نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۱ شماره ۳ / سال ۱۴۰۰ صفحات ۲۹۳-۲۷۱

تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و زیستی بر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن و فسفر در خرفه (*Portulaca oleracea* L.)

حامد جوادی[۱]، پرویز رضوانی مقدم[۲*]، محمد حسن راشد محصل[۲]، محمد جواد ثقه الاسلامی[۳]

تاریخ دریافت ۹۹/۳/۲٤ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۱/۱٤
۱- دانش آموخته دکتری، بوم شناسی زراعی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲ - استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دانشیار، دانشکده کشاورزی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران
* مسئول مکابه: Email: rezvani@um.ac.ir

چکیده

اهداف: مطالعه به‌منظور بررسی اثر کودهای آلی، زیستی و شیمیایی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه خرفه انجام گردید.

مواد و روش‌ها: آزمایش در سال‌های زراعی ۹٤-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹٤ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بیرجند به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش بر اساس ترکیبی از چهار منبع تأمین‌کننده نیتروژن شامل کود گاوی، ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی (NPK) و شاهد (بدون اعمال هیچ‌گونه کودی) و نیز چهار نوع کود زیستی شامل نیتروکسین (شامل ازتوباکتر و آزوسپیریلوم)، میکوریزا (*Glomus intraradices*)، بیوسولفور (شامل تیوباسیلوس همراه با گوگرد) و شاهد (بدون هیچ‌گونه کودی) بودند. صفات مورد مطالعه در این آزمایش شامل عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه، درصد نیتروژن و فسفر زیست‌توده، مقدار نیتروژن و فسفر زیست‌توده، کارایی جذب نیتروژن و فسفر، کارایی فیزیولوژیک نیتروژن و فسفر بر اساس دانه، کارایی زراعی نیتروژن و فسفر بر اساس دانه بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که اثر منابع تأمین کننده نیتروژن بر تمامی صفات مورد مطالعه (به‌جز کارایی فیزیولوژیک نیتروژن دانه) معنادار بود. بیشترین عملکرد دانه (۱۹۵۹/۲۹ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد زیست‌توده (۹۷۸۲/٤۳ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کود شیمیایی (NPK) حاصل شد که تفاوت آماری معناداری با کود گاوی نداشت. همچنین، بیشترین شاخص‌های کارایی نیتروژن از تیمار کود شیمیایی (NPK) بدست آمد. این در حالی بود که در کارایی زراعی نیتروژن دانه تفاوت آماری معناداری بین تیمار کود شیمیایی و گاوی مشاهده نشد. بیش‌ترین درصد فسفر و غلظت فسفر زیست‌توده از تیمار کود شیمیایی (NPK) حاصل شد. در حالی که با مصرف کودهای آلی و شیمیایی از میزان کارایی مصرف فسفر کاسته شد. اثر کودهای زیستی بر اکثر صفات مورد مطالعه (به‌جز درصد فسفر زیست‌توده) معنادار نبود. برهمکنش منابع تأمین نیتروژن و کود زیستی بر اغلب صفات مورد مطالعه (به‌جز عملکرد دانه، کارایی زراعی نیتروژن و فسفر دانه) معنادار بود.

نتیجه گیری: بر اساس نتایج این آزمایش، با در نظر گرفتن اثرات زیست‌محیطی و افزایش کارایی مصرف نیتروژن جهت تولید پایدار دانه خرفه در منطقه بیرجند می‌توان از تیمار کود گاوی به‌عنوان جایگزین کود شیمیایی NPK استفاده نمود.
واژه‌های کلیدی: بیوسولفور، کود گاوی، میکوریزا، نیتروکسین، ورمی‌کمپوست

Effect of Organic, Chemical and Biological Fertilizers on Yield and Efficiency of Nitrogen and Phosphorus in Porslane (*Portulaca oleracea* L.)

Hamed Javadi[1], Parviz Rezvani Moghaddam[2*], Mohammad Hasan Rashed Mohasel[2], Mohammad Javad Seghatoleslami[3]

Received: June 13, 2020 Accepted: February 2, 2021
1- Graduated PhD. Dept. of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
2- Prof, Dept. of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
4- Assoc. Prof., Faculty of Agriculture, Birjand branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran.
*Corresponding Author Email: Rezvani@um.ac.ir

Abstract

Background and Objectives: Purslane (*Portulaca oleracea* L.) is an annual and C4 plant that belongs to the family of Portulacaceae. The plant is drought- and salt-tolerant which contains high amounts of beneficial omega-3 fatty acids and antioxidant vitamins. Nitrogen is the key element in soil fertility and crop production. Attention to the soil quality and health has increased in recent years, especially for sustainable production of medicinal crops. So that, for production of healthy food in industrialized countries, using natural and on-farm inputs has been considered. One of the practical ways to achieve this goal is organic and biofertilizers. Given the importance of Purslane as a medicinal plant and due to the fact that there is not detailed information about the nitrogen requirement for this plant, this study was conducted to effect of organic, biological and chemical fertilizers on yield, N and P use efficiency Purslane (*Portulaca oleracea* L.) in Birjand, Iran

Materials and Methods: In order to investigate the effect of organic, biological and chemical fertilizers on the yield and yield components of purslane seed, an experiment was conducted in a factorial randomized complete block design with three replications in Birjand University Research Farm in crop years 2015-2016 and 2017- 2018. Experimental treatments were based on a combination of four sources of nitrogen supply: cow manure, vermicompost, fertilizer (NPK) and control (without any fertilizer application), and four types of biofertilizer including: nitroxin (including *azotobacter* and *azospirillum*), *mycorrhiza* (*Glomus intraradices*), Biosulfur (including *thiobacillus* with sulfur) and control (without any fertilizer). The traits studied in this experiment included: biomass yield, grain yield, nitrogen and phosphorus biomass percentage, nitrogen and phosphorus biomass content, nitrogen and phosphorus uptake efficiency, seed based nitrogen and phosphorus uptake efficiency, agronomic efficiency of nitrogen and phosphorus based They were.

Results: The results showed that the effect of nitrogen sources on all studied traits (except physiological grain nitrogen efficiency) was significant. The highest grain yield (1959.99 $kg.ha^{-1}$) and biomass yield (9782.43 $kg.ha^{-1}$) were obtained from NPK treatment with no significant difference with cow manure. Also, the most nitrogen efficiency indices were obtained from NPK treatment. However, no significant difference was observed between agronomic efficiency of grain and cow manure. The highest phosphorus content and biomass phosphorus content were obtained from NPK treatment. However, with the use of organic and chemical fertilizers, the efficiency of phosphorus use decreased. The effect of biofertilizers on most of the studied traits

(except biomass P percent) was not significant. Interaction of nitrogen sources and biofertilizers was significant on most of the studied traits (except grain yield, agronomic efficiency of N and P).

Conclusions: Based on the results of this experiment, considering the environmental effects and increasing the efficiency of nitrogen use for sustainable production of purslane seed in Birjand region can be used as fertilizer replacement (NPK).

Keywords: Biosulfur, Cow Manure, Mycorrhiza, Nitroxin, Vermicompost

مقدمه

خرفه (*Portulaca oleracea* L.) گیاهی یک‌ساله و چهار کربنه از خانواده Portulacaceae است که به تنش‌های محیطی از جمله شوری و خشکی مقاوم می باشد (رحیمی و همکاران ۲۰۱۱). این گیاه در بسیاری از کشورهای دنیا برای اهداف گوناگون از جمله تغذیه انسان، صنایع تبدیلی و دارویی کاربرد دارد. از نظر خواص دارویی، این گیاه مدر، ضد کمبود ویتامین ث، معالج سرفه‌های مقاوم، تصفیه‌کننده خون، تب‌بر، مفید درترمیم سوختگی‌ها، شل کننده عضلات، ضد تشنج، ضدالتهاب، کاهش‌دهنده خطر بیماری‌های قلبی و عروقی، رفع تشنگی می‌باشد (اینانلوفر و همکاران ۲۰۱٤ و سلطان نژاد و همکاران ۲۰۱۳).

در سال‌های اخیر، استفاده از کودهای شیمیایی تا حد معینی باعث افزایش کمیت و کیفیت محصولات زراعی شده است (اسدی و همکاران ۲۰۱٤؛ اینانلوفر و همکاران ۲۰۱۳ و یوسفیان قهفرخی و همکاران ۲۰۱۵). اما، نتایج برخی بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده طولانی‌مدت از کودهای شیمیایی باعث تخریب ساختمان خاک، افزایش هزینه‌ها و کاهش پتانسیل تولید و مشکلات زیست‌محیطی می‌شود (یانگ و همکاران۲۰۱۱). توجه مردم به‌ویژه در کشورهای توسعه‌یافته به غذای سالم و عاری از سم و کود شیمیایی و مقابله با گرم شدن زمین از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، اهمیت کاهش کودهای شیمیایی و جایگزین نمودن آن با نهاده‌های طبیعی و درون مزرعه‌ای را دوچندان کرده است (دن هولاندر و همکاران ۲۰۰۷).

استفاده ناکارآمد از کودهای شیمیایی به‌ویژه در نظام‌های فشرده، بهره‌وری و کارایی مصرف کودها را به میزان زیادی کاهش داده، به‌طوری‌که کارایی جهانی جذب نیتروژن برای تولید غلات ۳۳ درصد برآورد شده است (ران و جانسون ۱۹۹۹). استفاده از کودهای آلی و زیستی به دلیل آزادسازی تدریجی عناصر غذایی و تسهیل در فراهم کردن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، می‌تواند به‌عنوان راهکاری عملی جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی و بهبود کارایی آن‌ها مدنظر قرار گیرد (موسوی و همکاران ۲۰۰۹).

در تحقیقی، کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار باعث افزایش عملکرد دانه و وزن خشک کل در خرفه شد (اینانلوفر و همکاران ۲۰۱۳). در تحقیقی دیگر، کاربرد کودهای آلی و شیمیایی نسبت به شاهد (عدم کاربرد کود) وزن خشک بوته خرفه را افزایش داد و تأثیر مصرف کود شیمیایی بر این صفات بیش‌تر از کودهای آلی بود (یوسفیان قهفرخی و همکاران ۲۰۱۵). نتایج مطالعه‌ای روی گیاه سیاهدانه[1] نشان داد که کارایی جذب و مصرف نیتروژن در کودهای آلی به‌طور معناداری بیش‌تر از کودهای شیمیایی بود (رضوانی مقدم و همکاران ۲۰۱٤). در بررسی مقایسه اثر سطوح مختلف کودهای آلی (کود گاوی و ورمی‌کمپوست) و شیمیایی

[1] *Nigella sativa* L.

(اوره) بر شاخص‌های کارایی نیتروژن در اسفرزه[1] مشخص شد با مصرف بیش‌تر کود، درصد و مقدار نیتروژن زیست‌توده افزایش یافت. همچنین، بالاترین کارایی مصرف و بهره‌وری نیتروژن بر اساس عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده اسفرزه برای شاهد به‌دست آمد. در این تحقیق سطوح مختلف کودهای آلی از نظر کارایی جذب و بهره‌وری نیتروژن در مقایسه با کودهای شیمیایی برتری داشتند (اسدی و همکاران ۲۰۱٤).

استفاده از کودهای گاوی و ورمی‌کمپوست باعث افزایش میزان فسفر و پتاسیم زیست‌توده و کارایی جذب و مصرف فسفر و پتاسیم سیاهدانه شد (رضوانی مقدم و همکاران ۲۰۱٤). در مطالعه‌ای دیگر، بیش‌ترین میزان فسفر زیست‌توده، کارایی جذب فسفر و کارایی مصرف فسفر و پتاسیم سیاهدانه از تیمار تیوباسیلوس همراه با گوگرد بدست آمد و اثر نیتروکسین بر درصد جذب فسفر و پتاسیم، میزان پتاسیم و کارایی جذب پتاسیم معنادار نبود (رضوانی مقدم و سیدی ۲۰۱٤).

