

## بررسی تأثیر سطوح کودی نیتروژن و گوگرد بر ویژگی‌های کمی و کیفی دانه کرچک (*Ricinus communis* L.)

عباس زینالی<sup>۱</sup>، امیررضا صادقی بختوری<sup>۲</sup> و وحید سرابی<sup>\*۲</sup>

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه شهیدمدنی آذربایجان

۲. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه شهیدمدنی آذربایجان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۳۰ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱/۱۲)

### چکیده

به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف کودی نیتروژن و گوگرد بر ویژگی‌های کمی و کیفی دانه کرچک، آزمایشی در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان در سال ۱۳۹۴ انجام شد. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. فاکتورهای آزمایش شامل کود نیتروژن در چهار سطح ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و گوگرد در پنج سطح ۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار بودند. نتایج نشان داد، کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن (۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) منجر به تولید بیشترین مقادیر عملکرد زیست‌توده (بیوماس)، عملکرد دانه، درصد و عملکرد روغن بذر و میزان مناسب درصد پروتئین خام بذر در کرچک می‌شود. در مقابل، کاربرد ۴۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار برای رسیدن به بیشترین مقادیر در عملکرد دانه، شاخص برداشت، درصد و عملکرد روغن بذر کافی بود. کاربرد کود گوگرد تأثیر معنی‌داری روی میزان پروتئین خام بذر نداشت. بیشترین کارایی زراعی نیتروژن و گوگرد به ترتیب با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن و ۴۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به دست آمد (به ترتیب ۱۰/۷۳ و ۹/۱۷ کیلوگرم بر کیلوگرم). در بررسی اثر متقابل کودی نیز کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن به همراه ۶۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار منجر به تولید بیشترین عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه و عملکرد روغن بذرهای کرچک شد. نتایج کلی این آزمایش نشان داد، حضور توأم عناصر نیتروژن و گوگرد در محیط اطراف ریشه کرچک می‌تواند موجب افزایش سطح برگ، فتوسنتز و وزن خشک در طول فصل رشد، عملکرد دانه و روغن آن در انتهای فصل رشد شود.

**واژه‌های کلیدی:** برهمکنش کودی، دانه‌های روغنی، عملکرد دانه و اجزای آن، عناصر پرمصرف، ویژگی‌های کمی و کیفی.

## Investigation of nitrogen and sulphur effects on quantitative and qualitative characteristics of castor bean seed (*Ricinus communis* L.)

Abbas Zeinali<sup>1</sup>, Amir Reza Sadeghi Bakhtvari<sup>2</sup>, Vahid Sarabi<sup>\*2</sup>

1. Graduated Master's degree from Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz-Iran.

2. Assistant professor from Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz-Iran.

(Received: January 19, 2017- Accepted: April 1, 2017)

### ABSTRACT

In order to study effects of various levels of nitrogen and sulphur fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of castor bean (*Ricinus communis* L.), an experiment was done in 2015 at reearch farm, agricultural faculty of Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz-Iran. Experiment was conducted as a factorial based on randomized complete block design with three replications. Treatments were 4 levels of nitrogen (0, 50, 100 and 150 kg ha<sup>-1</sup>) and 5 levels of sulphur (0, 20, 40, 60 and 80 kg ha<sup>-1</sup>). Results indicated that maximum biological and seed yield, seed oil percentage and yield and appropriate percentage of seed crude protein obtained from applying 100 and 150 kg nitrogen per hectare. In contrast, application of 40 kg sulphur ha<sup>-1</sup> was enough to reach maximum amounts in seed yield, HI, seed oil percentage and oil yield. Application of sulphur fertilizer had not significantly effect on seed crude protein. Maximum agronomic efficiency of nitrogen and sulphur was achieved when nitrogen and sulphur were applied at a rate of 150 and 40 kg ha<sup>-1</sup> (10.73 and 9.17 kg/kg, respectively). Interaction effects of nitrogen and sulphur showed that applying 150 kg nitrogen by 60 kg sulphur ha<sup>-1</sup> resulted in the highest biological yield, seed and seed oil yield in castor bean. The overall conclusion of this experiment showed that presence of nitrogen and sulphur around the castor bean roots can cause an increase in leaf area, photosynthesis and biomass during the growing season, seed and oil yield at the end of the growing season.

**Keywords:** Fertilizer interactions, Seed yield and its components, Macro-nutrients, Oil crops, Quantitative and qualitative features.

\* Corresponding author E-mail: sarabi20@azaruniv.edu

### مقدمه

دانه‌های روغنی به عنوان یکی از منابع عظیم انرژی و پروتئین شناخته می‌شوند (Nagaraj, 1995). در بین گیاهان روغنی، کرچک به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردی نظیر تحمل به خشکی، مقاومت نسبی در مقابل شوری و نیز رشد سریع و آسان می‌تواند انتخاب مناسبی برای تولید درصد روغن بالا و منابع انرژی باشد (Fairbairn, 1959). به دلیل وجود ماده‌ای سمی به نام ریسین<sup>۱</sup> در دانه کرچک، از روغن قابل استحصال آن بیشتر در صنعت استفاده می‌شود و لذا به عنوان خوراکی کمتر مورد توجه بوده است (Doan, 2004). افزایش روزافزون قیمت کودهای شیمیایی در جهان، ضرورت اقتصادی بودن تولید، آلودگی آب‌های زیرزمینی و تخریب ساختمان خاک در نتیجه کاربرد بی‌رویه و ناآگاهانه کودهای شیمیایی چالش‌هایی هستند که می‌بایست حل شوند. از سوی دیگر، موفقیت در تولید محصولات کشاورزی مستلزم انتخاب و تأمین نیازهای غذایی ضروری آن است. نیازهای رشدی گیاه دو جنبه مهم دارد که یکی شناخت نیازها و دیگری چگونگی به‌کارگیری یا مدیریت مصرف آنهاست (Tabatabaei, 2014)، به طوری که مقادیر کم یا بیش از حد عناصر غذایی موجب بروز اختلال‌هایی در فرآیندهای ضروری و حیاتی گیاه نظیر رشد و نمو، کاهش، تعویق و یا حتی توقف رشد زایشی می‌شوند (Weiss, 1999). (Mojiri & Arzani, 2003) گزارش کردند، افزایش یا کاهش کاربرد نیتروژن باعث کاهش عملکرد آفتابگردان می‌شود. مقادیر کم این عنصر موجب می‌شود تا سرعت فتوسنتز در واحد سطح برگ کاهش یافته، تجمع کمتری از مواد خشک انجام گرفته و در نهایت عملکرد کمتری نیز به دست آید (van Delden, 2001; Zhao et al., 2009). نیتروژن مازاد نیز سبب تأخیر در گلدهی گیاهان و در نتیجه کاهش عملکرد گیاه می‌شود. از آنجایی که امروزه سیاست کاهش کاربرد سموم و بهینه‌سازی مصرف کودهای شیمیایی در جهان مطرح شده است، تغذیه مناسب و برنامه‌ریزی شده راه‌حل بهتری برای کاهش

مصرف کودهای شیمیایی و خطرهای زیست-محیطی آنهاست (Zarrinkafsh, 1992). بنابراین، روش تغذیه گیاهی و میزان آن اهمیت ویژه‌ای دارد. نیتروژن و گوگرد دو عنصر مهم برای رشد و نمو گیاه به شمار می‌آیند که باید به میزان و مدیریت کاربرد آن‌ها در طی دوره رشد گیاه توجه شود (Mengel et al., 2001). نیتروژن عنصری مهم و حیاتی برای گیاه به شمار می‌رود که در ساختار پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و کلروفیل وجود دارد (Boswell et al., 1985). کاربرد مقدار کافی نیتروژن و فراهمی آن در مراحل حساس فنولوژیکی رشد گیاه می‌تواند عملکرد گیاه زراعی را افزایش دهد. البته می‌بایست در نظر داشت که در نتیجه کاربرد زیاد کودهای نیتروژن‌دار در گیاه کرچک، دسترسی به کربوهیدرات‌ها برای سنتز روغن کاهش و در مقابل سنتز پروتئین افزایش می‌یابد (Rathke et al., 2005). گوگرد یکی دیگر از عناصر ضروری و مورد نیاز گیاهان است که کاربرد آن کمتر مورد توجه بوده است (NeSmith, 1991). مقدار گوگرد مورد نیاز برای رشد مطلوب گیاهان متفاوت بوده و ۰/۲ تا ۰/۵ درصد وزن خشک گیاهان را تشکیل می‌دهد (Marschner, 2007). گیاهان دانه روغنی در مقایسه با دیگر گیاهان برای رشد و نمو به میزان بیشتری گوگرد نیاز دارند (Das & Das, 1994). گوگرد نقش‌های مهمی در گیاهان دارد؛ به طوری که در تثبیت ساختار پروتئین‌ها، در فعالیت‌های متابولیکی ویتامین‌ها، سنتز اسیدهای آمینه ضروری محتوی گوگرد و کوآنزیم آ و تشکیل کلروفیل مشارکت دارد (Akter et al., 2013). گوگرد تأثیر مهمی در افزایش جذب دیگر عناصرها (نظیر فسفر) در خاک‌های قلیایی دارد (Rahman et al., 2007). همچنین، گوگرد تحمل گیاه در برابر تنش‌های محیطی را افزایش می‌دهد (Sharma et al., 1990). (Mousavi et al., 2015) در بررسی تأثیر سطوح مختلف گوگرد روی کرچک دریافتند، کاربرد گوگرد موجب افزایش عملکرد و درصد روغن دانه کرچک می‌شود. همچنین، نتایج بررسی‌های Rendig et al. (1976) نیز نشان داد، کاربرد گوگرد مورد نیاز بافت‌ها در گیاهان روغنی نظیر

روغن دانه آن و ارزیابی کارایی زراعی مصرف نیتروژن و گوگرد جهت تعیین بهترین سطح کودی در زراعت این محصول بود.

### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر برهمکنش سطوح کودی نیتروژن و گوگرد روی ویژگی‌های کمی و کیفی دانه کرچک، پژوهشی در سال ۱۳۹۴ در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان واقع در ۳۵ کیلومتری جاده تبریز - مراغه با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۸۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۹۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۱۸/۸ متری از سطح دریای آزاد انجام شد. منطقه مورد نظر اقلیم نیمه‌خشک با زمستان‌های سرد و یخبندان داشته و نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به محل تحقیق، ایستگاه خسروشهر است که آمار هواشناسی آن در جدول ۱ ارائه شده است.

آفتابگردان و کرچک می‌تواند موجب افزایش میزان پروتئین در بذر شود. کارایی به عنوان میزان محصول تولیدشده به ازای هر واحد نهاده مصرف‌شده تعریف می‌شود (Hashemi Dezfooli *et al.*, 1998). بالاترین کارایی به‌طور معمول با جذب نخستین عنصر غذایی به دست می‌آید و واحدهای بعدی مصرف عنصر غذایی، افزایش کمتری را ایجاد می‌کنند (Fathi, 1996). میزان کارایی مصرف عناصر غذایی در شرایط فراوانی و مسمومیت کاهش می‌یابد، زیرا با افزایش غلظت عنصر غذایی، عملکرد ثابت مانده یا کاهش می‌یابد (Hashemi Dezfooli *et al.*, 1998). بهبود کارایی مصرف نیتروژن و دیگر عناصر راهکاری کلیدی در توسعه نظام‌های کشاورزی پایدار است که در آن بیشترین تولید با کمترین انرژی ورودی به دست آید (Gan *et al.*, 2008). با توجه به مطالب یادشده، هدف از این تحقیق بررسی تأثیر کاربرد توأم سطوح مختلف کودی نیتروژن و گوگرد روی عملکرد زیست‌توده (بیوماس) و اقتصادی کرچک برای دستیابی به بهترین ترکیب از این نظر، نقش این عناصر در بهبود عملکرد

جدول ۱. آمار هواشناسی ایستگاه خسروشهر در سال ۱۳۹۴.

Table 1. Meteorological data for Khosroshahr station in 2015.

Month	Average temperature (°C)	Average relative humidity (%)	Total monthly rainfall (mm)	Total evaporation (mm)
April	10.3	57.1	37.6	11.5
May	14.9	54.3	50.6	189.9
June	22.1	39.9	3.5	306.2
July	27.4	33.3	0	391.8
August	27.8	28.1	0	372.2
September	22.2	43.5	9.4	242.5
October	17.1	53.8	14.1	144.9
November	8.3	72.7	61.9	17.9
December	1.4	73.7	10.3	0
January	0.5	75.3	11.9	0
February	1.1	67.5	7	0
March	7.9	61.1	28.4	0

تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی تهیه شدند. پس از تهیه بذرها، آزمون جوانه‌زنی در محیط پتری‌دیش در دستگاه ژرمیناتور (دمای ۲۸ درجه سلسیوس در روز و ۲۰ درجه سلسیوس در شب، رطوبت ۶۰ درصد و با طول مدت روشنایی ۱۲ ساعت با شدت ۱۲۰۰ لوکس) انجام و مشخص شد که ۹۶ درصد بذرها قابلیت جوانه‌زنی دارند. قطعه زمینی به

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به اجرا درآمد. فاکتورهای مورد بررسی شامل کود نیتروژن در چهار سطح: ۰ (بدون کاربرد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار (از منبع اوره) و کود گوگرد در پنج سطح: بدون کاربرد، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار (پودر گوگرد ۹۹/۵ درصد) بودند. بذرهای کرچک از مرکز

۶۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌گیری شده و درصد عناصر موجود در آن تعیین شد که نتایج مربوط به آزمایش خاک در جدول ۲ آمده است.

مساحت ۶۴۳/۵ مترمربع انتخاب، در پائیز شخم زده شد و در اواخر زمستان و اوایل بهار پس از دیسک‌زنی، تسطیح و کرت‌بندی شد. پیش از آماده‌سازی قطعه زمین مورد نظر، با استفاده از الگوی W از عمق ۰ تا

جدول ۲. نتایج تجزیه نمونه خاک گرفته‌شده از قطعه زمین مورد نظر با بافت شنی-لومی در سال ۱۳۹۴.

Table 2. Analysis of selected soil of the field by texture of loam-sand in 2015.

Depth sampling	Soil texture			pH	EC (dS/m)	Organic matter	Nitrogen (%)	Phosphorus (mg/kg)	Potassium (mg/kg)	Suphur (%)
	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)							
0-60 cm	10	26	64	7.86	5.86 <sup>□</sup>	1.01	0.01	24	591	-

<sup>□</sup> آستانه تحمل شوری برای جوانه‌زنی، رشد و گسترش بوته‌های کرچک، ۷/۱ دسی‌زیمنس بر متر تعیین شده است (Zhou et al., 2010).

<sup>□</sup> The salinity threshold level for emergence and stand establishment of Castor bean has been identified at 7.1 dS m<sup>-1</sup> (Zhou et al., 2010).

تلخه<sup>۲</sup>، پیچک صحرایی<sup>۳</sup> و سوروف<sup>۴</sup> بودند که به صورت دستی و پیش از رسیدن بوته‌های کرچک به مرحله چهار برگی حقیقی وجین شدند.

مراحل فنولوژیکی بوته‌های کرچک در فصل رشد یادداشت برداری شدند، به طوری که زمان گل‌دهی بوته‌ها در اوایل مردادماه پس از سپری شدن نود روز از تاریخ کاشت بود. پس از سپری شدن مرحله گرده-افشانی در گل‌ها و تشکیل میوه کپسول و دانه‌بندی در آن‌ها، نوبت به زمان برداشت بذرها رسید. به دلیل اختلاف در زمان رسیدگی دانه‌ها (نامحدود بودن رشد کرچک) و حساسیت بذرها نسبت به ریزش، قسمت گل‌آذین بوته‌های کرچک مورد نظر به طور جداگانه با توری پوشانده شدند تا از ریزش بذرها به زمین جلوگیری به عمل آمده و یکنواختی در برداشت همه کپسول‌ها به دست آید. پس از خشک شدن کامل گل-آذین و کپسول‌ها، برداشت در مورخه ۵ مهرماه صورت گرفت. نمونه‌گیری از ردیف‌های مرکزی هر کرت و پس از حذف اثر حاشیه انجام شد. بدین منظور، ده بوته از سطح ۲ مترمربعی هر کرت انتخاب، کپسول‌ها به طریق دستی جدا و بذرها بوجاری شدند. به منظور اندازه‌گیری عملکرد زیست‌توده، بوته‌های برداشت‌شده به قطعه‌های کوچک‌تر خرد و در پاکت‌های کاغذی به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه، ابتدا تعداد

پیش از ایجاد ردیف‌های کاشت به صورت جوی-پشته، مقادیر کودی در نظر گرفته‌شده برای تیمارها در کرت‌ها پخش و با ایجاد ردیف‌های کاشت تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شدند. مقادیر کودی گوگرد چند هفته پیش از کاشت، ولی مقادیر کودی نیتروژن در دو نوبت (نصف در آغاز کاشت و نصف دیگر در زمان نزدیک به گلدهی) در کرت‌های آزمایش پخش شدند. با پایان عملیات آماده‌سازی زمین، بذرها در اوایل اردیبهشت‌ماه به صورت هیرم‌کاری در محل داغ آب ردیف‌ها کاشته شدند، به طوری که برای اطمینان از سبز شدن در هر محل کاشت ۲ تا ۳ عدد بذر ریخته شده و پس از سبز شدن گیاهچه‌ها و رسیدن آن‌ها به مرحله دو برگی حقیقی بوته‌های اضافی تنک شدند (گیاهچه‌های کرچک به طور یکنواخت هشت روز پس از کاشت سبز شدند). هر کرت از چهار ردیف به طول ۳ متر تشکیل شده بود؛ فاصله بوته‌ها بر روی ردیف ۴۰ سانتی‌متر و فاصله آن‌ها در بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. همچنین، در بین کرت‌های آزمایشی ۵۰ سانتی‌متر و بین بلوک‌ها ۲ متر فاصله در نظر گرفته شد. نخستین آبیاری بی‌درنگ پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فاصله شش روز یکبار انجام شدند. در طول فصل رشد، آفت و یا بیماری خاصی در مزرعه مشاهده نشد. مهم‌ترین علف‌های هرز موجود در مزرعه شامل توق<sup>۱</sup>،

2. *Acroptilon repens* L.  
3. *Convolvulus arvensis* L.  
4. *Echinochloa crus-galli* L.

