تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰
۳۵۹-۳۷۳
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2786.1724

مقاله پژوهشی

بررسی واکنش صفات عملکردی و محتوی روغن ارقام کنجد (*Sesamum indicum* L.) به کاربرد نانو کود منیزیم و پلیمر زیستی کیتوزان در شرایط تنش کم‌آبی

جابر خردادی ورامین[1]، فرزاد فنودی[2*]، جعفر مسعود سینکی[2]، شهرام رضوان[2]، علی دماوندی[2]

۱. دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دامغان، دامغان، ایران
۲. استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دامغان، دامغان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۸/۲۱

چکیده

به‌منظور ارزیابی اثرات تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی نانو کود منیزیم و کیتوزان بر صفات رشدی، عملکردی و محتوی روغن دو رقم کنجد، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی در جنوب شهرستان ورامین در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام گرفت. قطع آبیاری بر اساس مقیاس BBCH به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح شامل: آبیاری نرمال، قطع آبیاری در مرحله BBCH ۶۵ (گلدهی) و قطع آبیاری در مرحله BBCH ۷۵ (رسیدگی کپسول) و عوامل فرعی شامل ترکیبی از سه عامل: دو رقم کنجد اولتان و دشتستان-۲، محلول‌پاشی نانو منیزیم در دو سطح شامل: عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی (۲ g/L) در مرحله BBCH ۶۵ و محلول‌پاشی کیتوزان در سه سطح شامل: عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی ۴/۸ g/L در مرحله BBCH ۶۵ و ۶/۴ g/L در مرحله BBCH ۷۵ بودند. نتایج نشان داد آبیاری تا BBCH۶۵ باعث کاهش ۲۸/۰۸، ۲۰/۸، ۵۳/۰۵، ۵۴/۰۴ و ۲۳/۱۰ درصدی به ترتیب در میانگین صفات تعداد کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، شاخص سطح برگ و درصد روغن در مقایسه با تیمار آبیاری نرمال (به‌عنوان شاهد) شد. کاربرد ۲ گرم در لیتر نانو کود منیزیوم و ۴/۸ و ۶/۴ گرم در لیتر کیتوزان به‌ترتیب منجر به افزایش ۳، ۵/۶۶ و ۴/۳۹ درصدی شاخص سطح برگ در مقایسه با تیمار شاهد شد. بیشترین عملکرد دانه در کاربرد نانو کود منیزیم تحت شرایط آبیاری نرمال در رقم دشتستان-۲ با میانگین ۱۱۸۸ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که در مقایسه با تیمار شاهد افزایش ۱۶/۳ درصدی داشت. بیشترین درصد روغن در کاربرد نانو کود منیزیم تحت شرایط آبیاری نرمال در رقم دشتستان-۲ با میانگین ۵۰/۳۸ درصد مشاهده شد که در مقایسه با تیمار شاهد افزایش ۳/۵ درصدی داشت. به‌طورکلی محلول‌پاشی نانو کود منیزیم و کیتوزان (۴/۸ گرم در لیتر) در شرایط بروز تنش آبی در مراحل انتهایی رشد در تعدیل اثرات منفی ناشی از تنش نقش مثبتی داشت.

واژه‌های کلیدی: **تنش خشکی، شاخص سطح برگ، کشاورزی پایدار، محلول‌پاشی، مقیاس BBCH**

مقدمه

کنجد (*Sesamum indicum* L.) گیاهی یک‌ساله، دولپه‌ای، متعلق به خانواده پدالیاسه (Pedaliaceae) بوده و از قدیمی‌ترین گیاهان دانه روغنی و سازگار به نواحی گرم و نیمه‌گرم است و به‌عنوان ملکه گیاهان دانه روغنی شناخته می‌شود (Roul et al., 2017). دانه این گیاه حاوی ۴۴ تا ۵۸ درصد روغن، ۱۸ تا ۲۵ درصد پروتئین و حدود ۱۳/۵ درصد کربوهیدرات است (Borchani et al., 2010). البته شرایط محیطی مانند تنش کم‌آبی می‌تواند بر محتوای روغن بذر تأثیرگذار باشد (Kadkhodaei et al., 2014). حفظ محیط‌زیست و تولید محصولات سالم از وظایف کشاورزی پایدار است.

تنش کم‌آبی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تهدیدهای جهانی برای تولید مواد غذایی شناخته شده است (Kumar, 2014). از دیدگاه زراعی، خشکی دوره‌ای همراه با کاهش رطوبت

* نگارنده پاسخگو: فرزاد فنودی. پست الکترونیک: Farzadfanoodi@yahoo.com

خاک و عملکرد محصول است (Ashok Mishra and Vijay Sing, 2010). این عامل تنش‌زای غیرزنده می‌تواند در هر مرحله‌ای از رشد و نمو گیاه تأثیرگذار باشد، درحالی‌که اوایل مرحله زایشی یکی از حساس‌ترین مراحل گیاهان زراعی به تنش خشکی یا کم‌آبی است (Jorgensna et al., 2011). کمبود آب منجر به کاهش گسترش سلولی و تغییرات در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی می‌شود که بر رشد، تولید و عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارد (Farahbakhsh and Pasandipour, 2018). کمبود آب در مراحل مختلف رشد گلرنگ مثل مرحله گلدهی و رسیدگی کامل اثر منفی روی صفات گیاه مانند درصد روغن گذاشته و باعث کاهش آن می‌شود (Nabipour et al., 2007). کاهش وزن هزار دانه، تعداد کپسول، عملکرد دانه و شاخص برداشت در شرایط قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد زایشی در گیاهان دانه روغنی توسط محققین گزارش گردید (Shahattary and Mansourifar, 2017; Papastylianou et al., 2017). گونز و همکاران (Gunes et al., 2006) ثابت کرده‌اند کاهش آب در بستر کشت گیاهان، تأثیر مستقیمی بر کاهش سطح برگ‌ها دارد. کاهش سرعت فتوسنتز خالص تحت شرایط تنش آبی، موجب صدمه زدن به فرآیندهای بیوشیمیایی و عوامل غیر روزنه‌ای گیاه می‌شود، ازجمله باعث ایجاد تغییر در ساختمان پروتئین می‌گردد.

اعمال تنش کم‌آبی توسط محققین به روش‌های مختلف انجام می‌شود که قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد و استفاده از مقیاس BBCH یکی از آن‌ها است، BBCH روشی است که در آن مراحل رشد یک گیاه بررسی گردیده و گیاه از زمان رشد و جوانه زدن تا زمان برداشت به‌طور دقیق موردمطالعه قرار می‌گیرد (Michel et al., 2007). استفاده از کدهای اعشاری دوتایی امکان بررسی مراحل رشد و مراحل فرعی مرتبط با آنان را برای محققین فراهم می‌نماید.

استفاده از نانو کودها به‌منظور کنترل دقیق آزادسازی عناصر غذایی می‌تواند گامی مؤثر در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار و سازگار با محیط‌زیست باشد. منیزیم نقش مهمی در حفظ انرژی و سنتز پروتئین دارد و به‌عنوان یک کوفاکتور برای بسیاری از آنزیم‌ها، پایداری ساختار و تجمع قندها عمل می‌کند (Blasco et al., 2015). کمبود منیزیم باعث صدمه به گیاه شده و به نظر می‌رسد در شرایط تنش خشکی، فراهم بودن منیزیم کافی برای رسیدن به عملکرد مطلوب مؤثر باشد (Senbayram et al., 2015). عموماً اولین واکنش گیاهان به کمبود منیزیم تأثیر بر میزان کلروفیل و سنتز پروتئین است (Cakmak and Yazici, 2010). در همین خصوص در آزمایشی مشخص شد که کمبود منیزیم باعث کاهش میزان پروتئین در گیاه آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana* L.) می‌شود (Hermans and Verbruggen, 2005). میرزاپور و همکاران (Mirzapour et al., 2003) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که منیزیم در افزایش درصد روغن دانه نقش مهمی دارد. علاوه بر این محققین در تحقیقات جداگانه نشان دادند که وزن هزار دانه، عملکرد دانه، شاخص سطح برگ و شاخص برداشت با مصرف منیزیم در گیاهانی همچون گلرنگ و ماریتیغال افزایش یافت (Vafaie et al., 2015; Khadtare et al., 2017).