با توجه به اهمیت خرفه به‌عنوان یک گیاه مقاوم به شوری و خشکی و مستعد پرورش در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌ویژه در خراسان جنوبی و افزایش تولید آن در کشور، تاکنون اطلاعات دقیقی در خصوص نیاز کودی این محصول در دسترس نبوده و کشاورزان برای تولید آن مقدار زیادی کود شیمیایی مصرف می‌کنند که این موضوع علاوه بر هدر رفت سرمایه، باعث آلودگی محیط‌زیست می‌گردد. بر این اساس، در راستای بهبود کارایی نیتروژن و فسفر از طریق کاهش مصرف کود شیمیایی و استفاده از منابع پایدار تأمین کننده نیتروژن و فسفر، این مطالعه با هدف بررسی اثر کودهای آلی، شیمیایی و زیستی بر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن و فسفر خرفه در منطقه بیرجند طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو سال زراعی ۹٤-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹٤ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند با مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۱٤۸۰ متر از سطح دریا به اجرا درآمد. محل آزمایش از نظر اقلیمی بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمبرژه جزء مناطق خشک است. میانگین ۱۵ ساله بارندگی این منطقه ۱۷٦ میلی‌متر، حداکثر دمای آن ۳۹/۱، حداقل دما ۱۷- و متوسط دمای روزانه ۱۲ درجه سانتی‌گراد است. نتایج تجزیه خاک، منطقه مورد نظر در جدول ۱ آمده است:

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری در دو سال مورد مطالعه

سال زراعی	بافت خاک	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	pH	مواد آلی (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)
۹٤-۱۳۹۳	لوم رسی	۲/۸۹	۷/۱٤	۰/٤٦	۰/۱٤۷	۵/٤	۲۷٦
۹۵-۱۳۹٤	لوم	۳/۷۰	۷/٦۰	۰/۷۰	۰/۰۷۳	۱۲/٤	۲۹۷

نمونه‌برداری از خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری و از سه مکان در هر کرت انجام‌شده و باهم مخلوط شدند. نمونه‌های خاک در هوای آزاد قرار داده شده و سپس از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. میزان کربن آلی خاک به روش والکی و بلک از طریق اکسید کربن آلی خاک در مجاورت دی کرومات پتاسیم و اسید غلیظ و سپس عیارسنجی با محلول سولفات فرو آمونیوم اندازه‌گیری شد (Walkly and Black, 1934). نیتروژن

[1] *Plantago ovata* Forsk.

کل با استفاده از روش کجلدال (برنر و مولاوانی ۱۹٦۵) و فسفر قابل جذب با استفاده از روش اولسن (اولسن و همکاران ۱۹۵٤) اندازه‌گیری شدند. میزان اسیدیته خاک، بر روی گل اشباع از طریق دستگاه pH متر و هدایت الکتریکی بر روی عصاره اشباع خاک از طریق دستگاه EC متر تعیین شد.

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش بر اساس ترکیبی از چهار منبع تأمین‌کننده نیتروژن شامل (کود دامی، ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی (NPK) و شاهد (بدون اعمال هیچ‌گونه کودی) و نیز چهار نوع کود زیستی شامل نیتروکسین (شامل ازوتوباکتر و آزوسپیریلیوم)، میکوریزا (گلوموس اینتررادیسیس)، بیوسولفور (شامل تیوباسیلوس)+ گوگرد و شاهد (بدون اعمال هیچ‌گونه کودی) بودند. در این تحقیق اندازه هر کرت ٤×۳ متر (۱۲ مترمربع)، فاصله بین کرت‌ها ۰/۵ متر و فاصله بین بلوک‌ها ۳ متر در نظر گرفته شد.

عملیات کاشت خرفه در سال اول آزمایش، ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹٤ و در سال دوم آزمایش، ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۵ با دست و به‌صورت خشکه‌کاری در کرت‌های مذکور انجام شد. در این آزمایش فاصله بین ردیف ٤۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۱۵ سانتی‌متر (تراکم ۱٦٦٦٦٦/٦ بوته در هکتار) در نظر گرفته شد (جوادی و همکاران، ۲۰۱۷). جهت دستیابی به تراکم فوق، ابتدا بذرها با تراکم بالا کشت شد، سپس با عمل تنک کردن در دو مرحله شش و هشت برگی، تراکم مورد نظر حاصل شد. پس از کاشت، نسبت به آبیاری هر کرت به‌صورت جداگانه، توسط سیفون اقدام شد. آبیاری پس از سبز شدن، هر ۷ روز یک‌بار تا پایان فصل رشد ادامه یافت. در این تحقیق بر اساس نیاز گیاه خرفه و آزمون خاک، کود NPK (با مقادیر خالص ۵۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) اعمال شد. کود فسفر (از منبع سوپر فسفات تریپل) و پتاسیم (از منبع سولفات پتاسیم)، یک روز قبل از کاشت در سطح کرت‌های مورد نظر پخش و با خاک مخلوط شده و کود شیمیایی نیتروژن (از منبع اوره) نیز به‌صورت سرک در دو مرحله، نیمی در ابتدای کاشت، هم‌زمان با کاربرد کودهای دیگر و نیمی دیگر پس از پایان چین اول خرفه و شروع چین دوم به‌صورت سرک به خاک اضافه شد. با توجه به اینکه هر یک از کرت‌های آزمایش باید از میزان نیتروژن مساوی از منابع آلی و شیمیایی برخوردار باشند لذا مقادیر کود دامی و ورمی کمپوست بر اساس مقدار نیتروژن توصیه شده (۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) برآورد و اعمال شد. با توجه به اینکه از کل عناصر موجود در کود دامی مقدار ۵۰ درصد در سال اول آزاد می‌شود، مقدار بدست آمده برای کود دامی دو برابر مقادیر نیتروژن توصیه شده در نظر گرفته شد (رضوانی مقدم و همکاران ۲۰۱٤). نتایج حاصل از آنالیز کود دامی و ورمی‌کمپوست به تفکیک دو سال آزمایش در جدول ۲ آمده است:

جدول ۲- نتایج تجزیه کود گاوی و ورمی‌کمپوست در دو سال زراعی مورد مطالعه

سال زراعی	نوع کود	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	pH	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر (%)	پتاسیم (%)	کربن به نیتروژن (C/N)
۹٤-۱۳۹۳	ورمی کمپوست	٦/۷۰	۷/۵۲	۱۷/۷	۱/۵٤	۰/۷۱	۰/۲۸	۱۱/٤۹
	کود گاوی	٤/۵٦	۷/۹۵	٦/۷۸	۰/۵۹	۰/۵۰	۰/۳۲	۱۱/٤۹
۹۵-۱۳۹٤	ورمی کمپوست	۷/۷۸	۷/۷۰	۷/۷۰	۰/۷۸	۰/۳۲	۰/۳۸	۹/۸۷
	کود گاوی	۸/۲٦	۷/٤۰	۷/۱۰	۰/٦۰	۰/۲۸	۰/۵۱	۱۱/۸۳

بر اســـاس محتوی نیتروژن کود دامی (گـاوی) و ورمی کمپوسـت (جدول ۲) میزان کود مورد استفاده در سـال اول آزمایش برای کود دامی و ورمی‌کمپوسـت به ترتیب ۳۳۸۹۸/۳ و ٦٤٩٣/٥ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم آزمایش ۳۳۳۳۳/۳ و ۱۲۸۲۰/۵۱ کیلوگرم در هکتار برآورد شد.

جهت تلقیح بذرهای خرفه با میکوریزا از خاک حاوی سویه گلوموس اینتررادیسیس استفاده شد که هم‌زمان با کاشت به‌صورت دولایه تلقیح با خاک حاوی میکوریزا در بالا و پایین بذرها و به میزان ۱/۵ کیلوگرم در هر کرت (۳۰۰ گرم در مترمربع) صورت پذیرفت. خاک حاوی میکوریزا سویه گلوموس اینتررادیسیس از شرکت زیست‌فناوری توران واقع در پارک علم و فناوری شاهرود تهیه شد. اعمال کود نیتروکسین (حاوی باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپیریلوم) در یک مرحله به‌صورت تلقیح با بذور قبل از کاشت (بذر مال) به میزان ۰/۵ لیتر به ازای هر هشت کیلوگرم بذر در هکتار (بر اساس توصیه کودی شرکت زیستی مهر آسیا) انجام شد. البته با توجه به عدم درج نام خرفه در لیست توصیه‌های کودی این شرکت، از گیاهان نزدیک به آن (کلزا) استفاده شد. تلقیح بذور با نیتروکسین در سایه و دور از تابش مستقیم آفتاب انجام و کرت‌ها بلافاصله آبیاری شدند. هم‌چنین اعمال کود بیوسولفور (حاوی تیوباسیلوس) به همراه مصرف گوگرد بنتونیت‌دار در یک مرحله و به‌صورت تلقیح با بذور به میزان ٦ کیلوگرم بیوسولفور به ازای هر هکتار و ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار (بر اساس توصیه کودی شرکت زیستی مهر آسیا) انجام شد.

عملیات مبارزه با علف‌های هرز طی سه نوبت با دست انجام پذیرفت. در طول فصل رشد در سال اول آزمایش و چین دوم، بیماری زنگ سفید[1] مشاهده و جهت جلوگیری از خسارت از سم ریدومیل[2] به میزان ۱/۵ در هزار استفاده شد. در سال دوم آزمایش و در چین اول، آفت سرخرطومی بلند چغندرقند[3] مشاهده و جهت جلوگیری از خسارت از سم تیودیکارب[4] (لاروین) به میزان ۱/۵ در هزار استفاده شد. در طی فصل رشد این گیاه دو چین برداشت (چین اول در سال اول آزمایش در تاریخ ۹٤/٤/۲۸ و در سال دوم آزمایش در تاریخ ۹۵/۵/۱۸، چین دوم در سال اول آزمایش در تاریخ ۹٤/٦/۲٦ و در سال دوم آزمایش در تاریخ ۹۵/۷/۱۰) شد.

جهت تعیین عملکرد دانه و عملکرد زیستی پس از حذف ردیف‌های کناری و نیم‌متر ابتدا و انتهای هر کرت در زمان رسیدگی فیزیولوژیک (زرد شدن ۷۰ درصد کپسول‌ها) برداشت صورت پذیرفت. بوته‌ها پس از برداشت به مدت چند روز در هوای آزاد قرارگرفته سپس اقدام به تکاندن آن‌ها و جمع‌آوری و توزین دانه‌ها شده و عملکرد دانه محاسبه شد. عملکرد زیست‌توده، از قرار دادن اندام‌های هوایی در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۷۲ ساعت و پس از توزین آن‌ها به دست آمد (جوادی و همکاران، ۲۰۱۷). به‌منظور تعیین درصد نیتروژن اندام‌های هوایی و محاسبه شاخص‌های کارایی نیتروژن، ابتدا نمونه‌های گیاهی آسیاب و پس از هضم با اسید سولفوریک و کاتالیزور، مقدار نیتروژن موجود در عصاره حاصل توسط روش کجلدال (۲۸) اندازه‌گیری شد. جنبه‌های مختلف کارایی نیتروژن با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه گردید (اسدی و همکاران، ۲۰۱٤):

$$NupE = (N_{off} / N_s) \times 100 \quad [رابطه ۱]$$

$$NutE_g = (G_w / N_{off}) \quad [رابطه ۲]$$

$$NUE_g = (G_w / N_s) \quad [رابطه ۳]$$

در این رابطه‌ها، NupE: کارایی جذب (بازیافت) نیتروژن، N_{off}: نیتروژن موجود در زیست‌توده (کیلوگرم در هکتار)، N_s: نیتروژن موجود در خاک که شامل نیتروژن اولیه خاک و نیتروژن مصرفی (کیلوگرم در هکتار) می‌باشد، $NutE_g$: کارایی مصرف (فیزیولوژیک) نیتروژن برحسب عملکرد دانه، G_w: عملکرد دانه

1- *Wilsoniana Portulacae*
2- Ridomil- MZ, 72 WP
3- *Lixus incanescens* Boh.
4- Thiodicarb

(کیلوگرم در هکتار) و NUE_g: کارایی زراعی (بهره‌وری) نیتروژن برحسب عملکرد دانه می‌باشد.

برای محاسبه کارایی مصرف نیتروژن، علاوه بر کود مصرفی، میزان نیتروژن موجود در خاک نیز در نظر گرفته شد. برای این منظور و محاسبه ذخیره نیتروژن خاک قبل از کشت گیاه زراعی، عمق خاک برای خرفه ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و با توجه به درصد نیتروژن خاک و وزن مخصوص ظاهری خاک میزان نیتروژن موجود در خاک به دست آمد (جدول ۱) که میزان آن در سال اول آزمایش ٥٤٦٠ کیلوگرم در هکتار (وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و در سال دوم آزمایش ۳۰٦٦ کیلوگرم در هکتار (وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/٤ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بود. با توجه به اینکه فقط ۳ درصد نیتروژن کل خاک قابل جذب برای گیاه می‌باشد (کاسمن و همکاران ۲۰۰۲)، بنابراین میزان نیتروژن قابل جذب گیاه از خاک در سال اول آزمایش ۱٦۳/۸ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم آزمایش ۹۱/۹۸ کیلوگرم در هکتار بود.