1. *Xanthium strumarium* L.

کارایی زراعی مصرف نیتروژن عبارت است از مقدار عملکرد دانه تولیدشده به ازای میزان کود مصرفی در تیمارهای مختلف که از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Goodroad & Jellum, 1988):

$$AEN = [(Y_m - Y_0) / N_f] \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن  $AEN$ : کارایی زراعی مصرف نیتروژن (کیلوگرم دانه افزایش یافته/کیلوگرم کود به کار رفته)؛  $Y_m$ : عملکرد دانه در کرت‌های با کاربرد کود نیتروژن برحسب کیلوگرم در هکتار؛  $Y_0$ : عملکرد دانه در کرت‌های بدون کاربرد کود نیتروژن برحسب کیلوگرم در هکتار و  $N_f$ : میزان کود به کار رفته برحسب کیلوگرم در هکتار است. کارایی زراعی مصرف گوگرد نیز با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد:

$$AES = [(Y_m - Y_0) / S_f] \quad \text{رابطه (۲)}$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها و محاسبات مربوط به آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری Minitab نسخه ۱۷ انجام شدند. مقایسه میانگین بین تیمارها نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) انجام گرفت. پیش از تجزیه واریانس، داده‌های آزمایش با استفاده از آزمون عدم معنی‌داری به روش آندرسون-دارلینگ آزموده شدند و در مواردی که نتایج این آزمون معنی‌دار بود، برای نرمال کردن داده‌ها از روش تبدیل داده استفاده شد. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۰ استفاده شد.

## نتایج و بحث

### عملکرد زیست‌توده

نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نشان داد، تأثیر تیمارهای کودی نیتروژن و گوگرد بر عملکرد زیست‌توده بوته‌های کرچک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳)، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد زیست‌توده مربوط به تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۱۳۲۲۶/۷ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد بدون کاربرد کود (۸۵۵۳/۳ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۴). Jabbari et al.

بذرهای شمارش و میانگین‌گیری شد تا تعداد بذر در هر بوته به دست آید. سپس، تمامی بخش‌های گیاه به تفکیک بذر، اندام‌های هوایی و زیرزمینی برای خشک‌کردن به آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت منتقل شدند. پس از خشک شدن کامل تمامی بخش‌های گیاه و رسیدن به وزن ثابت، وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری و ثبت شد. بدین ترتیب، عملکرد دانه و زیست‌توده بوته‌های کرچک از سطح مورد نظر محاسبه شده و به هکتار تعمیم داده شد. شاخص برداشت نیز با تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد زیست‌توده به دست آمد.

استخراج روغن با استفاده از حلال دی‌اتیل‌اتر صورت گرفت. بدین منظور بیست عدد بذر انتخاب شده و پس از جداسازی ناخالصی‌ها، عملیات خشک‌کردن آن‌ها مجدداً در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت انجام گرفت. بذرهای خشک‌شده برای روغن‌گیری خرد و ۲ گرم از آن به درون لوله‌های آزمایشی ریخته شد. حدود ۱۰ میلی-لیتر از حلال دی‌اتیل‌اتر به لوله‌های آزمایشی اضافه شد و محلول آماده‌سازی‌شده با استفاده از دستگاه تکان دهنده (ورتکس) هم‌زده شد تا محلول یکنواختی به دست آید. سپس، محتوای لوله‌های آزمایشی به درون ویال‌های ۵۰ میلی‌لیتری انتقال داده شدند. ویال‌ها به مدت ده دقیقه در دمای ۱۰ درجه سلسیوس با سرعت ۱۰ هزار دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. پس از رسوب تفاله‌های بذر در قسمت انتهایی ویال‌ها، محلول باقی‌مانده در قسمت بالایی ویال‌ها که شامل دی‌اتیل‌اتر همراه با روغن بذرها بود، جمع‌آوری شده و محتویات آن به لوله آزمایشی دیگری ریخته شدند که از قبل وزن شده بودند. به‌منظور جداسازی حلال از ماده روغنی، محلول‌ها به داخل دستگاه آون با دمای ۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت منتقل شدند. پس از تبخیر و جدا شدن حلال دی‌اتیل‌اتر، تنها ماده باقی‌مانده روغن کرچک بود که وزن آن با کسر وزن لوله آزمایشی محتوی روغن از لوله آزمایشی که از قبل وزن شده بود به دست آمد. میزان پروتئین خام بذرها نیز با استفاده از دستگاه کج‌دال خودکار (اتوماتیک) مدل V40 محاسبه شد.

افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان داده است. بر این اساس، Ghasemi & Moussavi Nik (2014) به تأثیر مثبت کود گوگرد بر وزن تر و خشک بوته‌های کرچک اشاره داشته‌اند. کمبود این عنصر موجب جلوگیری از طویل شدن ریشه‌ها، افزایش قطر ریشه‌های انتهایی و رشد رویشی، زایشی و در نهایت کاهش عملکرد زیست‌توده و اقتصادی گیاه است (Piri et al., 2011).

(2015) نیز در نتایج بررسی‌های خود گزارش کردند، با افزایش سطوح کودی نیتروژن بر عملکرد زیست‌توده بوته‌های کرچک افزوده می‌شود. همچنین، بیشترین عملکرد زیست‌توده بوته‌های کرچک مربوط به تیمار کودی ۸۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار (۱۲۵۸۳/۳ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد کاربرد کود گوگرد تأثیر قابل ملاحظه‌ای روی تجمع ماده خشک در بوته‌های کرچک دارد، به طوری که با افزایش در مقادیر گوگرد کاربردی، عملکرد زیست‌توده

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه، شاخص برداشت، درصد روغن، عملکرد روغن، درصد پروتئین خام دانه، کارایی زراعی مصرف نیتروژن و گوگرد در بوته‌های کرچک.

Table 1. Analysis of variance (Mean of square) of castor bean biological yield, seed yield, HI, seed oil percentage, seed oil yield, seed crude protein percentage, agronomic efficiency of applied nitrogen and sulphur.

S. O. V.	df	Biological yield	Seed yield	HI	Seed oil	Seed oil yield	Seed crude protein	Agronomic efficiency of nitrogen	Agronomic efficiency of sulphur
Block	2	320667	245315	17.63	0.32	53004	13.87	509.48	0.720
Nitrogen (A)	3	75676278**	412484**	326.89**	17.44**	160034**	14.36*	468.60**	73.82 <sup>ns</sup>
Sulphur (B)	4	9327146**	701599**	37.43**	19.48**	215854**	6.84 <sup>ns</sup>	191.53 <sup>ns</sup>	612.20**
A*B	12	6988257**	301551**	98.38**	4.95**	64143**	9.92*	88.19 <sup>ns</sup>	147.69 <sup>ns</sup>
Error	38	161368	73255	8.01	1.39	13298	4.47	91.80	62.04
Total	59	-	-	-	-	-	-	-	-

\*، \*\* و <sup>ns</sup> به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵، ۱ درصد و عدم معنی‌داری هستند.

\* and \*\* shows significantly different at  $\alpha=0.05$  and  $\alpha=0.01$ , respectively and <sup>ns</sup> is not significantly different.

جدول ۴. تأثیر کاربرد کودهای نیتروژن و گوگرد روی عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه، شاخص برداشت، درصد و عملکرد روغن، درصد پروتئین خام دانه، کارایی زراعی مصرف نیتروژن و گوگرد در بوته‌های کرچک.

Table 4. Application effects of nitrogen and sulphur on biological yield, seed yield, HI, seed oil percentage, seed oil yield, seed crude protein percentage, agronomic efficiency of applied nitrogen and sulphur.