کیتوزان‌ها در شرایط صنعتی از استیل‌زدایی جزئی کتین حاصل از پوسته خارجی سخت‌پوستانی نظیر میگو و خرچنگ دریایی در محیط قلیایی تولید می‌شوند و خواص آن‌ها به شرایط فرآوری آن‌ها وابسته است. برای این گروه از مواد ویژگی‌های ضدقارچی، ضدباکتریایی، ضدویروسی، اصلاح و تقویت خاک، بهبود رشد و عملکرد، افزایش مقدار متابولیت‌های ثانویه و فعال‌سازی مکانیسم‌های دفاعی در گیاهان گزارش شده است (Taheri, 2016). کیتوزان به دلیل افزایش هدایت روزنه‌ای و کاهش مقدار تعرق باعث افزایش مقدار فتوسنتز شده و می‌تواند بر ارتفاع گیاهان، ریشه‌ها و مقدار زیست‌توده گیاهی تأثیر گذارد (Boonlertinirun et al., 2008; Emami Bistgani et al., 2017). شایان‌ذکر است که پیش‌ازاین، کاربرد این ماده آلی منجر به افزایش درصد روغن (Amiri et al., 2014) گردیده است. همچنین در پژوهشی محلول‌پاشی ppm50 کیتوزان در گیاه ماش (Vigna radiate L.) باعث افزایش معنی‌دار سطح برگ، شاخص برداشت، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گردید (Mondal et al., 2013). محققین توضیح دادند که محلول‌پاشی کیتوزان میزان پروتئین را در گیاه کنگرفرنگی نسبت به شاهد به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش داد (Saif Eldeen et al., 2014). بدین ترتیب، با توجه به این‌که خشکی و کم‌آبی در ایران همواره از مهم‌ترین مسائل و مشکلات کشاورزی است و با توجه به اهمیت عنصر منیزیم در فتوسنتز گیاه و همچنین استفاده از پلیمرهای مختلفی همچون کیتوزان در جهت کاهش خسارات ناشی از تنش، پژوهش حاضر در

راستای ارزیابی تأثیر مصرف کیتوزان و منیزیم به‌صورت نانو در شرایط تنش آبی بر برخی صفات کنجد جهت توسعه کشاورزی پایدار در منطقه ورامین اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

برای مطالعه اثرات قطع آبیاری و محلول‌پاشی نانو منیزیم و کیتوزان بر صفات عملکردی، درصد روغن و پروتئین ارقام کنجد، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی در جنوب شهرستان ورامین و حاشیه دشت کویر در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. این محل در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۷۳ دقیقه قرار دارد و ارتفاع از سطح دریا ۸۲۲ متر است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن، آب‌وهوای منطقه BWK (اقلیم بیابانی که در آن دمای سالانه کمتر از ۱۸ درجه سانتی‌گراد است) در نظر گرفته شده است. همچنین طبق نتایج آزمون خاک، مزرعه دارای بافت لومی و pH آن برابر ۷/۶۸ بوده است.

تیمارهای کم‌آبی شامل قطع آبیاری بر اساس مقیاس BBCH در سه سطح شامل: آبیاری نرمال (I_1)، قطع آبیاری در مرحله BBCH ۶۵ (مرحله گلدهی) (I_2) و قطع آبیاری در مرحله BBCH ۷۵ (رسیدگی کپسول‌ها) (I_3) به‌عنوان عامل اصلی بود. همچنین رقم‌های کنجد در دو سطح شامل: اولتان و دشتستان-۲، محلول‌پاشی نانو کود منیزیم در دو سطح شامل: عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی نانو منیزیم (۲ g/L) در مرحله BBCH ۶۵ (مرحله‌ای که ۵۰ درصد گل-ها باز شده‌اند) و محلول‌پاشی کیتوزان در سه سطح شامل: عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی (۴/۸ g/L) در مرحله BBCH ۵۶۵ (مرحله‌ای که ۵۰ درصد گل‌ها باز شده‌اند) و محلول-پاشی (۶/۴ g/L) در مرحله BBCH ۷۵ (مرحله‌رسیدگی کپسول) به‌عنوان عوامل فرعی بودند. آبیاری کرت‌ها به‌صورت جوی و پشته‌ای و تعیین زمان آبیاری با استفاده از تشتک تبخیر کلاس A (در ۷۰ میلی‌متر تبخیر و تعرق گیاه) صورت گرفت. از نانو کود کلات منیزیم ۶ درصد شرکت خضراء و کیتوزان شرکت مرک در این پژوهش استفاده شد. نمونه‌گیری برگی در مرحله قبل از رسیدگی فیزیولوژیک، به‌منظور اندازه-گیری شاخص سطح برگ با استفاده از دستگاه Leaf Area Meter (CID-202) صورت گرفت. بعد از رسیدگی فیزیولوژیک و بعد از حذف اثرات حاشیه‌ای از هر کرت تعداد ده بوته به‌تصادف انتخاب و صفات ارتفاع بوته (با استفاده از متر)، قطر ساقه (با استفاده از کولیس)، وزن خشک اندام هوایی (۴۸ ساعت ۷۲ درجه سانتی‌گراد در داخل آون با استفاده از ترازو)، طول کپسول، تعداد دانه در کپسول، تعداد کپسول در بوته، وزن هزار دانه (با استفاده از ترازویی با دقت ۰/۰۱ گرم) و اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه و بیولوژیک، بوته‌های موجود در یک مترمربع از هر کرت برداشت و بعد از خشک‌کردن در فضای آزاد، عملکرد دانه و بیوماس خشک به ازای واحد سطح محاسبه شد. درنهایت شاخص برداشت (عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک × ۱۰۰) اندازه‌گیری شد (Nadeem et al., 2015). درصد روغن دانه به روش پیشنهادی AOAC (AOAC, 1984) اندازه‌گیری و درنهایت بعد از ضرب‌در عملکرد دانه، عملکرد روغن نیز محاسبه گردید. درنهایت اطلاعات جمع‌آوری و توسط نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۶ سازمان‌دهی گردید و سپس با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ($p<0.05$) صورت گرفت. همچنین به‌منظور تعیین روابط بین صفات از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید (Mahdavi Khorami et al., 2018). تجزیه رگرسیونی گام‌به‌گام که در آن عملکرد دانه به‌عنوان صفت وابسته و سایر صفات مورفولوژی و عملکردی به‌عنوان صفات مستقل در نظر گرفته شد، با استفاده از نرم-افزار Minitab نسخه ۱۹ انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش آبی، نانو کود منیزیم، کیتوزان و رقم بر صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، وزن خشک اندام هوایی، شاخص سطح برگ، تعداد کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، درصد روغن و عملکرد روغن معنی‌دار بودند (جدول ۱).

در مقایسه میانگین اثرات اصلی، آبیاری نرمال دارای بیشترین ارتفاع بوته (۱۳۹/۰۲ سانتی‌متر) بود. قطع آبیاری در BBCH ۶۵ باعث کاهش ۲۰/۷ درصدی در مقایسه با آبیاری نرمال گردید.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس صفات‌مورفولوژی و عملکردی دو رقم‌کنجد تحت تنش‌کم‌آبی و محلول‌پاشی نانو کود منیزیم و کیتوزان

Table 1. Analysis of variance of morphology and yield traits of two sesame genotypes affected by limited water stress and foliar application of Mg-nano and chitosan fertilizers

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	شاخص سطح برگ LAI
Block (B)	بلوک	2	1.81^{ns}	2.11^{ns}	1.63^{ns}	0.02^{ns}
Limited water stress (LWS)	تنش کم‌آبی	2	7507.56^{**}	123.03^{**}	2416.51^{**}	41.35^{**}
Error 1	خطای ۱	4	83.22	0.97	5.33	0.033
Mg-Nano (Mg)	نانو منیزیم	1	720.75^{**}	29.04^{**}	311.27^{**}	0.205^{**}
Chitosan (C)	کیتوزان	2	2312.4^{**}	92.03^{**}	134.75^{**}	0.293^{**}
Variety (V)	رقم	1	173.79^{ns}	17.93^{**}	26.63^{**}	0.599^{**}
LWR × Mg	تنش کم‌آبی× نانو منیزیم	2	38.53^{ns}	3.34^{*}	40.82^{**}	0.005^{ns}
LWR × C	تنش کم‌آبی× کیتوزان	4	158.72^{ns}	0.18^{ns}	0.22^{ns}	0.001^{ns}
LWR × V	تنش کم‌آبی× رقم	2	21.12^{ns}	2.01^{ns}	4.27^{ns}	0.032^{ns}
Mg × C	نانو منیزیم × کیتوزان	2	1.58^{ns}	0.18^{ns}	0.92^{ns}	0.007^{ns}
Mg × V	نانو منیزیم ×رقم	1	10.08^{ns}	6.26^{*}	10.34^{**}	0.001^{ns}
V × C	رقم × کیتوزان	2	22.01^{ns}	0.18^{ns}	0.03^{ns}	0.006^{ns}
LWR × Mg × C	تنش کم‌آبی× نانو منیزیم× کیتوزان	4	9.99^{ns}	0.19^{ns}	1.53^{ns}	0.006^{ns}
LWR × Mg × V	تنش کم‌آبی× نانو منیزیم× رقم	2	17.86^{ns}	4.84^{*}	3.24^{ns}	0.005^{ns}
LWR × V × C	تنش کم‌آبی×رقم× کیتوزان	4	16.88^{ns}	0.13^{ns}	0.71^{ns}	0.002^{ns}
Mg × V × C	نانو منیزیم ×رقم× کیتوزان	2	11.19^{ns}	0.73^{ns}	1.65^{ns}	0.019^{ns}
LWR × Mg × V × C	تنش کم‌آبی× نانو منیزیم× کیتوزان	4	35.6^{ns}	0.27^{ns}	1.72^{ns}	0.004^{ns}
Error	خطای آزمایشی	66	88.83	1.04	1.42	0.02
C.V	ضریب تغییرات (٪)	-	*7.53*	*6.26*	*5.75*	*5.8*

