



## به‌زراعی کشاورزی

دوره ۲۳ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۴۰۰

صفحه‌های ۳۲۱-۳۳۳

مقاله پژوهشی:

### بررسی تأثیر محلول پاشی نانوذره منیزیم بر صفات مورفوفیزیولوژیکی ارقام آفتابگردان تحت تنش خشکی

اعظم فاطمی<sup>۱</sup>، پیام معاونی<sup>۲\*</sup>، جهانفر دانشیان<sup>۳</sup>، حمید مظفری<sup>۴</sup>، مهدی غفاری<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲. استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳. استاد، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۴. استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۱۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۲۶

#### چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر محلول پاشی نانوذره منیزیم بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی آفتابگردان تحت شرایط خشکی آزمایشی به‌صورت کرت‌های دوبرار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ با سه تکرار در مزرعه واقع در بخش دانه‌های روغنی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال بذر انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش خشکی در دو سطح آبیاری نرمال و تنش خشکی و ارقام آفتابگردان شامل فرخ، شمس، قاسم و برزگر و زمان کاربرد نانوذرات منیزیم در سه سطح بدون محلول پاشی، محلول پاشی در مرحله گلدهی و مرحله پرشدن دانه بودند. نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش میزان ارتفاع، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه، قطر طبق، عملکرد دانه، درصد و عملکرد روغن شد ولی محلول پاشی نانوذره منیزیم باعث بهبود اثر تنش خشکی و افزایش صفات مورفولوژیکی شد. تنش خشکی باعث افزایش (۱۳ درصد) شاخص نشت الکترولیت و کاهش (نه درصد) محتوای نسبی آب برگ شد، ولی نانوذره منیزیم باعث کاهش (نه درصد) محتوای شاخص نشت الکترولیت و افزایش (۱۰ درصد) محتوای نسبی آب برگ شد. واکنش ارقام به سطوح تنش یکسان نبود و در کل ارقام برزگر، شمس، قاسم و فرخ بیش‌ترین تحمل را نسبت به تنش خشکی از خود نشان دادند، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان عملکرد دانه (۳۴۲۷/۵۳ کیلوگرم در هکتار) و درصد روغن (۴۳/۹۶ درصد) مربوط به رقم برزگر بود.

**کلیدواژه‌ها:** تنش خشکی، درصد روغن، عملکرد دانه، قطر طبق، نانوذره منیزیم.

### Effect of Foliar Application of Magnesium Nanoparticles on Morphophysiological Characteristics of Sunflower Cultivars under Drought Stress

Azam Fatemi<sup>1</sup>, Payam Moaveni<sup>2\*</sup>, Jahanfar Daneshian<sup>3</sup>, Hamid Mozafari<sup>2</sup>, Mahdi Ghaffari<sup>4</sup>

1. Ph.D. Candidate, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran

2. Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran

3. Professor, Seed and plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension organization (AREEO), Karaj, Iran

4. Assistant Professor, Seed and plant Improvement Institute Agricultural Research, Education and Extension organization (AREEO), Karaj, Iran

Received: September 16, 2020

Accepted: November 3, 2020

#### Abstract

The present study attempts to investigate the effect of Magnesium nanoparticle spraying solution on some morphophysiological traits of sunflower under experimental drought conditions. Hence, it conducts an experiment as split split plot in a randomized, completely block design, with three replicates at the field of oilseed section of seed and plant Improvement during 2017-2019 growing season. The treatments include drought stress at two levels: normal irrigation and drought stress. The studied sunflower cultivars include Farrok, Shams, Qasem & Barzegar, and Magnesium nanoparticles application time at Three Levels: no spraying solution, spraying at flowering stage, and grain filling stage. Results show that drought stress reduces the amount of traits such as height, shoot dry weight, number of grains per head, 1000 grain weight, head diameter, grain yield, oil percentage, and oil yield; however, magnesium nanoparticle spraying solution improves the drought stress effect and increases morphological traits. Drought stress increases electrolyte leakage index and decreases relative water content of leaves by 13% and 9%, respectively. However, magnesium nanoparticles decrease the content of electrolyte leakage index by 9% and increase relative leaf water content by 10%. The cultivars' response to stress levels has not been the same. In general, Barzegar, Shams, Qasem, and Farrok cultivars show the highest tolerance to drought stress. Also the highest grain yield and oil percentage are related to Barzegar cultivar by 3427.53 kg/h and 43.96%, respectively.

**Keywords:** Capitulum, drought stress, grain yield, magnesium nanoparticles, oil percentage.

## ۱. مقدمه

خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و تولید محصول گیاهان زراعی در اکثر نقاط جهان و ایران است و به‌عنوان یک تنش چند بعدی گیاهان را در سطوح مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهد (Rebey et al., 2012). طی صد سال گذشته کره زمین به‌طور غیرطبیعی و در اثر فعالیت‌های انسان و ورود مقادیر بسیار زیادی دی‌اکسیدکربن به جو گرم‌تر شده است که مهم‌ترین اثر این گرمایش، تغییر آب‌وهوای کلی زمین، تغییر محدوده‌های دمایی در کشاورزی و بروز تنش‌های خشکی و دمایی است (Solomon et al., 2007). تنش خشکی مانع از تظاهر کامل پتانسیل ژنتیکی گیاهان زراعی می‌شود (Bert et al., 2009; Poormohammad Kiani et al., 2003).

آفتابگردان زراعی با نام علمی (*Helianthus annuus* L.) گیاهی یک‌ساله از خانواده کاسنی<sup>۱</sup> بوده و خاستگاه اولیه آن آمریکای مرکزی است. این گیاه یکی از چهار گیاه دانه روغنی است که از نظر سطح زیر کشت بعد از سویا، کلزا و بادام‌زمینی قرار دارد. روغن آفتابگردان به‌دلیل داشتن اسیدهای چرب غیراشباع فراوان و همچنین فقدان کلسترول از کیفیت بالایی برخوردار است (AI-Snafi, 2018). آفتابگردان جزو محصولات نیمه‌حساس به خشکی طبقه‌بندی می‌شود (Škorić, 2009; Hassan & Mohamed, 2019).

میزان تأثیر تنش خشکی بستگی به مرحله نمود گیاه دارد و بیش‌ترین کاهش عملکرد زمانی است که تنش خشکی در فاصله گلدهی تا پرشدن دانه اتفاق می‌افتد (Goksoy et al., 2004). خشکی باعث کاهش رشد برگ، سطح برگ، شاخص برداشت، محتوای نسبی آب برگ در آفتابگردان می‌شود، ولی میزان کاهش این خصوصیات در ژنوتیپ‌های متحمل کم‌تر از حساس ذکر شده است

(Hassan, Hossain et al., 2010; Miyashita et al., 2005).

Mohamed & (2019) کاهش معنی‌داری زیست‌توده تر، خشک، ارتفاع اندام هوایی، طول ریشه، مقدار جذب آب و سطح برگ و همچنین تجمع قابل توجه پرولین و پروتئین در شاخه‌ها و ریشه گیاهان آفتابگردان در پاسخ به تنش خشکی مشاهده کردند. همچنین افزایش میزان نشت الکترولیت در شرایط تنش خشکی در ارقام آفتابگردان گزارش شده است و ارقام متحمل سطح پایین‌تری از نشت را دارا بودند (Carvalho et al., 2018).

