

## تغییرات برخی از صفات فیزیولوژیک و ترکیب اسیدهای چرب روغن دانه گلرنگ با کاربرد نانوذرات سیلیکون، تیتانیوم و روی در شرایط مختلف رطوبتی

امین عباسی<sup>\*۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۹/۲۷)

### چکیده

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گیاهی چندمنظوره است که به‌ویژه به‌دلیل برخورداری آن از اسیدهای چرب چند اشباعی به‌عنوان گیاه روغنی کشت می‌شود. اما تنش خشکی بین فصلی و انتهای فصل علاوه بر کاهش عملکرد دانه سبب تغییر در کیفیت محصول نیز می‌شود. از طرفی استفاده از نانوذرات به خاطر سطح تماس بالای آنها، می‌تواند موجب کاهش اثرات ناشی از تنش‌های محیطی شود. به همین منظور، پژوهش حاضر برای بررسی اثرات افشانه کردن نانو دی‌اکسید سیلیکون (۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار)، نانو دی‌اکسید تیتانیوم (۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار) و نانو اکسید روی (۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار) بر رشد و عملکرد گلرنگ بهاره در سه رژیم رطوبتی متفاوت (مرطوب (عدم تنش)، تنش کم‌آبی و تنش شدید) در سال ۱۳۹۴ انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد نانوذرات تأثیر مثبتی بر کاهش اثرات منفی تنش خشکی داشت. در بین نانوذرات، کاربرد نانو تیتانیوم توانست شاخص سبزیگی، غلظت پروتئین، خاکستر، روغن دانه، درصد رطوبت، آنزیم آلفا-آمیلاز و دمای کانوپی را به‌ترتیب ۱۱/۴۵، ۲۸/۶۸، ۱۵/۴۷، ۱۴، ۳۸/۰۲ و ۱۶/۳۸ و ۱۶/۷۱ درصد بهبود بخشد. با توجه به اهمیت اسیدهای چرب لینولئیک و اولئیک، بیشترین مقادیر این اسیدهای چرب به‌ترتیب در تیمارهای نانو تیتانیوم ۵۰ میلی‌مولار و عدم کاربرد نانو کود در شرایط تنش خشکی مشاهده شد. به‌عنوان نتیجه نهایی از پژوهش حاضر می‌توان اذعان کرد که کاربرد نانوذرات به‌خصوص نانو تیتانیوم می‌تواند با تأثیر مثبت بر کاهش اثرات تنش خشکی سبب بهبود کمی و کیفی روغن دانه گلرنگ شود.

واژه‌های کلیدی: اولئیک اسید، آلفا آمیلاز، پروتئین، دمای کانوپی، فیبر، لینولئیک اسید

۱. استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: a.abbasi25@yahoo.com

## مقدمه

در برنامه چهارم توسعه کشور، فراهم کردن زمینه‌های رشد کشاورزی با رویکردهایی از قبیل تأمین امنیت غذایی، خودکفایی در تولید محصولات کشاورزی و توسعه صادرات از مسئولیت‌های مهم بخش کشاورزی و منابع طبیعی در نظر گرفته شده است. برخلاف انتظار، متأسفانه سالانه مقادیر مهمی از منابع ارزی کشور صرف واردات محصولات غذایی می‌شود که در این میان بیش از ۸۰ درصد مصرف داخلی روغن‌های خوراکی کشورمان از کشورهای دیگر تأمین می‌شود.

