائین نیتروژن، می‌باشند. اغلب گیاهان در چنین مناطقی دچار کمبود نیتروژن می‌شوند و به همین دلیل تأمین نیتروژن از طریق کودهای شیمیایی و آلی ضروری است (Taheri Oshtrinani and Fathi, 2016). مشکلات اقتصادی ناشی از افزایش روبه رشد هزینه کودهای شیمیایی از یک‌سو و مسائل زیستی محیطی مرتبط با مصرف غیراصولی این کودها از سوی دیگر تفکر استفاده از شیوه‌های زیستی تثبیت عناصر برای تقویت رشد گیاهان را افزایش داده است. از طرفی کاهش عناصر غذایی در خاک‌های زراعی دنیا به علت زراعت‌های متوالی و بی‌رویه، استفاده از کود را در مزرعه ضروری می‌نماید (Taheri Oshtrinani and Fathi, 2016).

تحقیقات نشان داده است ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهان، اغلب تحت تأثیر میزان دسترسی آنان به منابع کودی به ویژه کود نیتروژن می‌باشد (Haghanian et al., 2016). نیتروژن ازجمله عناصری است که در طول دوره رشد و نمو گیاهان برای تأمین نیازهای آنها لازم بوده و در بافت‌های گیاهی نقش حیاتی دارد (Khan et al., 2016). برهمین اساس بین یک تا چهار درصد وزن خشک گیاه از نیتروژن تشکیل شده، نیتروژن در کنجد نیز مانند دیگر گیاهان زراعی یکی از عوامل عمده محدود کننده تولید و عملکرد محصول است (Haghanian et al., 2016).

یکی از ارکان اساسی در کشاورزی پایدار استفاده از کودهای زیستی در اکوسیستم‌های زراعی با هدف حذف یا کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی است (Gorgini Shabankare et al. 2017). به نظر بسیاری از محققان از گزینه‌های مناسب که می‌تواند بدون تخریب محیط زیست، باروری خاک و نهایتاً افزایش عملکرد گیاهان را تضمین کند استفاده از کودهای بیولوژیک است (Taheri Oshtrinani and Fathi, 2016). یک راه‌حل مناسب دیگر برای حل این مشکل استفاده از کمپوست زباله شهری می‌باشد، که علاوه بر افزایش ماده آلی و اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش عملکرد، مشکل ناشی از انباشت زباله‌های شهری را نیز تا حدودی مرتفع می‌سازد (Bahamin et al., 2019; Gavahi et al., 2017). طبق نتایج بدست آمده در یک تحقیق استفاده از کودهای بیولوژیک موجب بهبود رشد گیاه در ارقام مختلف کنجد گشت(Shakeri et al., 2012).

با توجه به مشکلات اقتصادی ناشی از افزایش رو به رشد بهای کودهای شیمیایی از یک سو و مسائل زیست محیطی مرتبط با مصرف غیر اصولی این کودها لازم است، که مطالعاتی در خصوص مصرف کودهای آلی جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی انجام شود. لذا این بررسی با هدف تأثیر کودهای آلی، زیستی و شیمیایی بر عملکرد و مؤلفه‌های کارایی عناصر در کنجد انجام شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت و مشخصات محل و تیمار آزمایش: این تحقیق در دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹٤ و ۹٦-۱۳۹۵ در مزرعه‌ای اطراف کرمانشاه با مشخصات طول جغرافیایی ٤٧ درجه ٥/٩٤ دقیقه شرقی، عرض

جغرافیایی ۳٤ درجه و ۱۹/۵۲ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۳٤۵ متر اجرا شد. آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اول کود آلی در سه سطح (شامل تیمارهای شاهد، مصرف ۱۰ تن کود دامی و مصرف ۱۰ تن کود کمپوست زباله شهری)، عامل دوم شامل کود نیتروژن با چهار سطح (صفر، ۳۳، ٦٦ و ۱۰۰درصد نیتروژن نیاز محصول) و عامل سوم تلقیح کودهای زیستی با بذر در چهار سطح (شامل بدون تلقیح کود زیستی، تلقیح با ازتوباکتر، تلقیح با آزوسپریلیوم و تلفیق با هر دو باکتری) بود. میزان نیتروژن کل خاک برابر ۰/۰۸۵ درصد و میزان فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک بترتیب ٤/٦ و ۲۸۰ قسمت در میلیون براساس وزن خاک بود (جدول ۱). همچنین مشخصات کمپوست زباله شهری مورد استفاده در جدول ۲ ذکر شده است.

جدول ۱: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

سیلت	شن	رس	پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	نیتروژن کل	کربن آلی	هدایت الکتریکی
٤۵	۱۰/٦	٤٤/٤	۲۸۰	٤/٦	۰/۰۸۵	۰/۸۵	۰/۹۲

جدول ۲: مشخصات کمپوست زباله‌ی شهری

هدایت الکتریکی	اسیدیته نمونه	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	مس
۱۸/۸۵	۷/٤	۳/۱۹	۰/٤۱	۰/۰۸٦	٤۷۳	٦۹	۱۰	۱۰

بهره‌وری عناصر غذایی (نیتروژن و فسفر): بهره‌وری هر یک از عناصر غذایی بر حسب عملکرد دانه از طریق نسبت کل عملکرد تولیدی (SY) (کیلوگرم در هکتار) بر مقدار کود مصرفی ورودی به علاوه مقدار موجود در خاک (کیلوگرم در هکتار) محاسبه شده که برای فسفر و نیتروژن روش محاسبه یکسان است. در این معادله (معادله ۱) N میزان عنصر غذایی می‌باشد (Rathke et al., 2006).