یکی از آثار تنش خشکی، برهم‌زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاه است به‌طوری‌که فراهم‌کردن مواد غذایی از طریق ریشه محدود می‌شود (Cakmak, 2008). لذا برای غلبه بر این مشکل می‌توان با تکمیل مصرف عناصر غذایی از طریق محلول‌پاشی، وضعیت رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود داد (Paygzar et al., 2009). منیزیم در مرکز مولکول کلروفیل به‌صورت یک کلات منیزیم در کلروپلاست است این عنصر کلات‌هایی با ATP، ADP و اسیدهای آلی تشکیل می‌دهد و لذا برای واکنش‌های آنزیمی ضروری می‌باشد (Hermans et al., 2004). در میان دانه‌های روغنی، آفتابگردان بالاترین نیاز را به منیزیم دارد که احتمالاً به‌دلیل تولید بیوماس بالای این محصول در مقایسه با دیگر محصولات روغنی باشد. آفتابگردان برای تولید چهار تن دانه در هکتار ۴۰ کیلوگرم منیزیم از خاک جذب می‌کند (Ertiftik & Zengin, 2016). منیزیم یکی از عناصر مهم در تغذیه آفتابگردان است و کمبود آن با تأثیر در وزن هزاردانه، عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (Hocking & Steer, 1983). محلول‌پاشی منیزیم روی گیاه اسفناج در آزمایش (Borowski & Michalek, 2010) موجب افزایش مقدار ارتفاع، وزن خشک، پروتئین برگ، کلروفیل، کارتنوئیدها و پرولین در این گیاه شد. کاربرد غلظت‌های مختلف منیزیم در گیاه گلرنگ باعث تأثیر

(1981) تعیین شد و آزمایش با سه تکرار در مزرعه واقع در بخش دانه‌های روغنی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال بذر کرج ایران (طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی با بارش سالانه ۲۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۳۲۱ متر از سطح دریا و اقلیم خشک و سرد براساس طبقه‌بندی دومارتن)، در نیمه دوم خردادماه سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ انجام شد، مشخصات آب‌وهوایی محل انجام آزمایش در شکل (۱) آمده است. کرت‌های آزمایشی شامل چهار ردیف کاشت به طول پنج متر با فاصله بین ردیف ۶۰ و روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر با تراکم ۸ بوته در مترمربع بود؛ هم‌چنین بذور ارقام مورد آزمایش از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال بذر کرج تهیه شد. قبل از شروع آزمایش، از خاک مزرعه نمونه‌برداری مرکب انجام گرفت و ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک محل کاشت تعیین شدند. میزان عناصر موردنیاز براساس آزمون خاک (جدول ۱)، به خاک مزرعه ۲۵۰ کیلوگرم کود اوره، ۱۵۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم و ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم اضافه شد به‌منظور حذف اثرات حاشیه‌ای، دو خط کناری و نیم متر از دو طرف کرت به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شدند و در نمونه‌گیری‌ها مورد استفاده قرار نگرفتند. صفات مورفوفیزیولوژیک مورد اندازه‌گیری شامل ارتفاع، قطرطبق و تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه و عملکرد دانه که پس از برداشت نهایی از هر کرت ۱۰ بوته انتخاب و اندازه‌گیری شد و میانگین آن گزارش شد. برای اندازه‌گیری صفات محتوای نسبی آب و نشت الکتروولت از بافت گیاهی تازه استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴)، برای انجام مقایسات میانگین از آزمون چنددامنه دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

مثبت و فزاینده‌ای بر صفات شاخص برداشت، تعداد دانه در کاپیتول، تعداد دانه در بوته، وزن دانه و عملکرد روغن شد (Vafaie et al., 2013).

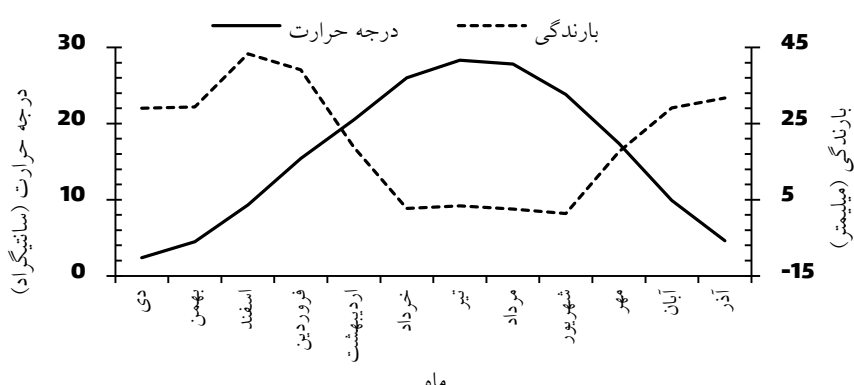
با توجه به نقش عمده‌ای که منیزیم در فرایندهای متابولیسم محصولات زراعی دارد، این‌گونه استنباط می‌شود که استفاده از این عنصر به شکل محلول پاشی ذرات اکسیدی نانو می‌تواند موجبات کارایی بهتر این عنصر در گیاه، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی به‌واسطه کاهش مصرف کود و کاهش اثرات تنش خشکی به‌واسطه فراهم کردن مواد غذایی سبب شود و از لحاظ اقتصاد کشاورزی نیز مقرون به‌صرفه باشد. لذا این پژوهش به‌منظور بررسی محلول پاشی نانو اکسید منیزیم بر ارقام آفتابگردان تحت تنش خشکی انجام شد.

## ۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه فاکتور شامل فاکتور اول (A): تنش خشکی در دو سطح A1=آبیاری نرمال: زمان آبیاری کلیه کرت‌ها براساس ۶۰ میلی‌لیتر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A از زمان کاشت تا پایان دوره رشد هر هفته یک‌بار و A2= تنش خشکی: زمان آبیاری کلیه کرت‌های آزمایشی براساس ۱۸۰ میلی‌لیتر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A از مرحله چهاربرگی تا پایان دوره رسیدگی فیزیولوژیک هر دو هفته یک‌بار انجام شد، فاکتور دوم (B): ارقام آفتابگردان مورد بررسی شامل: B1=برزرگر، B2=فرخ، B3=قاسم و B4=شمس و فاکتور سوم (C): کاربرد نانوذرات منیزیم به مقدار (۲۵/۰ گرم در لیتر) در سه سطح دوبار در هر مرحله: C1=بدون محلول پاشی، C2=محلول پاشی نانوذرات منیزیم در مرحله گلدهی (R5.1) و C3=محلول پاشی نانوذرات منیزیم در مرحله پرشدن دانه (R7) انجام شد. مراحل فنولوژیک براساس روش Schneiter & Miller

جدول ۱. نتایج تجزیه خاک محل آزمایش

نیترژن کل (%)	فسفر قابل جذب (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب (mg/kg)	اسیدیته عصاره اشباع (pH)	هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC) (ds.m <sup>-1</sup> )	کربن آلی (%)	بافت خاک (لوم) رس سیلت شن (%) (%) (%)
۰/۱۲۷	۱۴/۱	۲۵۰	۸/۳	۰/۸۷	۱/۵۳	۳۱ ۳۶ ۳۳



شکل ۱. میانگین دما و بارش ماهانه از دوره درازمدت (۱۳۶۳-۱۳۹۹) در ایستگاه سینوپتیک کرج

## ۱.۲. اندازه‌گیری درصد روغن

درصد روغن با استفاده از دستگاه سوکسله (Germany, SOX406) اندازه‌گیری شد. به این منظور مقداری از بذور هر واحد آزمایشی در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و سپس با آسیاب پودر شده و یک گرم از بذور پودر شده هر واحد آزمایشی با دقت وزن شد. نمونه‌ها به مدت ۸ ساعت با استفاده از حلال هگزان در دستگاه سوکسله قرار داده شد تا روغن آن‌ها کامل جدا شود. سپس نمونه‌ها از دستگاه خارج و مجدد در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و سپس وزن گردید. درصد روغن به‌کمک رابطه یک محاسبه شد:

$$\text{روغن (\%)} = \frac{\text{اختلاف وزن نمونه قبل و بعد از استخراج روغن}}{\text{وزن اولیه}} \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

## ۲.۲. محتوای نسبی آب

اندازه‌گیری میزان محتوای نسبی آب با استفاده روش Sánchez (1998) از طریق رابطه (۲) تعیین شد:

$$RWC = \frac{Wf - Wd}{Wt - Wd} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

Wf: وزن تر برگ، Wt: وزن بافت آماس‌یافته گیاه، Wd: وزن خشک برگ.