بحران کم‌آبی یکی از خطرناک‌ترین چالش‌های پیش روی جهان است که هر ساله دو سوم از جمعیت جهان یعنی بیش از چهار میلیارد نفر را به مدت یک ماه تحت تأثیر خود قرار می‌دهد (۴۱). با توجه به خشکسالی‌های اخیر کشور و پیش‌بینی مشکل کمبود آب، کشت گیاهانی همانند گلرنگ به عنوان جایگزینی مناسب برای محصولاتی با نیازهای آبی بالا مورد نظر است (۳۷). اما وقوع تنش خشکی ترکیبات اسیدهای چرب اندام‌های هوایی به خصوص دانه‌های این گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به گونه‌ای که کمبود آب علاوه بر کاهش عملکرد، منجر به کاهش درجه غیر اشیاعی اسیدهای چرب غیر اشیاع می‌شود (۱۲). در این راستا طبق گزارشات همرونی و همکاران (۱۶) وقوع تنش خشکی سبب افزایش اسیدهای چرب پالمیتیک (۱۶:۰) و استئاریک (۱۸:۰) و کاهش لینولئیک (۱۸:۲) و لینولنیک (۱۸:۳) در گیاه گلرنگ شد. پژوهشگران متعددی (۵۳) اذعان کردند کاربرد خارجی برخی از مواد شیمیایی می‌تواند موجب بالا بردن تحمل گیاهان در برابر شرایط نامساعد محیطی شود. نانوذرات با توجه به سطح ویژه بالا و افزایش کارایی واکنش‌پذیری آنها می‌توانند به عنوان راه‌حلی مناسب به منظور تولید محصولات کشاورزی و غذایی در شرایط تنش مطرح شوند. این ویژگی‌ها در گیاهان موجب تسهیل و تسریع در جذب مواد می‌شود. با این حال اثرات مثبت یا منفی نانوذرات روی گیاهان به عوامل متعددی نظیر نوع ماده شیمیایی، اندازه نانوذرات، سطح ویژه فعالیت آنها و غلظت مورد استفاده بستگی

دارد (۴۹). همچنین پاسخ گیاهان به کاربرد غلظت معینی از نانوذرات در گیاهان مختلف، مراحل رشدی آنها و حتی در شرایط اقلیمی گوناگون متفاوت است. رسانش مواد به نقطه هدف در گیاه، انتقال مواد با فعالیت هدفمند شده، رهاسازی تدریجی و کنترل شده در نقطه مورد نظر در گیاه همگی مواردی هستند که فناوری نانو امکان انجام آنها را در علوم گیاهی و کشاورزی فراهم آورده است (۴۹). از مهم‌ترین نانوذرات که قادر به بهبود کارکرد گیاهی هستند می‌توان به نانو دی‌اکسید سیلیکون، نانو دی‌اکسید تیتانیوم و نانو اکسید روی اشاره داشت.

سیلیکون بعد از اکسیژن دومین عنصر فراوان در خاک است. در پژوهش‌های متعددی مشخص شده است که با توجه به نقش این عنصر در کاهش خسارات ناشی از تنش اکسیداتیو، کاربرد آن در شرایط بروز تنش‌های محیطی همانند تنش خشکی می‌تواند موجب بهبود رشد و نمو گیاهان شود (۱۷). امروزه اثبات شده است که کاربرد سیلیکون باعث افزایش مقادیر اسمولیت‌های سلولی و افزایش مقاومت گیاهان نیز می‌شود. از طرفی این ماده با تشکیل کمپلکس‌های آلی حاوی سیلیکون به راحتی می‌تواند در دیواره سلولی رسوب یابد و از این طریق میزان اتصال کاتیون‌ها در فضاهای آزاد ظاهری دیواره سلولی را تحت تأثیر قرار دهد. همچنین رسوب سیلیکون در دیواره‌های سلولی اپیدرم برگ به صورت مستقیم سبب کاهش میزان تعرق و بهبود وضعیت کارایی مصرف آب در گیاهان زراعی می‌شود (۱۸).

دی‌اکسید تیتانیوم بیش از ۹۵ درصد از منابع مصرفی تیتانیوم را به خود اختصاص داده است. این عنصر علاوه بر تأثیر مستقیم روی جذب و انتقال عناصر آهن و روی در کاهش شدت تنش‌های محیطی و کاهش بیماری‌های گیاهی نیز تأثیر بسزایی دارد (۲). کاربرد این ماده می‌تواند با تأثیر بر آنزیم‌های درگیر در مسیرهای جذب و تثبیت نیتروژن موجب افزایش پروتئین و تحریک سنتز کلروفیل شود. لازم به ذکر است که، فرم  $(N-TiO_2)$  یکی از مناسب‌ترین کاتالیزورها در واکنش‌های