Table 1. Continued

جدول ۱. ادامه

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	طول کپسول Capsule length	تعداد دانه در کپسول No. grain per capsule	تعداد کپسول No. capsule	وزن هزار دانه 1000- grain weight
Block (B)	بلوک	2	0.24^{*}	398.73^{**}	158.08^{**}	0.23^{**}
Limited water stress (LWS)	تنش کم‌آبی	2	0.79^{**}	1814.62^{**}	7856.3^{**}	4.06^{**}
Error 1	خطای ۱	4	0.06^{ns}	70.86^{ns}	23.67	0.13
Mg-Nano (Mg)	نانو منیزیم	1	0.15^{ns}	374.08^{**}	273.93^{**}	2.02^{**}
Chitosan (C)	کیتوزان	2	0.19^{*}	491.29^{**}	1739.1^{**}	1.75^{**}
Variety (V)	رقم	1	0.01^{ns}	12.68^{ns}	524.48^{**}	0.53^{**}
LWR × Mg	تنش کم‌آبی× نانو منیزیم	2	0.03^{ns}	290.86^{**}	70.26^{*}	0.02^{ns}
LWR × C	تنش کم‌آبی× کیتوزان	4	0.01^{ns}	39.95^{ns}	15.11^{ns}	0.03^{ns}
LWR × V	تنش کم‌آبی× رقم	2	0.01^{ns}	12.06^{ns}	101.15^{*}	0.02^{ns}
Mg × C	نانو منیزیم × کیتوزان	2	0.01^{ns}	32.19^{ns}	20.7^{ns}	0.03^{ns}
Mg × V	نانو منیزیم ×رقم	1	0.003^{ns}	0.23^{ns}	9.48^{ns}	0.04^{ns}
V × C	رقم × کیتوزان	2	0.001^{ns}	8.12^{ns}	5.48^{ns}	0.01^{ns}
LWR × Mg × C	تنش کم‌آبی× نانو منیزیم× کیتوزان	4	0.01^{ns}	16.22^{ns}	14.45^{ns}	0.03^{ns}
LWR × Mg × V	تنش کم‌آبی× نانو منیزیم× رقم	2	0.06^{ns}	24.56^{ns}	38.04^{ns}	0.01^{ns}
LWR × V × C	تنش کم‌آبی×رقم× کیتوزان	4	0.01^{ns}	13.59^{ns}	18.15^{ns}	0.01^{ns}
Mg × V × C	نانو منیزیم ×رقم× کیتوزان	2	0.01^{ns}	2.4^{ns}	10.04^{ns}	0.01^{ns}
LWR × Mg × V × C	تنش کم‌آبی× نانو منیزیم× کیتوزان	4	0.01^{ns}	48.06^{ns}	33.84^{ns}	0.01^{ns}
Error	خطای آزمایشی	66	0.052	43.11	26.52	0.03
C.V	ضریب تغییرات (٪)	-	*8.16*	*9.34*	*5.96*	*6.63*

Table 1. Continued **جدول ۱. ادامه**

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد روغن Oil percent	عملکرد روغن Oil yield
Block (B)	بلوک	2	129094.3**	65334.4^{ns}	65.73**	27.35**	33091.36**
Limited water stress (LWS)	تنش کم‌آبی	2	2875684.2**	96660218.5**	26.77**	1121.48**	990919.42**
Error 1	خطای ۱	4	14681.3	213098.5	2.54	13.37	2891.8
Mg-Nano (Mg)	نانو منیزیم	1	482801.4**	12450823.1**	8.97*	23.71*	119741.09**
Chitosan (C)	کیتوزان	2	776521.2**	5389815.1**	123.41**	316.93**	270560.77**
Variety (V)	رقم	1	123670.3**	1065250.7**	11.86*	58.37**	54107.75**
LWR × Mg	تنش کم‌آبی× نانو منیزیم	2	50695.7**	1632897.8**	1.88^{ns}	32.74**	17949.7**
LWR × C	تنش کم‌آبی× کیتوزان	4	26368.64**	8695.4^{ns}	1.69^{ns}	10.82*	21595.04**
LWR × V	تنش کم‌آبی× رقم	2	27722.02**	170675.8^{ns}	3.41^{ns}	59.05**	16736.54**
Mg × C	نانو منیزیم × کیتوزان	2	6682.8^{ns}	36951.1^{ns}	0.74^{ns}	10.67^{ns}	2776.38^{ns}
Mg × V	نانو منیزیم ×رقم	1	870.63^{ns}	413417.8**	0.4^{ns}	21.33*	1547.33^{ns}
V × C	رقم × کیتوزان	2	359.53^{ns}	1178.9^{ns}	0.04^{ns}	1.57^{ns}	505.48^{ns}
LWR × Mg × C	تنش کم‌آبی× نانو منیزیم× کیتوزان	4	2447.98^{ns}	61279^{ns}	1.31^{ns}	4.07^{ns}	495.56^{ns}
LWR × Mg × V	تنش کم‌آبی× نانو منیزیم× رقم	2	13051.34*	129705.8^{ns}	7.87*	2.36*	4860.91*
LWR × V × C	تنش کم‌آبی×رقم× کیتوزان	4	4060.69^{ns}	28278.5^{ns}	1.74^{ns}	7.47^{ns}	913.67^{ns}
Mg × V × C	نانو منیزیم ×رقم× کیتوزان	2	272.75^{ns}	66198^{ns}	1.44^{ns}	11.1^{ns}	557.46^{ns}
LWR × Mg × V × C	تنش کم‌آبی× نانو منیزیم× کیتوزان	4	5427.17^{ns}	68870.5^{ns}	1.03^{ns}	4.32^{ns}	567.94^{ns}
Error	خطای آزمایشی	66	4763.31	56946	2.01	4.72	1337.5
C.V	ضریب تغییرات (٪)	-	*9.64*	*5.75*	*8.26*	*5.07*	*11.41*

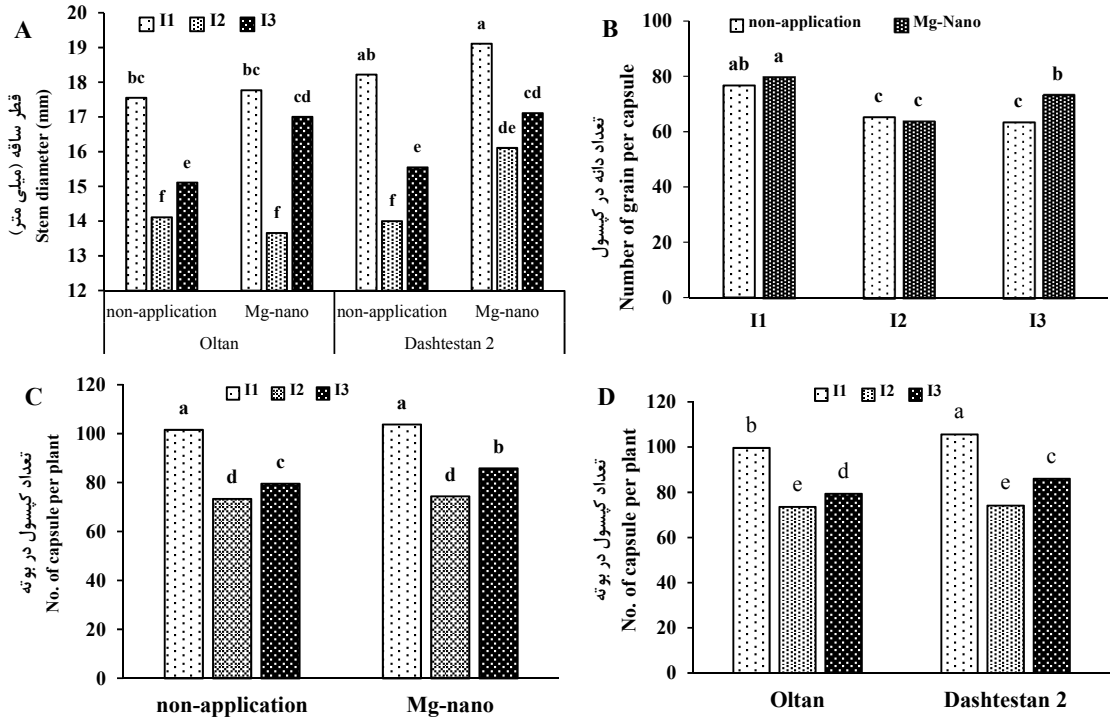
^{ns}، * و**: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

^{ns},*and **: No significant and significant at 5 and 1% levels ofprobability, respectively. LWS: Limited water stress

در مقایسه میانگین اثر نانو کود منیزیوم، کاربرد این کود باعث افزایش ۴/۰۴ درصدی میانگین ارتفاع بوته گردید. در مقایسه میانگین اثر اصلی کیتوزان، با افزایش غلظت کاربرد این ترکیب افزایش معنی‌دار میانگین این صفت گردید، به‌طوری‌که کمترین ارتفاع بوته در شرایط عدم کاربرد (۱۱۷/۲ سانتی‌متر) و بیشترین میانگین در کاربرد ۶/۴ گرم بر لیتر (۱۳۳/۳ سانتی‌متر) مشاهده شد (جدول ۲).