## ۳.۲. اندازه‌گیری شاخص نشت الکترولیتی

شاخص نشت الکترولیتی<sup>۱</sup> بافت‌های خسارت‌دیده گیاه پس از اعمال تنش اندازه‌گیری شد. در اندازه‌گیری میزان هدایت الکترولیتی از برگ‌های کاملاً سالم بخش میانی ساقه استفاده شد. برای این منظور ۸۰ میلی‌گرم برگ پس از برش افقی، به لوله آزمایش حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر انتقال یافت. جهت جذب بهتر آب توسط برگ

1. Electrolytic Leakage Index

همچنین گزارش شد که تنش خشکی در مرحله رشد رویشی اغلب سبب کاهش ارتفاع گیاه آفتابگردان می‌شود (Karami & Heidari, 2013).

### ۲.۳. قطر طبق

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × رقم × محلول پاشی منیزیم بر قطر طبق آفتابگردان نشان داد که تیمار محلول پاشی نانوذره منیزیم در مرحله گلدهی و پرشدن دانه باعث افزایش قطر طبق در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی در برخی ارقام شد. در واقع واکنش همه ارقام به محلول پاشی یکسان نبوده است. تنش خشکی باعث کاهش قطر طبق در کلیه ارقام شد. در کل بیشترین میزان قطر طبق در تیمار آبیاری نرمال × محلول پاشی منیزیم در مرحله گلدهی در رقم برزگر و شمس به دست آمد و کمترین میزان آن در رقم فرخ و قاسم در تیمار تنش خشکی در کلیه سطوح محلول پاشی به دست آمد به طوری که بین این تیمارها اختلاف معنی داری وجود نداشت. در کل رقم برزگر و شمس هم در سطوح مختلف محلول پاشی و هم در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی به مراتب قطر طبق بیشتری داشت که این نشان از پتانسیل بالای این دو رقم دارد. در کل محلول پاشی منیزیم باعث بهبود اثر تنش خشکی در ارقام آفتابگردان از لحاظ قطر طبق شد (جدول ۳).

به نظر می‌رسد بروز تنش از طریق کاهش سطح برگ و ریزش آن‌ها منجر به کاهش منبع فتوسنتزی گیاه و افت فعالیت آنزیم‌های مؤثر بر این فرایند می‌شود. همچنین طی مرحله گلدهی و گرده افشانی کمبود آب باعث خشک شدن دانه گرده و کلاله مادگی شده و این مسأله سبب اختلال در گرده افشانی توسط حشرات می‌شود. تمام عوامل مذکور در نهایت منجر به افت تعداد گلچه‌های بارور در سطح طبق می‌شود (Heidari & Karimi, 2013).

نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت شبانه‌روزی در داخل آب باقی ماندند شدند. سپس لوله‌های آزمایش به مدت ۴۵ دقیقه در دستگاه شیکر (Germany, WS-50DR) قرار گرفتند و پس از آن میزان هدایت الکترولیتی<sup>۱</sup> نمونه‌ها (EC<sub>1</sub>) با استفاده از دستگاه EC متر (Hungary, MILWAUKEE (MI170)) قرائت شد. محتوای لوله آزمایش پس از ۱۰ دقیقه قرارگرفتن در حمام آب گرم (۹۵ درجه سانتی‌گراد)، به مدت ۴۵ دقیقه در دستگاه شیکر قرار داده شد و در نهایت میزان هدایت الکترولیتی (EC<sub>2</sub>) آن تعیین شد. برای محاسبه مقدار شاخص خسارت از رابطه (۳) استفاده شد (Stuart, 1939):

$$I = \frac{EC_1}{EC_2} \times 100 \quad \text{رابطه ۳}$$

### ۳. نتایج و بحث

#### ۱.۳. ارتفاع بوته

اثر اصلی تنش خشکی، رقم و محلول پاشی نانوذره منیزیم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل رقم × محلول پاشی و تنش خشکی × رقم × محلول پاشی در سطح احتمال پنج درصد بر ارتفاع بوته آفتابگردان معنی دار بود (جدول ۲). محلول پاشی نانوذره منیزیم باعث افزایش ارتفاع بوته در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی شد. تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع کلیه ارقام شد هرچند این کاهش ارتفاع در رقم برزگر از بقیه ارقام کم‌تر بود. بیشترین میزان ارتفاع در تیمار آبیاری نرمال × محلول پاشی نانوذره منیزیم در ارقام برزگر و شمس به دست آمد. کمترین میزان ارتفاع در تیمار تنش خشکی × بدون محلول پاشی در رقم فرخ به دست آمد (جدول ۳). تنش خشکی از طریق کاهش رشد گیاه موجب کاهش ارتفاع بوته آفتابگردان می‌شود (Yadollahi et al., 2014).

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر تیمارهای تنش خشکی و محلول پاشی نانوذره منیزیم بر صفات مورفولوژیک ارقام آفتابگردان در دو سال

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی	ارتفاع	قطر طبق	تعداد دانه در طبق	وزن هزاردانه	عملکرد دانه
سال	۱	۱۱۱۵/۵۶ns	۸/۲۲ns	۱۵۵۳۷/۷ns	۸۱۵/۵۶ns	۲۰۱۱۸۵/۵ns
خطای سال	۴	۱۹۰/۲۵	۱/۹۳	۴۰۵۵/۷	۱۸۰/۲۵	۳۳۸۷۴۸/۰
تنش خشکی	۱	۳۴۵۲۱/۶۴**	۱۵۷۰/۷۰**	۲۳۷۷۰۷۹۹/۵**	۲۴۵۲۱/۴۴**	۱۸۶۶۴۴۴۲/۷**
سال × تنش خشکی	۱	۰/۵۹ns	۰/۵۸ns	۳۲۰۴/۲ns	۴/۵۹ns	۴۷۲۰۲۹/۱ns
خطای a	۴	۱۷/۸۹	۱/۱۰	۸۵۶/۴	۱۸/۸۹	۱۶۷۴۷۹/۴
رقم	۳	۷۸۵۰/۱۴**	۱۲۱/۶۴**	۱۷۳۶۷۷/۷**	۶۸۵۰/۳۴**	۶۱۶۴۹۰۰/۷**
تنش خشکی × رقم	۳	۱۴۶/۱۵ns	۵/۴۷**	۱۹۴۱۰/۰**	۱۴۶/۱۵ns	۴۲۱۸۸۹/۱ns
سال × رقم	۳	۸۳/۰۴ns	۱/۶۷ns	۲۹۸۷/۸ns	۸۵/۰۴ns	۱۳۹۴۷۲۲/۳**
سال × تنش خشکی × رقم	۳	۸۱/۸۵ns	۱/۰۸ns	۲۱۲۰/۰ns	۸۱/۲۵ns	۲۶۴۰۵۲/۱ns
خطای b	۲۴	۶۸/۵۶	۱/۱۲	۲۷۲۶/۷	۵۸/۵۳	۱۴۲۴۹۴/۷
محلول پاشی	۲	۲۰۶۰/۵۵**	۴۷/۵۷**	۸۷۵۹۲/۰**	۱۰۶۰/۵۳**	۴۲۶۴۵۱/۳**
تنش خشکی × محلول پاشی	۲	۱۰/۲۵ns	۶/۴۲*	۱۱۴۳۱/۷*	۱۰۰/۲۵ns	۱۱۷۴۳۶/۴ ns
رقم × محلول پاشی	۶	۱۷۴/۴۰*	۳/۸۶*	۳۷۸۶/۹ns	۷۴/۴۰ns	۳۶۸۱۷۹/۸ns
سال × محلول پاشی	۲	۲۹/۷۰ns	۰/۲۳ns	۴۶/۱ns	۳۹/۷۰ns	۵۸۷۶۰/۰
سال × تنش خشکی × محلول پاشی	۲	۴۱/۲۵ns	۲/۵۵ns	۳۲۵۰/۲ns	۴۴/۲۲ns	۳۰۰۰۴/۶ns
سال × رقم × محلول پاشی	۶	۳۷/۱۷ns	۰/۸۴ns	۱۳۸۶/۲ns	۳۳/۴۷ns	۹۶۲۴۱/۷ns
رقم × تنش خشکی × محلول پاشی	۶	۱۴۵/۱۳*	۳/۸۸*	۳۳۰۶/۶ns	۲۵/۳۳ns	۲۱۱۸۹۱/۹ns
سال × تنش خشکی × رقم × محلول پاشی	۶	۷/۵۵ns	۱/۹۰ns	۲۹۷۵/۴ns	۸/۱۵ns	۵۹۳۳۱/۹ns
خطا	۶۴	۶۲/۰۲	۱/۶۶	۳۰۳۵/۹	۵۲/۸۲	۱۹۹۸۶۳/۱
ضریب تغییرات (CV%)		۷۹/۶	۰۲/۷	۸۱/۴	۱۹/۹	۲۲/۱۵