به‌منظور تعیین درصد فسفر اندام‌های هوایی و محاسبه شاخص‌های کارایی فسفر، ابتدا نمونه‌های گیاهی آسیاب و به روش هضم خشک آماده شده و سپس مقدار فسفر در عصاره حاصل به روش مورفی و رایلی (۱۹٦۲) اندازه‌گیری شد.

جنبه‌های مختلف کارایی فسفر با استفاده از رابطه‌های ۱، ۲ و ۳ محاسبه گردید. با این تفاوت که در رابطه‌های مذکور فسفر جایگزین نیتروژن شد.

برای محاسبه کارایی مصرف فسفر، علاوه بر کود مصرفی، میزان فسفر موجود در خاک نیز در نظر گرفته شد. برای این منظور و محاسبه ذخیره فسفر خاک قبل از کشت گیاه زراعی، عمق خاک برای خرفه ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و با توجه به درصد فسفر خاک و وزن مخصوص ظاهری خاک میزان فسفر موجود در خاک به دست آمد (جدول ۱) که میزان آن در سال اول آزمایش ٤۸/۳٦ کیلوگرم در هکتار (وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و در سال دوم آزمایش ۲۲/٦۸ کیلوگرم در هکتار (وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/٤ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بود.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه واریانس مرکب با استفاده از نرم‌افزار Minitab 17 انجام پذیرفت. میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنادار (LSD) و در سطح ٥ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

۱- عملکرد دانه

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر منابع کودی نیتروژن در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنادار بود. اما اثر کود زیستی و اثر منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر این صفت معنادار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کاربرد کود گاوی و شیمیایی (NPK) نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) به ترتیب باعث افزایش ۱٦/۰٤ و ۱۰/۳۷ درصدی عملکرد دانه شد، اما تفاوت آماری معناداری بین کود ورمی‌کمپوست و شاهد وجود نداشت (جدول ٤). در تحقیقی کاربرد ۲٥۰ کیلوگرم در هکتار اوره نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) باعث افزایش عملکرد دانه خرفه شد (اینانلوفر و همکاران ۲۰۱۳). برخی محققان نیز به اثرات مثبت کودهای شیمیایی (اسدی و همکاران ۲۰۰۷ و قمری و همکاران ۲۰۱٦) و کودهای آلی (نصیرزاده و همکاران ۲۰۱٥) بر عملکرد دانه اشاره نموده‌اند. استفاده از کودهای شیمیایی به دلیل آزادسازی سریع نیتروژن (یانگ و همکاران ۲۰۱۱) و در دسترس بودن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در مراحل مختلف رشدی و استفاده از کودهای آلی به دلیل افزایش ماده آلی خاک، بهبود ساختمان خاک و افزایش میزان نگهداری آب در خاک (شارپلی و همکاران ۲۰۰٤) باعث افزایش عملکرد دانه شد. با توجه به اینکه تفاوت فاحشی بین عملکرد دانه حاصل از کود گاوی و شیمیایی وجود ندارد، لذا جهت جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست جایگزینی کود گاوی با شیمیایی ارجحیت دارد.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که استفاده از کودهای زیستی تأثیری بر عملکرد دانه خرفه نداشت (جدول ۳). در گزارش برخی محققان به عدم تأثیر معنادار

کودهای زیستی بر عملکرد دانه اشاره شده است (جهان و همکاران ۲۰۱۳). در تحقیقی گزارش شد که در شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک، تلقیح بذرهای گیاهان با باکتری‌های محرک رشد زمانی می‌تواند مؤثر باشد که علاوه بر به‌کارگیری نژادهای مؤثری از باکتری‌ها، شرایط خاک نیز جهت استقرار و تکثیر آن‌ها مناسب باشد (رودیگز و همکاران ۱۹۹۶).

۲- عملکرد زیست‌توده

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر منابع کودی نیتروژن و برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر عملکرد زیست‌توده در سطح احتمال یک درصد معنادار بود، اما اثر کود زیستی بر این صفت معنادار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد زیست‌توده نشان داد که استفاده از کود شیمیایی (NPK) نسبت به شاهد باعث افزایش ۱۸/۴۱ درصدی عملکرد زیست‌توده شد. تفاوت آماری معناداری بین تیمارهای کود آلی (کود گاوی و ورمی‌کمپوست) و شاهد وجود نداشت (جدول ٤). نتیجه بدست آمده با نتایج قمری و همکاران (۲۰۱٦) و اینانلوفر و همکاران (۲۰۱۳) در خصوص گیاه خرفه مطابقت داشت. در تحقیقی که بر روی گیاه اسفرزه انجام گرفت مشخص شد که تأثیر کود شیمیایی بر عملکرد زیست‌توده بیش‌تر از کود گاوی بود (نصیرزاده و همکاران، ۲۰۱۵). دلیل افزایش عملکرد زیست‌توده در تیمار کود شیمیایی احتمالاً آزاد شدن سریع نیتروژن نسبت به کودهای آلی، افزایش سطح برگ و فتوسنتز و در نهایت رشد اندام‌های هوایی خرفه باشد. نتایج مقایسه میانگین برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر عملکرد زیست‌توده نشان داد که در تیمار عدم مصرف کود آلی و شیمیایی (شاهد) استفاده از کودهای زیستی نیتروکسین و میکوریزا باعث افزایش عملکرد زیست‌توده شد، اما تفاوت آماری معناداری بین بیوسولفور و شاهد نبود. کاربرد ترکیبی کود گاوی و نیتروکسین تأثیر مثبتی بر عملکرد زیست‌توده داشت. هم‌چنین، ترکیب ورمی‌کمپوست با کودهای زیستی مورد مطالعه باعث افزایش عملکرد زیست‌توده شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب (مربعات میانگین) تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و زیستی بر عملکرد دانه، عملکرد زیست توده و کارایی مصرف نیتروژن خرفه

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد زیست‌توده	درصد نیتروژن زیست‌توده	مقدار نیتروژن زیست توده	کارایی جذب نیتروژن	کارایی فیزیولوژیک نیتروژن دانه	کارایی زراعی نیتروژن دانه
سال	۱	۱۲٦۷۲۲ $^{n.s}$	۳۷۷۸۹ ^{ns}	۰/۰۱۷ $^{n.s}$	۱۰٦/۰ ^{ns}	۵۰۲۲۹ **	۲۲/٤ ^{ns}	۱٤۵۸ **
تکرار (سال)	٤	۳٦۹۲۲۹	۱۲۱۵۱۹۲٤	۰/۲۵	٤۲٦۳/۳	۳۲۹٤	۲۱۰/۸۹	۹
منابع آلی و شیمیایی	۳	٤۹۱٦۳۹ **	۱۵۲۸۵۷۱۸ **	۰/۱۵ *	۷۵۱۳/۸ **	۳۵۷۳ **	٤۰/۸۵ ^{ns}	۱۸ *
سال × منابع آلی و شیمیایی	۳	۱۸۱۵۱۲ $^{n.s}$	۲۱۰۳٦٤۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۱ $^{n.s}$	٤۲۷/۲ ^{ns}	۹۰ ^{ns}	۱٤/٤۹ ^{ns}	۹ ^{ns}
کود زیستی	۳	٤۸٤۲٤ $^{n.s}$	۷۵۱٤۱۸ ^{ns}	۰/۱۲۰ $^{n.s}$	٦۵۲/۹ ^{ns}	٤۱٤ ^{ns}	۱۷/۱۹ ^{ns}	۸/۱ ^{ns}
سال × کود زیستی	۳	٤۱۵٦۲۳ $^{n.s}$	۱٦۵۲۵۱۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۱ $^{n.s}$	٤۱٤/۳ ^{ns}	۳۲٤ ^{ns}	۲۳/٦٦ ^{ns}	۲۷ *
منابع آلی و شیمیایی × کود زیستی	۹	۱۷۲۸٤۳ $^{n.s}$	۵۹۸٤۰۷۰ **	۰/٤۵۹ **	۷٤۰۸/٤ **	٤۲۵۷ **	۸٤/٦۹ **	۹ ^{ns}
سال × منابع آلی و شیمیایی × کود زیستی	۹	۳۹۰٦۵۳ $^{n.s}$	٦۰۷۲۹۹٦ **	۰/۰۰۰۰٤ $^{n.s}$	۱۰٤۹/۱ ^{ns}	۱۰٦۲ *	۱۰/۸۷ ^{ns}	۲٦/۱ **
خطای اصلی	٦۰	۱۱۲٦۳٦	۲۱۰۵٦۵۲	۰/۰٤۸	۷۹٤/٤	٤۵۰	۲۲/۸۰	۸/۱
ضریب تغییرات (%)		۱۸/۸۲	۱٦/۸۲	۱٦/۵۹	۲٤/۳۱	۲٤/٦۷	۲۸/۱۲	۲۲/۲۲

**، * و n.s به ترتیب معنادار در سطح احتمال ۱، ۵٪ و غیر معنادار می‌باشد.

ترکیب کود شیمیایی (NPK) با نیتروکسین و بیوسولفور باعث افزایش و ترکیب آن با میکوریزا باعث کاهش عملکرد زیست‌توده شد (جدول ۵). در این پژوهش، بیش‌ترین عملکرد زیست‌توده به‌طور مشترک از تیمار ترکیبی کود شیمیایی و نیتروکسین و تیمار کود شیمیایی و بیوسولفور حاصل شد و کمترین آن متعلق به تیمار ترکیب کود گاوی و نیتروکسین بود (جدول ۵). در برخی آزمایش‌ها مشاهده شد که تقویت خاک با کودهای آلی، سیستم میکوریزایی را به‌شدت توسعه می‌دهد، درحالی‌که کودهای معدنی بر ایجاد همزیستی اثر منفی دارد (گریندلر و همکاران ۲۰۰۶). در تحقیقی ضمن انجام پژوهشی روی گیاه دارویی رازیانه گزارش کردند که کاربرد کود شیمیایی (NPK) مانع همزیستی میکوریزایی شد، اما بین تیمار ورمی‌کمپوست و میکوریزا اثر هم‌افزایی مثبتی مشاهده شد (درزی و آخانی ۲۰۱۵). اثر نیتروکسین نیز بر توسعه سیستم ریشه‌ای مورد تأیید قرار گرفته است (کب و مارتین ۱۹۸۵). بهبود سیستم ریشه‌ای علاوه بر افزایش جذب نیتروژن موجب افزایش جذب آب و سایر مواد مغذی از خاک می‌شود (فیتر ۲۰۰۰). دلیل افزایش عملکرد زیست‌توده در تیمارهای ترکیبی کود شیمیایی با نیتروکسین و بیوسولفور احتمالاً می‌تواند ناشی از نقش کود شیمیایی در جبران کردن رقابت باکتری‌ها برای نیتروژن در اوایل دوره رشد باشد. از طرف دیگر استفاده از کودهای شیمیایی و باکتری‌های تثبت کننده نیتروژن (نیتروکسین و بیوسولفور) از طریق کاهش اسیدیته خاک (الدمن ۱۹۶۰) باعث افزایش جذب عناصر غذایی و در نهایت افزایش عملکرد زیست‌توده شده است.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد دانه، عملکرد زیست توده و کارایی مصرف نیتروژن خرفه

منابع تأمین نیتروژن	عملکرد دانه ($kg.\ ha^{-1}$)	عملکرد زیست‌توده ($kg.\ ha^{-1}$)	نیتروژن زیست‌توده (%)	مقدار نیتروژن زیست توده ($kg.\ ha^{-1}$)	کارایی جذب نیتروژن (%)	کارایی زراعی نیتروژن دانه ($kg.\ kg^{-1}$)
شاهد (عدم کاربرد کود)	۱٦٤٤/۸۸ b	۷۹۸۱/۰۱ b	۱/۳۰ b	۱۰٤/۷۹ b	۷۹/۸ b	۱۲/۳ b
کود گاوی	۱۸۳۵/۳٦ ab	۸٤۸۰/۱۷ ab	۱/۳۰ b	۱۱۳/۳۱ b	۸۱/۳ b	۱۳/۲ ab
کود ورمی‌کمپوست	۱٦۹۰/۵۰ b	۸۲۵۷/۰۷ b	۱/۲٤ b	۱۰۳/۸۲ b	۷۸/۰ b	۱۲/٦ b
کود شیمیایی NPK	۱۹۵۹/۲۹ a	۹۷۸۲/٤۳ a	۱/٤۳ a	۱٤۱/٦۵ a	۱۰٤/۱ a	۱٤/۷ a
LSD 5%	۱۹۳/۸	۸۳۷/۸	۰/۱	۱٦/۳	۱۲/۲٤	۱/٦۸

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD اختلاف معناداری با یکدیگر ندارند ($P \leq ۰/۰۵$).