نتایج، حاکی از اثر معنی‌دار تنش آبی در نانو کود منیزیم در رقم بر قطر ساقه کنجد داشت (جدول ۱). بیشترین قطر ساقه در کاربرد نانو کود منیزیم تحت شرایط آبیاری نرمال در رقم دشتستان-۲ با میانگین ۱۹/۱۱ میلی‌متر بود که در مقایسه با تیمار شاهد افزایش ۴/۶۵ درصدی داشت. کمترین میانگین این صفت در تیمارهای آبیاری تا BBCH 65 تحت شرایط کاربرد و عدم کاربرد نانو کود منیزیم در رقم اولتان و در شرایط عدم کاربرد نانو کود به دست آمد (شکل A1).

بیشترین وزن خشک اندام هوایی در آبیاری نرمال با میانگین ۲۹/۵۴ گرم در بوته به دست آمد و تنش آبی شدید (آبیاری تا BBCH 65) منجر به ایجاد کمترین میانگین این صفت (۱۳/۳۵ گرم در بوته) گردید. کاربرد نانو کود منیزیوم منجر به افزایش ۱۵/۱۵ درصدی میانگین وزن خشک اندام هوایی شد. افزایش غلظت مورداستفاده از کیتوزان باعث افزایش معنی‌دار در میانگین وزن خشک اندام هوایی گردید به‌طوری‌که استفاده از ۶/۴ گرم در لیتر کیتوزان باعث افزایش ۱۷/۰۵ درصدی میانگین این صفت شد و عدم کاربرد کیتوزان کمترین میانگین این صفات را نشان داد. در بین ژنوتیپ‌های مورد آزمایش نیز، دشتستان-۲ بیشترین و اولتان کمترین میانگین این صفت را داشت (جدول ۲).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش کم‌آبی در نانو کود منیزیم در رقم بر قطر ساقه (A)، تنش کم‌آبی در نانو کود بر تعداد دانه در کپسول و تعداد کپسول در بوته (B و C) و تنش کم‌آبی در رقم بر تعداد کپسول در بوته (D) (I_1- آبیاری نرمال، I_2= آبیاری تا ۷۵BBCH، I_3- آبیاری تا ۸۵BBCH)

Fig. 1. Comparison mean interaction of limited water stress × Mg-nano fertilizer × variety on stem diameter (A), limited water stress × Mg-nano fertilizer on number of grain per capsule and number of capsule per plant (B and C), and limited water stress × variety on number of capsule per plant (D); (I1- normal irrigation, I2- irrigation up to 75 BBCH, I3- irrigation up to 85 BBCH)

نتایج نشان داد که بیشترین شاخص سطح برگ در تیمارهای آبیاری نرمال (۳/۹۶)، کاربرد نانو کود منیزیم (۲/۹۷)، محلول‌پاشی غلظت‌های ۴/۸ و ۶/۴ گرم کیتوزان در لیتر (به‌ترتیب با میانگین ۳ و ۲/۹۶) و رقم دشتستان-۲ (۳/۰) مشاهده شد. کاربرد ۲ گرم در لیتر نانو کود منیزیوم و ۴/۸ و ۶/۴ گرم در لیتر کیتوزان به‌ترتیب منجر به افزایش ۳، ۵/۶۶ و ۴/۳۹ درصدی در مقایسه با تیمار شاهد شد. کمترین میانگین این صفت در آبیاری تا BBCH ۶۵، عدم کاربرد کودهای نانو منیزیم و کیتوزان و رقم اولتان بود (جدول ۲).

آبیاری نرمال و آبیاری تا BBCH ۷۵ دارای بیشترین طول کپسول به‌ترتیب با میانگین ۲/۹۴ و ۲/۸۲ سانتی‌متر بود و کمترین طول کپسول در آبیاری تا BBCH ۶۵ با میانگین ۲/۶۵ سانتی‌متر به دست آمد. کاربرد کیتوزان با غلظت ۶/۴ گرم در لیتر دارای بیشترین میانگین این صفت با میانگین ۲/۸۹ سانتی‌متر بود و کمترین میانگین در عدم کاربرد و کاربرد ۴/۸ گرم در لیتر از این ترکیب مشاهده شد (جدول ۲).

در مقایسه میانگین اثر متقابل تنش آبی در نانو کود، آبیاری نرمال در هر دو شرایط عدم کاربرد و کاربرد نانو کود بیشترین تعداد کپسول در بوته (به‌ترتیب با میانگین ۱۰۱/۵ و ۱۰۳/۷۷ عدد در بوته) را داشت (شکل C1). در مقایسه میانگین اثر متقابل تنش آبی در رقم، آبیاری نرمال در رقم دشتستان-۲، بیشترین تعداد کپسول با میانگین ۱۰۵/۶۶ عدد در بوته را داشت (شکل D1).

آبیاری نرمال منجر به ایجاد بیشترین تعداد دانه در کپسول (۷۸/۱۶ عدد) گردید، ولی دو سطح تنش منجر به افت میانگین این صفت شد. کاربرد نانو کود منیزیم منجر به ایجاد بالاترین تعداد دانه در کپسول گردید و عدم کاربرد نانو کود کمترین میانگین را داشت. در اثر کیتوزان، بیشترین تعداد دانه در کپسول در کاربرد ۶/۴ گرم کیتوزان در لیتر با میانگین ۷۴/۴۱ عدد بود و کمترین میانگین در کاربر ۴/۸

گرم در لیتر و عدم کاربرد کیتوزان (به‌ترتیب با میانگین ۶۹/۰۵ و ۶۷/۳۳ عدد) مشاهده شد (جدول ۲). در مقایسه میانگین اثر متقابل تنش آبی در نانو کود، بیشترین میانگین این صفت در کاربرد نانو کود منیزیوم تحت شرایط آبیاری نرمال با میانگین ۷۹/۶۱ عدد بود و کمترین میانگین این صفت در تنش آبی شدید (آبیاری تا BBCH ۶۵) در هر دو سطح تیمار نانو کود مشاهده شد (شکل B1).

بیشترین وزن هزار دانه در آبیاری نرمال (۳/۱۷ گرم)، کاربرد نانو کود منیزیم (۲/۹۵ گرم)، محلول‌پاشی ۶/۴ گرم در لیتر کیتوزان (۳/۰۱ گرم) و رقم دشتستان (۲/۸۸ گرم) مشاهده شد. از طرف دیگر کمترین میانگین این صفت در تیمارهای آبیاری تا BBCH ۶۵، عدم کاربرد کودهای نانو منیزیم و کیتوزان بود (جدول ۲).

نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش آبی در رقم و تنش آبی در نانو منیزیم در رقم بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بر اساس مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه، بیشترین عملکرد دانه در کاربرد نانو کود منیزیم تحت شرایط آبیاری نرمال در رقم دشتستان-۲ با میانگین ۱۱۸۸/۲ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که در مقایسه با تیمار شاهد افزایش ۱۶/۳ درصدی داشت. کمترین میانگین این صفت در آبیاری تا BBCH ۶۵ و عدم کاربرد نانو کود در رقم اولتان با میانگین ۴۳۴/۹ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (شکل A2).

اثر تنش آبی در نانو کود و نانو کود در رقم بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بودند (جدول ۱). در مقایسه میانگین نانو کود منیزیوم در رقم، بیشترین میانگین این صفت در شرایط مصرف نانو کود منیزیوم در هر دو رقم و در شرایط عدم مصرف نانو کود در رقم دشتستان-۲ به دست آمد. کمترین میانگین در شرایط عدم مصرف نانو کود در رقم اولتان بود (شکل B2). بیشترین عملکرد بیولوژیک در کاربرد نانو کود منیزیوم تحت شرایط آبیاری نرمال (۶۳۶۴/۲ کیلوگرم در هکتار) و کمترین در تیمار عدم کاربرد نانو کود تحت شرایط تنش آبی شدید (آبیاری تا BBCH ۶۵) با میانگین ۲۵۷۶/۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (شکل D2).

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی نانو کود منیزیم و کیتوزان بر صفات وزن هزار دانه و شاخص سطح برگ دو رقم کنجد

Table 2. Mean comparison of the effect of limited water stress and foliar application of Mg-nano and chitosan fertilizers on 1000-grain weight and LAI of two sesame varieties

Treatment	تیمار	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	شاخص سطح برگ LAI
Water stress levels	**سطوح تنش آبی**		
Normal irrigation	**آبیاری نرمال**	3.17[a]	3.96[a]
Irrigation up to 65 BBCH	**آبیاری تا BBCH ۶۵**	2.51[c]	1.82[c]
Irrigation up to 75 BBCH	**آبیاری تا BBCH ۷۵**	2.75[b]	3.01[b]
Mg-nano fertilizer	**نانو کود منیزیم**		
Non-application	**عدم کاربرد**	2.67[b]	2.88[b]
Application	**کاربرد**	2.95[a]	2.97[a]
Chitosan	**کیتوزان**		
Non-application	**عدم کاربرد**	2.57[c]	2.83[b]
4.8 g/L	**۴/۸ گرم در لیتر**	2.85[b]	3.00[a]
6.4 g/L	**۶/۴ گرم در لیتر**	3.01[a]	2.96[a]
Variety	**رقم**		
Oltan	**اولتان**	2.74[b]	2.85[b]
Dashtestan 2	**دشتستان ۲**	2.88[a]	3.00[a]

میانگین‌هایی که در هر ستون حروف مشترک دارند دارای اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نیستند

Means in each column, having similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level based on Duncan test

اثر متقابل سه‌گانه تنش آبی × نانو کود × رقم بر شاخص برداشت کنجد در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین شاخص برداشت در کاربرد نانو کود منیزیم تحت شرایط آبیاری تا BBCH75 و در رقم اولتان (با میانگین ۱۸/۷۵ درصد) و کمترین آن در عدم کاربرد نانو کود تحت شرایط آبیاری تا BBCH ۸۵ در رقم اولتان (با میانگین ۱۵/۶ درصد) مشاهده شد (شکل C2).