معادله ۱
$$NUESY = \frac{Seed\ Yield}{N\ input + N\ content}$$

کارایی مصرف عناصر غذایی: محاسبه کارایی مصرف نیتروژن برای عملکرد دانه (ENY) از تقسیم عملکرد دانه (SY) (کیلوگرم در هکتار) بر میزان نیتروژن موجود در تیمار مربوطه (N) (کیلوگرم در هکتار) انجام شد (معادله ۲). میزان نیتروژن موجود در تیمار کودی، براساس مقدار نیتروژن موجود در کود اوره که ٤٦درصد بود، محاسبه گردید.

معادله ۲
$$ENY = \frac{SY}{N}$$

کارایی مصرف فسفر دانه نیز به همین طریق اندازه‌گیری می‌شود فقط در مخرج کسر به جای نیتروژن، فسفر قرار می‌گیرد. با این تفاوت که مقدار خالص فسفر ورودی در کود سوپرفسفات تریپل حدود ٤۱درصد است. در خصوص ماده خشک نیز روند محاسبه به همین شکل بوده اما در صورت کسر ماده خشک قرار می‌گیرد.

کارایی جذب عناصر غذایی: محاسبه کارایی جذب نیتروژن برای دانه (UNY) از تقسیم نیتروژن ذخیره شده دانه (NY) (کیلوگرم در هکتار) بر میزان نیتروژن موجود در خاک به علاوه مقدار خالص عنصر از طریق کود ورودی (N) (کیلوگرم در هکتار) انجام شد (معادله ۳). میزان نیتروژن موجود در تیمار کودی، براساس مقدار نیتروژن موجود در کود اوره که ٤٦درصد بود، محاسبه گردید. برای محاسبه نیتروژن

ذخیره شده دانه ابتدا درصد نیتروژن دانه با روش کجلدال اندازه گیری شد، سپس نیتروژن ذخیره شده دانه از حاصلضرب درصد نیتروژن دانه در عملکرد دانه به دست آمد. برای محاسبه فسفر ذخیره شده دانه ابتدا درصد نیتروژن دانه با روش جذب اتمی اندازه‌گیری شد، سپس فسفر ذخیره شده دانه از حاصلضرب درصد فسفر دانه در عملکرد دانه به دست آمد.

$$UNY = \frac{NY}{N}$$ معادله ۳

کارایی جذب فسفر دانه نیز به همین طریق اندازه‌گیری می‌شود فقط در مخرج کسر به جای نیتروژن، فسفر قرار می‌گیرد. با این تفاوت که مقدار خالص فسفر ورودی در کود سوپرفسفات تریپل حدود ٤١درصد است. در خصوص ماده خشک نیز روند محاسبه به همین شکل بوده اما در صورت کسر فسفر ذخیره شده ماده خشک قرار می‌گیرد.

کارایی فیزیولوژیک عناصر غذایی: محاسبه کارایی فیزیولوژیک نیتروژن برای دانه (PNY) از تقسیم عملکرد دانه (Y) (کیلوگرم در هکتار) بر میزان نیتروژن جذب شده دانه (NU) (کیلوگرم در هکتار) انجام شد (معادله ٤).

$$PNY = \frac{Y}{NU}$$ معادله ٤

کارایی جذب فسفر دانه نیز به همین طریق اندازه‌گیری می‌شود فقط در مخرج کسر به جای نیتروژن، فسفر قرار می‌گیرد. در خصوص ماده خشک نیز روند محاسبه مشابه همین است با این تفاوت که در صورت کسر فسفر ذخیره شده ماده خشک قرار می‌گیرد. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SAS انجام شد. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال ۵درصد استفاده گردید. برای رسم نمودارها، از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج

عملکرد دانه: فاکتورهای کود نیتروژن و بیولوژیک با سطح احتمال ۱درصد بر مقدار عملکرددانه در هر سه محیط معنی‌دار شد. همچنین اثر سال در سطح احتمال ۱درصد در تمامی محیط‌های آزمایشی معنی‌دار بود (جدول ۳).

بیشترین مقدار در تیمارهای سطوح کود نیتروژن در محیط‌های مورد مطالعه متفاوت بود، بنحوی که بیشترین مقدار عملکرد دانه (۱۲۹۸ کیلوگرم در هکتار) در محیط شاهد در تیمار ۱۰۰درصد نیاز نیتروژن، در محیط کوددامی در تیمار ۳۳درصد نیاز نیتروژن (۱٥٦٥ کیلوگرم در هکتار) و در محیط کمپوست در تیمار ٦٦درصد نیتروژن (۱۷۹۹ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد. کاربرد تلفیقی کودهای بیولوژیک ازتوباکتر و آزوسپریلیوم در هر سه محیط (شاهد، کود دامی و کمپوست) نسبت به سطح بدون کود به ترتیب باعث افزایش ٢٤، ٢٢ و ۲۰درصد عملکرد دانه شد (شکل ۱).

عملکرد بیولوژیک: تجزیه واریانس عملکرد بیولوژیک نشان داد که اثر اصلی سال، نیتروژن و بیولوژیک در سطح احتمال ۱درصد در هر سه محیط بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۳). در سطوح کود نیتروژن بیشترین مقدار در تیمار ۱۰۰درصد نیاز نیتروژن در هر سه محیط (بترتیب ٤٧٠٣، ٥٥٨٠ و ٥٩٤٥ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار در تیمار شاهد بدست آمد (شکل ۲).:

بهره‌وری نیتروژن: اثر اصلی سال، نیتروژن، کود آلی، بیولوژیک و اثرات متقابل سال در نیتروژن و نیتروژن در کود بیولوژیک بر بهره‌وری نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۳). در تیمار استفاده از کمپوست بهره‌وری نیتروژن به مقدار ١٤/١ کیلوگرم بر کیلوگرم حاصل شد (جدول ٤). اثر متقابل سال و نیتروژن نشان داد تیمار عدم مصرف نیتروژن در سال دوم بیشترین بهره‌وری (١٦/٩ کیلوگرم بر کیلوگرم) در تیمار مصرف ۱۰۰درصد نیتروژن توصیه شده و کمترین در سال اول (٨/١ کیلوگرم بر کیلوگرم) حاصل شد (شکل