۳- درصد نیتروژن زیست‌توده

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر منابع کودی نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد و برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی در سطح احتمال یک درصد بر نیتروژن زیست‌توده معنادار بود، اما اثر سال، برهمکنش سال و منابع کودی نیتروژن، اثر کود زیستی، برهمکنش سال و کود زیستی و برهمکنش سال، منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر این صفت معنادار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که استفاده از تیمار کود شیمیایی (NPK) باعث افزایش ۱۰ درصدی نیتروژن زیست‌توده نسبت به شاهد (عدم مصرف کود آلی و شیمیایی) شد، اما تفاوت آماری معناداری بین سایر تیمارها وجود نداشت (جدول ٤).

نتایج مطالعات برخی محققان حاکی از افزایش درصد نیتروژن زیست‌توده در اثر کاربرد کود شیمیایی به‌ویژه نیتروژن می‌باشد (اسدی و همکاران، ۲۰۱٤). با این وجود رضوانی مقدم و همکاران (۲۰۱٤) در ارتباط با گیاه

دارویی سیاهدانه گزارش کردند که درصد نیتروژن اندام‌های هوایی کمتر تحت تأثیر منبع کودی و میزان نیتروژن خاک قرار می‌گیرد. آن‌ها این موضوع را به متحرک بودن نیتروژن و فرآیندهای تأثیرگذار بر تخصیص این عنصر متحرک در داخل گیاه نسبت دادند. همان‌طور که در جدول ٤ مشاهده می‌شود روند افزایش درصد نیتروژن در زیست‌توده هماهنگ با عملکرد زیست‌توده است. به نظر می‌رسد کاربرد نیتروژن از طریق افزایش سطح سبز گیاه (برگ و ساقه) و افزایش عملکرد دانه باعث افزایش جذب بیش‌تر نیتروژن شده باشد.

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی نشان داد که استفاده ترکیبی از کودهای آلی و زیستی باعث افزایش درصد نیتروژن زیست‌توده شد (به‌استثناء ترکیب کود گاوی و نیتروکسین و ترکیب کود ورمی‌کمپوست و میکوریزا). همچنین استفاده از ترکیب کود شیمیایی (NPK) و بیوسولفور باعث افزایش و استفاده از ترکیب کود شیمیایی و کودهای زیستی نیتروکسین و میکوریزا باعث کاهش درصد نیتروژن زیست‌توده شد (جدول ٥). در این پژوهش، بیش‌ترین درصد نیتروژن زیست‌توده متعلق به تیمار ترکیب کود شیمیایی (NPK) و بیوسولفور (۱/۸۲ درصد) و کمترین آن متعلق به تیمار ترکیب کود گاوی و نیتروکسین (۰/۹٤ درصد) بود (جدول ٥). روند افزایش و یا کاهش درصد نیتروژن زیست‌توده با عملکرد زیست‌توده مشابهت داشت. در تحقیقی مشخص شد که هر چه عملکرد و زیست‌توده گیاه افزایش می‌یابد گیاه نیتروژن بیش‌تری را جذب می‌کند (یانگ و همکاران، ۲۰۰٦).

۴- مقدار نیتروژن زیست‌توده

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر منابع کودی نیتروژن و برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی در سطح احتمال یک درصد بر مقدار نیتروژن زیست‌توده معنادار بود، اما اثر سال، برهمکنش سال و منابع کودی نیتروژن، کود زیستی، برهمکنش سال و کود زیستی، برهمکنش سال، منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر این صفت معنادار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر منابع کودی نشان داد که استفاده از تیمار کود شیمیایی (NPK) باعث افزایش ۳٥/۱۷ درصدی نیتروژن زیست‌توده نسبت به شاهد (عدم مصرف کود آلی و شیمیایی) شد، اما تفاوت آماری معناداری بین سایر تیمارها وجود نداشت (جدول ٤). نتایج مطالعات برخی محققان حاکی از افزایش مقدار نیتروژن زیست‌توده در اثر کاربرد کود شیمیایی به‌ویژه نیتروژن می‌باشد (اسدی و همکاران ۲۰۱٤ و رضوانی مقدم و همکاران ۲۰۱٤).

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر مقدار نیتروژن زیست‌توده نشان داد که در تیمار شاهد (عدم مصرف کود) استفاده از کودهای زیستی نیتروکسین و میکوریزا باعث افزایش به ترتیب ۳۱/۲۸ و ۲٦/٥٦ درصدی مقدار نیتروژن زیست‌توده شد، اما تفاوت آماری معناداری بین تیمار بیوسولفور و شاهد وجود نداشت. همچنین، استفاده از تیمار ترکیب کود گاوی با نیتروکسین باعث کاهش ۳۷/۱۱ درصدی و تیمار ترکیب کود گاوی و میکوریزا باعث افزایش ٥٥/۳۱ درصدی مقدار نیتروژن زیست‌توده نسبت به شاهد (مصرف کود گاوی به‌تنهایی) شد. در تیمار ترکیبی ورمی‌کمپوست با نیتروکسین و بیوسولفور مقدار نیتروژن زیست‌توده به ترتیب ۲۹/۲٥ و ۷/۲٦ درصد نسبت به شاهد (مصرف ورمی‌کمپوست به‌تنهایی) افزایش یافت، اما تفاوت آماری معناداری بین تیمار میکوریزا و شاهد نداشت. استفاده از تیمار ترکیبی کود شیمیایی (NPK) و بیوسولفور باعث افزایش ۲۸/۲۱ درصدی مقدار نیتروژن زیست‌توده نسبت به شاهد (مصرف کود شیمیایی به‌تنهایی) شد، اما ترکیب کود شیمیایی با تیمارهای نیتروکسین و میکوریزا مقدار نیتروژن زیست‌توده را کاهش داد (جدول ٥). در این پژوهش، بیش‌ترین مقدار نیتروژن از تیمار ترکیب کود شیمیایی (NPK) و بیوسولفور با افزایش ۲/۱۲ برابری نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ کودی) حاصل شد (جدول ٥). استفاده از کودهای زیستی نیتروکسین و میکوریزا به دلیل بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه باعث افزایش جذب بهتر عناصر غذایی ازجمله نیتروژن

موجود در خاک (پیرومیو و همکاران ۲۰۱۱ و ساعی و همکاران ۲۰۱۲) و افزایش درصد نیتروژن و عملکرد زیست‌توده (جدول ۵) خرفه شدند. نتایج پژوهشی حاکی از افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های موجود در کودهای زیستی ازجمله ازتوباکتر[1]، آزوسپیریلوم[2] و میکوریزا[3] در شرایط عدم مصرف کودهای شیمیایی و جذب بیش‌تر عناصر غذایی توسط سیاهدانه[4] بود (خرم دل و همکاران ۲۰۱۰). به نظر می‌رسد در تیمار ترکیبی کود گاوی با میکوریزا شرایط جهت فعالیت و گسترش قارچ‌های همزیست با ریشه خرفه فراهم شده و قارچ میکوریزا با ترشح ترکیبات آلی و تبدیل نیتروژن نامحلول خاک به فاز محلول و سپس انتقال آن به گیاه باعث افزایش مقدار نیتروژن خرفه شده باشد. در تیمار ترکیب کود شیمیایی (NPK) و بیوسولفور، با توجه به آزادسازی سریع نیتروژن موجود در کودهای شیمیایی و نقش بیوسولفور در کمک به افزایش جذب عناصر غذایی با اعمال میزان مناسبی از گوگرد همراه با بیوسولفور و کاهش اسیدیته خاک (بشارتی و همکاران ۲۰۰۷) درصد نیتروژن و عملکرد زیست‌توده افزایش یافت و در نهایت موجب افزایش مقدار نیتروژن زیست‌توده خرفه شد. در تحقیقی مصرف بیوسولفور همراه با گوگرد موجب افزایش مقدار نیتروژن زیست‌توده سیاهدانه شد (رضوانی مقدم و همکاران ۲۰۱۴).

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش کودهای آلی، شیمیایی و کود زیستی بر عملکرد زیست توده و کارایی نیتروژن خرفه

تیمار		عملکرد زیست‌توده ($kg.\ ha^{-1}$)	نیتروژن زیست توده (%)	مقدار نیتروژن زیست توده ($kg.\ ha^{-1}$)	کارایی جذب نیتروژن (%)	کارایی فیزیولوژیک نیتروژن دانه ($kg.\ kg^{-1}$)
شاهد (عدم کاربرد کود)	شاهد (عدم کاربرد کود)	۷۴۹۷/۵ ef	۱/۱۹ e	۹۱/۴۷ e-g	٦٦/۰ gh	۱۸/۹۹ a-c
	نیتروکسین	۸۱۸۹/۱ c-f	۱/٤٦ ed	۱۲۰/۰۹ d-f	۹٤/۵ c-e	۱۷/۲۳ b-d
	میکوریزا	۸٦۰۵/۵ b-f	۱/۳٤ c-e	۱۱۵/۷۷ d-f	۸۹/۱ c-g	۱۵/۵۰ c-e
	بیوسولفور	۷٦۳۱/۹ ef	۱/۲۰ e	۹۱/۸۳ e-g	٦۹/۹ f-h	۱۷/۸۹ a-d
کود گاوی	شاهد (عدم کاربرد کود)	۹۰۱۰/٦ a-e	۱/۱۸ ef	۱۰۸/۳۳ d-f	۸۰/٤ d-g	۱۹/۲۷ a-c
	نیتروکسین	۷۲۱۹/۲ f	۰/۹٤ f	٦۸/۱۲ g	٤٦/۵ h	۲۳/۱۱ a
	میکوریزا	۹۵۵۸/۷ abc	۱/۷٦ ab	۱٦۸/۲۵ ab	۱۲۱/۸ ab	۱۲/۸٦ de
	بیوسولفور	۸۱۳۲/۳ c-f	۱/۳۲ c-e	۱۰۸/۵۵ d-f	۷٦/۸ d-g	۱٦/٦۹ b-e
کود ورمی‌کمپوست	شاهد (عدم کاربرد کود)	۷٦٦٤/٤ ef	۱/۲۳ de	۹۵/۷٦ e-g	۷۲/۰ e-g	۱۹/۰۰ a-c
	نیتروکسین	۹٤۲۰ /٤ a-d	۱/۳۱ c-e	۱۲۳/۷۷ c-e	۹۱/۵ c-f	۱٤/٦۱ c-e
	میکوریزا	۸۱۰۱/٤ c-f	۱/۱۳ ef	۹۳/۰۲ e-g	٦۹/٦ f-h	۱۹/۲۳ a-c
	بیوسولفور	۷۸٤۲/۰ def	۱/۲۹ de	۱۰۲/۷۲ d-f	۷۸/٦ d-g	۱٦/۹۳ b-d
کود شیمیایی	شاهد (عدم کاربرد کود)	۹۹۲٦/۹ ab	۱/۵٦ bc	۱۵۵/۱۰ bc	۱۰۹/۵ bc	۱۲/۹۲ de
NPK	نیتروکسین	۱۰٦۷۰/۱ a	۱/۲۳ de	۱۳۲/۸۰ cd	۱۰۰/۸ bcd	۱٤/۵۲ c-e
	میکوریزا	۸۲۲٦/۰ c-f	۱/۰۹ ef	۹۰/٤٦ fg	٦۵/٤ gh	۲۱/٤٤ ab
	بیوسولفور	۱۰۳۰٦/۷ a	۱/۸۲ a	۱۸۸/۲٤ a	۱٤۰/٤ a	۱۱/۳٤ e
LSD 5%		۱٦۷٦	۰/۳	۳۲/۵۵	۲۵/۸	۵/۵۱

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD اختلاف معناداری با یکدیگر ندارند ($P \leq ۰/۰۵$).