	Biological yield (kg ha <sup>-1</sup> )	Seed yield (kg ha <sup>-1</sup> )	HI	Seed oil (%)	Seed oil yield (kg ha <sup>-1</sup> )	Seed crude protein (%)	Agronomic efficiency of nitrogen (kg/kg)	Agronomic efficiency of sulphur (kg/kg)
<b>Nitrogen (kg ha<sup>-1</sup>)</b>								
0	8553.3 <sup>c</sup>	2570.33 <sup>b</sup>	31.30 <sup>a</sup>	43.80 <sup>bc</sup>	1125.51 <sup>bc</sup>	16.42 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	-
50	10516.7 <sup>b</sup>	2478 <sup>b</sup>	23.75 <sup>b</sup>	43.13 <sup>c</sup>	1070.35 <sup>c</sup>	18.56 <sup>a</sup>	-1.85 <sup>b</sup>	-
100	13110 <sup>a</sup>	2723.3 <sup>ab</sup>	20.95 <sup>b</sup>	44.73 <sup>ab</sup>	1218.21 <sup>ab</sup>	18.07 <sup>a</sup>	1.53 <sup>ab</sup>	-
150	13226.7 <sup>a</sup>	2853.33 <sup>a</sup>	22.05 <sup>b</sup>	45.60 <sup>a</sup>	1304.72 <sup>a</sup>	18.39 <sup>a</sup>	10.73 <sup>a</sup>	-
<b>Sulphur (kg ha<sup>-1</sup>)</b>								
0	10320.8 <sup>c</sup>	2474.58 <sup>b</sup>	26.24 <sup>a</sup>	42.25 <sup>c</sup>	1044.72 <sup>b</sup>	17.89 <sup>ns</sup>	-	0 <sup>b</sup>
20	10700 <sup>c</sup>	2329.58 <sup>b</sup>	22.87 <sup>b</sup>	44 <sup>b</sup>	1024.61 <sup>b</sup>	18.39 <sup>ns</sup>	-	-10.02 <sup>c</sup>
40	11537.5 <sup>b</sup>	2896.67 <sup>a</sup>	26.46 <sup>a</sup>	45.17 <sup>ab</sup>	1309.35 <sup>a</sup>	18.13 <sup>ns</sup>	-	9.17 <sup>a</sup>
60	11616.7 <sup>b</sup>	2775 <sup>a</sup>	24.16 <sup>ab</sup>	45.42 <sup>a</sup>	1261.20 <sup>a</sup>	18.35 <sup>ns</sup>	-	4.08 <sup>ab</sup>
80	12583.3 <sup>a</sup>	2805.42 <sup>a</sup>	22.82 <sup>b</sup>	44.75 <sup>ab</sup>	1258.61 <sup>a</sup>	16.56 <sup>ns</sup>	-	3.44 <sup>ab</sup>

میانگین‌های با حرف‌های مشترک در هر ستون بر پایه آزمون LSD، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد ندارند.

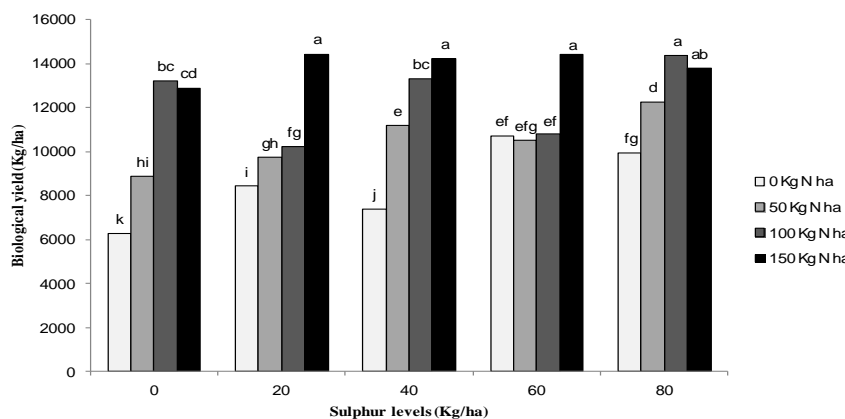
Means within each column followed by same letter are not significantly different at 0.01 and 0.05 probability level according to LSD.

عملکرد زیست‌توده مربوط به کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن به همراه ۲۰، ۴۰ و ۶۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار و نیز کاربرد ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن به

برهمکنش سطوح مختلف کودی نیتروژن با گوگرد بر عملکرد زیست‌توده بوته‌های کرچک نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود، به طوری که بیشترین

کاربرد مقادیر مطلوب و مورد نیاز از این کود در راستای افزایش ماده خشک بوته‌های کرچک می‌بایست مدنظر قرار گیرد. گوگرد در تشکیل کلروفیل نقش داشته و در حضور آن فتوسنتز افزایش می‌یابد (Piri *et al.*, 2011). از این‌رو، هنگامی که گیاه با میزان کافی نیتروژن و گوگرد تغذیه شود، وزن اندام‌های هوایی آن افزایش می‌یابد (Wagner & Michael, 1974). نیتروژن و گوگرد تأثیر زیادی بر افزایش میزان کلروفیل و سطح برگ گیاه دارند، از این‌رو می‌توان انتظار داشت که با افزایش مقادیر آن‌ها بر عملکرد زیست‌توده بوته‌های کرچک نیز افزوده شود.

همراه ۸۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار بود. کمترین مقادیر عملکرد زیست‌توده نیز مربوط به تیمار شاهد و کاربرد سطوح پائین گوگرد بود (شکل ۱). بنابر نتایج این تحقیق، کاربرد توأم کودهای نیتروژن و گوگرد نسبت به کاربرد تنهای هر کدام از آن‌ها تأثیر قابل ملاحظه‌ای در افزایش عملکرد زیست‌توده بوته‌های کرچک داشت و کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن به همراه ۲۰ و یا ۴۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار برای رسیدن به بیشترین عملکرد زیست‌توده در بوته‌های کرچک کافی بود. با توجه به تأثیر قابل‌ملاحظه نیتروژن روی افزایش میزان کلروفیل، سطح برگ و در نهایت ماده خشک تجمع یافته در طول فصل رشد،



شکل ۱. اثر متقابل سطوح مختلف کودی نیتروژن و گوگرد روی عملکرد زیست‌توده بوته‌های کرچک. میانگین‌های با حرف‌های مشترک در هر ستون بر پایه آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد ندارند.

Figure 1. Interaction effects between various levels of nitrogen and sulphur on castor bean (*Ricinus communis* L.) biological yield. Means within each column followed by same letter are not significantly different at 0.01 probability level according to LSD.

کیلوگرم در هکتار منجر به کاهش کارایی زراعی مصرف این عنصر می‌شود. همچنین، بیشترین کارایی مصرف نیتروژن در ذرت دانه‌ای مربوط به کاربرد ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود که با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تفاوت معنی‌داری نداشت (Sedghi *et al.*, 2016). وجود نیتروژن کافی و در دسترس گیاه در مرحله رشد زایشی موجب افزایش طول دوره پر شدن دانه و افزایش عملکرد می‌شود. Laureti & Marras (1995) در بررسی تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن روی گیاه کرچک دریافتند، با کاربرد ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار بیشترین عملکرد دانه (با میانگین ۲۵۶۶/۱ کیلوگرم در هکتار) به دست می‌آید. Nakagawa *et al.* (1974) نیز در

## عملکرد دانه

نتایج بررسی‌ها نشان داد، تأثیر نیتروژن بر عملکرد دانه کرچک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۳)، به طوری که بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمارهای کودی ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (به ترتیب با ۲۷۲۳/۳ و ۲۸۵۳/۳۳ کیلوگرم در هکتار) بود. کارایی زراعی مصرف نیتروژن نیز نشان داد، با افزایش مقادیر تیمارهای کودی میزان این شاخص نیز افزایش می‌یابد (جدول ۴). با این وجود، Joudi *et al.* (2011) در نتایج بررسی‌های خود بیان داشتند، بیشترین کارایی نیتروژن در ژنوتیپ‌های عدس با کاربرد ۴۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست‌آمده و افزایش مقادیر کودی نیتروژن به ۹۰

نتایج آزمایش تیمارهای کودی نیتروژن روی گیاه کرچک نشان دادند، بیشترین سطح محصول از تیمار ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (به میزان ۲۵۵۰ کیلوگرم در هکتار) به دست می‌آید. تأثیر کود گوگرد نیز بر عملکرد دانه کرچک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳)، به طوری که با کاربرد سطوح کودی ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار بیشترین عملکرد دانه به دست آمد (جدول ۴). نتایج بررسی‌های Mousavi *et al.* (2015) نشان داد، کاربرد گوگرد در کرچک باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود. Zebarth & Sheard (1992) بر این باورند که افزایش بازده محصول از طریق جذب و استفاده بهینه از عناصر، مستلزم هماهنگی بین جذب، انتقال، ساخت مواد پرورده و توزیع عناصر در گیاه است. کاربرد گوگرد در حد بهینه به واسطه اثر آن در فعال کردن آنزیم‌های مشخص و تشکیل دیگر ترکیب‌های دخیل در سوخت‌وساز مواد فتوسنتزی نظیر کلروفیل می‌تواند عملکرد دانه را افزایش دهد. گوگرد به صورت سولفید در ساختار آستیل‌سیرین برای تشکیل اسیدآمینه سیستمین شرکت کرده و سیستمین منبعی برای سنتز متیونین و دیگر متابولیت‌های محتوی گوگرد است (Kopriva *et al.*, 2015). در اثر کمبود گوگرد، اسیدهای آمینه گوگرددار (نظیر سیستمین و متیونین) نایاب شده و بدین ترتیب پروتئین‌ها و آنزیم‌ها نمی‌توانند ساخته شوند و نتیجه این عمل کاهش رشد اندام‌های رویشی و زایشی گیاه است (Linser *et al.*, 1964). با این حال، واکنش کم گیاه به مقادیر بالاتر آن ممکن است در ارتباط با وجود گوگرد مازاد در خاک، رقابت و رابطه ناهمسازی بین عناصر به هنگام جذب، انتقال و توزیع دریافت‌های گیاه باشد. شاخص کارایی زراعی مصرف گوگرد نیز نشان داد، با افزایش مقادیر کودی گوگرد تا ۴۰ کیلوگرم در هکتار، میزان این شاخص نیز افزایش می‌یابد، ولی با افزودن مقادیر بیشتر کودی، تاحدودی از کارایی زراعی مصرف گوگرد کاسته می‌شود (جدول ۴). بیشترین کارایی زراعی مصرف گوگرد در گلرنگ با کاربرد ۲۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به دست آمد و با کاربرد سطوح بالاتر این کود، از کارایی زراعی مصرف آن کاسته شد (Kumar