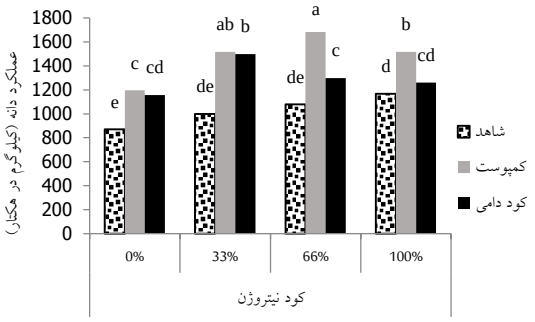
۳). براســـاس اثر متقابل کود بیولوژیک و نیتروژن در تیمار عدم مصـرف نیتروژن و مصـرف توام ازوباکتر و آزوســـپریلیوم بیشـــترین بهره‌وری (۱۵/۷ کیلوگرم بر کیلوگرم) در تیمار مصـرف ۱۰۰درصد نیتروژن توصیه شـده و کمترین در شرایط عدم مصرف کود بیولوژیک (۸/۳ کیلوگرم بر کیلوگرم) بدست آمد.

جدول ۳: تجزیه واریانس (میانگین مربعات، MS) اثر تیمارهای آزمایش بر شاخص‌های بهره‌وری و کارایی عناصر در کنجد

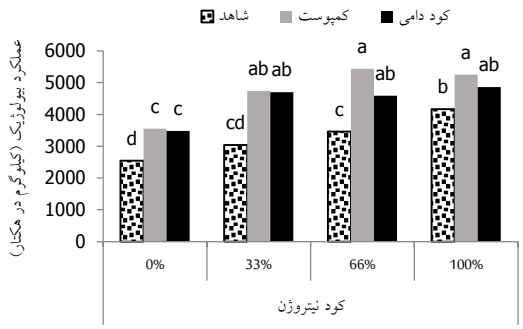
منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	کارایی فیزیولوژیک فسفر	کارایی فیزیولوژیک نیتروژن	کارایی جذب فسفر	کارایی جذب نیتروژن	بهره‌وری فسفر	بهره‌وری نیتروژن
سال	۱	۲۰۷۰۲۷۳/۳**	٤٤١٥٩٦٣٥/٧**	۲٥۹۹٥/۷**	۰/۷٥^{ns}	۰/۱۸۲٦**	۰/۰۲٥**	۲٤۳٤/۳**	۱۷۹/٤**
بلوک	۲	٦۳۰۲۱/٦*	٦۸۳۰۷۹/۸**	٥۱۲/٤^{ns}	۱٥٦/۷٦**	۰/۰۰۳۱^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}	٤٤/۹۱^{ns}	۳/٤۰^{ns}
بلوک (سال)	٤	۹۲۳۰/۷	۱۰۹۷۷٦/۱	۱٤٦۱۰/۲	۲۳/٥	۰/۰۲۸۹	۰/۰۰٦٥	٤۲٥/۳٤	۸/۷۱۳
کود آلی	۲	٤٦٦٤٦۲٦/۲**	٥۷٦۱۸٥٥۸/۱**	٦۸۸/٦^{ns}	٤٤۱/۲۳**	۰/۰۰۳۰^{ns}	۰/۰۸**	۲۱۲٥/۷**	۷۰/۳**
سال*کود آلی	۲	٤۱٤٥/۳*	۲۰۹۸۷٤۱/۱*	۳٥۲/۲^{ns}	۱۸/۰۷^{ns}	۰/۰۰۰۹^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	٤٤/۷۰^{ns}	۳/۳٥^{ns}
خطای الف	۸	۲۹۰۰/۰	۳٤٦۲٤۲/۲	۲٦۹۸/٥۷	۷۰/۹٥۳	۰/۰۹٤۲	۰/۰۱۲۱	٤۳۰/۲	۱٤/۹۹
نیتروژن	۳	۱۹۲۲٥٥٤/٦**	٥۷۸٤۷۰٦٥/۲**	۲۱٥٦۷۳/۰**	۸۷۰۹/۱**	۰/٤٦٥٥**	۰/۰٦۱۷**	٥۸۱۹/۸**	۳٦۳/۱**
کود بیولوژیک	۳	۸۷٥۸۸۸/٥**	۱۰۰۹۰۹۱۷/۸**	۳۲۳۹/۹**	۳۱۷/٥٤**	۰/۱۱**	۰/۰۰۰۲**	۳۷۸٦/٦**	۱۸۰/۰**
سال*نیتروژن	۳	۹٥۹۲۳/٥^{ns}	۳٥٥٤۸۹۹/۰^{ns}	۳۳٤/۲^{ns}	٥٥/٥۹^{ns}	۰/۰۰۱٦^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	٥۳/٦۹^{ns}	۰/٥٦^{ns}
سال*کود بیولوژیک	۳	۱۳۲۹٤/۰^{ns}	۱۰۹۳٦۰/۲^{ns}	۳٤۲/٥^{ns}	۳٤/۹۳^{ns}	۰/۰۰۰٥^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۱٤/۹۸^{ns}	۲/۰۱^{ns}
کود آلی*نیتروژن	٦	۳۳۲٤۱٦/۱**	۱۰۸٦٤۲۸۰/۲**	۹٥۳/۱^{ns}	۷٤/۸٥^{ns}	۰/۰۱۷۲^{ns}	۰/۰۰۳۱^{ns}	٥۸٤/٤^{ns}	۲۰/۲۲^{ns}
کود آلی*کود بیولوژیک	٦	۳٦۱۳/۸^{ns}	۲٤۹۲۱/۱^{ns}	۱۲٦۸۰/۸**	٤۸٥/٥**	۰/۱۲۱**	۰/۰۹**	٦۱٤۱/٤**	۱٤۷/۷**
سال* کود آلی*نیتروژن	٦	۱۲۳۳۱/۰^{ns}	۱۸٤٤٥۱/۷^{ns}	۲۹٦/۷^{ns}	۲۰/۲٥^{ns}	۰/۰۰۰٥^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۲٦/٤۷^{ns}	۱/۱٤^{ns}
سال* کود آلی*بیولوژیک	٦	۳۸٦۱/۸^{ns}	۲٦۸۰۹/٤^{ns}	٦۸٥/۱^{ns}	۲۱/۷٤^{ns}	۰/۰۰۰۸^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	٦/٥۸^{ns}	۰/٤۹^{ns}
نیتروژن* کود بیولوژیک	۹	۷۹٥۸/۸^{ns}	۱۳٦۳۹۳/٥^{ns}	۹٥/۲^{ns}	۹/٤۷^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰^{ns}	۹/٦٥^{ns}	۰/۲٦^{ns}
سال*نیتروژن* بیولوژیک	۹	۳۲۱٤/٥^{ns}	۷٥۳۰٦/۸^{ns}	۲٦۲/۱^{ns}	۱٥/٦۱^{ns}	۰/۰۰۰۸^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۲٤/۲۲^{ns}	۱/۳۱^{ns}
آلی* نیتروژن* بیولوژیک	۱۸	۱۲٥۹۹/٤^{ns}	۱۷۰۱۸۸/۲^{ns}	۱۳۲/۰^{ns}	۸/۷٥^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۷/۱۷^{ns}	۰/۲٥^{ns}
سال*نیتروژن* بیولوژیک	۱۸	۳۷۲٤/۲^{ns}	۷۱٤٤۲/۹ ^{ns}	۲٥۹۹/٥۷^{ns}	۰/۷٥^{ns}	۰/۰٤^{ns}	۰/۰۲٥۲^{ns}	٤۳٤/۳^{ns}	۷۹/٤^{ns}
خطای کل	۱۰۷	۲۳۱٤۲/۳	۲٦٦۷٥۰۸/۱	٥٥٤٦/۱	۹۷/۷	۰/۰۱٥	۰/۰۲	۳۱۹/۱	۳۰/٦٦
درصد ضریب (درصد)	–	٦/۸	۸/٦	۱۲/٥	٦/۷	٤/٥	۱۱/۲	۹/۷	٥/٦