1 - *Azotobacter*
2 - *Azospirillum*
3 - Mycorrhiza
4 - *Nigella sativa*

۵- کارایی نیتروژن

۵-۱- کارایی جذب نیتروژن

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر سال، منابع کودی نیتروژن و برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش سال، منابع کودی نیتروژن و کود زیستی در سطح احتمال پنج درصد بر کارایی جذب نیتروژن معنادار بود، اما برهمکنش سال و منابع کودی نیتروژن، کود زیستی، برهمکنش سال و کود زیستی بر این صفت معنادار نبود (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین اثر منابع کودی بر کارایی جذب نیتروژن نشان داد که استفاده از کود شیمیایی (NPK) باعث افزایش ۳۰/٤٥ درصدی کارایی جذب نیتروژن نسبت به شاهد (عدم کاربرد کود آلی و شیمیایی) شد. همچنین تفاوت آماری معناداری بین انواع کود آلی و شاهد وجود نداشت (جدول ٤). نتیجه بدست آمده با نتایج پژوهش‌های اسدی و همکاران (۲۰۱٤) و سینگ (۲۰۱۲) مطابقت داشت. این در حالی بود که در مطالعه رضوانی مقدم و همکاران (۲۰۱٤) در خصوص گیاه دارویی سیاهدانه به برتری کارایی جذب نیتروژن در نتیجه کاربرد کودهای آلی نسبت به شیمیایی اشاره شده است. آن‌ها این موضوع را به فراهمی سریع‌تر کود شیمیایی (اوره) در مقایسه با کودهای آلی و شسته شدن کودهای شیمیایی نسبت دادند. با توجه به تولید زیست‌توده زیاد در خرفه و توجه به این نکته که هر چه زیست‌توده گیاه بیش‌تر باشد نیتروژن بیش‌تری جذب می‌کند (ینگ و همکاران ۱۹۹۸) به نظر می‌رسد واکنش خرفه به جذب عناصر غذایی (به‌ویژه نیتروژن) از خاک نسبت به بسیاری از گیاهان دیگر مثبت و افزایشی باشد. هم‌چنین، به نظر می‌رسد که استفاده از کود شیمیایی (NPK) به واسطه فراهمی سریع‌تر و هم‌زمانی عناصر غذایی با نیاز گیاه توانسته است موجب افزایش درصد نیتروژن و عملکرد زیست‌توده و افزایش مقدار نیتروژن زیست‌توده و در نهایت افزایش کارایی جذب نیتروژن نسبت به انواع کود آلی شود.

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر کارایی جذب نیتروژن نشان داد که در تیمار عدم مصرف کود آلی و شیمیایی (شاهد) زمانی که از کود زیستی استفاده شد کارایی جذب نیتروژن افزایش یافت، به‌طوری‌که این افزایش در تیمار نیتروکسین بیش‌تر از سایر تیمارها بود. ترکیب کود گاوی با میکوریزا و نیتروکسین به ترتیب باعث افزایش و کاهش کارایی جذب نیتروژن شد، اما ترکیب کود گاوی و بیوسولفور تفاوت معناداری با شاهد (مصرف کود گاوی به‌تنهایی) نداشت. ترکیب کود ورمی‌کمپوست و نیتروکسین و ترکیب ورمی‌کمپوست و بیوسولفور کارایی جذب نیتروژن را افزایش داد، اما ترکیب ورمی‌کمپوست و میکوریزا باعث کاهش این صفت شد. تیمار کود شیمیایی (NPK) همراه با بیوسولفور باعث افزایش کارایی جذب نیتروژن شد، این در حالی بود که ترکیب کود شیمیایی با سایر کودهای زیستی کارایی جذب نیتروژن را کاهش داد (جدول ٥). در این پژوهش، بیش‌ترین کارایی جذب نیتروژن متعلق به تیمار ترکیبی کود شیمیایی (NPK) و بیوسولفور و کمترین آن متعلق به تیمار ترکیبی کود گاوی و نیتروکسین بود (جدول ٥). رضوانی مقدم و همکاران (۲۰۱٤) در مطالعه منابع کودی تأمین‌کننده نیتروژن (کود گاوی، ورمی کمپوست و شیمیایی) و کودهای زیستی (نیتروکسین، میکوریزا و بیوسولفور) بر کارایی جذب نیتروژن در گیاه دارویی سیاهدانه گزارش کردند که تیمارهای کود آلی نسبت به شیمیایی برتر بود. همچنین استفاده از تیمارهای کود آلی و شیمیایی نسبت به شاهد (عدم مصرف کود آلی و شیمیایی) باعث افزایش کارایی جذب نیتروژن شد. در مطالعه این محققان، مشخص شد که استفاده از کود زیستی بیوسولفور به همراه گوگرد باعث افزایش کارایی جذب نیتروژن شد. این محققان، دلیل این افزایش را به تأثیر مصرف گوگرد در افزایش

جذب عناصر پرمصرف مانند نیتروژن و نیز عناصر کم‌مصرف توسط ریشه سیاهدانه نسبت دادند. در همین ارتباط، توگی و همکاران (۲۰۰۸) نیز اعمال میزان مناسبی از گوگرد به همراه نیتروژن را عامل مؤثری در افزایش جذب عناصر پرمصرفی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم و نیز عناصر کم‌مصرفی مانند آهن، منگنز، روی و مس دانستند. در تحقیقی دیگر، مشخص شد که کاربرد تیوباسیلوس با اکسایش گوگرد، pH خاک را کاهش داده و سبب بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه شد (رضوانی مقدم و سیدی ۲۰۱٤).

۵-۲- کارایی فیزیولوژیک نیتروژن بر اساس دانه

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی در سطح احتمال یک درصد بر کارایی فیزیولوژیک نیتروژن بر اساس دانه معنادار بود، اما اثر سال، منابع کودی نیتروژن، برهمکنش سال و منابع کودی نیتروژن، کود زیستی، برهمکنش سال و کود زیستی، برهمکنش سال، منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر این صفت معنادار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که استفاده از کود زیستی در شرایط عدم مصرف کود آلی و شیمیایی باعث کاهش کارایی فیزیولوژیک نیتروژن شد. تیمارهای ترکیبی کود آلی و کود زیستی در اغلب موارد باعث کاهش کارایی فیزیولوژیک نیتروژن و یا عدم تفاوت معنادار نسبت به شاهد (عدم مصرف کود زیستی) شد، اما ترکیب کود گاوی و نیتروکسین این کارایی را ۱۹/۹۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. تیمار ترکیبی کود شیمیایی (NPK) و کودهای زیستی میکوریزا و نیتروکسین باعث افزایش به ترتیب ٦٥/٩٤ و ۱۲/۳۸ درصدی کارایی فیزیولوژیک نیتروژن نسبت به شاهد (عدم مصرف کود زیستی) شد. این در حالی بود که ترکیب کود شیمیایی (NPK) و بیوسولفور کارایی فیزیولوژیک نیتروژن را کاهش داد (جدول ۵). در این پژوهش، بیش‌ترین کارایی فیزیولوژیک نیتروژن (۲۳/۱۱) متعلق به تیمار ترکیبی کود گاوی و نیتروکسین و کمترین آن (۱۱/۳٤) متعلق به تیمار ترکیبی کود شیمیایی (NPK) و بیوسولفور بود (جدول ۵). در پژوهشی مشخص شد که استفاده از کودهای آلی، شیمیایی و زیستی تأثیری بر کارایی فیزیولوژیک نیتروژن بر اساس دانه در گیاه دارویی سیاهدانه نداشت (رضوانی مقدم و همکاران ۲۰۱٤). در این پژوهش، استفاده از مقادیر بالای کود گاوی با نسبت C/N بالا موجب شد جوامع میکروبی، نیتروژن مورد نیاز خود را از این منبع تأمین کنند و در این حالت کمبود نیتروژن برای گیاه حادث شد. از طرف دیگر، کاربرد کود زیستی نیتروکسین (حاوی باکتری ازتوباکتر) به دلیل اضافه نمودن باکتری به خاک در شرایط مذکور موجب تشدید کاهش نیتروژن قابل‌دسترس گیاه و کاهش جذب نیتروژن توسط خرفه شد. بنابراین، با توجه به رابطه عکس بین مقدار نیتروژن جذب‌شده زیست‌توده با کارایی فیزیولوژیک نیتروژن (اسدی و همکاران ۲۰۱٤) چنین به نظر می‌رسد که دلیل افزایش کارایی فیزیولوژیک نیتروژن در تیمار ترکیبی کود گاوی و نیتروکسین به کاهش میزان نیتروژن در دسترس گیاه و کاهش جذب نیتروژن در این تیمار مربوط باشد.

۵-۳- کارایی زراعی نیتروژن بر اساس دانه

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر سال و برهمکنش سال، منابع کودی نیتروژن و کود زیستی در سطح احتمال یک درصد و اثر منابع کودی نیتروژن و برهمکنش سال و کود زیستی در سطح احتمال پنج درصد بر کارایی زراعی نیتروژن بر اساس دانه معنادار بود، اما برهمکنش سال و منابع کودی نیتروژن، کود زیستی، برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر این صفت معنادار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر کودهای آلی و شیمیایی بر کارایی زراعی نیتروژن بر اساس دانه نشان داد که بیش‌ترین کارایی زراعی نیتروژن از تیمار کود شیمیایی (NPK) و پس از آن از

تیمار کود گاوی حاصل شد که به ترتیب باعث افزایش ۱۶/۳۲ و ۶/۸۱ درصدی کارایی زراعی نیتروژن نسبت به شاهد (عدم مصرف کود آلی و شیمیایی) شدند. این در حالی بود که تفاوت آماری معناداری بین تیمار ورمی‌کمپوست و شاهد وجود نداشت (جدول ٤). در مطالعه‌ای بر روی تأثیر کودهای آلی و شیمیایی بر گیاه دارویی سیاهدانه گزارش کردند که استفاده از کودهای آلی نسبت به شیمیایی و استفاده از تیمارهای کودی مذکور نسبت به شاهد (عدم کاربرد کودهای آلی و شیمیایی) کارایی زراعی نیتروژن را افزایش داد (رضوانی مقدم و همکاران ۲۰۱٤). به نظر می‌رسد در تیمار استفاده از کود شیمیایی به دلیل تقسیط نیتروژن در طول فصل زراعی و هم‌زمانی عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن مطابق با نیاز گیاه این تیمار توانسته است از طریق افزایش عملکرد دانه (جدول ٤) شرایط لازم جهت افزایش کارایی زراعی نیتروژن را فراهم نماید.

جدول ۶- تجزیه واریانس مرکب (مربعات میانگین) تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و زیستی بر کارایی مصرف فسفر خرفه

منابع تغییر	درجه آزادی	فسفر زیست‌توده	غلظت فسفر زیست توده	کارایی جذب فسفر	کارایی فیزیولوژیک فسفر دانه	کارایی زراعی فسفر دانه
سال	۱	۰/۰۰۰۹ ns	۲۵/۲۹ ns	۵۷۹۵/۵٤ **	۳۸٤/۰ ns	٤۸۱۳/٦٦ **
تکرار (سال)	٤	۰/۰۰۰۹	۱٤۱/۷٦	۲٦٦/۲٦	۱۳۰۹/۱	۵۳/٦۳
منابع آلی و شیمیایی	۳	۰/۲٦٤ **	۳۲۳٤/۷۹ **	٥٤۸۳/٥۳ **	۱٥۷٦٥/٤ **	۹۱۹۰/۳۲ **
سال × منابع آلی و شیمیایی	۳	۰/۰۰۰۲ ns	۲۸/۳۰ ns	۱۳۷۹/۱۷ **	۱۳۲/۱ ns	۱۳۰۲/٦۷ **
کود زیستی	۳	۰/۰۰۳۹ **	۳۷/۹۰ ns	۱۱۹/۵۲ ns	۵۸۳/۲ ns	٦۳/۲۳ ns
سال × کود زیستی	۳	۰/۰۰۰۱ ns	۳۲/۲۷ ns	۱۰۳/۲۲ ns	۷۸۵/۸ ns	۱۸۹/٤٤ *
منابع آلی و شیمیایی × کود زیستی	۹	۰/۰۱۱۷ **	۲۰۸/۵٦ **	۲۱۲/۰۸ **	۱۰۷٦/۳ **	۷٥/۵۲ ns
سال × منابع آلی و شیمیایی × کود زیستی	۹	۰/۰۰۰۱ ns	۷۲/۲۱ **	۱۲۸/۷٥ ns	٤۰۸/۸ ns	۱٥٦/٤٤ **
خطای اصلی	٦۰	۰/۰۰۰۸۹	۲۲/۲۲	٦۸/۹٦	۳۷٦/۳	۵۷/۳۲
ضریب تغییرات (%)		۹/٥٥	۱۷/۱۳	۲٦/۹۸	۲٥/۸۱	۳۰/۹۲

**، * و n.s به ترتیب معنادار در سطح احتمال ۱، ۵٪ و غیر معنادار می‌باشد.

۶- درصد فسفر زیست‌توده

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر منابع کودی نیتروژن، کود زیستی، برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی در سطح احتمال یک درصد بر درصد فسفر زیست‌توده معنادار بود. اما اثر سال، برهمکنش سال و منابع کودی نیتروژن، برهمکنش سال و کود زیستی و برهمکنش سال، منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر این صفت معنادار نبود (جدول ٦).