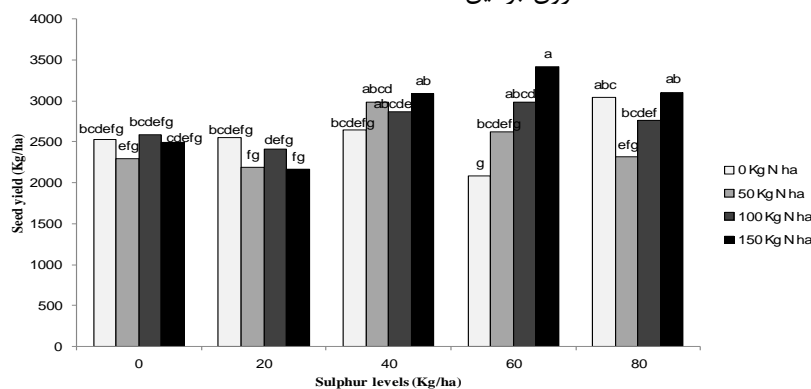
Singh & Kumar Singh, 2013). نتایج تحقیقات Sirvi *et al.* (2016) نیز نشان داد، بیشترین کارایی زراعی مصرف گوگرد در برنج و گندم به ترتیب با کاربرد ۳۰ و ۱۵ کیلوگرم گوگرد در هکتار به دست می‌آید. دلیل منفی شدن کارایی زراعی مصرف نیتروژن و گوگرد در تیمارهای کاربردی ۵۰ کیلوگرم نیتروژن و ۲۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که افزودن این میزان از کودهای مصرفی در زراعت کرچک نمی‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای روی افزایش عملکرد دانه این محصول داشته باشد و قسمت اعظم نیتروژن و گوگرد مصرفی نحت هدررفت آبشویی، نیترات‌زدایی (دنیتریفیکاسیون) و دیگر فرایندها از دسترس گیاه خارج و یا صرف رشد رویشی و افزایش عملکرد زیست‌توده بوته‌ها شده است. بنابراین، برای افزایش عملکرد به مقادیر بالاتری از این کودها یا فراهمی آن‌ها در مراحل حساس فنولوژیکی در محیط پیرامون ریشه نیاز است تا تمامی گل‌های بارور در خوشه اصلی و خوشه‌های فرعی گیاه حاوی دانه‌هایی پر و حجیم باشند (جدول ۴). در نتایج آزمایش‌های Rabiee & Tousei Kehal (2011) روی کلزا نیز کارایی زراعی مصرف نیتروژن و پتاسیم در مقادیر کمتر کودهای کاربردی رقم کمی را نشان داد، ولی با افزایش سطح کودی بر مقادیر آن‌ها افزوده شده و پس از آن روندی کاهشی داشت.

در بررسی اثر متقابل سطوح مختلف کودی نیتروژن با گوگرد نیز مشخص شد که بیشترین عملکرد دانه از کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن به همراه ۶۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار (۳۴۱۸/۳۳ کیلوگرم در هکتار) و پس از آن با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن به همراه سطوح کودی ۸۰ و ۴۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به دست می‌آید. بنابر نتایج به دست آمده در این تحقیق، با افزایش سطوح کودی نیتروژن و گوگرد، عملکرد دانه کرچک افزایش یافته و هیچ‌گونه برهمکنش کاهشی در مقادیر این صفت مهم اندازه‌گیری شده در کرچک با کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژن به همراه ۶۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار مشاهده نشد، ولی با افزایش سطح کودی گوگرد به



Nuttal *et al.* (1993) در نتایج بررسی‌های خود بیان داشتند، با افزایش جذب گوگرد، کارایی مصرف آب در کلزا افزایش یافته و بر میزان شاخص سطح برگ نیز افزوده می‌شود. El-Sayed *et al.* (2000) در نتایج بررسی‌های خود دریافتند، گوگرد می‌تواند موجب افزایش سرعت رشد گیاه و ترکیب‌های آلی در بافت سبز سویا شده و در نهایت منجر به افزایش عملکرد آن شود. Babuchowski (1971) در نتایج بررسی‌های خود دلیل افزایش عملکرد کلزا در نتیجه کاربرد گوگرد را افزایش تعداد دانه در غلاف بیان کرد. Marschner (2007) در نتایج بررسی‌های خود بیان داشت، کاربرد گوگرد در کلزا باعث افزایش تعداد غلاف در بوته نیز می‌شود که دلیل آن را به نقش مهم گوگرد در بهبود فرآیند فتوسنتز نسبت داد.

۸۰ کیلوگرم در هکتار قدری کاهش در عملکرد دانه بوته‌های کرچک مشاهده شد (شکل ۲). از این‌رو، می‌توان گفت که کرچک نسبت به کاربرد سطوح بالای نیتروژن و گوگرد واکنش‌پذیر بوده و افزایش مقادیر یا به عبارتی وجود مقدار کافی آن‌ها در محیط پیرامون ریشه منجر به افزایش سطح برگ در طول فصل رشد و عملکرد دانه در زمان پر شدن دانه‌ها می‌شود. نیتروژن جزء لازم و ساختمانی اسیدهای آمینه، آمیدها، نوکلئوتیدها، نوکلئوپروتئین‌ها و کلروفیل بوده و برای تقسیم و بزرگ شدن یاخته‌ها و در نهایت رشد گیاه ضروری است. وجود نیتروژن کافی، فرآیندهای رشدی گیاه نظیر ارتفاع، سطح برگ و تولید ماده خشک گیاهی را تقویت کرده، در زمان گلدهی سبب افزایش تشکیل گل شده و در نهایت افزایش عملکرد را به همراه دارد (Gardner *et al.*, 2010). افزون بر این،



شکل ۲. اثر متقابل سطوح مختلف کودی نیتروژن و گوگرد روی عملکرد دانه کرچک. میانگین‌های با حرف‌های مشترک در هر ستون بر پایه آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد ندارند.

Figure 2. Interaction effects between various levels of nitrogen and sulphur on castor bean (*Ricinus communis* L.) seed yield. Means within each column followed by same letter are not significantly different at 0.01 probability level according to LSD.

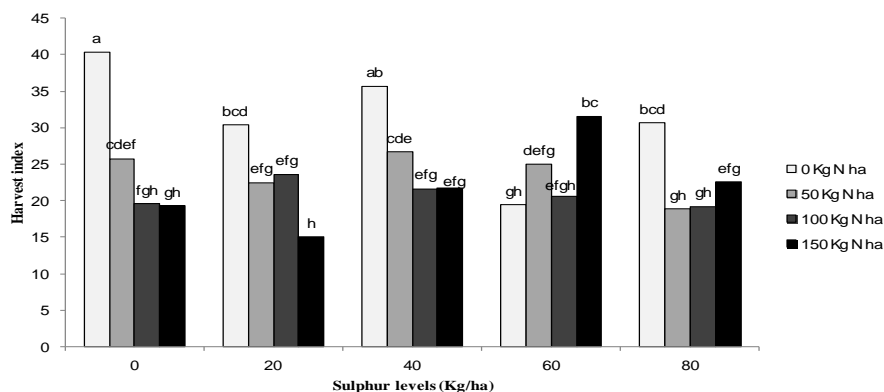
درصد) به ترتیب از کاربرد سطوح کودی ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و عدم کاربرد نیتروژن به دست می‌آید. همچنین، در بررسی سطوح مختلف کودی گوگرد، بیشترین شاخص برداشت مربوط به تیمار شاهد بدون کاربرد گوگرد (۲۶/۲۴) و کمترین آن مربوط به تیمار ۸۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار بود (جدول ۴). اثر برهمکنش سطوح مختلف کودی نیتروژن با گوگرد نیز بر شاخص برداشت بوته‌های کرچک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد، به طوری که بیشترین شاخص برداشت مربوط به تیمار شاهد بدون کاربرد کود (۴۰/۳۰) و کاربرد خالص

### شاخص برداشت

نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد، تأثیر تیمارهای کودی نیتروژن و گوگرد بر شاخص برداشت در بوته‌های کرچک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳)، به طوری که بیشترین شاخص برداشت مربوط به تیمار عدم کاربرد کود نیتروژن (۳۱/۳۰) و کمترین آن نیز مربوط به تیمارهای کاربردی نیتروژن بود (جدول ۴). مغایر با نتایج این تحقیق، Foroghi & Ebadi (2012) در بررسی تأثیر سطوح مختلف کودی نیتروژن روی گلرنگ دریافتند، بیشترین و کمترین شاخص برداشت (۳۰/۵۹ و ۱۹

گوگرد موجب شده است تا گیاه به‌ویژه در طول دوره رشد رویشی، همزمان با رسیدگی دانه‌ها و پس از آن نیز بر وزن خشک خود بیفزاید. از این‌رو، مقادیر شاخص برداشت در کاربرد سطوح بالای کودهای نیتروژن و گوگرد و با نظر به افزایش عملکرد زیست‌توده نسبت به عملکرد دانه کاهش یافته‌اند.