^{ns}، ** و * به ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک و ۵درصد می‌باشند.

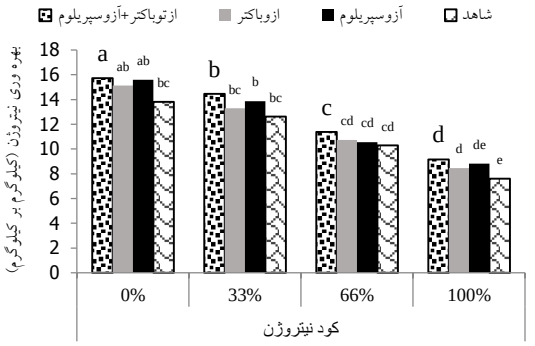
بهره‌وری فســفر: نتایج آنالیز بهره‌وری فسفر نشان داد که اثر اصـلی سال، نیتروژن، کود آلی، بیولوژیک و اثر متقابل دوگانه نیتروژن و کود بیولوژیک معنی‌دار شـــد (جدول ۳). در شـرایط استفاده از کمپوست، بهره‌وری فسفر به مقدار ٦۳/۱ کیلوگرم بر کیلوگرم و کود آلی و شـــاهـد بـه‌ترتیب ٥۲/۹ و ٤٦/٥ کیلوگرم بر کیلوگرم حاصل گردید (جدول ٤).



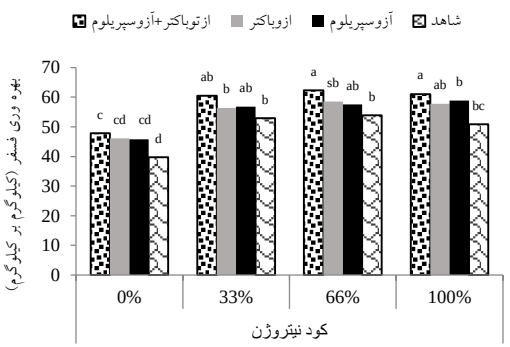
شکل ۱: اثر کود نیتروژن در کود آلی برای عملکرد دانه



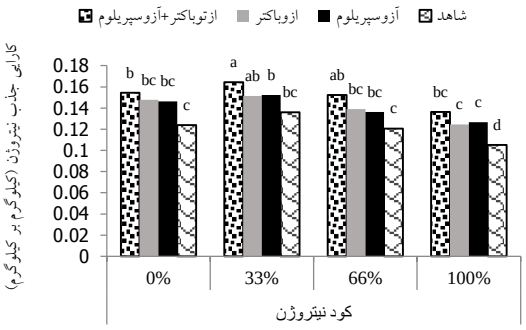
شکل ۲: اثر کود نیتروژن در کود آلی برای عملکرد بیولوژیک



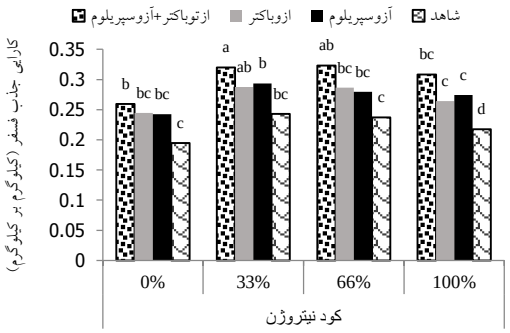
شکل ۳: اثر کود بیولوژیک در کود نیتروژن بر بهره‌وری نیتروژن