نتایج مقایسه میانگین اثر منابع کودی نیتروژن بر درصد فسفر زیست‌توده نشان داد که استفاده از کودهای آلی و شیمیایی مورد مطالعه باعث افزایش درصد فسفر زیست‌توده شد. بیش‌ترین درصد فسفر زیست‌توده از تیمار کود شیمیایی (NPK) حاصل شد که از افزایش ۲/۱۵ برابری نسبت به شاهد (عدم مصرف کود آلی و شیمیایی) برخوردار بود (جدول ۷). در تحقیقی مشخص شد که استفاده از کودهای آلی (کود گاوی و ورمی‌کمپوست) نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) باعث افزایش درصد فسفر زیست‌توده سیاهدانه شد (رضوانی

مقدم و همکاران ۲۰۱٤). همچنین، سیدی و همکاران (a ۲۰۱۵) نیز در مطالعه اثر اصلاح‌کننده‌های خاک (گوگرد، باکتری تیوباسیلوس و ورمی‌کمپوست) گزارش نمودند که استفاده از این تیمارها نسبت به شاهد باعث افزایش غلظت فسفر بوته سیاهدانه شد.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر کودهای آلی و شیمیایی بر کارایی مصرف فسفر خرفه

منابع تأمین نیتروژن	فسفر زیست‌توده(%)	غلظت فسفر زیست توده ($kg.\ ha^{-1}$)	کارایی جذب فسفر (%)	کارایی فیزیولوژیک فسفر دانه ($kg.\ kg^{-1}$)	کارایی زراعی فسفر دانه ($kg.\ kg^{-1}$)
شاهد (عدم کاربرد کود)	۰/۲۰ d	۱٦/٤۷ d	٥۳/۰٦ a	۱۰٤/۸٥ a	٥۲/۷٥ a
کود گاوی	۰/۳٦ b	۳۰/۹۱ b	۲۰/۲۲ c	٦۱/۱۰ c	۱۲/۰٥ c
کود ورمی‌کمپوست	۰/۲٤ c	۲۰/۳٤ c	۲٦/۹٥ b	۸٦/۹۲ b	۲۲/٤٦ b
کود شیمیایی NPK	۰/٤۳ a	٤۲/۳۲ a	۲۲/۸٦ bc	٤۷/۷۲ d	۱۰/٦٥ c
LSD 5%	۰/۰۱۷	۲/۷۲	٤/۷۹	۱۱/۲	٤/۳۷

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD اختلاف معناداری با یکدیگر ندارند ($P \leq ۰/۰٥$).

در تحقیقی بر روی گیاه دارویی گشنیز مشخص شد که کاربرد کودهای شیمیایی و آلی (کود گاوی و ورمی‌کمپوست) نسبت به شاهد به لحاظ درصد فسفر زیست‌توده برتر بود و بیش‌ترین آن از تیمار کود شیمیایی و سپس کود گاوی حاصل شد (سیدی و همکاران، a ۲۰۱٥). این در حالی بود که در گزارش اکبری نیا و همکاران (۲۰۰٤) تفاوتی بین استفاده از کود دامی و شاهد از لحاظ جذب فسفر در گیاه دارویی زنیان[1] وجود نداشت. فراهمی و تحرک فسفر در خاک وابستگی زیادی به pH دارد (شنوی و کالاگودی، ۲۰۰٥ و اسمیت، ۲۰۰۲). همچنین به نظر می‌رسد جذب فسفر توسط گیاه به عواملی مانند خصوصیات خاک به‌ویژه pH خاک، مقدار و منبع تأمین فسفر وابسته باشد.

استفاده از کودهای آلی و شیمیایی نسبت به شاهد باعث کاهش pH خاک شد و این کاهش در نتیجه کاربرد ورمی‌کمپوست بیش‌تر از دیگر کودها بود (جوادی و همکاران، ۲۰۱۹). از طرف دیگر، میزان فسفر اضافه‌شده به خاک (فسفر اولیه خاک+ فسفر اضافه‌شده توسط کودهای آلی و شیمیایی) در تیمار کود شیمیایی (NPK) و پس از آن در تیمار کود گاوی بیش‌تر از دیگر کودها بود (جدول ۸). لذا انتظار می‌رود با توجه به آزادسازی سریع‌تر عناصر غذایی توسط کودهای شیمیایی نسبت به کودهای آلی، کاهش pH خاک و میزان فسفر افزوده‌شده به خاک، تیمار کود شیمیایی (NPK) ازنظر درصد فسفر زیست‌توده نسبت به دیگر کودها برتر باشد.

نتایج مقایسه میانگین اثر کودهای زیستی بر درصد فسفر زیست‌توده نشان داد که استفاده از کودهای زیستی نسبت به شاهد (عدم مصرف کود زیستی) باعث افزایش این صفت شد (جدول ۹). در مطالعه سیدی و همکاران (a ۲۰۱٥) نیز استفاده از تیمار کود زیستی تیوباسیلوس و گوگرد نسبت به شاهد درصد فسفر زیست‌توده سیاهدانه را افزایش داد. همچنین استفاده ترکیبی از کود شیمیایی (NPK) و نیتروکسین نسبت به شاهد (مصرف کود شیمیایی به‌تنهایی) باعث افزایش و استفاده از میکوریزا و بیوسولفور باعث کاهش درصد فسفر زیست‌توده شد (جدول ۱۰). در مطالعه سیدی و

1 - *Trachyspermum ammi*

جدول ۸- میزان فسفر اضافه‌شده به خاک توسط تیمارهای کودی در دو سال زراعی مورد مطالعه

منابع تأمین نیتروژن	فسفر زیست‌توده (%)
شاهد (عدم کاربرد کود)	۰/۲۹ b
کود گاوی	۰/۳۲ a
کود ورمی‌کمپوست	۰/۳۱ a
کود شیمیایی NPK	۰/۳۲ a
LSD 5%	۰/۰۱۷

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر کودهای زیستی بر درصد فسفر زیست توده خرفه

تیمار کودی	فسفر موجود در خاک ($kg.ha^{-1}$) سال اول	فسفر موجود در خاک ($kg.ha^{-1}$) سال دوم	فسفر موجود در خاک ($kg.ha^{-1}$) میانگین دوساله
کود گاوی	۱۶۹/۴۹	۹۳/۳۳	۱۳۱/۴۱
ورمی‌کمپوست	٤٦/۱	٤۱/۰۲	٤۳/٥٦
کود شیمیایی(NPK)	۱٥۰	۱٥۰	۱٥۰

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD اختلاف معناداری با یکدیگر ندارند ($P \leq ۰/۰٥$).

همکاران (a ۲۰۱٥) نیز استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاک (گوگرد، تیوباسیلوس و ورمی‌کمپوست) نسبت به شاهد درصد فسفر زیست‌توده سیاهدانه را افزایش داد. استفاده از کودهای آلی همراه با کودهای زیستی از طریق افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت، افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک، آزادسازی تدریجی عناصر غذایی و ایجاد شرایط مناسب جهت توسعه ریشه گیاه باعث بهبود رشد و جذب فسفر در گیاه می‌شوند (مک گینیس و همکاران ۲۰۰۳).

گزارش‌هایی مبنی بر اثر منفی استفاده از کودهای مخلوط بر فعالیت میکوریزا وجود دارد. در همین ارتباط، سفیر (سفیر، ۱۹۸۷) گزارش کرد که کودهای مخلوط (نیتروژن، فسفر و پتاس) فعالیت میکوریزا را در غلات کاهش داد. به نظر می‌رسد استفاده از نظام‌های تغذیه‌ای پر نهاده از طریق مختل کردن رابطه همزیستی و یا فراهم نمودن عناصر غذایی در حد نیاز گیاه کارآمدی کودهای زیستی را کاهش دهد. استفاده ترکیبی از نیتروکسین همراه با کود شیمیایی (NPK) به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی و آب از طریق بهبود توسعه ریشه‌ای و توانایی تولید هورمون‌های گیاهی و محلول سازی فسفات غیرآلی و معدنی‌سازی فسفات آلی باعث افزایش درصد فسفر زیست‌توده شد. عبدالعزیز و همکاران (۲۰۰۷) نیز به دنبال تلقیح با تثبیت‌کننده‌های نیتروژن، افزایش درصد برخی از عناصر پرمصرف را ناشی از افزایش سطح جذبی ریشه به ازای هر واحد حجم خاک، افزایش جذب آب و فعالیت فتوسنتزی بیان کردند که

مستقیماً روی فرآیندهای فیزیولوژیکی و مصرف کربوهیدرات‌ها مؤثر است. در تحقیقی نیز مشخص شد در صورتی کاربرد کود زیستی مؤثر خواهد بود که همراه با کود شیمیایی مصرف گردد (صفی خانی و همکاران ۲۰۱۳). این در حالی بود که نتایج ازترک و همکاران (۲۰۰۳) نشان داد که استفاده از کودهای بیولوژیک از کارایی کافی در نظام‌های پر نهاده و رایج برخوردار نیستند.

۷- غلظت فسفر زیست‌توده

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر منابع کودی نیتروژن، برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی و برهمکنش سال، منابع کودی نیتروژن و کود زیستی در سطح احتمال یک درصد بر غلظت فسفر زیست‌توده معنادار بود، اما اثر سال، برهمکنش سال و منابع کودی نیتروژن، کود زیستی، برهمکنش سال و کود زیستی بر این صفت معنادار نبود (جدول ٦). نتایج مقایسه میانگین اثر منابع کودی نیتروژن نشان داد که استفاده از تیمار کود آلی و شیمیایی نسبت به شاهد (عدم مصرف کود آلی و شیمیایی) باعث افزایش غلظت فسفر زیست‌توده شد. به‌طوری‌که بیشترین میزان غلظت فسفر زیست‌توده از تیمار کود شیمیایی (NPK) حاصل شد که از افزایش ۲/٥٦ برابری نسبت به شاهد (عدم مصرف کود آلی و شیمیایی) برخوردار بود (جدول ۷). با توجه به اینکه غلظت فسفر زیست‌توده نتیجه حاصل‌ضرب درصد فسفر و عملکرد زیست‌توده گیاه می‌باشد لذا، هر تغییری در این دو عامل بر غلظت فسفر زیست‌توده تأثیر خواهد داشت. در این پژوهش، میزان فسفر اضافه‌شده به خاک توسط تیمار کود شیمیایی (NPK) بیش‌تر از سایر تیمارها بود (جدول ۸). از طرف دیگر، مصرف کودهای آلی و شیمیایی از طریق کاهش pH خاک (جوادی و همکاران ۲۰۱۹) موجب افزایش حلالیت ترکیبات فسفاتی نامحلول شد (سیدی و همکاران a ۲۰۱۵).

هم‌چنین، بر اساس تحقیقات انجام شده آزادسازی فسفر توسط کود شیمیایی (NPK) سریع‌تر از کودهای آلی می‌باشد (شنوی و کالاگودی ۲۰۰۵). بنابراین، مجموع عوامل ذکر شده موجب افزایش قابلیت جذب فسفر و عملکرد زیست‌توده خرفه (جداول ٤ و ۷) و در نهایت افزایش غلظت فسفر زیست‌توده در تیمار کود شیمیایی (NPK) شد. نتایج مقایسه میانگین برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر غلظت فسفر زیست‌توده نشان داد که استفاده از تیمار نیتروکسین به‌تنهایی باعث افزایش غلظت فسفر زیست‌توده شد. همچنین استفاده از تیمارهای ترکیبی کود آلی و زیستی اثر مثبتی بر این صفت داشت. اما استفاده از تیمار ترکیبی کود شیمیایی (NPK) با کودهای زیستی اثرات متفاوتی را نشان داد. به‌طوری‌که استفاده ترکیبی از کود شیمیایی (NPK) و نیتروکسین باعث افزایش ۱۳/۹۲ درصدی غلظت فسفر زیست‌توده نسبت به شاهد (عدم کاربرد کود زیستی) شد. همچنین استفاده ترکیبی از کود شیمیایی (NPK) و میکوریزا باعث کاهش ۲٤/۰۸ درصدی غلظت فسفر زیست‌توده نسبت به شاهد (عدم مصرف کود زیستی) شد (جدول ۱۰). به نظر می‌رسد توانایی تولید هورمون‌های گیاهی، توسعه سیستم ریشه‌ای و محلول سازی فسفات غیرآلی توسط نیتروکسین (اسیتکن و همکاران، ۲۰۱۰ و پیرومیو و همکاران، ۲۰۱۱) و از طرفی فراهم شدن عناصر غذایی مورد نیاز به‌ویژه فسفر در تیمار کود شیمیایی (NPK) نسبت به سایر تیمارهای مورد مطالعه باعث افزایش فتوسنتز، درصد فسفر زیست‌توده و در نهایت غلظت فسفر زیست‌توده شده باشد. همچنین استفاده از کود شیمیایی (NPK) از طریق افزایش نیتروژن و فسفر خاک باعث تأثیر منفی بر همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه خرفه شده است (گریندلر و همکاران ۲۰۰٦).