اثر تنش خشکی، نانو کود منیزیوم، کیتوزان و رقم بر درصد و عملکرد روغن دانه معنی‌دار بودند. همچنین اثر متقابل تنش خشکی در نانو کود و تنش خشکی در رقم بر درصد روغن و تنش خشکی در نانو کود منیزیوم، تنش خشکی در کیتوزان، تنش خشکی در رقم و تنش خشکی در نانو کود در رقم بر عملکرد روغن دانه معنی‌دار بودند (جدول ۱). بیشترین درصد روغن در تیمار آبیاری نرمال در هر دو شرایط کاربرد و عدم کاربرد نانو کود مشاهده شد و کمترین میانگین در تیمار آبیاری تا BBCH ۶۵ در هر دو شرایط کودی به دست آمد (شکل A3). در مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی در رقم، بیشترین میانگین درصد روغن در تیمار آبیاری نرمال در رقم دشتستان-۲ با میانگین ۴۹/۵ درصد به دست آمد و کمترین میانگین در آبیاری تا BBCH 65 در هر دو رقم مشاهده شد (شکل B3). در مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در نانو کود منیزیوم در رقم، بیشترین عملکرد روغن کاربرد نانو کود منیزیوم در رقم دشتستان-۲ تحت شرایط آبیاری نرمال با میانگین ۶۰۱/۴ کیلوگرم در هکتار بود که در مقایسه با تیمار شاهد افزایش ۱۹/۱۶ درصدی نشان داد. کمترین میانگین این صفت نیز در تمامی ترکیبات تیماری در سطح آبیاری تا BBCH ۶۵ مشاهده شد (شکل C3).

نتایج همبستگی ساده بین صفات نشان داد که عملکرد دانه با صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، وزن خشک اندام هوایی، شاخص سطح برگ، طول کپسول، تعداد دانه در کپسول، تعداد کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، درصد و عملکرد روغن همبستگی مثبت و معنی-داری نشان داد. همچنین درصد روغن دانه کنجد با تمامی صفات موردبررسی به جزء شاخص برداشت همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۳).

جدول ۳. همبستگی ساده بین صفات عملکرد و اجزای عملکرد و میزان روغن دانه کنجد تحت تنش کم‌آبی و تیمارهای محلول‌پاشی

Table 3. The simple correlation between yield and yield components and oil content of sesame under limited water stress and foliar application treatments

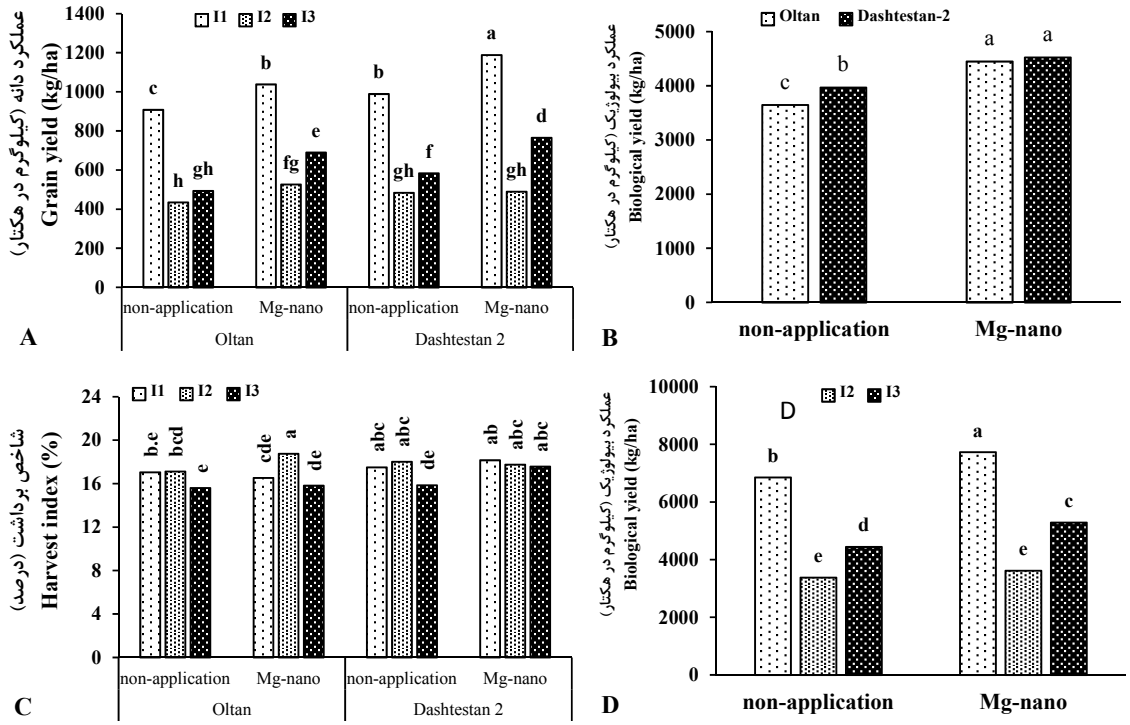
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1												
2	0.73**	1											
3	0.78**	0.78**	1										
4	0.77**	0.67**	0.91**	1									
5	0.53**	0.44*	0.55**	0.53**	1								
6	0.56**	0.56**	0.73**	0.58**	0.56**	1							
7	0.75**	0.79**	0.91**	0.82**	0.50**	0.65**	1						
8	0.73**	0.79**	0.83**	0.68**	0.38	0.58**	0.81**	1					
9	0.79**	0.80**	0.93**	0.79**	0.55**	0.83**	0.92**	0.86**	1				
10	0.78**	0.78**	0.99**	0.91**	0.55**	0.73**	0.91**	0.83**	0.93**	1			
11	0.23	0.30	0.13	-0.06	0.13	0.47*	0.34	0.42*	0.46**	0.13	1		
12	0.78**	0.78**	0.83**	0.80**	0.49*	0.65**	0.81**	0.74**	0.84**	0.83**	0.23	1	
13	0.80**	0.80**	0.92**	0.80**	0.53**	0.81**	0.91**	0.84**	0.99**	0.92**	0.43*	0.89**	1

* و**: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد و بدون علامت غیر معنی‌دار.

۱- ارتفاع بوته، ۲- قطر ساقه، ۳- وزن خشک اندام هوایی، ۴- شاخص سطح برگ، ۵- طول کپسول، ۶- تعداد دانه در کپسول، ۷- تعداد کپسول، ۸- وزن هزار دانه، ۹- عملکرد دانه، ۱۰- عملکرد بیولوژیک، ۱۱- شاخص برداشت، ۱۲- درصد روغن، ۱۳- عملکرد روغن

*and **: no significant and significant at 5 and 1% levels of probability, respectively and no sign was non

1- plant height, 2- stem diameter, 3- shoot dry weight, 4- LAI, 5- capsule length, 6- number of grain per capsule, 7- number of capsule, 8- 1000-grain weight, 9- grain yield, 10- biological yield, 11- harvest index, 12- oil percentage, 13- oil yield



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبی در نانو کود منیزیم در رقم بر عملکرد دانه و شاخص برداشت (A و C)، رقم در نانو کود بر عملکرد بیولوژیک (B) و تنش کم‌آبی در نانو کود بر عملکرد بیولوژیک (D)، (I_1- آبیاری نرمال، I_2= آبیاری تا ۷۵BBCH، I_3- آبیاری تا ۸۵BBCH)