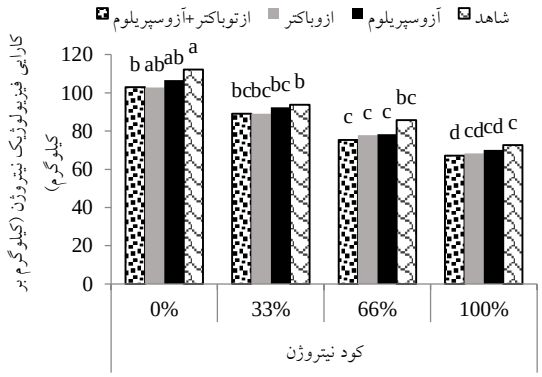
شکل ٤: اثر کود بیولوژیک در کود نیتروژن برای بهره‌وری فسفر



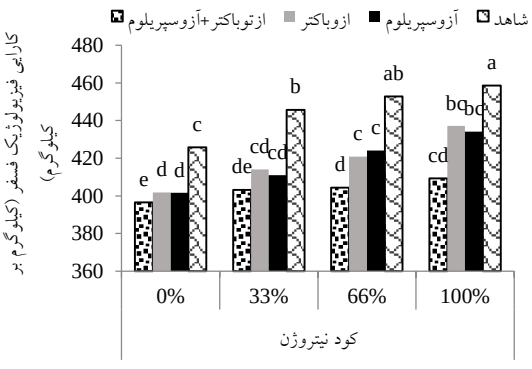
شکل ۵: اثر کود بیولوژیک در کود نیتروژن برای کارایی جذب نیتروژن



شکل ٦: اثر کود بیولوژیک در کود نیتروژن برای کارایی جذب فسفر



شکل ۷: اثر کود بیولوژیک در کود نیتروژن برای کارایی فیزیولوژیک نیتروژن



شکل ۸: اثر کود بیولوژیک در کود نیتروژن برای کارایی فیزیولوژیک فسفر

اثر متقابل کود بیولوژیک و نیتروژن نشان داد که شرایط تیمار ٦٦درصد نیتروژن و مصرف توام ازوباکتر و آزوسپریلیوم بیشترین مقدار ٦٠/٣ کیلوگرم بر کیلوگرم حاصل گردید (شکل ٤). در تیمار عدم مصرف نیتروژن توصیه شده و عدم مصرف کود بیولوژیک کمترین مقدار ٣٨/٤ کیلوگرم بر کیلوگرم حاصل شد (شکل ٤).

کارایی جذب نیتروژن: اثر اصلی سال، نیتروژن، کود آلی، بیولوژیک و اثر متقابل دوگانه نیتروژن و کود بیولوژیک بر کارایی جذب نیتروژن معنی‌دار شد (جدول ٣). در تیمار استفاده از کمپوست، کود آلی و شاهد کارایی جذب نیتروژن بترتیب ٠/١٦٠، ٠/١٤٦ و ٠/١٠٩ کیلوگرم بر کیلوگرم بدست آمد (جدول ٤). اثرمتقابل کود بیولوژیک و نیتروژن، در تیمار مصرف ٣٣درصد نیتروژن و مصرف توام ازوباکتر و آزوسپریلیوم بیشترین کارایی جذب نیتروژن (٠/١٦٣ کیلوگرم بر کیلوگرم) نشان داد. در تیمار مصرف ١٠٠درصد نیتروژن توصیه شده و عدم مصرف کود بیولوژیک کمترین کارایی جذب نیتروژن (٠/١١٢ کیلوگرم بر کیلوگرم) حاصل شد (شکل ٥).

جدول ٤: اثرات اصلی تیمارهای آزمایشی بر شاخص‌های بهره‌وری

تیمار	سطوح	کارایی فیزیولوژیک فسفر (کیلوگرم بر کیلوگرم)	کارایی فیزیولوژیک نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)	کارایی جذب فسفر (کیلوگرم بر کیلوگرم)	کارایی جذب نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)	بهره‌وری فسفر (کیلوگرم بر کیلوگرم)	بهره‌وری نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)
کود نیتروژن	٠	٤٠٦/٤^{c}	١٠٦/٢^{a}	٠/٢٣٥	٠/١٤٣^{ab}	٤٤/٩^{b}	١٥/٠٦^{a}
	٣٣	٤١٨/٥^{b}	٩١/١^{ab}	٠/٢٨٦	٠/١٥١^{a}	٥٦/٦^{ab}	١٣/٥٥^{b}
	٦٦	٤٢٥/٦^{ab}	٧٩/٣^{b}	٠/٢٨٢	٠/١٣٧^{b}	٥٨/٠^{a}	١٠/٧٤^{c}
	١٠٠	٤٣٤/٨^{a}	٦٩/٦^{c}	٠/٢٦٦	٠/١٢٣^{c}	٥٧/١^{a}	٨/٥٠^{d}
کود بیولوژیک	ازتوباکتر+آزوسپریلیوم	٣٩٣/٦^{c}	٨٣/٧^{c}	٠/٣٣٣^{a}	٠/١٦٣^{a}	٦١/٢^{a}	١٣/٥٩^{a}
	ازوباکتر	٤٠٧/٠^{b}	٨٥/٢^{bc}	٠/٢٩٤^{b}	٠/١٤٨^{b}	٥٦/٦^{ab}	١٢/٥٩^{b}
	آزوسپریلیوم	٤٠٧/٤^{b}	٨٦/٤^{b}	٠/٢٩٨^{b}	٠/١٥٠^{b}	٥٧/٦^{ab}	١٢/٩٢^{ab}
	شاهد	٤٣٩/٢^{a}	٩١/٠^{a}	٠/٢٤٥^{c}	٠/١٣١^{c}	٥٢/٩^{b}	١١/٩١^{c}
کود آلی	شاهد	٤٦٩/٧a	٩٥/٥^{a}	٠/١٩١^{b}	٠/١٠٩^{c}	٤٦/٥^{c}	١٠/٤٧^{c}
	کمپوست	٤١٥/٥b	٨٨/٧^{b}	٠/٣١٠^{a}	٠/١٦٠^{a}	٦٣/١^{a}	١٤/٢٤^{a}
	کود دامی	٣٧٨/٧c	٧٥/٣^{c}	٠/٣٠١^{ab}	٠/١٤٦^{b}	٥٢/٩^{b}	١١/١٩^{b}
سال	١	٤٢١/٣b	٨٦/٥	٠/٢٧^{b}	٠/١٣٩^{b}	٥٤/٢^{b}	١١/٩٦^{b}
	٢	٤٠٢/٣a	٨٦/٦	٠/٣٢^{a}	٠/١٥٧^{a}	٦٠/٠^{a}	١٣/٥٤^{a}