فتوکاتالیزی محسوب می‌شود (۳۹). نانوذرات تیتانیوم که به‌عنوان یکی از نانو بلورهای نیمه‌هادی اکسید فلزی شناخته می‌شود کلیه ویژگی‌های تیتانیوم را داراست، علاوه بر آن با توجه به اندازه کوچک‌تر و سطح تماس بیشتر دارای اثربخشی بیشتر نیز است. با این حال اطلاعات دقیقی در رابطه با اثر غلظت‌های مختلف نانوذرات بر گلرنگ در دست نیست.

نانو اکسید روی با توجه به تأیید اهمیت اکسید روی از طرف سازمان غذا و داروی آمریکا (۴۲) به‌عنوان ترکیب نانو برای این ماده سنتز شده است. بررسی‌ها نشان داده‌اند که کاربرد نانو اکسید روی علاوه بر افزایش مصرف غلظت عنصر روی در گیاهان بر میزان جذب سایر عناصر و تحمل به تنش خشکی نیز تأثیر دارد (۲۷).

وقوع تنش خشکی در کشتزارهای کشور رشدونمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاهش اثرات تنش خشکی می‌تواند نقش مؤثری در بهبود کمی و کیفیت عملکرد گیاهان داشته باشد. در پژوهش حاضر تلاش شده تا اثر کاربرد غلظت‌های مختلف نانو دی‌اکسید سیلیکون، نانو دی‌اکسید تیتانیوم و نانو اکسید روی به‌عنوان کاهش‌دهنده اثرات سوء تنش خشکی روی برخی صفات فیزیولوژیکی و محتوای روغن در رقم بدون خار گلستان گلرنگ مورد بررسی قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

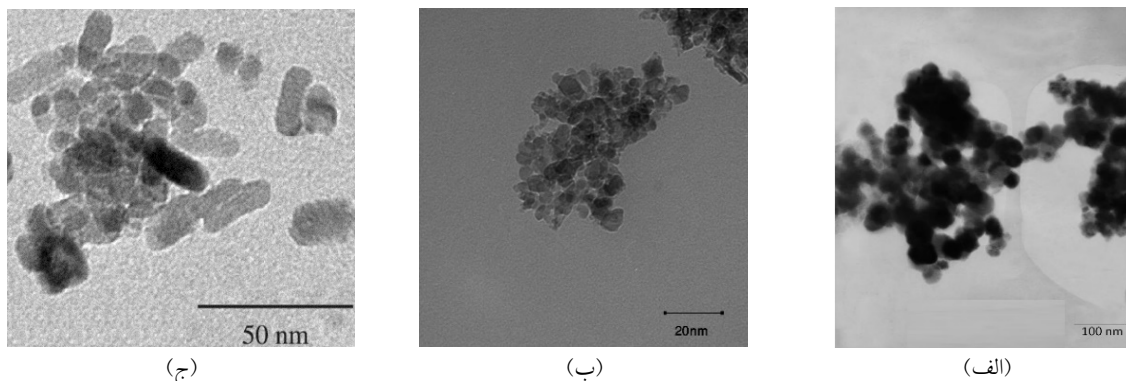
پژوهش حاضر در کشتزار پژوهشی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه با مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۳ دقیقه عرض شمالی، ۴۶ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی و ۱۵۳۱ متر بلندی از سطح دریا، میانگین درازمدت بارندگی ۳۰۹/۹ میلی‌متر در سال زراعی ۱۳۹۴ انجام شد. عملیات آماده‌سازی بستر و کاشت به‌صورت دستی صورت گرفت. تغذیه کودی کشتزار بر اساس تجزیه خاک و به دو شکل کود پایه و کود سرک صورت گرفت. کود پایه شامل ۱۸ کیلوگرم در هکتار کود فسفات آمونیوم و ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، در هنگام دیسک زدن در سطح خاک و کود سرک