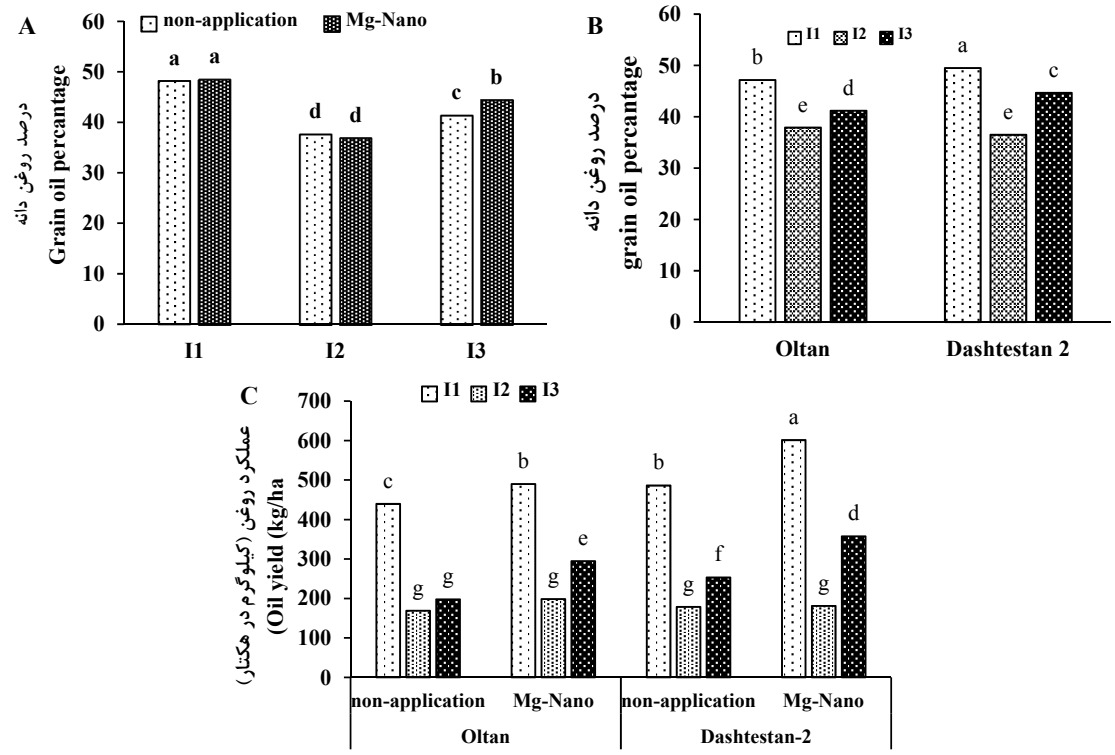
Fig. 2. Comparison mean interaction of limited water stress × Mg-nano fertilizer × variety on grain yield and harvest index (A and C), Mg-nano fertilizer × variety on biological yield (B), and limited water stress × Mg-nano fertilizer on biological yield (D); (I_1- normal irrigation, I_2- irrigation up to 75 BBCH, I_3- irrigation up to 85 BBCH)

به‌منظور تعیین اهمیت صفات مورفولوژی و اجزای عملکرد در میزان تغییرات مربوط به عملکرد دانه کنجد، تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام که در آن عملکرد دانه به‌عنوان صفت وابسته و صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، وزن خشک اندام هوایی، شاخص سطح برگ، طول کپسول، تعداد دانه در کپسول، تعداد کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و درصد و عملکرد روغن به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد. نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس این نتایج، چهار صفت وزن خشک اندام هوایی، شاخص سطح برگ، طول کپسول و شاخص برداشت وارد مدل شدند که درمجموع ۹۹/۸۱ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند.

جدول ۴. رگرسیون گام‌به‌گام برای عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به عنوان متغیر مستقل

Table 4. Stepwise regression for grain yield as dependent variables and other traits as independent variables

Attributes entered into the model	صفات واردشده به مدل	Coefficients	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	عدد ثابت	-47.5	34.1	-1.40	0.66
Shoot dry weight (X1)	وزن خشک اندام هوایی (X1)	15.479	0.782	19.79	0.000
LAI (X2)	شاخص سطح برگ (X2)	7.58	3.84	1.97	0.051
Capsule length (X3)	طول کپسول (X3)	13.49	5.97	2.26	0.026
Harvest index (X4)	شاخص برداشت (X4)	18.600	0.993	18.73	0.000
R-Sq(adj)= 99.81%					
Y= -47.5 +15.479 X1 + 7.58 X2 +13.49 X3 +18.60 X4					



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبی در نانو کود منیزیم و تنش کم‌آبی در رقم بر درصد روغن دانه (A و B) و اثر تنش کم‌آبی × نانو کود × رقم بر عملکرد روغن دانه کنجد (C)، (I_1- آبیاری نرمال، I_2= آبیاری تا ۷۵BBCH، I_3- آبیاری تا ۸۵BBCH)

Fig. 3. Comparison mean interaction of limited water stress × Mg-nano fertilizer and limited water stress × variety on grain oil percentage (A and B), and limited water stress × Mg-nano fertilizer × variety on oil yield of sesame (C); (I1- normal irrigation, I2- irrigation up to 75 BBCH, I3- irrigation up to 85 BBCH)

بحث

کنجد گیاهی روغنی و مقاوم به خشکی است اما این به معنای آن نیست که در صورت کم شدن میزان رطوبت، از مقدار بازدهی، رشد و عملکرد آن کاسته نشود. در این مطالعه بیشترین میزان ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه، وزن هزار دانه و تعداد کپسول در بوته و محتوی روغن در شرایط آبیاری نرمال به دست آمد و تنش آبی باعث کاهش این صفات گردید. بیان‌شده است چنانچه در زمان عبور از فاز رویشی به زایشی، گیاه با محدودیت آبی مواجه شود این موضوع باعث کاهش فتوسنتز شده و با توجه به این‌که در آن زمان تعداد دانه و وزن دانه در حال شکل‌گیری است، این عمل باعث تسریع پیری و کاهش دوره پر شدن دانه‌ها و وزن دانه‌ها می‌گردد که درنهایت عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Laey et al., 2011). به نظر می‌رسد که کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش به علت کاهش مواد غذایی باشد. در دوره رشد، مواد پرورده موردنیاز دانه از سه منبع تأمین می‌گردد: ۱- کربوهیدراتی که پس از گلدهی تولیدشده و به دانه انتقال می‌یابد. ۲- کربوهیدرات-هایی که پس از گلدهی تولیدشده اما قبل از انتقال به دانه در ساقه ذخیره می‌شود. ۳- کربوهیدرات‌های تولید شده قبل از گلدهی که عمدتاً در ساقه ذخیره‌شده و در طی دوره پر شدن دانه مجدداً به دانه انتقال می‌یابد و اختلال در هرکدام از منابع فوق باعث کاهش وزن هزار دانه خواهد بود. کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی می‌تواند به علت بسته شدن روزنه‌ها، افزایش آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین‌ها و کلروفیل باشد. از طرفی کاهش تعداد کپسول در بوته می‌تواند به دلیل ریزش کپسول‌ها در دوران تنش باشد. این کاهش به‌موازات افزایش تنش کم‌آبی را می‌توان به دلیل اختلال در فتوسنتز به‌واسطه تنش خشکی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت ارائه به بخش‌های در حال رشد گیاه نسبت

داد. در پژوهش‌های متعددی محققین بیان نمودند که حذف آبیاری در مراحل مختلف رشد باعث کاهش عملکرد دانه، وزن هزار دانه و تعداد کپسول در بوته در گیاهان دانه روغنی مختلف گردید (Badiel et al., 2017; Pereira et al., 2017; Shahattary and Mansourifar, 2017; Talehigue et al., 2017).

محلول‌پاشی کیتوزان باعث بهبود صفات مورفولوژیکی (ارتفاع بوته، قطر ساقه، وزن خشک اندام هوایی و شاخص سطح برگ) و عملکردی (طول کپسول، تعداد دانه، تعداد کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک) و محتوی روغن دانه در شرایط تنش آبی شد. شاید اثر کیتوزان بر رشد گیاه و افزایش عملکرد تحت تأثیر کیتوزان به دلیل اثر آن بر تحریک فرآیندهای فیزیولوژیکی، بهبود رشد رویشی و افزایش تثبیت CO_2 باشد. کیتوزان حاوی نیتروژن در ساختار شیمیایی خود بوده که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی برای گیاهان و خاک شناخته شده است. وقتی نیتروژن موجود در کیتوزان حل شود به‌تدریج نفوذ کرده و از این نظر می‌تواند مؤثر واقع شود (Becker et al., 2000). به نظر می‌رسد مصرف کیتوزان با تحریک و درنتیجه افزایش جذب آب و مواد غذایی و انتقال بهتر این مواد در اندام گیاهی، منجر به افزایش وزن هزار دانه می‌گردد. در پژوهش‌های مجزا بر روی گیاهان مختلف محلول‌پاشی کیتوزان موجب افزایش عملکرد دانه و وزن هزار دانه شد (Amiri et al., 2013; Mahdavi et al., 2013; Saadat and Tajnakhsh, 2013; Azin et al., 2016; Amiri et al., 2017).

با توجه به اثرات سازگار با محیط‌زیست برخی از نانو ذرات، استفاده از مقادیر مفید اما کم نانو ذرات می‌تواند راهی برای افزایش کمیت و کیفیت تولید محصولات باشد. منیزیم بخشی از کلروفیل بوده و با توجه به نقش آن در فتوسنتز، استفاده از این عنصر باعث افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد می‌گردد. علت افزایش تعداد کپسول در بوته احتمالاً به دلیل فراهم شدن منابع فراوان برای فتوسنتز و ماده‌سازی بیشتر از طریق کاربرد کودهای نانو منیزیم، منجر به افزایش رشد و عملکرد در بوته بالاتر گردیده است. پژوهشگران تأثیر محلول‌پاشی نانو منیزیم در افزایش اجزای عملکرد در گیاه لوبیا چشم‌بلبلی (Vigna unguiculata L.) را گزارش نمودند (Dolfani et al., 2011).

بیشترین میزان شاخص سطح برگ در آبیاری کامل به دست آمد و تنش آبی (آبیاری تا BBCH 65) باعث کاهش این صفت گردید. تنش آبی شاخص سطح برگ را به دلیل کاهش اندازه و تولید برگ‌های جدید و افزایش ریزش آن‌ها کاهش می‌دهد. تولید و گسترش برگ به تنش کم‌آبی خیلی حساس است، بنابراین در اثر تنش کمبود آب، شاخص سطح برگ کاهش می‌یابد. گزارش شده است که در گیاه کنجد تیمار تنش آبی منجر به کاهش LAI گردید (Harikumar, 2017; Pereira et al., 2017). کاهش سطح برگ، به‌عنوان اصلی‌ترین منبع تأمین مواد فتوسنتزی، درنهایت منجر به کاهش رشد و عملکرد می‌گردد.