ns, \*\*, \* به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم اختلاف معنی داری می باشد.

ادامه جدول ۲. تجزیه واریانس اثر تیمارهای تنش خشکی و محلول پاشی نانوذره منیزیم بر صفات مورفولوژیک ارقام آفتابگردان در دو سال

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی	درصد روغن	عملکرد روغن	محتوای نسبی آب	شاخص نشت الکترولیت
سال	۱	۲۸/۳۷ns	۳۲۱۹۴/۱ns	۳/۱۲۱ns	۱/۴۰۶ns
خطای سال	۴	۱۹/۶۱	۱۴۶۵۷۹/۷	۵۹/۷۸۵	۳/۲۹۸
تنش خشکی	۱	۷۳۲/۳۳**	۵۵۹۷۳۳۳/۳**	۱۸۹۷/۴۶۸**	۱۹۰۰/۵۷۵**
سال × تنش خشکی	۱	۴/۶۴ns	۱۶۴۹۷۴/۷ns	۱۳/۸۶۴ns	۰/۰۲۹ns
خطای a	۴	۵/۲۲	۴۷۵۲۸/۶	۸/۸۴۶	۵/۷۱۹
رقم	۳	۲۹۶/۰۳**	۲۰۲۹۷۲۷/۳**	۴۵۶/۰۰۶**	۸۷/۹۴۳**
تنش خشکی × رقم	۳	۳۰/۶۲*	۶۰۶۶۴/۶ns	۱۳۹/۳۱۷**	۲/۹۸۲ns
سال × رقم	۳	۶۸/۸۵**	۴۱۰۸۶/۰ns	۶۴/۸۰۰ns	۰/۰۰۵ns
سال × تنش خشکی × رقم	۳	۱۶/۸۲ns	۷۹۶۱۲/۱ns	۲۱/۴۶۹ns	۰/۰۰۳ns
خطای b	۲۴	۶/۹۳	۴۹۸۲۹/۴	۲۷/۴۷۶	۸/۰۲۴
محلول پاشی	۲	۱۶۸/۰۷**	۱۳۸۴۰۰/۶**	۵۶۶/۶۷۴**	۸۹/۶۰۸**
تنش خشکی × محلول پاشی	۲	۹/۸۴ns	۲۵۲۳۹/۵ns	۱۱/۷۷۰ns	۱/۵۶۹ns
رقم × محلول پاشی	۶	۱۵/۹۶ns	۱۳۴۸۹۵/۱ns	۱۴۲/۹۹۲**	۱۱/۵۰۵*
سال × محلول پاشی	۲	۸/۴۹ns	۲۰۶۱۸/۵ns	۵/۳۷۱ns	۰/۰۰۳ns
سال × تنش خشکی × محلول پاشی	۲	۶/۳۳ns	۷۳۲۲/۳ns	۱/۴۷۳ns	۰/۰۰۴ns
سال × رقم × محلول پاشی	۶	۶/۱۹ns	۲۴۵۲۳/۰ns	۲/۹۵۷ns	۰/۰۰۴ns
رقم × تنش خشکی × محلول پاشی	۶	۱۲/۲۸ns	۶۰۳۰۷/۳ns	۹۰/۱۱۵*	۱۴/۲۲۵*
سال × تنش خشکی × رقم × محلول پاشی	۶	۵/۱۲ns	۱۵۶۳۳/۵ns	۶/۱۴۲ns	۰/۰۰۵ns
خطا	۶۴	۹/۱۶	۶۷۶۸۸/۱	۳۳/۸۹۰	۴/۵۱۶
ضریب تغییرات (CV%)		۷۱/۷	۹۰/۲۱	۳۸/۷	۴۷/۸

ns, \*\*, \* به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم اختلاف معنی داری می باشد.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی نانوذره منیزیم بر برخی صفات ارقام آفتابگردان