سطوح پائین کود گوگرد بود. کمترین شاخص برداشت نیز مربوط به سطوح بالاتر کود نیتروژن همراه با سطوح مختلف کود گوگرد بود (شکل ۳). برخلاف بیشتر گیاهان زراعی، کرچک گیاهی رشد نامحدود بوده و وزن خشک زیادی نسبت به دانه تولید می‌کند. احتمال می‌رود که افزایش سطوح کودی نیتروژن و



شکل ۳. اثر متقابل سطوح مختلف کودی نیتروژن و گوگرد روی شاخص برداشت در بوته‌های کرچک. میانگین‌های با حرف‌های مشترک در هر ستون بر پایه آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد ندارند.

Figure 3. Interaction effects between various levels of nitrogen and sulphur on castor bean (*Ricinus communis* L.) harvest index. Means within each column followed by same letter are not significantly different at 0.01 probability level according to LSD.

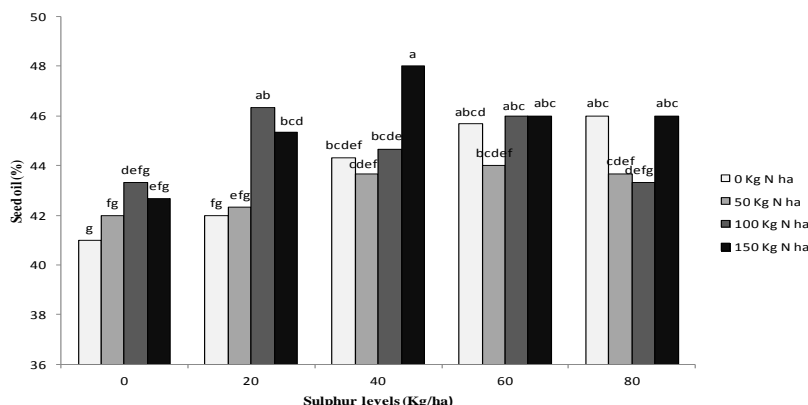
۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کمترین عملکرد روغن نیز از عدم کاربرد نیتروژن به ترتیب با ۱۸۸۵ و ۷۵۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. در حضور مقدار مناسب نیتروژن در خاک، آنزیم‌های فتوسنتزی در تثبیت کربن فتوسنتزی نقش فعالی داشته و مقدار زیادی کربوهیدرات در گیاه ذخیره می‌شود که می‌تواند بخشی از آن به چربی (لیپید) تبدیل شود و در زمان پر شدن دانه‌ها بخش عمده چربی ذخیره‌شده در گیاه به دانه‌ها منتقل شود. به نظر می‌رسد کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن منجر به تولید دانه‌های توپر با شمار یاخته‌ها و گویچه‌های چربی بیشتری در یاخته‌های پارانشیمی ذخیره‌ای بذر شده و در پی آن مقدار عملکرد روغن نیز افزایش یافته است. همچنین، تأثیر کود گوگرد بر درصد و عملکرد روغن بذرهای کرچک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳)، به طوری که بیشترین درصد و عملکرد روغن بذرهای از تیمارهای کودی ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به دست آمد که بین آن‌ها اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده نشد (جدول ۴).

### میزان و عملکرد روغن بذر

تأثیر تیمارهای کودی نیتروژن روی درصد روغن در بذرهای کرچک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳)، به طوری که بیشترین درصد روغن دانه کرچک مربوط به تیمارهای کودی ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود (جدول ۴). نتایج آزمایش‌های Valadabadi *et al.* (2010) روی گیاه کرچک نیز نشان داد، با کاربرد ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بیشترین درصد روغن بذر (۵۰/۱ درصد) و در صورت عدم کاربرد آن کمترین درصد روغن بذر (۴۷/۶ درصد) به دست می‌آید. تأثیر تیمارهای کودی نیتروژن روی عملکرد روغن در بذرهای کرچک نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳)، به طوری که با افزایش سطح کودی نیتروژن به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، اختلاف معنی‌داری بین آن و تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۴). Shojaei *et al.* (2011) در نتایج بررسی‌های خود نشان دادند، کاربرد کود نیتروژن موجب افزایش عملکرد روغن بذر کرچک می‌شود، به طوری که بیشترین عملکرد روغن از کاربرد

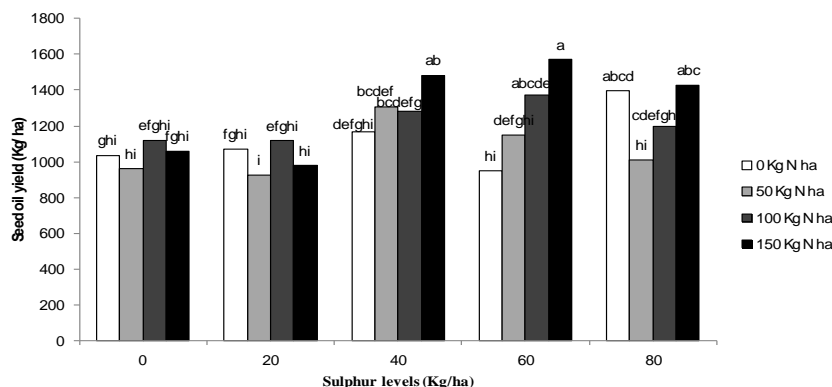
همراه ۶۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار منجر به بیشترین عملکرد روغن بذره‌های کرچک (۱۵۷۰/۵۳) کیلوگرم در هکتار) می‌شود. ولی بین این تیمار و تیمارهای کاربردی ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار اختلاف چندانی مشاهده نشد (شکل ۵). همان‌طور که پیشتر نیز بدان اشاره شد، فراهمی مقدار کافی نیتروژن در زمان پر شدن دانه‌ها می‌تواند منجر به افزایش طول دوره پر شدن دانه‌ها شده و موجب تولید دانه‌های بزرگ و حجیم‌تر شود. از سوی دیگر، نقش مهم گوگرد در گیاهان شرکت در تشکیل چربی‌هاست که در غشاء یاخته نیز وجود داشته و در واقع چربی‌ها بخش عمده روغن بذر گیاهانی نظیر کرچک را تشکیل می‌دهند. از این‌رو، در کاربرد توأم کودهای نیتروژن و گوگرد با افزایش سطوح کودی آن‌ها، درصد و عملکرد روغن بذرها افزایش نشان داده است.

Jan *et al.* (2010) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کردند، بیشترین درصد روغن در دانه‌های کلزا با کاربرد ۴۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به دست می‌آید و افزایش میزان آن به ۶۰ کیلوگرم در هکتار، تأثیر معنی‌داری روی افزایش درصد روغن در دانه‌ها نداشت. Asghar Malik *et al.* (2004) دلیل افزایش درصد روغن بذر کلزا را در رابطه با تأثیر کاربرد کود گوگرد دانسته‌اند. نتایج بررسی‌های Mousavi *et al.* (2015) نیز نشان داد، کاربرد گوگرد در کرچک باعث افزایش عملکرد روغن بذر می‌شود. در بررسی اثر متقابل کاربرد کود نیتروژن با گوگرد روی درصد روغن بذره‌های کرچک نیز مشخص شد که بیشترین درصد روغن (۴۸ درصد) از کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن با ۴۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به دست می‌آید (شکل ۴). در بررسی اثر متقابل تیمارهای کودی نیتروژن و گوگرد روی عملکرد روغن بذره‌های کرچک نیز مشخص شد، تیمار کودی ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن به



شکل ۴. اثر متقابل سطوح کودی نیتروژن و گوگرد روی درصد روغن دانه کرچک. میانگین‌های با حرف‌های مشترک در هر ستون بر پایه آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد ندارند.

Figure 4. Interaction effects between various levels of nitrogen and sulphur on castor bean (*Ricinus communis* L.) seed oil percentage. Means within each column followed by same letter are not significantly different at 0.01 probability level according to LSD.



شکل ۵. اثر متقابل سطوح کودی نیتروژن و گوگرد روی عملکرد روغن دانه کرچک. میانگین‌های با حرف‌های مشترک در هر ستون بر پایه آزمون

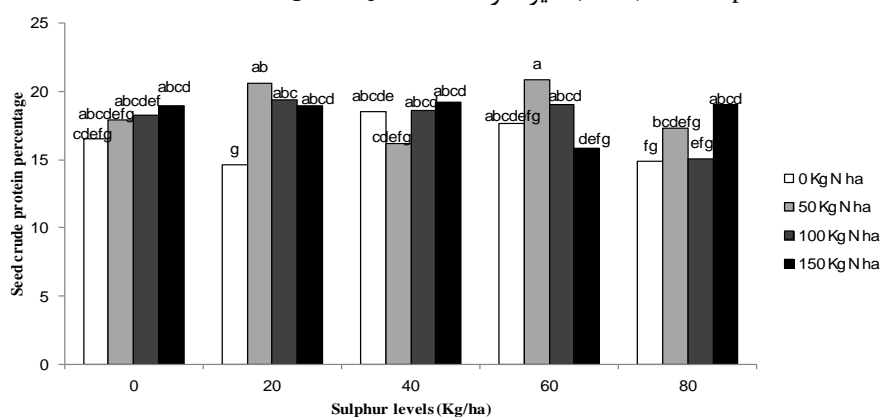
LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد ندارند.