۸- کارایی فسفر

۸-۱- کارایی جذب فسفر

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر سال، منابع کودی نیتروژن، برهمکنش سال و منابع کودی نیتروژن و برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی در سطح احتمال یک درصد بر کارایی جذب فسفر معنادار بود. اما اثر کود زیستی، برهمکنش سال و کود زیستی، برهمکنش سال، منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر این صفت معنادار نبود (جدول ٦). نتایج مقایسه میانگین اثر منابع کودی بر کارایی جذب فسفر نشان داد که استفاده از تیمارهای کود آلی و شیمیایی مورد مطالعه کارایی جذب فسفر را کاهش داد. به‌طوری‌که کارایی جذب فسفر در تیمارهای کود گاوی، ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی به ترتیب ۲۰/۲۲، ۲٦/۹۵ و ۲۲/۸٦ درصد بود (جدول ۷).

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی نشان داد که بیش‌ترین کارایی جذب فسفر از تیمار شاهد (عدم مصرف کود آلی و شیمیایی) و به‌طور خاص از تیمار استفاده از نیتروکسین به‌تنهایی (٦٤/۰٤ درصد) حاصل شد. همچنین، در این تحقیق مشخص شد که استفاده از کودهای آلی و شیمیایی در ترکیب با کودهای زیستی (به‌استثناء تیمارهای ترکیبی کود گاوی و نیتروکسین و ترکیب کود شیمیایی و میکوریزا) موجب افزایش کارایی جذب فسفر می‌شوند (جدول ۱۰). با مصرف کودهای آلی، شیمیایی و زیستی به‌صورت ترکیبی شرایط مناسب و ایده آل برای رشد گیاه فراهم می‌شود. به‌طوری‌که در بسیاری از تیمارها نه‌تنها هیچ‌گونه تداخل منفی بین آن‌ها وجود ندارد بلکه مکمل یکدیگر نیز می‌باشند. کودهای آلی با اثرات مثبت خود کارایی جذب فسفر را افزایش داده و کودهای زیستی با افزایش فعالیت باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گیاه تأثیر کودهای آلی و شیمیایی را افزایش می‌دهند (شاتا و همکاران ۲۰۰۷). در سطوح کودی ترکیبی نقش کودهای شیمیایی جبران کردن رقابت باکتری‌ها برای نیتروژن در اوایل دوره رشد، تسریع تجزیه کود آلی و در نهایت فراهم نمودن عناصر غذایی قابل‌دسترس است (کاسمن و همکاران، ۲۰۱۰). علت کاهش کارایی جذب فسفر در تیمارهای ترکیب کود گاوی و نیتروکسین و ترکیب کود شیمیایی و میکوریزا کاهش غلظت فسفر زیست‌توده در این تیمارها می‌باشد.

۸-۲- کارایی فیزیولوژیک فسفر بر اساس دانه

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر منابع کودی نیتروژن و برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی در سطح احتمال یک درصد بر کارایی فیزیولوژیک فسفر بر اساس دانه معنادار بود، اما اثر سال، برهمکنش سال و منابع کودی نیتروژن، کود زیستی، برهمکنش سال و کود زیستی و برهمکنش سال، منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر این صفت معنادار نبود (جدول ٦). نتایج مقایسه میانگین اثر منابع کودی نیتروژن نشان داد که استفاده از کودهای آلی و شیمیایی نسبت به شاهد (عدم مصرف کودهای آلی و شیمیایی) باعث کاهش کارایی فیزیولوژیک فسفر می‌شود. به‌طوری‌که استفاده از تیمارهای کود گاوی، ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی (NPK) باعث کاهش به ترتیب ۱/۷۱، ۱/۲ و ۲/۱۹ برابری نسبت به شاهد (عدم مصرف کود آلی و شیمیایی) شد (جدول ۷). در مطالعه سیدی و همکاران (b ۲۰۱۵) نیز به کاهش کارایی فیزیولوژیک فسفر دانه سیاهدانه در اثر استفاده از تیمارهای کود آلی، شیمیایی و زیستی اشاره شده است. علت کاهش کارایی فیزیولوژیک فسفر افزایش غلظت فسفر زیست‌توده می‌باشد. به عبارت دیگر در تیمارهای کود گاوی و کود شیمیایی (NPK) میزان تولید دانه به ازای هر واحد فسفر بازیافت شده در زیست‌توده کاهش یافته است.

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی نشان داد که استفاده از کودهای زیستی مورد مطالعه در شرایط عدم استفاده از کودهای آلی و شیمیایی (شاهد) باعث افزایش کارایی فیزیولوژیک فسفر شد. به‌طوری‌که تیمار میکوریزا به‌تنهایی باعث افزایش

۳۹/۱۵ درصدی این کارایی نسبت به شاهد شد. اما استفاده ترکیبی از کودهای آلی و زیستی کارایی فیزیولوژیک فسفر را کاهش داد. همچنین استفاده ترکیبی از تیمار کود شیمیایی (NPK) و میکوریزا و ترکیب کود شیمیایی و بیوسولفور باعث افزایش به ترتیب ۱۹/۷۶ و ۵/۵۲ درصدی و استفاده ترکیبی از تیمار کود شیمیایی و نیتروکسین باعث کاهش ۲۱/۸۱ درصدی کارایی فیزیولوژیک فسفر نسبت به شاهد (عدم مصرف کود زیستی) شد (جدول ۱۰). در این پژوهش، بیش‌ترین کارایی فیزیولوژیک فسفر مربوط به تیمار میکوریزا در شرایط عدم وجود کود آلی و شیمیایی و کمترین آن متعلق به تیمار ترکیبی کود شیمیایی (NPK) و نیتروکسین بود (جدول ۱۰). سیدی و همکاران (a ۲۰۱۵) نیز در مطالعه تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و زیستی بر کارایی فیزیولوژیک فسفر در سیاهدانه گزارش کردند که استفاده از منابع کودی مورد مطالعه باعث کاهش این کارایی شد. با توجه به اینکه رابطه معکوسی بین کارایی فیزیولوژیک فسفر و غلظت فسفر زیست‌توده وجود دارد لذا افزایش یا کاهش این صفت به میزان غلظت فسفر زیست‌توده بستگی خواهد داشت.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین برهمکنش کودهای آلی، شیمیایی و کود زیستی بر کارایی مصرف فسفر خرفه

تیمار		فسفر زیست‌توده(%)	غلظت فسفر زیست توده ($kg.\ ha^{-1}$)	کارایی جذب فسفر (%)	کارایی فیزیولوژیک فسفر دانه ($kg.\ kg^{-1}$)
شاهد (عدم کاربرد کود)	شاهد (عدم کاربرد کود)	۰/۲۲ f	۱۷/۳۳ h	۵۲/۳۰ b	۸۵/۷۷ c-e
	نیتروکسین	۰/۲۳ f	۱۹/۱۱ f-h	٦٤/۰٤ a	۹٦/۵۲ b-d
	میکوریزا	۰/۱۷ h	۱۵/٤۰ h	۵۰/۵۸ b	۱۱۹/۳۵ a
	بیوسولفور	۰/۱۸ gh	۱٤/۰۳ h	٤۵/۳۳ b	۱۱۷/۷۷ ab
کود گاوی	شاهد (عدم کاربرد کود)	۰/۲۹ e	۲٦/۷۱ de	۱۸/۰۹ ef	۷۳/٤۷ e-g
	نیتروکسین	۰/۳۳ d	۲٤/۵۷ e	۱۵/۲٦ f	٦۳/٤۱ e-i
	میکوریزا	۰/٤۳ ab	٤۱/۵۸ b	۲۷/٦٤ c-e	۵۰/۸۹ h-j
	بیوسولفور	۰/۳۷ c	۳۰/۸۰ cd	۱۹/۸۹ ef	۵٦/٦۳ f-j
کود ورمی‌کمپوست	شاهد (عدم کاربرد کود)	۰/۲۱ fg	۱٦/٦۹ h	۲۲/۱۸ d-f	۱۰۱/۵۲ a-c
	نیتروکسین	۰/۲٤ f	۲۳/۰۱ e-g	۳۰/۱۳ cd	۷۸/۵٤ d-f
	میکوریزا	۰/۲۱ fg	۱۷ /٦۱ gh	۲۳/۲۷ c-f	۹۷/۰۳ a-d
	بیوسولفور	۰/۳۰ de	۲٤/۰٤ ef	۳۲/۲۲ c	۷۰/۵۷ e-h
کود شیمیایی (NPK)	شاهد (عدم کاربرد کود)	۰/٤۳ ab	٤۲/۸۷ b	۲۲/۹٤ c-f	٤٦/۸۵ ij
	نیتروکسین	۰/٤٦ a	٤۸/۸٤ a	۲٦/۵۹ c-e	۳۸/٤٦ j
	میکوریزا	۰/٤۱ b	۳٤/۵۵ c	۱۸/۵۹ ef	۵٦/۱۱ g-j
	بیوسولفور	۰/٤۱ b	٤۳/۰۳ b	۲۳/۳۲ c-f	٤۹/٤٤ h-j
LSD 5%		۰/۰۳٤	۵/٤٤	۹/۵۹	۲۲/٤

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD اختلاف معناداری با یکدیگر ندارند ($P \leq ۰/۰۵$).

۸-۳- کارایی زراعی فسفر بر اساس دانه

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر سال، منابع کودی نیتروژن، برهمکنش سال و منابع کودی نیتروژن و برهمکنش سال، منابع کودی نیتروژن و کود زیستی در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش سال و کود زیستی در سطح احتمال پنج درصد بر کارایی زراعی فسفر بر

اساس دانه معنادار بود. اما اثر کود زیستی، برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر این صفت معنادار نبود (جدول ٦). نتایج مقایسه میانگین اثر منابع کودی نیتروژن نشان داد که استفاده از کودهای آلی و شیمیایی نسبت به شاهد کارایی زراعی فسفر را کاهش داد. به‌طوری‌که استفاده از کودهای گاوی، ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی (NPK) به ترتیب باعث کاهش ۷۷/۱۵، ۵۷/٤۲ و ۷۹/۸۱ درصدی کارایی زراعی فسفر نسبت به شاهد شد (جدول ۷). در مطالعه سیدی و همکاران (b ۲۰۱۵) نیز استفاده از کود شیمیایی گوگرد و کود ورمی‌کمپوست کارایی زراعی فسفر دانه را نسبت به شاهد در گیاه دارویی سیاهدانه کاهش داد. با توجه به قانون بازده نزولی در مورد مصرف عناصر غذایی مبنی بر اینکه واحدهای اولیه کود مصرفی تأثیر بیش‌تری روی عملکرد دارند، هرقدر مصرف فسفر افزایش یابد کارایی استفاده از آن کاهش می‌یابد (عامری و همکاران ۲۰۰۹ و مارتین و همکاران ۱۹۸۲). در این پژوهش نیز بیش‌ترین میزان فسفر خاک متعلق به تیمارهای کود شیمیایی و کود گاوی بود (جدول ۸). از طرفی دیگر کارایی زراعی، حاصل‌ضرب کارایی جذب و مصرف فسفر است. لذا تیمار شاهد به دلیل افزایش کارایی جذب فسفر و کارایی فیزیولوژیک فسفر دانه نسبت به سایرین از کارایی زراعی بالاتری برخوردار بود.

نتیجه گیری

بر اساس نتایج این آزمایش، با در نظر گرفتن اثرات زیست‌محیطی و افزایش کارایی مصرف نیتروژن جهت تولید پایدار دانه خرفه در منطقه بیرجند می‌توان از تیمار کود گاوی به‌عنوان جایگزین کود شیمیایی (NPK) استفاده نمود.

سپاسگزاری

از زحمات جناب آقای دکتر مهدی نصیری محلاتی استاد گروه اگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به جهت راهنمایی‌های ارزنده ایشان در تجزیه آماری این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

Abdelaziz M, Pokluda R and Abdelwahab M. 2007. Influence of compost, microorganisms and NPK fertilizer upon growth, chemical composition and essential oil production of *Rosmarinus officinalis* L. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj_Napoca, 35: 86-90.