در این تحقیق کیتوزان در افزایش شاخص سطح برگ تأثیرگذار بود. سازوکار عمل کیتوزان بر رشد ناشناخته باقی‌مانده است، احتمالاً ترکیب سیگنالی را برای سنتز هورمون‌های گیاهی مانند جیبرلین القا می‌کند و رشد و نمو گیاه توسط بعضی مسیرهای علامت‌دهی مربوط به بیوسنتز اکسین از طریق مسیر وابسته به تریپتوفان را افزایش می‌دهد (Ulthairatanakij et al., 2007). افزایش شاخص سطح برگ در گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) و گیاه دارویی هندوانه ابوجهل (*Citrullus Colocynthis* L.) تحت تأثیر کیتوزان گزارش شده است (Sheikha and AL-Malki, 2011; Azin et al., 2016).

نانو کودها می‌توانند حلالیت بیشتری نسبت به سایر کودها داشته باشند. نانو ذرات از طریق چسبیدن به یون‌های انتقال‌دهنده و گذشتن از آکوپورین و ترکیب با غشاء سلولی جذب گیاه شده و از این طریق باعث بزرگ شدن سوراخ‌های اطراف سلول می‌شود که این مسئله خود باعث افزایش جذب بیشتر مواد در گیاه می‌گردد. منیزیم نقش مولکولی و فیزیولوژیکی عمده‌ای، در گیاهان دارد و عنصر کلیدی در فتوسنتز است، ازآنجایی‌که برگ‌ها جزء اندام‌های اصلی فتوسنتز هستند بنابراین شاخص سطح برگ مطلوب برای رسیدن به عملکرد مناسب ضروری است. در مطالعه حاضر، محلول‌پاشی این عنصر باعث بهبود شاخص سطح برگ در شرایط تنش گردید که محققین دیگر نیز افزایش شاخص سطح برگ با مصرف منیزیم را گزارش نمودند (Farhadi and Rasouli, 2015; Khadtare et al., 2017).

در مطالعه حاضر محلول‌پاشی منیزیم و کیتوزان باعث بهبود صفت درصد روغن در شرایط تنش متوسط و افزایش آن گردید اما تنش شدید آبی (قطع آبیاری در BBCH ۷۵) باعث کاهش درصد روغن دانه کنجد شد. کاهش درصد روغن در اثر تنش آبی می‌تواند به علت اختلال در فرآیندهای

متابولیکی بذر و آسیب به انتقال آسیمیلات‌ها به دانه باشد. پژوهشگران دلایل کاهش درصد روغن دانه در اثر تنش آبی را کاهش فتوسنتز جاری و طول دوره پر شدن دانه ذکر نمودند (Bellaloui et al., 2011). تنش آبی به‌ویژه در هنگام رسیدگی دانه، درصد روغن را کاهش داد که این حالت به دلیل تسریع در رسیدگی گیاه است، در این وضعیت فرصت کافی برای سنتز روغن از پروتئین‌های ذخیره‌شده در دانه وجود نداشته بنابراین درصد روغن کاهش خواهد یافت. در این خصوص پژوهشگران اظهار داشتند که تنش آبی باعث کاهش درصد روغن دانه سویا (*Glycine max* L.) گردید (Divsalar et al., 2016). در تحقیق حاضر احتمالاً کیتوزان از طریق کنترل مسیرهای هدر رفت آب و افزایش سطح ریشه به افزایش فعالیت‌های زیستی سلول و درنهایت افزایش درصد روغن کمک نموده است. در همین رابطه مشخص شد که کیتوزان درصد روغن را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد (Alaviasl et al., 2016; Talaie et al., 2017). یکی از ویژگی‌های بارز نانو ذرات خاصیت سوپر پارامغناطیسی بوده که از این طریق می‌تواند جذب عناصر را بهبود ببخشد. در این مطالعه منیزیم در بهبود خسارات ناشی از تنش بر درصد روغن مؤثر واقع شد. میرزاپور و همکاران (Mirzapour et al., 2003) به نقش منیزیم در افزایش درصد روغن اشاره داشتند. در این خصوص رنجبر و همکاران (Ranjbar et al., 2012) اظهار داشتند کود سولفات منیزیم باعث افزایش درصد روغن در گیاه گلرنگ شد که این نتایج با پژوهش حاضر مطابقت دارد.

کشاورزی پایدار باید ازنظر اقتصادی توجیه‌پذیر باشد، کودهای نانو در مقادیر کم اما مفید می‌تواند اثرپذیری بالایی در مقایسه با کودهای معمول داشته باشد. ازآنجایی‌که ذرات نانو دارای ابعاد ریزی هستند، لذا سطح ویژه بالایی دارند که این امر واکنش‌پذیری و تحرک بالاتری در گیاه ایجاد می‌کند و باعث توزیع سریع و همگن محلول کود منیزیم در گیاه می‌گردد. منیزیم باعث تقویت اتصال اسیدهای آمینه به tRNA و جدا شدن زنجیره پلی پپتیداز ریزوبیوم می‌شود (Maghsoudi and Najafi, 2017).

نتیجه‌گیری نهایی

تنش آبی به‌عنوان یکی از عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی شناخته شده است. با توجه به خشک و نیمه-خشک بودن آب‌وهوای اغلب نقاط ایران و کمبود آب به‌ویژه در بخش کشاورزی، تحقیق درزمینه استفاده صحیح از آب در این بخش امری ضروری است. محلول‌پاشی کود آلی کیتوزان و همچنین نانو کود منیزیم با افزایش صفات رشدی و عملکردی (درصد روغن، تعداد کپسول در بوته، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه و وزن هزار دانه) در شرایط تنش، اثر منفی ناشی از تنش آبی را تعدیل نمودند. رقم دشتستان-۲ ازنظر درصد و عملکرد روغن، تعداد کپسول، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه و وزن هزار دانه برتری معناداری در مقایسه با رقم اولتان داشت که این قدرت تحمل بالا به کم‌آبی، باعث گردید که میزان افت عملکرد در شرایط تنش شدید در این رقم کمتر از رقم اولتان باشد. محلول‌پاشی کیتوزان در شرایط تنش و استفاده از نانو کود منیزیوم به دلیل جذب سریع به‌منظور دستیابی به عملکرد مطلوب در مسیر کشاورزی پایدار، با توجه به تولید عملکرد دانه بیشتر و محتوی روغن بالاتر توصیه می-گردد.

منابع

Alaviasl, S.A., Mansurifar, C., Modares Sanavi, S.E.M., Spalan, K.C., Tabatabaie, S.E., Moradi, M., 2016. The effects of chitosan and zeolite on the yield and growth of sesame under various irrigation conditions in Yazd. Iranian Journal of Environmental Stress in Arable Science. 9, 132-141. [In Persian with English summary].

Amiri, A., Esmaielzadeh Bahabadi, S., Yadollaho-Dehcheshmeh, P., Sirousmehr, A., 2017. The role of salicylic acid and chitosan foliar applications under drought stress condition on some physiological traits and oil yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Ecophysiological Production. 11, 69-83. [In Persian with English summary].

Amiri, A., Siroos Mehr, A.R., Ghanbari, A., Smaiel Bahabadi, C., 2014. Effect of drought stress and chitosan and salicylic acid on quantitative and qualitative characteristics of *Carthamus tinctorius* L. Ms Thesis. University of Zabol. [In Persian with English summary].

AOAC. 1984. Official methods of analysis: Association of Official Analytical Chemists. Inc, USA.

Ashok Mishra, K., Vijay Sing, P., 2010. A review of drought concepts. Journal of Hydrology. 1, 1-15.

Azin, Z., Smaielzadeh Bahabadi, C., Emam Jomeh, E.E., Hasani, S.P., 2016. Effect of drought stress and chitosan and salicylic acid on quantitative and qualitative characteristics of *Citrullus colocynthis* L. Ms Thesis. University of Zabol. [In Persian with English summary].

Badiel, B., Nane, R., Nanema, L., Konate, B., Djinet, A.I., Nguinambaya, M.M., Tamini, Z., 2017. Temporary water stress effect on vegetative and flowering stages of sesame (*Sesamun indicum* L.) plants. Agricultural Science Research Journal. 7, 230-240.

Bellaloui, N., Ebelhar, M.W., Gillen, A.M., Fisher, D.K., Abbas, H.K., Mengistu, A., Reddy, K.N., Paris, R.L., 2011. Soybean seed protein, and fatty acids are altered by S and S+N fertilizers under irrigated and non-irrigated environments. Agricultural Science. 2, 465-476.

Boonlertinirun, S., Chaweewan, B., Suvanasava, R., 2008. Application of chitosan in rice production. Metals, Materials and Minerals. 18, 47-52.

Borchani, C.S., Besbes, C., Blecker, H., Attia, H., 2010. Chemical characteristics and oxidative stability of sesame seed, sesame paste, and olive oils. Agriculture Science and Technology. 12, 585- 596.