Figure 5. Interaction effects between various levels of nitrogen and sulphur on castor bean (*Ricinus communis* L.) seed oil yield. Means within each column followed by same letter are not significantly different at 0.01 probability level according to LSD.

بررسی تأثیر سطوح مختلف کودی نیتروژن بر درصد پروتئین بذرهای کرچک، بیشترین و کمترین مقادیر آن را به ترتیب از کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار و تیمار شاهد به دست آوردند. در این ارتباط، Ghasemi & Moussavi Nik (2014) نیز در نتایج بررسی‌های خود گزارش کردند، بیشترین مقدار پروتئین بذرهای کرچک (با میانگین ۳۵ درصد) با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار به دست می‌آید. با افزودن مقدار کافی نیتروژن به خاک، میزان مورد نیاز توسط گیاه جذب‌شده و صرف رشد رویشی آن می‌شود. با دسترس قرار گرفتن نیتروژن در مراحل انتهایی رشد و نمو، بخشی از آن صرف رشد رویشی و بخشی دیگر نیز صرف پر شدن دانه‌ها و مازاد آن به شکل پروتئین در بذرها تجمع می‌یابد (Mengel *et al.*, 2001). از این‌رو، در کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن، میزان پروتئین در بذر افزایش نشان داده است. در بررسی اثر متقابل تیمارهای کودی نیتروژن و گوگرد روی درصد پروتئین خام بذرهای کرچک مشخص شد، تیمار کودی ۵۰ کیلوگرم نیتروژن به همراه ۶۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار منجر به بیشترین درصد پروتئین خام بذر کرچک (۲۰/۸۵ درصد) می‌شود (شکل ۶).

### میزان پروتئین خام بذر

تأثیر کود نیتروژن و اثر متقابل سطوح مختلف کودی نیتروژن و گوگرد روی درصد پروتئین خام بذر در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود، درحالی‌که تأثیر کود گوگرد روی این صفت اندازه‌گیری‌شده معنی‌دار نبود (جدول ۳). عنصر گوگرد در تشکیل اسیدهای آمینه و پروتئین‌ها به‌کار رفته و جزء ساختاری دو اسیدآمینه‌ای است که در ساختار پروتئین‌ها شرکت می‌کنند. گوگرد نقشی اساسی را در ساخت پروتئین‌ها ایفا کرده و حضور این عنصر در گیاه می‌تواند موجب افزایش پروتئین بذر شود (Marschner, 2007). با این وجود، به نظر می‌رسد کاربرد گوگرد در گیاه کرچک به دلیل تأثیر آن در افزایش روغن بذرها، تأثیر چندانی روی افزایش میزان پروتئین در بذرهای کرچک نداشته است. نتایج این تحقیق نشان داد، با کاربرد ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و یا سطوح بالاتر این کود بیشترین درصد پروتئین خام بذر به دست می‌آید (جدول ۴). Fallah & Tadayyon (2009) در بررسی تأثیر مقادیر مختلف کودی نیتروژن روی ذرت بیان کردند، با کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار، بیشترین درصد پروتئین خام بذر به دست می‌آید. Ehsanipour *et al.* (2012) نیز در



شکل ۶. اثر متقابل سطوح مختلف کودی نیتروژن و گوگرد روی درصد پروتئین خام دانه کرچک. میانگین‌های با حرف‌های مشترک در هر ستون بر پایه آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 6. Interaction effects between various levels of nitrogen and sulphur on castor bean (*Ricinus communis* L.) seed crude protein percentage. Means within each column followed by same letter are not significantly different at 0.05 probability level according to LSD.

همراه با کاربرد سطوح بالاتر کود گوگرد منجر به

به نظر می‌رسد کاربرد سطوح بالاتر کود نیتروژن

رویشی و بهبود فرآیند فتوسنتزی در طول دوره رشد و نمو، افزودن کودهای نیتروژن و گوگرد تأثیر قابل ملاحظه‌ای روی عملکرد زیست‌توده در بوته‌های کرچک دارد. کرچک به‌عنوان گیاهی رشد نامحدود نیاز غذایی بیشتری برای رسیدن به بیشترین میزان عملکرد نسبت به دیگر گیاهان دارد. بر همین اساس، حضور عناصر غذایی پرمصرفی نظیر نیتروژن و گوگرد در محیط پیرامون ریشه در تمامی مراحل رشد و نمو آن به‌ویژه در مرحله پر شدن دانه ضروری بوده و می‌تواند موجب افزایش عملکرد دانه و کمیت روغن دانه‌ها شود. بنابر نتایج این تحقیق، در کاربرد توأم عناصر نیتروژن و گوگرد و به دلیل برهمکنش مناسب این عناصر، برای رسیدن به میزان بیشینه صفات ارزشمند و اقتصادی در زراعت این محصول، بهتر است همراه با ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، کود گوگردی به میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار مصرف شود تا کارایی قابل ملاحظه‌ای داشته باشد.

#### سیاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری گروه زراعت و اصلاح نباتات و مسئولان محترم ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان که در اجرای این تحقیق و ارائه هرچه بهتر کیفیت مقاله کمال همکاری را داشتند، صمیمانه قدردانی می‌شود.

کاهش چشمگیر در تجمع پروتئین خام در بذرهاي کرچک می‌شود. گوگرد در بیوسنتز روغن نقش مؤثرتری نسبت به بیوسنتز پروتئین دارد و بین روغن و پروتئین دانه رابطه منفی وجود دارد. به دلیل تأثیر سوء برهمکنش سطوح کودی نیتروژن و گوگرد روی پروتئین خام دانه و با نظر به تأثیر نه‌چندان زیاد گوگرد روی آن، در صورتی که هدف از زراعت این محصول رسیدن به میزان بیشینه پروتئین دانه باشد، بهتر است از کاربرد سطوح بالاتر کود گوگرد خودداری شود. البته، هدف از تولید کرچک، عملکرد دانه و روغن دانه آن بوده و پروتئین دانه در درجه دوم اهمیت بوده است.

#### نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق، کرچک گیاهی واکنش‌پذیر نسبت به کاربرد سطوح بالاتر کود نیتروژن بوده و کاربرد آن در کشت کرچک به عنوان گیاهی دانه روغنی می‌تواند موجب افزایش معنی‌دار عملکرد زیست‌توده و عملکرد اقتصادی آن شود. همچنین، کاربرد گوگرد به میزان ۴۰ کیلوگرم در هکتار تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و روغن کرچک داشت و کاربرد مقادیر بیشتر این کود تأثیری روی افزایش صفات اندازه‌گیری‌شده در کرچک (به غیر از عملکرد زیست‌توده) نداشت. به دلیل افزایش رشد

#### REFERENCES

1. Akter, F., Islam, Md. N., Shamsuddoha, A. T. M., Bhuiyan, M. S. I. & Shilpi, S. (2013). Effect of phosphorus and sulphur on growth and yield of soybean (*Glycine max* L.). *International Journal of Bio-resource and stress Management*, 4(4), 555-560.
2. Asghar Malik, M., Aziz, I., Khan, H. Z. & Ashfaq Wahid, M. (2004). Growth, seed yield and oil content response of canola (*Brassica napus* L.) to varying levels of sulphur. *International Journal of Agriculture and Biology*, 6, 1153-1155.
3. Babuchowski, K. (1971). The processing value of rapeseed, cooking oil and oil-cake meal as affected by sulphur nutrition. *Zeszyty Naukowe Wyzszej Rolniczej Wolsztynie Siria*, 3, 51-56.
4. Boswell, F. C., Meisinger, J. J. & Case, W. L. (1985). Production, marketing and use of nitrogen fertilizers. In: O.P. Engelstad (Ed), *Fertilizer Technology and Use*. Third Edition. (pp. 229-292.) Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin USA.
5. Das, K. N. & Das, K. (1994). Effect of sulphur and nitrogen fertilization on yield and N uptake by rapeseed. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 42, 476-478.
6. van Delden, A. (2001). Yield and growth components of potato and wheat under organic nitrogen management. *Agronomy Journal*, 93(6), 1370-1385.
7. Doan, L. G. (2004). Ricin: mechanism of toxicity, clinical manifestations, and vaccine development: A Review. *Journal of Toxicology: Clinical Toxicology*, 42, 201-208.
8. Ehsanipour, A., Zeinali, H. & Razmjoo, K. (2012). Effect of nitrogen levels on qualitative traits and seed yield of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) populations. *Journal of Medicinal Plants*, 2(42), 37-