کارایی جذب فسفر: تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی سال، کود آلی، بیولوژیک و اثر متقابل نیتروژن و کود بیولوژیک بر کارایی جذب فسفر معنی‌دار بود (جدول ٣). در تیمار استفاده از کمپوست، کود آلی و شاهد کارایی جذب نیتروژن بترتیب ٠/٣١٠، ٠/٣٠١ و ٠/١٩١ کیلوگرم بر کیلوگرم حاصل گردید (جدول ٤). براساس اثرمتقابل کود بیولوژیک و نیتروژن در تیمار مصرف ٦٦درصد نیتروژن و مصرف توام ازوباکتر و آزوسپریلیوم بیشترین کارایی جذب فسفر (٠/٣١٨ کیلوگرم بر کیلوگرم) در تیمار عدم مصرف نیتروژن توصیه شده و کمترین کارایی جذب عدم مصرف کود بیولوژیک فسفر (٠/١٨٢ کیلوگرم بر کیلوگرم) حاصل شد (شکل ٦).

کارایی فیزیولوژیک نیتروژن: نتایج تجزیه واریانس کارایی فیزیولوژیک نیتروژن نشان داد اثر اصلی نیتروژن، کود آلی، بیولوژیک و اثر متقابل دوگانه

نیتروژن و کود بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۳). در تیمار استفاده از کمپوست، کود آلی و شاهد کارایی جذب نیتروژن بترتیب ۸۸/۷، ۷۵/۳ و ۹۵/۵ کیلوگرم بر کیلوگرم حاصل شد (جدول ٤). در خصوص اثر متقابل کود بیولوژیک و نیتروژن نتایج نشان داد که تیمار عدم مصرف نیتروژن و شاهد بیشترین کارایی فیزیولوژیک نیتروژن (۱۰۸/۱ کیلوگرم بر کیلوگرم) در تیمار مصرف ۱۰۰درصد نیتروژن توصیه شده و کمترین در مصرف توام کود بیولوژیک (٦۲/۱کیلوگرم بر کیلوگرم) حاصل شد (شکل ۷).

کارایی فیزیولوژیک فسفر: نتایج این بررسی نشان داد که اثر اصلی نیتروژن، کود آلی، بیولوژیک و اثر متقابل دوگانه نیتروژن و کود بیولوژیک بر کارایی فیزیولوژیک فسفر معنی‌دار بود (جدول ۳). در تیمار عدم مصرف کود آلی، کارایی فیزیولوژیک فسفر kg/kg ٤٦۹/۷ حاصل شد. بعد از آن کود دامی و کمپوست به ترتیب کمترین کارایی را نشان دادند (جدول ٤). نتایج اثرمتقابل کود بیولوژیک و نیتروژن نشان داد که در تیمار مصرف ۱۰۰درصد نیتروژن و شاهد بیشترین (٤٥۱/۱ کیلوگرم بر کیلوگرم) و کمترین (۳۹۱/۳ کیلوگرم بر کیلوگرم) به ترتیب در تیمار عدم مصرف نیتروژن توصیه شده و مصرف توام کود بیولوژیک بدست آمد (شکل ۸).

بحث

کود نیتروژن در افزایش رشد رویشی گیاه و اثر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی منجر به تولید آسیمیلات بیشتر و عملکرد دانه بالاتر می‌شود. ورمی کمپوست دارای آنزیم‌ها، هورمون‌های رشد و مقادیر زیادی از عناصر غذایی به صورت قابل دسترس برای گیاه است که در افزایش عملکرد محصولات مختلف تأثیر بسزایی دارد (Ghanbari et al., 2019). بررسی‌ها نشان داده است که افزایش کاربرد نیتروژن از طریق تأثیر بر اجزاء عملکرد، موجب تأثیر بر عملکرد دانه می‌گردد به نحوی که با افزایش تعداد خورجین در واحد سطح و همچنین تأثیر بر وزن هزار دانه و کاهش تعداد دانه در خورجین موجب افزایش عملکرد دانه کلزا می‌شود (Gavahi et al., 2017). برای دستیابی به عملکرد بالای دانه کنجد براساس نتایج این تحقیق باتوجه به دردسترس بودن مواد غذایی و محیط آن متفاوت است و در شرایط استفاده از کودهای زیستی به ویژه کمپوست، نیاز کمتری به نیتروژن جهت عملکرد دانه بالا مورد نیاز می‌باشد. تلقیح دو باکتری تثبیت کننده نیتروژن (آزوسپریلیوم و ازتوباکتر) با بذر امکان استفاده گیاهچه از نیتروژن و دیگر عناصر غذایی فراهم و گیاه در شرایط بهتری از نظر عناصر غذایی رشد می‌کند (Fazeli Kakhaki et al., 2020). آزوسپریلیوم و ازتوباکتر با توان تثبیت زیستی نیتروژن، گسترش سطح ریشه، کمک به جذب بهینه آب و عناصر غذایی و تولید هورمون‌های رشد و برخی ویتامین‌ها، رشد کیفی و کمی گیاه را تقویت می‌کند، که نتیجه آن به صورت افزایش عملکرد نمایان می‌گردد (Bahamin et al., 2019).