تنش	نانوذره منیزیم	ارقام	ارتفاع (cm)	قطر طبق (cm)	محتوای نسبی آب (%)	شاخص نشت الکترولیت (%)
بدون محلول پاشی	برزگر	۲۰۰/۴۳±۱/۳۴b	۲۲/۲۷±۰/۰۳cd	۸۰/۸۴±۰/۹۴c-f	۲۰/۹۸±۱/۰۸k-n	
	فرخ	۱۷۷/۳۰±۲/۳۵de	۱۷/۳۷±۰/۰۶fg	۷۶/۹۲±۱/۶۴efg	۲۴/۵۲±۱/۱۰ghi	
	قاسم	۱۷۹/۴۶±۲/۷۸de	۱۹/۹۴±۰/۰۷e	۷۹/۱۲±۱/۹۳def	۲۳/۴۶±۰/۷۰hij	
	شمس	۱۹۶/۶۰±۲/۰۶bc	۲۱/۰۱±۰/۰۵de	۷۹/۳۱±۱/۴۴def	۲۲/۳۴±۰/۲۴i-l	
نرمال	برزگر	۲۲۰/۶۸±۱/۹۷a	۲۵/۵۸±۰/۰۵a	۸۶/۳۳±۱/۰۷abc	۱۹/۹۴±۱/۳۳lmn	
	فرخ	۱۸۳/۵۱±۱/۲۹de	۲۰/۳۶±۰/۰۳e	۷۹/۴۰±۰/۸۹def	۲۲/۲۸±۱/۳۸i-l	
	قاسم	۱۸۵/۹۱±۱/۸۱cd	۱۹/۷۵±۰/۰۵e	۸۳/۰۴±۱/۲۷b-f	۱۹/۲۷±۱/۱۱mn	
	شمس	۲۱۲/۹۱±۱/۷۰a	۲۴/۳۶±۰/۰۴ab	۸۹/۱۶±۳/۰۳ab	۲۱/۳۶±۱/۰۰j-m	
تنش خشکی	برزگر	۲۱۵/۲۵±۳/۶۶a	۲۴/۰۲±۰/۰۹b	۹۰/۰۴±۲/۱۵a	۱۸/۸۵±۰/۲۵n	
	فرخ	۱۸۳/۲۵±۱/۷۳de	۲۰/۷۳±۰/۰۴e	۷۸/۶۴±۱/۲۱edf	۲۲/۷۴±۰/۳۹ijk	
	قاسم	۱۸۲/۲۳±۱/۵۷de	۲۰/۶۶±۰/۱۶e	۸۱/۸۹±۱/۵۸c-f	۲۱/۵۷±۰/۲۴j-m	
	شمس	۲۱۱/۷۶±۲/۳۵a	۲۳/۶۶±۰/۰۶cb	۸۴/۷۰±۱/۶۰a-d	۲۰/۰۱±۰/۳۱lmn	
بدون محلول پاشی	برزگر	۱۷۳/۴۳±۰/۸۶ef	۱۵/۹۴±۰/۰۲gh	۷۷/۲۱±۰/۶۰efg	۲۷/۲۱±۰/۴۷def	
	فرخ	۱۴۳/۰۵±۷/۷۷i	۱۳/۰۰±۰/۱۹j	۶۹/۶۸±۲/۲۰hi	۳۴/۰۴±۱/۵۷a	
	قاسم	۱۵۲/۶۶±۳/۵۷hi	۱۳/۸۸±۰/۰۹ji	۶۹/۱۲±۱/۹۸i	۳۱/۴۹±۰/۶۹b	
	شمس	۱۶۱/۱۵±۶/۳۷gh	۱۴/۱۵±۰/۱۶ji	۶۶/۶۹±۱/۴۶i	۲۹/۱۳±۰/۸۶bcd	
تنش خشکی	برزگر	۱۸۴/۰۸±۳/۱۸ed	۱۷/۹۰±۰/۰۸f	۸۳/۰۹±۲/۲۳b-e	۲۵/۵۱±۰/۹۳fgh	
	فرخ	۱۵۵/۶۸±۷/۸۶gh	۱۳/۴۹±۰/۲۰ij	۷۱/۷۱±۲/۷۴ghi	۲۸/۷۶±۰/۵۵cde	
	قاسم	۱۶۴/۰۵±۴/۲۸fg	۱۴/۹۱±۰/۱۱hi	۷۸/۵۶±۱/۵۹def	۲۷/۴۷±۰/۴۴c-f	
	شمس	۱۷۸/۸۵±۱/۳۱de	۱۶/۵۹±۰/۰۳fg	۷۶/۸۳±۰/۹۲efg	۲۸/۷۹±۰/۴۱cde	
محلول پاشی در مرحله پر شدن دانه	برزگر	۱۷۹/۸۱±۴/۸۶ed	۱۶/۸۵±۰/۱۲fg	۸۱/۹۴±۳/۴۰c-f	۲۶/۹۰±۰/۶۵d-g	
	فرخ	۱۵۰/۳۸±۰/۸۲hi	۱۳/۶۷±۰/۰۲ij	۷۱/۴۹±۰/۹۶ghi	۲۹/۷۰±۱/۲۸bc	
	قاسم	۱۵۵/۵۶±۲/۳۶gh	۱۴/۱۴±۰/۰۶ij	۷۶/۳۶±۱/۶۷fgh	۲۸/۸۴±۰/۶۱cde	
	شمس	۱۷۹/۰۰±۲/۴۸de	۱۵/۹۴±۰/۰۶gh	۷۹/۶۰±۱/۷۳def	۲۶/۶۶±۰/۳۰efg	

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند. از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

### ۳.۳. تعداد دانه در طبق

محلول پاشی منیزیم در مرحله پر شدن دانه به دست آمد به طوری که بین این تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). رقم برزگر و شمس هم در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی به مراتب تعداد دانه در طبق بیش‌تری داشت، که این نشان از پتانسیل بالای این دو رقم دارد (جدول ۵). کم‌آبیاری طی مرحله گلدهی موجب افت شدید در تعداد دانه خواهد شد (Emam et al., 2012). ممکن است علت

اثر متقابل تنش × رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل تنش خشکی × محلول پاشی در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد دانه در طبق آفتابگردان معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین میزان تعداد دانه در طبق در تیمار آبیاری نرمال × محلول پاشی منیزیم در مرحله گلدهی و کم‌ترین میزان آن در تیمار تنش خشکی × بدون محلول پاشی و

### ۴.۳. وزن هزاردانه

اثر اصلی تنش خشکی، رقم و محلول پاشی نانوذر منیزیم بر وزن هزاردانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین بین ارقام این نتیجه به دست آمد که رقم برزگر دارای بیشترین وزن هزاردانه و سه رقم شمس، قاسم و فرخ به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. محلول پاشی نانوذر منیزیم باعث بهبود وزن هزاردانه نسبت به تیمار بدون محلول پاشی شد، به طوری که بیشترین میزان وزن هزاردانه در تیمار محلول پاشی در مرحله پرشدن دانه و کمترین میزان آن در تیمار بدون محلول پاشی به دست آمد (جدول ۶). گزارش شده است که اثر رقم بر وزن هزاردانه مؤثر بوده است (Roshdi et al., 2009). کاهش وزن هزاردانه در اثر بروز تنش خشکی در آفتابگردان نیز توسط پژوهش‌گران اثبات شده است (Heidari & Karami, 2013؛ Yadollahi, 2013). احتمال دارد تنش خشکی در روند فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از بوته‌ها به دانه‌ها تأثیر منفی گذاشته و در نتیجه منجر به کاهش وزن دانه‌ها و چروکیدگی آن‌ها و در نهایت کاهش عملکرد دانه شود (Pereyra-Irujo & Aguirrezabal, 2007).

### ۵.۳. عملکرد دانه

اثر اصلی تنش خشکی، رقم و محلول پاشی نانوذر منیزیم بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). تنش خشکی باعث کاهش معنی دار عملکرد دانه شده است. رقم برزگر دارای بیشترین عملکرد دانه و سه رقم شمس، قاسم و فرخ به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. بیشترین میزان عملکرد دانه در تیمار محلول پاشی در مرحله گلدهی و پرشدن دانه و کمترین میزان آن در تیمار بدون محلول پاشی به دست آمد (جدول ۶). برخی از پژوهش‌گران علت کاهش عملکرد دانه را

کاهش تعداد دانه و در نهایت عملکرد به خاطر عقیمی تخمدان گلچه‌ها در اثر تنش خشکی باشد (Kalamian et al., 2006; Adebayo & Menkir, 2014). گزارش شد که کاربرد غلظت‌های مختلف سولفات منیزیم، تأثیر مثبت و فزاینده‌ای بر تعداد دانه در غوزه گیاه گلرنگ داشت (Vafaie et al., 2013). اثر نانوذرات مختلف بر صفت تعداد دانه در بلال ذرت (Moaveni & Kheiri, 2011) و تعداد دانه در سنبله گندم (Moaveni et al., 2011)، مثبت و معنی دار گزارش شده است.

### جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی در

#### محلول پاشی نانوذر منیزیم بر تعداد دانه در طبق آفتابگردان

تنش	نانوذر منیزیم	تعداد دانه در طبق
بدون محلول پاشی		۱۵۰۷/۴۰±۴۰/۵۵b
نرمال	محلول پاشی در مرحله گلدهی	۱۶۱۳/۲۹±۱۹/۰۴a
	محلول پاشی در مرحله پرشدن دانه	۱۵۲۷/۷۴±۴۰/۴۵b
بدون محلول پاشی		۷۲۷/۲۴۰±۲۴/۴۶d
تنش خشکی	محلول پاشی در مرحله گلدهی	۷۷۱/۶۹۰±۴۶/۶۷c
	محلول پاشی در مرحله پرشدن دانه	۷۱۱/۷۴۰±۲۴/۴۰d

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند. از نظر آماری اختلاف معنی داری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

### جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی در ارقام بر

#### صفات تعداد دانه در طبق و درصد روغن آفتابگردان

تنش	ارقام	تعداد دانه در طبق	روغن (درصد)
نرمال	برزگر	۱۶۴۵/۲۱±۲۰/۰۰a	۴۳/۹۷±۰/۷۱a
	فرخ	۱۴۴۷/۸۰±۱۷/۹۰b	۳۹/۲۳±۰/۳۷cd
	قاسم	۱۴۹۷/۸۴±۱۳/۷۵b	۴۰/۸۶±۰/۸۵bc
تنش خشکی	شمس	۱۶۰۷/۰۶±۱۵/۴۵a	۴۲/۰۸±۰/۵۸b
	برزگر	۷۹۴/۱۵±۱۱/۲۸c	۴۰/۹۲±۰/۷۲bc
	فرخ	۶۸۷/۴۴±۹/۴۲۰d	۳۲/۰۶±۱/۲۲d
شمس	قاسم	۷۱۱/۲۸۹±۱۱/۹۵d	۳۶/۵۱±۱/۱۵e
	شمس	۷۵۴/۶۷۱±۱۲/۵۹c	۳۸/۵۳±۰/۹۵d

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند. از نظر آماری اختلاف معنی داری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.



درصد روغن و رقم فرخ دارای کمترین میزان بود (شکل ۵). اصولاً درصد روغن یک صفت کمی است و توسط چندین ژن کنترل می‌شود، بنابراین آسیب دیدن تعداد زیادی از ژن‌های کنترل کننده در اثر تنش خشکی، بعید به نظر می‌رسد. از این رو، کاهش درصد روغن در اثر تنش خشکی جزئی است (Yadollahi et al., 2014). با این وجود تنش آبی در مراحل رشد رویشی، گلدهی و پرشدن دانه موجب کاهش درصد روغن در گیاه آفتابگردان می‌شود (Alyari et al., 2000).

علت را می‌توان چنین بیان کرد که در ابتدا کربوهیدرات‌ها تجمع می‌یابند و سپس این ماده به روغن و پروتئین و یا هر ماده دیگر تبدیل می‌شود، پس هرچه طول این مدت در دانه بیشتر باشد درصد روغن نیز بالاتر خواهد بود (Razi & Asaad, 1998). بنابراین شاید بتوان گفت چون در شرایط بدون تنش زمان بیش‌تری جهت پرشدن دانه وجود دارد، لذا درصد روغن نیز در این تیمار بیش‌تر است. در آزمایشی تأثیر منیزیم را بر صفات گیاه پنبه، مورد بررسی قرار گرفت و گزارش شد که درصد روغن این گیاه، تحت تأثیر مثبت و چشم‌گیر کاربرد منیزیم قرار می‌گیرد (Singh et al., 2015).

به ناکافی بودن مواد پرورده فراهم در زمان گلدهی و یا پیش از آن نسبت داده‌اند (Aslam et al., 2014). بررسی‌ها نشان می‌دهند که ارقام آفتابگردان، در عملکرد و اجزای عملکرد نیز از خود تفاوت معنی‌داری نشان می‌دهند (Taghavi et al., 2007). وجود تفاوت بین ارقام از نظر عملکرد و اجزای عملکرد، علاوه بر پتانسیل ژنتیکی ارقام (Leon et al., 2000)، به شرایط محیطی نیز نسبت داده شده است (Safavi et al., 2011). هم‌چنین بالاترین عملکرد دانه گیاه ذرت، از تیمار محلول پاشی با نانوذره قبلاً گزارش شده است (Moaveni & Kheiri, 2011).

### ۶.۳. درصد روغن

اثر متقابل تنش خشکی × رقم در سطح احتمال پنج درصد بر درصد روغن آفتابگردان معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین میزان درصد روغن در تیمار محلول پاشی در مرحله گلدهی و پرشدن دانه و کم‌ترین میزان آن در تیمار بدون محلول پاشی به دست آمد (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × رقم بر درصد روغن دانه آفتابگردان نشان داد که رقم برزگر هم در شرایط آبیاری نرمال و هم در تنش خشکی دارای بیش‌ترین

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر اصلی تنش خشکی، محلول پاشی نانوذره منیزیم و ارقام بر برخی صفات آفتابگردان

تیمار	وزن هزاردانه (gr)	عملکرد دانه (kg.ha <sup>-1</sup> )	روغن (%)	عملکرد روغن (kg.ha <sup>-1</sup> )
نرمال	۴۶۱۶±۰/۵۹a	۳۲۹۶/۴۵±۶۱/۶۰a	۴۱/۵۱±۰/۶۳a	۱۳۸۴/۸۶±۳۹/۰۵a
تنش خشکی	۳۶۳۲±۰/۶۹b	۲۵۷۶/۴۱±۸۵/۷۵b	۳۷/۰۰±۱/۰۱b	۹۹۰/۵۴±۴۶/۰۲b
برزگر	۴۹/۰۷±۰/۸۸a	۳۴۲۷/۵۴±۹۱/۵۲a	۴۲/۴۴±۰/۷۲a	۱۴۷۲/۲۲±۵۸/۵۴a
فرخ	۴۲/۱۲±۰/۸۸c	۲۴۳۴/۴±۱۱۴/۹۰d	۳۵/۶۵±۰/۸۰d	۹۰۲/۵۲±۵۸/۶۳d
قاسم	۴۱/۵۵±۰/۹۹c	۲۸۴۰/۷۴±۱۱۶/۲c	۳۸/۶۳±۱/۰۰c	۱۱۲۹/۴۳±۶۷/۰۹c
شمس	۴۵/۱۸±۰/۸۴b	۳۰۴۳/۰۵±۱۰۱/۴b	۴۰/۳۱±۰/۷۷b	۱۲۴۶/۶۳±۵۷/۱۹b
بدون محلول پاشی	۴۰/۵۵±۰/۷۵b	۲۵۹۲/۴۴±۹۵/۹۹b	۳۷/۱۰±۰/۷۱b	۹۹۱/۹۵±۴۹/۸۴b
محلول پاشی در مرحله گلدهی	۴۲/۵۲±۰/۷۹ab	۳۱۰۱/۰۵±۹۵/۰۲a	۴۰/۲۲±۰/۶۵a	۱۲۷۵/۷۳±۵۲/۷۵a
محلول پاشی در مرحله پر شدن دانه	۴۳/۱۸±۰/۹۸a	۳۱۱۵/۸۰±۱۰۷/۳a	۴۰/۴۵±۰/۷۰a	۱۲۹۵/۴۲±۶۵/۱۳a

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند. از نظر آماری اختلاف معنی‌داری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

### ۷.۳. عملکرد روغن

اثر اصلی تنش خشکی، رقم و محلول‌پاشی نانوذره منیزیم بر عملکرد روغن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر اصلی تنش خشکی بر عملکرد روغن نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد روغن شده است. براساس مقایسه میانگین بین ارقام این نتیجه به دست آمد که رقم برزگر دارای بیش‌ترین عملکرد روغن و سه رقم شمس، قاسم و فرخ به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. محلول‌پاشی منیزیم باعث بهبود عملکرد روغن نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی شد، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان عملکرد روغن در تیمار محلول‌پاشی در مرحله گلدهی و پرشدن دانه و کم‌ترین میزان آن در تیمار بدون محلول‌پاشی به دست آمد (جدول ۶). در یک مطالعه تنش خشکی اثری جزئی بر درصد روغن داشت، درحالی‌که بیش‌ترین عملکرد روغن به‌همراه بیش‌ترین عملکرد دانه تنها با آبیاری کامل در مراحل زایشی آفتابگردان به دست آمد (Goksoy et al., 2004). بیان شد که استفاده از عناصر ریزمغذی آهن و روی سبب افزایش عملکرد شده و در نتیجه، موجب افزایش تولید کربوهیدرات‌ها و در نهایت، افزایش درصد و عملکرد روغن کلزا خواهد شد (Grewal & Graham, 1999).