Akbari Nia A, Ghlavand A, Tahmasebi Sarvestani Z, Sharifi Ashourabadi A and Banja Shafi'i Sh. 2004. Effect of Different Nutrition Systems on Soil Properties, Adsorption and Concentration of Elements by Adult Medicinal Plant and Its Performance. Journal of Research and Construction, 62: 11-19. (In Persian).

Ameri A, Nassiri Mahalati M and Rezvani Moghadam P. 2009. Effects of different nitrogen levels and plant density on flower, essential oils and extract production and nitrogen use efficiency of Marigold (*Calendula officinalis*). Iranian Journal of Field Crops Research, 5(2): 315-326. (In Persian).

Asadi AR, Hassandaught MR and Dashti F. 2007. Comparison of fatty acids, oxalic acid, and mineral varieties of seeds and leaves of purslane. Iranian foreign examples. Journal of Food Science, 3(3): 49-54. (In Persian).

Asadi GA, Momen A, Nurzadeh Namaghi M and Khorramdel S. 2014. Effects of organic and chemical fertilizer rates on nitrogen efficiency indices of isabgol (*Plantago ovata* Forsk.). Agroecology, 5(4): 373-382. (In Persian).

Aynanlvfr M, Omidi H and Pazky AR. 2014. Morphological changes, agricultural and oil content purslane (*Portulaca oleracea* L.) Effect of water and fertilizer, bio/chemical nitrogen. Herb Quarterly, 12(4): 170-184. (In Persian).

Besharati H, Atashnama K and Hatami S. 2007. Biosuper as a phosphate fertilizer in a calcareous soil with low available phosphorus. African Journal of Biotechnology, 6: 1325-1329.

Bremner JM, and Mulvaney CS. 1965. Nitrogen-Total. In: Methods of soil analysis: part 2, Chemical and Microbiological Properties. Page, A.L. (Ed). 1982. Second Edition. American Society of Agronomy Inc. Madison, Wisconsin USA. Agronomy Series No. 9, Part 2. pp. 595-622.

Cassman KG, Dobermann AR and Walters DT. 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. Ambio, 31(2): 132-140.

Cheema MA, Farhad W, Saleem MF, Khan HZ, Vahid MA, Rasul F and Hammad HM. 2010. Nitrogen management strategies for sustainable maize production. Crop and Environment, 1(1): 49-52.

Darzi MT and Akhani A. 2015. Effects of biofertilizer and plant density on yield and essential oil of *Coriandrum sativum* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 31(6): 1086-1095. (In Persian).

Den Hollander NG, Bastiaans L and Kropff MJ. 2007. Clover as a cover crop for weed suppression in an intercropping design. II. Competitive ability of several clover species. European Journal of Agronomy, 26: 104-112.

Esitken A, Yildiz HE, Ercisli S, Figen Donmez M, Turan M and Gunes A. 2010. Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. Scientia Horticulturae, 124: 62–66.

Fitter A. 2000. Characteristics and Functions of Root Systems. Marcel Dekker, New York.

Ghamari H, Shafaghkolvagh J, Sabaghpoure SH and Dabbagh Mohamadi Nassba A. 2016. Effects of chemical and biological fertilizers on some morpho-physiological traits of purslane (*Portulaca oleracea* L.) and dragon's head (*Lallemantia iberica* Fisch. and C.A. Mey) cultivated under intercropping system. Notulae Scientia Biologicae, 8(1): 112-117.

Gryndler M, Larsen J, Hrselova H, Rezacova V, Gryndlerova H and Kubat J. 2006. Organic and mineral fertilization, respectively, increase and decrease the development of extemal mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi in a long-term field experiment. Mycorrhiza, 16(3): 159- 166.

Inanloofar M, Omidi H and Pazoki AR. 2013. Morphological, agronomical changes and oil content in purslane (*Portulaca oleracea* L.) under drought stress and biological /chemical fertilizer of nitrogen. Journal of Medicinal Plant, 48: 170-184. (In Persian).

Jahan M, Aryaee M, Amiri MB and Ehyaee HR. 2013. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on quantitative and qualitative characteristics of *Sesamum indicum* L. with application of cover crops of *Lathyrus* sp. and Persian clover (*Trifolium resopinatum* L.). Journal of Agroecology, 5(1): 1-15. (In Persian).

Javadi H, Rezvani Moghadam P, Seghatoleslami MJ and Mosavi Gh R. 2017. Effect of sowing date and plant density on yield and yield components of common purslane (*Protulaca Oleracea* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 15(1): 113-123. (In Persian).

Javadi H, Rezvani Moghaddam P, Rashed Mohasel MH and Seghatoleslami MJ. 2019. Effect of fertilizer management on some chemical properties of soil and absorption of nitrogen and phosphorus elements by purslane (*Portulaca oleracea* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 17(2): 187-205. (In Persian).

Khorramdel S, Koocheki A, Nassiri Mahallati M and Ghorbani R. 2010. Effect of biofertilizers on the yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 8 (5): 768-776. (In Persian).

Kolb W and Martin P. 1985. Response of plant roots to inoculation with *Azospirillum brasilense* and to application of indole acetic acid. Springer, Berlin Heidelberg, New York.

Martin DL, Watts DG, Mielke LN, Frank KD and Eisen-Hauer DE. 1982. Evolution of nitrogen and irrigation management for corn production using water high in nitrate. Soil Science Society of American Journal, 49: 1056-1062.

Mc Ginnis M, Cooke A, Bilderback T and Lorscheider M. 2003. Organic fertilizers for basil treatment production. Acta Horticulturea, 491: 213-218.

Morphy J and Riley JP. 1962. Phosphorus analysis procedure. In: Methods of soil analysis: part 2, chemical and microbiological properties. Page, A. L. (Ed). 1982. Second Edition. Madison, Wisconsin USA. pp. 413-427.

Mosavi SB, Jafarzadeh AA, Neishabouri MR, Ostan S and Feiziasl V. 2009. Rye green manure along with nitrogen fertilizer application increases wheat (*Triticum aestivum* L.) production under dryland condition. International Journal of Agriculture Research, 4(6): 204-212.

Nasirzade S, Fallah S, Kiani Sh and Mohammadkhani A. 2015. Effect of different levels of cow manure and urea on quantitative and qualitative characteristics of isabgol (*Plantago ovata* Forssk.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 31(1): 41-51. (In Persian).

Nourzad S, Ahmadian A and Moghaddam M. 2014. Proline, total chlorophyll, carbohydrate amount and nutrients uptake in coriander (*Coriandrum sativum* L.) under drought stress and fertilizers application. Iranian Journal of Field Crops Research, 13(1): 131-139. (In Persian).

Ogg CL. 1960. Determination of nitrogen by the micro-Kjeldahl method. Journal of the Association of Official Analytical Chemists, 43: 689-693.

Oldeman LR. 1994. The global extent of soil degradation. In D. J. Greenland and I. Szaboles, eds. Soil resilience and sustainable land use pp. 99-118: Wallingfrd, UK, CAB International.

Olsen SR, Cole CV, Watenabe FS, and Dean LA. 1954. Estimation of Available Phosphorous in Soil by Extraction with Sodium Bicarbonate, United States Department of Agriculture. Cris. 939. USA.

Ozturk A, Caglar O and Sahin F. 2003. Yield response of wheat and barley to inoculation of plant growth promoting rhizobacteria at various levels of nitrogen fertilization. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 166(2): 262-266.

Piromyou P, Buranabanyat B, Tantasawat P, Tittabutr P, Boonkerd N and Teaumroong N. 2011. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) inoculation on microbial community structure in rhizosphere of forage corn cultivated in Thailand. European Journal of Soil Biology, 47: 44-54.

Rahimi Z, Kafi M, Nezami A and Khozaie HR. 2011. Effect of salinity and silicon on some morphophysiologic characters of purslane (*Portulaca oleracea* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 27(3): 359- 374. (In Persian).

Raun WR and Johnson GV. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agronomy Journal, 91: 357-363.

Rezvani Moghaddam P and Seyyedi SM. 2014. The Effects of organic and biological fertilizers on phosphorus and potassium uptake by black seed (*Nigella sativa* L.). Journal of Horticultural Science, 28(1): 43-53. (In Persian).

Rezvani Moghaddam P, Seyedi SM and Azad M. 2014. Effects of organic, chemical and biological sources of nitrogen on nitrogen use efficiency in black seed (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 30(2): 260-274. (In Persian).

Rodríguez Cáceres EA, González Anta G, López JR, Di Ciocco CA, Pacheco Basurco JC and Parada JL. 1996. Response of field-grown wheat to inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Bacillus polymyxa* in the semiarid region of Argentina. Arid Soil Research and Rehabilitation, 10(1): 13-20.

Safikhani S, Chaichi M and Porbabaei A. 2013. The Effects of different N fertilizers (chemical, biological and integrated) on forage quality of berseem clover in an intercropping system with basil. Iranian Journal of Field Crop Science, 44(2): 237-248. (In Persian).

Safir GR. 1987. Echophysiology of VA mycorrhizal plants. CRC Press. Boca Raton, FL, U.S.A.

Saia S, Ruisi P, Garcia-Garrido JM, Benitez E, Amato G and Giambalvo D. 2012. Can arbuscular mycorrhizal fungi enhance plant nitrogen capture from organic matter added to soil? 17 th Nitrogen Workshop. 26-29 Jun, Wexford, Ireland.

Seyyedi S, Khajeh-Hosseini M, Rezvani Moghaddam P and Shahandeh H. 2015 a. Relation between the increasing soluble phosphorus and nitrogen uptake and its effects on phosphorus harvest index of black seed. Iranian Journal of Field Crop Science, 46(1): 25-36. (In Persian).

Seyyedi S, Rezvani Moghadam P and Khaje Hosseini M. 2015 b. Effects of sulfur, vermicompost+ Thiobacilus bacteria on some chemical properties of calcareous soil and phosphorus use efficiency of black seed. Journal of Plant Ecophysiology, 7(22): 205-220. (In Persian).

Sharpley AN, McDowell R and Kleinman PJA. 2004. Amounts, forms, and solubility of phosphorus in soils receiving manure. Soil Science Society of America Journal, 68: 2048-2057.

Shata SM, Mahmoud A and Siam S. 2007. Improving calcareous soil productivity by integrated effect of intercropping and fertilizer. Recearch Journal of Agriculture and Biological Sciences, 3(6): 733-739.

Shenoy VV and Kalagudi GM. 2005. Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping. Biotechnology Advances, 23: 501-513.

Singh M. 2012. Influence of organic mulching and nitrogen application on essential oil yield and nitrogen use efficiency of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). Archives of Agronomy and Soil Science, 59: 273-279.

Smith FW. 2002. The phosphate uptake mechanism. Plant and Soil, 245: 105-114.

Soltaninejhad F, Fallah S and Heidari M. 2013. Effect of different sources and rates of nitrogen fertilizer on the growth and biomass production of purslane (*Portulaca oleracea*). Journal of Crop Production, 6(3): 125-143. (In Persian).

Togay N, Togay Y, Cimrin KM and Turan M. 2008. Effects of rhizobium inoculation, sulfur and phosphorus applications on yield, yield components and nutrient uptakes in chickpea (*Cicer arietinum* L.). African Journal of Biotechnology, 7(6): 776-782.

Walkly A, and Black IA. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37: 29-38.

Yang SM, Malhi SS, Song JR, Xiong YC, Yue WY, Lu LL, Wang JG and Guo TW. 2006. Crop yield, nitrogen uptake and nitrate-nitrogen accumulation in soil as affected by 23 annual applications of fertilizer and manure in the rainfed region of Northwestern China. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 76: 81-94.

Yang YC, Zhang M, Zheng L, Cheng DD, Liu M and Geng YQ. 2011. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, yield, and quality of wheat. Agronomy Journal, 103(2): 479-485.

Ying J, Peng S, Yang G, Zhou N, Visperas RM and Cassman KG. 1998. Comparison of high-yield rice in tropical and subtropical environments: II. Nitrogen accumulation and utilization efficiency. Field Crops Research, 57:85-93.

Yusefian Ghahfarokhi H, Abdali Mashhadi A, Bakhshandeh A, Lotfi A and Abadi J. 2015. Evaluation of effect attract moisture substances and organic fertilizers on quality and quantity yield of purslane (*Portulaca oleracea* L.) in Ahwaz region. Journal of Plant Process and Function, 4(13): 87-96. (In Persian).