نتایج عملکرد بیولوژیک نشان داد که در تیمار تلفیقی کودهای ازتوباکتر و آزوسپریلیوم در هر سه محیط بالاترین مقدار بود که باعث بهبود عملکرد بیولوژیک نسبت به شرایط عدم کاربرد کود گردید. هنگامی که نیتروژن کافی در اختیار گیاه قرار گیرد، نیاز به دیگر عناصر غذایی اصلی مانند (فسفر و پتاسیم) افزایش می‌یابد. این عنصر به رشد سریع گیاه (افزایش ارتفاع و تعداد شاخه فرعی)، افزایش اندازه برگ، تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه کمک می‌نماید (Safari Motlagh et al., 2020). بنابراین نیتروژن تمامی مشخصه‌های مؤثر بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. محققان نتیجه گرفتند که ورمی‌کمپوست از طریق تحریک

فعالیت میکروارگانیزم‌های مفید خاک و عرضه مداوم و پایدار عناصر معدنی به ویژه نیتروژن به گیاه، موجب افزایش اجزاء عملکرددانه و عملکرد بیولوژیک سورگوم می‌گردد (Gavahi et al., 2017).

در تمامی سطوح نیتروژن همواره مصرف هر نوع باکتری باعث افزایش بهره‌وری نیتروژن شد در تیمار کود بیولوژیک با گذشت زمان، باکتری‌ها احتمالاً باعث آزاد شدن تدریجی عناصر غذایی شده که این عناصر آزاد شده می‌تواند جذب دانه یا اندام‌های محصول زراعی گردد. بنابراین افزایش بهره‌وری نیتروژن احتمالاً بدین منظور است (Bahamin et al., 2019).

طبق نتایج بدست آمده در این تحقیق بیشترین مقدار بهره‌وری فسفر در شرایط استفاده از نیتروژن بدست آمد. افزایش هر چه بیشتر مواد غذایی و نیز بهبود عملکرد گیاه در واحد سطح می‌تواند با تأثیر بر کارایی جذب این مواد، افزایش بهره‌وری عناصر غذایی را امکان‌پذیر کند که مجموعه این عوامل می‌تواند منجر به افزایش عملکرد یا ماده خشک به ازای ماده غذایی مصرف شده گردد. نتایج تحقیقات مختلف نشان داده که بهره‌وری یا کارایی زراعی متأثر از مصرف عنصر غذایی مربوطه می‌باشد و در حالت استفاده از نیتروژن یا فسفر به تنهایی کارایی زراعی کاهش می‌یابد (Nazari and Fallah, 2015). بسیاری از مطالعات به طور مشابه گزارش کردند که افزایش کاربرد فسفر موجب کاهش کارایی و بهره‌وری آن می گردد (Leiser et al., 2014). مطابق با گزارشی کارایی جذب نیتروژن در تیمار مصرف ۱۰۰درصد نیتروژن حاصل شد. به نظر می‌رسد در تیمارهای مصرف ازتوباکتر، این باکتری موجب فراهمی بیشتر نیتروژن در محیط ریشه و افزایش میزان جذب آن توسط گیاه شده است که همین امر موجب افزایش کارایی جذب یا بازیافت نیتروژن توسط گیاه شد. همچنین معدنی شدن آهسته‌تر نیتروژن در تیمار مصرف ازتوباکتر در مراحل مختلف رشد گیاه در مقایسه با مصرف اوره موجب افزایش کارایی بازیافت نیتروژن گشت. در تیمارهای مصزف ازتوباکتر، این باکتری موجب فراهمی بیشتر نیتروژن در محیط ریشه و افزایش میزان جذب آن توسط گیاه شد که همین امر افزایش کارایی جذب یا بازیافت نیتروژن توسط گیاه ذرت را به همراه داشت (Nazari and Fallah, 2015). همچنین معدنی شدن آهسته‌تر نیتروژن در تیمار مصرف ازتوباکتر در مراحل مختلف رشد گیاه در مقایسه با مصرف اوره موجب افزایش کارایی بازیافت نیتروژن گشت.

طبق نتایج بدست آمده در این تحقیق بیشترین کارایی جذب فسفر در تیمار مصرف ٦٦درصد نیتروژن و مصرف توام ازوباکتر و آزوسپریلیوم بدست آمد. می‌توان با افزایش مصرف این میکروارگانیسم‌های تحریک کننده رشد، کارایی کود فسفره را افزایش و مصرف آن را تا ۵۰درصد کاهش داد. تلقیح باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن و حل کننده فسفر کارایی زراعی کودهای فسفره و نیتروژنه را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد، همچنین در تیمارهایی که کود فسفره به میزان ۵۰درصد کاهش یافت و به جای آن از کود بیولوژیک استفاده شد، کارایی زراعی کود نسبت به شاهد بدون تلقیح به طور معنی‌داری بهبود یافت. نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که بهره‌وری یا کارایی زراعی متأثر از مصرف عنصر غذایی مربوطه می‌باشد و در حالت استفاده از نیتروژن یا فسفر به تنهایی کارایی زراعی کاهش می‌یابد (Bahamin et al., 2019). کارایی مصرف نیتروژن با افزایش کاربرد کود نیتروژنی کاهش می‌یابد. کاربرد زیاد کود نیتروژن از طریق تحریک افزایش جذب نیترات و اشباع فرآیندهای متابولیسم نیتروژن که منجر به کاهش نسبت کربن به نیتروژن می‌شود، روی کارایی مصرف نیتروژن تأثیر منفی می‌گذارد. در تحقیق حاضر در شرایط تیمار

مصـرف ۱۰۰درصد نیتروژن و شاهد، بیشترین کارایی فیزیولوژیک فسفر به مقدار kg/kg ٤٥١/١ حاصل شد. در شـرایط حضـور ازتوباکتر و آزوسپریلیوم در محیط ریشـه گیاه به علت تحریک رشـد گیاه، ماده خشـک بیشـتری تولید شـد و به طبع در این شـرایط فسـفر موجود در خاک کارایی بیشتری خواهد داشت که این امر می‌تواند منجر به افزایش کارایی فیزیولوژیک فسفر شـود که این شـرایط در تیمارهای دارای تنش بیشـتر نمود پیدا می‌کند (Nazari and Fallah, 2015).