### ۸.۳. محتوای نسبی آب

اثر متقابل تنش خشکی × رقم × محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد بر محتوای نسبی آب برگ آفتابگردان معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین میزان محتوای نسبی آب برگ در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی در دو رقم برزگر و شمس در تیمار محلول‌پاشی منیزیم در مرحله گلدهی و پرشدن دانه و کم‌ترین میزان آن شرایط تنش خشکی و بدون محلول‌پاشی در سه رقم فرخ، شمس و قاسم به دست آمد (جدول ۳). محتوای آب نسبی بالاتر

نتیجه تنظیم اسمزی بیش‌تر و یا کاهش کم‌تر بافت دیواره سلولی است (Shamsi, 2020). مطالعه روی لویا نشان داده که در شرایط تنش خشکی محتوای آب نسبی برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Ghanbari et al., 2013). گزارش شد تنش خشکی موجب کاهش محتوای نسبی آب می‌شود و محلول‌پاشی نانوآکسید آهن و روی، موجب تعدیل کاهش محتوای نسبی آب و افزایش عملکرد دانه در شرایط تنش می‌شود (Babaei et al., 2017).

### ۹.۳. شاخص نشت الکترولیت (ELI)

اثر متقابل تنش خشکی × رقم × محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد بر شاخص نشت الکترولیت برگ آفتابگردان معنی‌دار بود. سایر اثرات، تأثیر معنی‌داری بر میزان شاخص نشت الکترولیت برگ نداشتند (جدول ۲). تنش خشکی باعث افزایش شاخص نشت الکترولیت در همه ارقام شد هرچند این افزایش شاخص نشت الکترولیت در رقم برزگر و شمس از بقیه ارقام کم‌تر بود. کم‌ترین میزان شاخص نشت الکترولیت در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی در رقم برزگر در کلیه تیمارهای محلول‌پاشی منیزیم و بیش‌ترین میزان آن در شرایط تنش خشکی و آبیاری نرمال در رقم فرخ در تیمار بدون محلول‌پاشی به دست آمد (جدول ۳). تحت تنش خشکی و گرما، غشای سلولی پایداری خود را از دست داده و در صورت قرارگرفتن برگ در یک محیط آبی مواد محلول از سلول‌های آن به بیرون تراوش می‌کند، لذا پایداری غشا به‌وسیله ارزیابی تراوش یونها از آن ارزیابی می‌شود (Sairam et al., 2000). Franca et al. (2000) نیز افزایش نشت الکترولیت را در تنش خشکی گزارش کردند. مطالعات Zago & Oteiza (2001) نشان داد عناصر غذایی با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهان نقش مهمی در تعدیل رادیکال‌های آزاد و آثار تخریبی آن‌ها در سیستم‌های غشایی دارند؛ محلول‌پاشی منیزیم با افزایش تولید آنزیم‌های

- analysis of drought tolerance in adapted× exotic crosses of maize inbred lines under managed stress conditions, *Euphytica*, 196(2), 261-270.
- Al-Snafi, A. E. (2018). The chemical constituents and pharmacological effects of *Foeniculum vulgare*-A review, *IOSR Journal of Pharmacy*, 8(5), 81-96.
- Alyari, H., Shekari, F., & Shekari, F. (2000). Oilseeds. *Agriculture and Physiology*, Amidi Publisher Tabriz. 182p. (In Persian)
- Aslam, W., Arfan, M., Shahid, S. A., Anwar, F., Mahmood, Z., & Rashid, U. (2014). Effects of exogenously applied Zn on the growth, yield, chlorophyll. *Int. J. Pharm. Chem. Biol.Sci.*, 5, 11-15.
- Babaei, K., Seyed Sharifi, R., Pirzad, A., & Khalilzadeh, R. (2017). Effects of bio fertilizer and nano Zn-Fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress, *Journal of Plant Interactions*, 12(1), 381-389. <https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1371798>
- Bert, P. F., Jouan, I., De Labrouhe, D. T., Serre, F., Philippon, J., Nicolas, P., & Vear, F. (2003). Comparative genetic analysis of quantitative traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.). 2. Characterisation of QTL involved in developmental and agronomic traits. *Theoretical and Applied Genetics*, 107(1), 181-189.
- Borowski, E., & Michałek, S. (2010). The effect of foliar nutrition of spinach (*Spinacia oleracea* L.) with magnesium salts and urea on gas exchange, leaf yield and quality. *Acta Agrobotanica*, 63(1), 77-85.
- Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification?, *Plant and Soil*, 302(1-2), 1-17.
- Carvalho, L. M. D., Araújo, S. B. D., Carvalho, H. W. L. D., & Carvalho, C. G. P. D. (2018). Proline content of sunflower cultivars in the Brazilian semiarid region, Pesquisa Agropecuária Brasileira, 53(8), 970-973. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2018000800012>
- Emam, Y., Shekoofa, A., Salehi, F., Jalali, A. H., & Pessarakli, M. (2012). Drought stress effects on two common bean cultivars with contrasting growth habits, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58(5), 527-534. <https://doi.org/10.1080/03650340.2010.530256>
- Ertiftik, H., & Zengin, M. (2016). Response of sunflower to potassium and magnesium fertilizers in calcareous soils in central Anatolia of Turkey. *Journal of Plant Nutrition*, 39(12), 1734-1744. <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1187741>

حذف کننده رادیکال های آزاد، تحمل گیاه را به تنش رطوبتی افزایش می دهد، در نتیجه گیاه دیرتر با شرایط تنش مواجه می شود و درصد نشت آن کاهش می یابد.

#### ۴. نتیجه گیری

تنش خشکی باعث کاهش عملکرد گیاه شد ولی با توجه به نتایج، واکنش همه ارقام به تنش یکسان نبوده و در این آزمایش رقم برزگر تحمل بیش تر و رقم فرخ حساسیت بیش تری نسبت به تنش در مقایسه با سایر ارقام داشت. استفاده از محلول پاشی نانوذره منیزیم تا حدی اثرات تنش را بهبود بخشید. استفاده از نانوکودها به منظور کنترل دقیق آزادسازی عناصر غذایی می تواند گامی مؤثر به منظور دستیابی به کشاورزی پایدار و سازگار با محیط زیست باشد. از این رو، به نظر می رسد با به کارگیری نانوکودها به عنوان جایگزین کودهای مرسوم، عناصر غذایی کود به تدریج و به صورت کنترل شده در خاک آزاد شوند که در این حالت برای افزایش عملکرد کمی و کیفی آفتابگردان، استفاده از فناوری های نوین به ویژه نانوفناوری می تواند افق تازه ای پیش روی کشاورزی در ایران قرار دهد.

#### ۵. تشکر و قدردانی

از مسئولین محترم دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس و مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج به خاطر فراهم سازی بستر این پژوهش و اجرای تحقیقات مزرعه ای، تشکر و قدردانی می گردد.