شامل ۱۰ کیلوگرم کود فسفات آمونیوم در هنگام توسعه ساقه استفاده شد. برای کاشت از رقم بدون خار گلستان استفاده شد. بذور در عمق پنج سانتی‌متری با ۱۰ سانتی‌متر فاصله بین بوته و ۵۰ سانتی‌متر فاصله بین ردیف‌ها در کرت‌هایی به مساحت چهار مترمربع کشت شدند. این پژوهش با بهره‌گیری از آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی شامل سطوح آبیاری (آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی به‌عنوان شرایط عدم تنش، آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی به‌عنوان تنش متوسط و آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به‌عنوان تنش شدید) و فاکتور فرعی شامل کاربرد نانو دی‌اکسید سیلیکون (۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار)، نانو دی‌اکسید تیتانیوم (۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار) و نانو اکسید روی (۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار) بود. زمان‌های آبیاری مزرعه با اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش وزنی از طریق نمونه‌گیری خاک در یک نوبت در وسط هر روز از عمق توسعه ریشه در تیمارهای مختلف و رسیدن به رطوبت مورد نظر تعیین شد. (۳۲). اعمال تنش‌های خشکی از مرحله هشت‌برگی شروع شد. به‌منظور یکسان بودن آب در دسترس گیاهان، میزان آب آبیاری برای هر کرت با در نظر گرفتن عمق توسعه ریشه (۵۰ سانتی‌متر)، مساحت کرت و رطوبت ظرفیت زراعی خاک بر حسب مترمکعب محاسبه شد (۴۷) و به مقدار مشخص به هر کرت داده شد.

$$In = \frac{(Fci - \theta i) \times D \times A}{100} \quad (1)$$

In: حجم آب مصرفی، Fci: رطوبت خاک در شرایط ظرفیت زراعی،  $\theta i$ : مقدار رطوبت خاک در شرایط نمونه‌برداری، D: عمق مناسب نفوذ ریشه و A: سطح کرت مورد استفاده

لازم به ذکر است که نانو اکسید روی، نانو دی‌اکسید تیتانیوم و نانو دی‌اکسید سیلیکون مورد استفاده به‌ترتیب به روش‌های هم‌رسوبی (۱۰)، سل ژل (۳۱) و اشتوبر (۴۶) در آزمایشگاه پژوهشی و تحقیقاتی گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مراغه تهیه شد. تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (Transmission Electron Microscopic) ذرات حاصل از



شکل ۱. تصاویر (TEM) میکروسکوب الکترونی: الف) نانو اکسید روی، ب) نانو دی اکسید سیلیکون و ج) نانو دی اکسید تیتانیوم

برای اندازه‌گیری میزان پروتئین، مقدار نیتروژن تمامی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه کلدال تعیین و میزان پروتئین با استفاده از ضریب ۶/۵۲ برای میزان نیتروژن برآورد شد.

مواد کانی موجود در بافت گیاهی با نام خاکستر خام شناخته می‌شود. برای جداسازی مواد کانی از دیگر فاکتورها باید نمونه‌های گیاهی در دمای بالا (۵۵۰ درجه سیلیسیوس) سوخته و صرفاً مواد کانی موجود قابل اندازه‌گیری است.

رطوبت دانه از اختلاف وزن اولیه بذور با وزن بذور خشک شده به دست می‌آید. به این منظور، رطوبت موجود در دانه بعد از قرارگیری نمونه‌ها به مدت سه روز در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرائت و از رطوبت اولیه کسر می‌شود.

پیش از تجزیه واریانس، نرمال بودن توزیع داده‌ها و خطاها بررسی شد. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی توسط آزمون LSD انجام شد. تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها توسط نرم‌افزارهای ۱۲ GenStat و ۱۷ SPSS صورت گرفت.