نتیجه‌گیری نهایی

طبق نتـایج بـدسـت آمـده در این تحقیق کاربرد کودهای بیولوژیک در تمامی محیط‌ها موجب افزایش مقـدار عملکرد و شـاخص‌هـای بهره‌وری گردیـد. بیشـترین عملکرد در محیط شاهد در تیمار ۱۰۰درصد نیاز نیتروژن، در محیـط کود دامی در تیمار ۳۳درصد نیـاز نیتروژن و در محیط کمپوست در تیمار ٦٦درصـد نیتروژن بدسـت آمد. کاربرد تلفیقی کودهای زیسـتی ازتوباکتر و آزوسـپریلیوم در هر سـه محیط (شـاهد، کود دامی و کمپوست) نسبت به سطح بدون کود به‌ترتیب باعث افزایش ٢٤، ٢٢ و ٢٠درصـد عملکرد دانه کنجد شـد. بطور کلی بیشـترین عملکرد دانه در تیمار مصرف کمپوست و ٦٦درصد نیتروژن به مقـدار ١٦٨٤/١ کیلوگرم در هکتار حاصـل شـد که می‌توان این ترکیـب را جـایگزینی برای مصـرف بـه تنهایی کود نیتروژن دانست. همچنین مصرف کودهای بیولوژیک و کود آلی موجب افزایش کارایی استفاده از عناصر شد که این افزایش در نهایت می‌تواند علاوه بر کـاهش هزینـه‌هـای تولیـد منجر بـه افزایش عملکرد گردید.

References

Bahamin, S., Kocheki, A., Nasiri Mahallati, M. and Beheshti, S.A. (2019). Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative function of maize under drought conditio[ns]. Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences. 11(4): 863-872. (In Persian with English Summary).

Fazeli kakhki, S.F., Rezvani, H., Goldani, M. and Hemmati, N. (2020). Evaluation of the combined effect of organic and chemical fertilizers on some morphological, physiological, characteristics yield components and performance of sweet pepper (*Caspsicum Annuum*, Var: Traviata) under field conditions. Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research. 14(55): 39-51.

Ghanbari, M., Mokhtassi-Bidgoli, A. and Talebi-Siah Saran, P. (2019). The effect of bio-fertilizers on yield component, yield, protein and oil in soybean (*Glycine max Merrill*) under different irrigation regimes. Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research. 3(52):1-52.

Gorgini Shabankare, H., Fakheri, B.A., and Mohammadpour Vashvaei, R. (2017). Effect of bio-fertilizers on growth, grain and essential oil yield of Fennel (*Foeniculum vulgare Mill*.) under drought stress. Journal of Agroecology. 9(1): 50-62.

Govahi, M., Ghalavand, A., Nadjafi, F. and Sorooshzadeh, A. (2017). Comparing different soil fertility systems on some physiological characteristics, yield and essential oil of sage (*Salvia officinalis* L.) under different irrigation regimes. Journal of Agroecology. 9(2): 445-457.

Haghanian, S., Yadavi, A., Balouchi, H.R. and Moradi, A. (2016). Grain, oil yield and nitrogen use efficiency in different varieties of Sesame (*Sesamum indicum* l.) under nitrogen fertilizer and weed competition. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 26(1): 67-81.

Khajehpour, M.R. (2010). Industrial plants. Publication of Jahad Daneshgahi, Isfahan University of Technology. Pp 564.

Khan, N., Khalil Khan, S., Amanullah, A., Ali, A., Ullah, Z. and Ali, M. (2016). Effect of nitrogen and sulfur on yield and

yield components of sesame (S*esamum Indicum* L.) in calcareous soil. Pure and Applied Biology. 50: 1-5.

Leiser, W.L., Rattunde, H.F.W., Weltzien, E., Cisse, N., Abdou, M., Diallo, A. and Haussmann, B.I. (2014). Two in one sweep: aluminum tolerance and grain yield in P-limited soils are associated to the same genomic region in West African sorghum. BMC plant biology. 14(1), 206.

Mehrabi, M. and Ehsanzadeh, P. (2011). A study on physiological attributes and grain yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars under different soil moisture regimes. Journal of Crops Improvement. 13(2). 75-88.

Nabipour, Z., Ghaedi, N., and Keshavarz, A. (2015). The effect of vermicompost on yield and yield components of Sesame, Third National Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources, Tehran, Mehr Arvand I[ns]titute of Higher Education, Environmental Friends Promotion Group. (In Persian with English Summary).

Rathke, G.W., Behrens, T. and Diepenbrock, W. (2006). Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. Agriculture, Ecosystem and Environment. 117: 90-108.

Safari Motlagh, M.R., Kaviani, B. and Mousavi Mohammadi , S.A. (2020). Simultaneous effects of different levels of indole butyric acid and inoculation with growth promoting bacteria on some growth and biochemical traits of olive (*Olea europaea* L.) scion. Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research. 14(55):13-25.

Shakeri, E., Amini Dehaghi, M., Tabatabaei, S.A., Modares Sanavi, S.A.M. (2012). Effect of chemical fertilizer and biofertilizer on seed yield, its components, oil and protein percent in Sesame varieties. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 22(1): 71.

Taheri Oshtrinani, F. and Fathi, A. (2016). The impacts of mycorrhiza and phsphorus along with the use of salicylic acid on maize seed yield. Journal of Tabriz ecophysiology of crops. 10(3): 657-668.