Becker, T., Schaalk, M., Strasdeit, H. 2000. Adsorption of Nickel, Zinc and Cadmium cation by new chitosan derivatives. Reactive and Functional Polymers. 44, 289-298 .

Blasco, B., Graham, N.S., Broadley, M.R., 2015. Antioxidant metabolism in *Brassica rapa* exposed to different external Zn, Ca and Mg supply. Journal of Plant Physiology. 176, 16-24.

Cakmak, I., Yazici, A.M., 2010. Mg forgotten element in crop production. Better Crop. 94: 23-25.

Divsalar, M., Tahmasbi Sarvestani, Z., Modares Sanavi, S.A.M., Hamidi, A., 2016. Effect of drought stress on irrigation in breeding stages on yield and quality of soybean cultivars. Iranian Journal of Agriculture Crop Management. 18, 481-493. [In Persian with English summary].

Dolfani, M., Baradaran Firozabadi, M., Makarian H., Khalaj, H., 2011. The effect of foliar application of iron and magnesium nano particles on some morphological and physiological characteristics of Blubbery Beans. Ministry of Science, Research and Technology. Master's thesis. Shahroud University of Technology. [In Persian with English summary].

Emami Bistgani, Z., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A., Ghasemi Pirbalouti, A., 2017. The effect of drought stress and elicitor of chitosan on photosynthetic pigments, proline, soluble sugars and lipid peroxidation in Thymus deanensis Celak in Shahrekord climate. Environmental Stresses in Crop Sciences. 10, 12-19. [In Persian with English summary].

Farahbakhsh, H., Pasandipour, A., 2018. Physiological response of henna, medicinal-industrial plant, to application of salicylic acid under drought stress. Journal of Plant Process and Function. 6, 233-246. [In Persian with English summary].

Farhadi, K., Rasouli, M., 2015. Effect of magnesium deficiency on gerbera (*Gerbera jasmonii*). "9th Congress of Horticulture". January, 25-28, 2015, Ahvaz, Iran. PP: 1-4. [In Persian with English summary].

Gunes, A., Cicek, N., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Guneri, E., Guzelordu, T., 2006. Genotypic response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars to drought stress implemented at pre-and post-anthesis stages and its relations with nutrient uptake and efficiency. Plant and Soil Environment. 52, 868-876.

Harikumar, V.S., 2017. Biometric parameters of field grown sesame influenced by Arbuscular mycorrhizal inoculation, rock phosphate fertilization and irrigation. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 20, 197-202.

Hermans, C., Verbruggen, N., 2005. Physiological characterization of mg deficiency in Arabidopsis thaliana. Experimental Botany. 56, 2153-2161.

Jorgensna, S.T., Ntundub, W.H., Ouedraogoc, M., Christiansena, J.L., Liua, F., 2011. Effect of a short and severe intermittent drought on transpiration, seed yield, yield components, and

harvest index in four of plant production. Science and Biotechnology. 5, 25-36 .

Kadkhodaei, A., Razmjoo, J., Zahedi, M., Pessarakli, M., 2014. Oil content and composition of Sesame (*Sesame indicum* L.) genotypes as affected by irrigation regimes. Journal of the American Oil Chemists Society. 91, 1737–1744.

Khadtare, D.V., Shinde, S.K., Akashe, V.B., Indi, D.V., Toradmal, V.M., 2017. Effect of magnesium sulphate on yield, economics and growth attributes of rainfed safflower (*Carthamus tinctorious*) in scarcity zone of Maharashtra. Indian Journal of Agricultural Research. 51, 591-595.

Kumar, R., 2014. Role of microRNAs in biotic and abiotic stress responses in crop plants. Journal of Applied Biochemistry and Biotechnology. 174, 93-115.

Laey, Gh.A., Ghorbani, R., Arab, H.E., 2011. Effects of irrigation interval on the agronomic characteristics of four) *Ricinus communis* L. (cultivars in Damghan condition. Iranian Journal of Crop Sciences. 4, 103-114. [In Persian with English summary].

Maghsoudi, M.R., Najafi, N., 2017. Effects of nano-micronutrients fertilizers on plant nutrition. Journal of Land Management, 4, 115-132. [In Persian with English summary].

Mahdavi, B., Modarres Sanavy, S.A.M., Aghaalikhani, M. and Sharifi, M., 2013. Effect of chitosan on safflower (*carthamus tinctorius* L.) seed germination and antioxidant enzymes activity under water stress. Iranian Journal of Plant Research. 26, 352-365. [In Persian with English summary].

Mahdavi Khorami, A., Masoud Sinaki, J., Amini Dehaghi, M., Rezvan, S., Damavandi, A., 2018. Investigation of relationship between some quantitative and qualitative characteristics affecting sesame yield under nitrogen, potassium and drought stress. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 28, 15-34.

Michel, V., Zink, G., Schmidtke, J., Anderl, A., 2007. Agricultural field trials, today and tomorrow. "Proceedings of the International symposium". October 8-10, 2007, Stuttgart, Germany. PP: 284.

Mirzapour, M.H., Khoshgoftar, A.H., Mirnia, S.K., Bahrami, H.A., Naeini, M.R., 2003. Interactive effects of potassium and magnesium on growth and yield of sunflower in a saline soil. Iranian Journal of Science of Soil and Water. 17, 117-122. [In Persian with English summary].

Mondal, M.M.A., Malek, M.A., Puteh, A.B., Ismail, M.R., 2013. Foliar application of chitosan on growth and yield attributes of Mungbean. Bangeladesh Journal of Botany. 42, 179-183.

Nabipour, M.M., Meskarbashee, F., Yousefpour, H., 2007. The effect of water deficit on yield and yield components of safflower. Pakistan Journal of Biological Science. 10, 421-426.

Nadeem, A., Kashani, S., Ahmed, N., Buriro, M., Saeed, Z., Mohammad, F., Ahmed, S., 2015. Growth and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) under the influence of planting geometry and irrigation regimes. American Journal of Plant Sciences. 6, 980-986.

Papastylianou, P., Bilalis, D., Travlos, I., 2017. Effect of limited drip irrigation regime on yield and yield components of sesame under Mediterranean conditions. Bulletin UASVM Horticulture. 74, 71- 73.

Pereira, J., Guerra, H.O., Zonta, C., Bezerra, J.R.C., Almeida, E.S.A.B., Araújo, W.P., 2017. Behavior and water needs of sesame under different irrigation regimes: III. Production and hydric efficiency. African Journal of Agricultural Research. 12, 1158-1163.

Ranjbar, M., Tadaion, M.R., Tadaion, A. and Ebrahimi, R., 2012. Effect of nitrogen fertilizers, potassium sulfate, magnesium sulfate and zinc sulfate on yield and some characteristics of safflower produced from biodiesel. Iranian Journal o rusty, N. 2017. Natural effect of micronutrient on f Production and Processing of Crops and Gardens. 2, 67-76. [In Persian with English summary].

Roul, B., Mishra, B.K., Prusty, N., 2017. Natural effect of micronutrient on growth and growth parameter of sesame oilseed crop. Pharmacognosy and Phytochemistry. 6, 1926 1928.

Saadat, B., Tajbakhsh, M., 2013. Investigation of the effect of anti-transpiration (Caloin, Chitosan and Castor Oil) on yield and yield components of corn 704 under irrigation constraints. MS Thesis. Urmia University. [In Persian with English summary].

Saif Eldeen, U.M., Shokr, M.M.B., EL-Shotoury, R.S., 2014. Effects of foliar spry with seaweeds

extract and chitosan on earliness and productivity of globe artichoke. Plant Production Mansoura University, 5, 1197-1207.

Senbayram M., Gransee, A., Wahle, V., Thiel, T., 2015. Role of magnesium fertilizers in agriculture: plant–soil continuum. Crop and Pasture Science, 66, 1219–1229.

Shahattary, F.S., Mansourifar, C., 2017. The effect of drought stress on morphological and physiological traits and essence percentage of medicinal plant, Nigella sativa. Bioscience Biotechnology Research Communications, Special Issue, 1, 298-305.

Sheikha, S.A.K., AL-Malki, F.M., 2011. Growth and chlorophyll responses of bean plants to the chitosan applications. Science Research. 50, 124-134.

Taheri, Gh., 2016. Effects of chitosan spraying on physiological characteristics of ferula flabelliloba (apiaceae) under drought stress. Iranian Journal of Field Crops Research, 13, 728-737. [In Persian with English summary].

Talaie, Gh.A., Sharghi, Y., Zahedi, H., Modares Sanavi, S.F.M., Alaviasl, S.A., 2017. Interaction of chitosan and zeolite on yield and yield components of safflower under water stress. Iranian Journal of Agricultural Crop Management, 19, 531-542. [In Persian with English summary].

Talehigue, D., Benyahia, L., Aljane, F., Belhouchett, K., Toumi, L., 2017. Grain yield, biomass productivity and water use efficiency in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. Scientific Agriculture, 1, 222-232.

Ulthairatanakij, A., Teixeira, J.A., Obsuwan, K., 2007. Chitosan for improving orchid production and quality orchid. Science and Biotechnology, 1, 1-5 .

Vafaie, A., Ebadi, A., Parmoon, Gh., 2015. The effects of potassium and magnesium fertilizer on the grain yield and oil quantity of Milk thistle. Iranian Journal of Crop Production and Processing. 5, 111-121. [In Persian with English summary].