47. (In Farsi)
9. El-Sayed, K. A., Ross, S. A., El-Sohly, M. A., Khalafalla, M. M., Abdel-Halim, O. B. & Ikegami, F. (2000). Effects of different levels of fertilizers on the amino acid, fatty acid and essential oil composition of *Nigella sativa* L. seeds. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 8, 175-182.
  10. Fairbairn, J. W. (1959). *The Pharmacology of Plant Phenolics*. Academic Press, New York.
  11. Fallah, S. & Tadayyon, A. (2009). Effects of plant density and nitrogen rates on yield, nitrate and protein of silage maize. *Electronic Journal of Crop Production*, 2(1), 105-121. (In Farsi)
  12. Fathi, G. (1996). New reviewing on nutrient use efficiency (with emphasis on the element of nitrogen). In: Proceedings of 4<sup>th</sup> Iranian Congress on Agronomy and Plant Breeding, 25-28 Aug., Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, pp. 266-285. (In Farsi)
  13. Foroghi, L. & Ebadi, A. (2012). Effect of nitrogen and sulphur fertilizer application on yield, yield components, and some physiological traits of spring safflower. *Electronic Journal of Crop Production*, 5(2), 37-56. (In Farsi)
  14. Gan, Y., Malhi, S. S., Brandt, S., Katepa-Mupondwa, F. & Stevenson, C. (2008). Nitrogen use efficiency and nitrogen uptake of *juncea* canola under diverse environments. *Agronomy Journal*, 100(2), 285-295.
  15. Gardner, F., Pearce R. B. & Mitchell, R. L. (2010). *Physiology of Crop Plants*. Scientific Publishers, New Delhi, India.
  16. Ghasemi, S. & Moussavi Nik, M. (2014). Effect of plant growth promoting rhizobacteria, nitroxin and sulphur on quantity and quality of castor bean (*Ricinus communis* L.) in Sistan region. *Journal of Agroecology*, 6(2), 275-289. (In Farsi)
  17. Goodroad, L. L. & Jellum, M. D. (1988). Effect of N fertilizer rate and soil pH on N efficiency in corn. *Plant and Soil*, 106, 85-89.
  18. Hashemi Dezfooli, A., Koocheki, A. & Banayan Avval. (1998). *Crop Plant Improvement*. Jihad-e-Daneshgahi of Mashhad Press, Mashhad-Iran. (In Farsi)
  19. Jabbari, B., Mousavi Nik, M. & Yadollahi Dehcheshme, P. (2015). Effect of chemical fertilizers and plant density on yield, yield components and oil percentage of castor bean (*Ricinus communis* L.) in Sistan region. *Journal of Crop Production Research*, 6(4), 274-290. (In Farsi)
  20. Jan, A., Ahmad, G., Arif, M., Jan, M. T. & Marwat, K. B. (2010). Quality parameters of canola as affected by nitrogen and sulfur fertilization. *Journal of Plant Nutrition*, 33, 381-390.
  21. Joudi, F., Tobeh, A., Ebadi, A., Mostafae, H. & Jamaati-e-Somarin, Sh. (2011). Nitrogen effects on yield, yield components, agronomical and recovery nitrogen use efficiency in lentil genotypes. *Electronic Journal of Crop Production*, 4(4): 39-50. (In Farsi)
  22. Kopriva, S., Calderwood, A., Weckopp, S. C. & Koprivova, A. (2015). Plant sulfur and big data. *Plant Science*, 241, 1-10.
  23. Kumar Singh, R. & Kumar Singh, A. (2013). Effect of nitrogen, phosphorus and sulphur fertilization on productivity, nutrient-use efficiency and economics of safflower (*Carthamus tinctorius*) under late-sown condition. *Indian Journal of Agronomy*, 58(4), 583-587.
  24. Laureti, D. & Marras, G. (1995). Irrigation of castor (*Ricinus communis* L.) in Italy. *European Journal of Agronomy*, 4, 229-235.
  25. Linser, H., Kuhn, H. & Schlogl, G. (1964). A field technique for distinguishing between sulphur and nitrogen deficiency. V. Simposio Internazionale di Agrochimica su Lozolfo in agricoltura, Palermo, p. 90-103.
  26. Marschner, H. (2007). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2<sup>nd</sup> Edition, Academic Press, 889 p.
  27. Mengel, K., Kirkby, E. A., Kosegarten H. & Appel T. (2001). *Principles of Plant Nutrition*. 5<sup>th</sup> edition. Springer Science+Business Media Dordrecht, Netherlands.
  28. Mojiri, A. & Arzani, A. (2003). Effect of nitrogen rate and plant density on yield components of sunflower. *Journal of Water and Soil Science*, 7(2), 115-125. (In Farsi)
  29. Mousavi, M., Sadeghi Bakhtavari, A. R., Pasban Eslam, B., Sameh Andabjadid, S., Kardan, J. & Mohammadi H. (2015). Effects of foliar applications of sulphur, nitrogen and phosphorus on castor bean (*Ricinus communis* L.) seed yield and its components under water deficit conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, 9(2), 323-336. (In Farsi)
  30. Nagaraj, G. (1995). *Quality and Utility of Oilseeds*. Directorate of Oilseeds Research, Indian Council of Agricultural Research, Rajendranagar, Hyderabad.
  31. Nakagawa, J., Neptune, A. M. L. & Jaehn, A. (1974). Isolated and combined effects of nitrogen, phosphorus and potassium in castor beans (*Ricinus communis* L.) varieties "IAC-38" and "Campinas". *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, 31, 233-241.
  32. NeSmith, D. S. (1991). *Growth responses of corn (Zea mays L.) to intermittent soil water deficits*. Ph.D Thesis, Michigan State University, USA.

33. Nutall, W. F., Boswell, C. C., Sinclair, A. G., Moulin, A. P., Townley-Smith, L. J. & Galloway, G. L. (1993). The effect of time application and placement of sulphur fertilizer sources on yield of wheat, canola and barley. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 24, 2193-2202.
34. Piri, I., Mosavi Nik, M., Tavassoli, A., Rastegaripoor, F. & Babaeian, M. (2011). Effect of irrigation frequency and application levels of sulphur fertilizer on water use efficiency and yield of Indian mustard (*Brassica juncea*). *African Journal of Biotechnology*, 10, 11459-11467.
35. Rabiee, M. & Tousi Kehal, P. (2011). Effects of nitrogen and potassium fertilizer levels on nitrogen use efficiency and yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) as a second crop after rice in Guilan region. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 42, 605-615. (In Farsi)
36. Rahman, M. N., Sayem, S. M., Alam, M. K., Islam, M. S. & Mondol, A. T. M. A. I. (2007). Influence of sulphur on nutrient content and uptake by rice and its balance in old Brahmaputra floodplain soil. *Journal of Soil Nature*, 1, 5-10.
37. Rathke, G. W., Christen, O. & Diepenbrock, W. (2005). Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. *Field Crops Research*, 94, 103-113.
38. Rendig, V. V., Oputa, C. & McComb, E. A. (1976). Effects of sulphur deficiency on non-protein nitrogen, soluble sugars and N/S ratios in young corn (*Zea mays* L.) plants. *Plant and Soil*, 44, 423-437.
39. Sedghi, M., Nemati, A., Seyed Sharifi, R. & Gholam Hosseini, M. (2016). The effect of different levels of nitrogen fertilizer on yield and fertilizer use efficiency of grain corn for different planting dates in Ardabil climate condition. *Electronic Journal of Crop Production*, 9(3), 45-65. (In Farsi)
40. Sharma, P. N., Chatterjee, C., Agarwala, S. C., Sharma, C. P. (1990). Zinc deficiency and pollen fertility in maize (*Zea mays* L.). *Plant and Soil*, 124, 221-225.
41. Shojaei, M., Daneshian, J., Mobser, H. R. & Nassiri, M. (2011). Affects different levels of nitrogen and plant density in canola (*Brassica napus* L.) yield in paddy field. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 6(4), 37-47. (In Farsi)
42. Sirvi, A. R., Kumar, D., Singh, N., Prasad, D. & Anand, A. (2016). Relative efficiency of sulphur sources at varying rate in aerobic rice (*Oryza sativa*)-wheat (*Triticum aestivum*) cropping system. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 86(11), 1399-1405.
43. Tabatabaei, J. (2014). *Principles of Mineral Nutrition of Plants*. Tabriz University Press. (In Farsi)
44. Valadabadi, A., Yousefi, F. & Shirani Rad, A. H. (2010). Effect of water holding and different nitrogen levels on some of agronomic characteristics of castor bean (*Ricinus communis* L.). *Agronomy and Plant Breeding Journal*, 6(1), 99-110. (In Farsi)
45. Wagner, H. & Michael G. (1974). The influence of varied nitrogen supply on the production of cytokinins in the roots of sunflower plants. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen*, 162, 147-158.
46. Weiss, E. A. (1999). *Oilseed Crops*. 2<sup>nd</sup> edition. Wiley-Blackwell.
47. Zarrinkafsh, M. (1992). *Soil Fertility and Production*. Tehran University Press, Tehran, Iran. (In Farsi)
48. Zebarth, B. J. & Sheard, R. W. (1992). Influence of rate and timing of nitrogen fertilization on yield and quality of hard red winter wheat in Ontario. *Canadian Journal of Plant Science*, 72, 13-19.
49. Zhou, G., Ma, B. L., Li, J., Feng, C., Lu, J. & Qin, P. (2010). Determining salinity threshold level for castor bean emergence and stand establishment. *Crop Science*, 50, 2030-2036.
50. Zhao, G. Q., Ma, B. L. & Ren, C. Z. (2009). Response of nitrogen uptake and partitioning to critical nitrogen supply in oat cultivars. *Crop Science*, 49(3), 1040-1048.