#### ۶. تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

#### ۷. منابع

- Adebayo, M. A., Menkir, A., Blay, E., Gracen, V., Danquah, E., & Hearne, S. (2014). Genetic

- Franca, M. G. C., Thi, A. T. P., Pimentel, C., Rossiello, R. O. P., Zuily-Fodil, Y., & Laffray, D. (2000). Differences in growth and water relations among *Phaseolus vulgaris* cultivars in response to induced drought stress, *Environmental and Experimental Botany*, 43(3), 227-237. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(99\)00060-X](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(99)00060-X)
- Ghanbari, A. A., Shakiba, M. R., Toorchi, M., & Choukan, R. (2013). Morpho-physiological responses of common bean leaf to water deficit stress, *European Journal of Experimental Biology*, 3(1), 487-492.
- Goksoy, A. T., Demir, A. O., Turan, Z. M., & Dagustu, N. (2004). Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages, *Field Crops Research*, 2(87), 167-178.
- Grewal, H. S., & Graham, R. D. (1999). Residual effects of subsoil zinc and oilseed rape genotype on the grain yield and distribution of zinc in wheat, *Plant and Soil*, 207(1), 29-36.
- Hassan, A. M., & Mohamed, H. E. (2019). 1-Arginine Pretreatment Enhances Drought Resistance of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Plants by Increase in Polyamines Content, *Journal of Plant Growth Regulation*, 38(1), 600-605.
- Heidari, M., & Karami, A. V. (2013). Evaluation of effect drought stress and species of arbuscular-mycorrhizal fungi on yield and grain yield components, chlorophyll contents and bioghmical compounds of sunflower, *Environmental Stress in Crop Science*, 6(1), 17-26. (In Persian)
- Hermans, C., Johnson, G. N., Strasser, R. J., & Verbruggen, N. (2004). Physiological characterisation of magnesium deficiency in sugar beet: acclimation to low magnesium differentially affects photosystems I and II, *Planta*, 220(2), 344-355.
- Hocking, P. J., & Steer, B. T. (1983). Uptake and partitioning of selected mineral elements in sunflower (*Helianthus annuus* L.) during growth, *Field Crops Research*, 6, 93-107. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(83\)90051-5](https://doi.org/10.1016/0378-4290(83)90051-5)
- Hossain, M. I., Khatun, A., Talukder, M. S. A., Dewan, M. M. R., & Uddin, M. S. (2010). Effect of drought on physiology and yield contributing characters of sunflower, *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 35(1), 113-124.
- Kalamian, S., Modares, S. S., & Sepehri, A. (2006). Effect of water deficit at vegetative and reproductive growth stages in leafy and commercial hybrids of maize, 53, 38-53 (In persian)
- Leon, A. J., Andrade, F. H., & Lee, M. (2000). Genetic mapping of factors affecting quantitative variation for flowering in sunflower, *Crop science*, 40(2), 404-407. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.402404x>
- Miyashita, K., Tanakamaru, S., Maitani, T., & Kimura, K. (2005). Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress, *Environmental and experimental botany*, 53(2), 205-214. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.03.015>
- Moaveni, P., & Kheiri, T. (2011, November). TiO<sub>2</sub> nano particles affected on maize (*Zea mays* L.). In *2nd international conference on agricultural and animal science* (Vol. 22, pp. 160-163). Singapore: IACSIT Press.
- Paygzar, Y., Ghanbari, A., Heidari, M., & Tavassoli, A. (2009). Effect foliar of micronutrients on the quantitative and qualitative characteristics of millet under drought stress (*Pennisetum glaucum*) species notrifed. *Iranian J. Agric. Sci., Islamic Azad University of Tabriz*, 3(10), 67-78. (in Persian)
- Pereyra-Irujo, G. A., & Aguirrezábal, L. A. (2007). Sunflower yield and oil quality interactions and variability: Analysis through a simple simulation model, *Agricultural and Forest Meteorology*, 143(3-4), 252-265. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.01.001>
- Poormohammad Kiani, S., Maury, P., Nouri, L., Ykhlef, N., Grieu, P., & Sarrafi, A. (2009). QTL analysis of yield-related traits in sunflower under different water treatments. *Plant Breeding*, 128(4), 363-373. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2009.01628.x>
- Razi, H., & Asaad, T. (1998). Evaluation of important agronomic traits and drought stress tolerance related criteria changes in sunflower cultivars. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 2(1), 31-43. [In Persian with English Abstract].
- Rebey, I. B., Jabri-Karoui, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F., & Marzouk, B. (2012). Effect of drought on the biochemical composition and antioxidant activities of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds, *Industrial Crops and Products*, 36(1), 238-245. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.09.013>
- Roshdi, M., Rezadost, S., Khalil Mahaleh, J., & Haji Nasab, N. (2009). The impact of bio-fertilizers on yield of three varieties of sunflower, *Journal of Agricultural Sciences and Technology*. 10, 24-11. (In persian)

- Safavi, A., Pordad, S.S., & Jamshid Moghadam, M. (2011). Sunflower drought tolerant genotypes, *Journal of Plant and Seed*, 2, 129-148. (In Persian)
- Sairam, R. K., Srivastava, G. C., & Saxena, D. C. (2000). Increased antioxidant activity under elevated temperatures: a mechanism of heat stress tolerance in wheat genotypes, *Biologia Plantarum*, 43(2), 245-251.
- Schneiter, A. A., & Miller, J. F. (1981). Description of sunflower growth stages. *Crop Science*, 21(6), 901-903.
- Sánchez, F. J., Manzanares, M., de Andres, E. F., Tenorio, J. L., & Ayerbe, L. (1998). Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crops Research*, 59(3), 225-235. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00125-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00125-7)
- Shamsi, K. (2010). The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 8(3), 1051-1060.
- Singh, K., Rathore, P., & Gumber, R. K. (2015). Effects of foliar application of nutrients on growth and yield of Bt cotton (*Gossypium hirsutum* L.), *Bangladesh Journal of Botany*, 44(1), 9-14.
- Škorić, D. (2009). Sunflower breeding for resistance to abiotic stresses/mejoramiento de girasol por resistencia a estreses abióticos/sélection du tournesol pour la résistance aux stress abiotiques. *Helia*, 32(50), 1-16. <https://doi.org/10.2298/hel0950001s>
- Solomon, S., Manning, M., Marquis, M., & Qin, D. (2007). Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC (Vol. 4). *Cambridge university press*.
- Stuart, N. W. (1940). Comparative cold hardiness of scion roots from fifty apple varieties. *Proceedings, American Society for Horticultural Science*, 1939, 37, 330-4.
- Taghavi, D., Valadiani, A., Nourmohamadi, G., & Fatahi, A. (2007). The Relationship between extinction coefficient and density of grain yield figures nutty sunflower (*Helianthus annuus* L.), *Journal of Agricultural Sciences*, 2, 414-405. (In Persian)
- Vafaie, A., Ebadi, A., Rastgou, B., & Moghadam, S. H. (2013). The effects of potassium and magnesium on yield and some physiological traits of safflower (*Carthamus tinctorius*). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)*, 5(17), 1895-1900.
- Yadollahi Dehcheshmeh, P., Bagheri, A.A., Amiri, A., & Esmailzadeh, S. (2014). Effects of drought and foliar application on yield and photosynthetic pigments sunflower, *Journal of Crop Physiology*, 6(21), 73-83. (In Persian)
- Zago, M. P., & Oteiza, P. I. (2001). The antioxidant properties of zinc: interactions with iron and antioxidants, *Free Radical Biology and Medicine*, 31(2), 266-274. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(01\)00583-4](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(01)00583-4)