## نتایج و بحث

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌های مزرعه‌ای آشکار شد که کاربرد نانوذرات سیلیکون، تیتانیوم و روی در تیمارهای تنش مورد بررسی قادر به بهبود شماری از صفات بررسی شده در این پژوهش بودند. به گونه‌ای که با توجه به جدول ۱ برهم‌کنش مربوط به اعمال تنش خشکی و کاربرد نانو ذرات روی پروتئین، خاکستر، محتوای روغن، رطوبت، آنزیم آلfa-آمیلاز، دمای کانوی، فیبر، لینولئیک، اولئیک، استئاریک،

واکنش هم‌رسوبی در شکل ۱ آورده شده است. افشانه کردن در سه مرحله، هفت‌برگی، آغاز گل‌دهی و ظهور کامل گل‌ها توسط نانوذرات سیلیکون، تیتانیوم و روی صورت پذیرفت. اندازه‌گیری شاخص سبزی‌نگی برگ با فاصله ۱۰ روز پس از آخرین افشانه کردن افشانه کردن توسط دستگاه کلروفیل سنج (Spad Minolta-۵۰۲) و دمای سایه‌انداز هفت روز بعد از اعمال آخرین افشانه کردن با استفاده از دماسنج مادون قرمز (Testo ۸۳۰-T۲) اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آلfa آمیلاز از روش روبرتز و وایت هاوس (۴۵) استفاده شد. در این روش عصاره حاصل از یک گرم نمونه پودر شده گیاهی و پنج میلی‌لیتر محلول ۶۰ میلی‌مولار بافر فسفات پس از سانتریفیوژ شدن برای سنجش میزان فعالیت این آنزیم مورد استفاده قرار گرفت. واکنش با افزودن محلول آنزیمی صاف شده به لوله آزمایش حاوی نشاسته یک درصد، آب مقطر و ۵/۰ میلی‌لیتر ید آغاز و جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر (UV-۲۱۰۰ Spectrophotometer) اندازه‌گیری شد. یادآور می‌شود که نشاسته در مجاورت محلول فوق رنگ آبی را ظاهر کرد. میزان فعالیت این آنزیم در نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد نشاسته و بر حسب میزان نشاسته هیدرولیز شده محاسبه شد.

ترکیبات اسیدهای چرب روغن نمونه‌ها با روش AOCS (۱۹۹۳) به وسیله کروماتوگرافی سری گازی (Netherland) Chrompack CP ۹۰۰۱ تعیین شدند.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر تنش رطوبتی و افشانه کردن نانو ذرات بر صفات مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						شاخص سبزینگی	پروتئین	خاکستر	محتوی روغن	رطوبت	آلفا-آمیلاز	دمای کانوبی	فیبر
تکرار	۲	۴/۴۴	۰/۲۴۲	۰/۰۰۷۴	۵/۲۴	۰/۰۴۲	۰/۳۰۱	۰/۳۳	۰/۱۶۶						
تنش	۲	۲۷۴/۹**	۲۳۴/۵۶**	۵/۰۰**	۳۰۳/۳۷**	۹/۶۸**	۷۴۸/۸**	۱۲۰/۹**	۱۲۵/۴۳**						
خطای اصلی	۴	۱/۲۳	۰/۳۰۸	۰/۰۰۸۷	۲/۸۱۱	۰/۰۹	۲/۳	۱/۰۲	۰/۱۸۸						
نانوذرات	۶	۳۵/۶۲**	۲۶/۳**	۰/۲۴**	۱۶/۲۷**	۰/۳۱**	۸/۸۷**	۵/۴۴**	۲/۶۳**						
نانوذرات × تنش	۱۲	۱/۱۳ <sup>ns</sup>	۱/۱۸**	۰/۰۶۷**	۲/۷۱**	۰/۰۷۷**	۱/۹۱**	۴/۵۷**	۱/۰۶**						
خطای فرعی	۳۶	۰/۵۲	۰/۳۳	۰/۰۰۴۷	۰/۴۱	۰/۰۱۷	۰/۴۳	۰/۸۱	۰/۱۸۲						
ضریب تغییرات(%)	-	۱/۵	۳/۲	۲/۶	۲/۶	۲/۸	۲/۳	۳/۲	۱/۸						

\*\* معنی داری در سطح یک درصد، \* معنی داری در سطح آماری پنج درصد، ns از لحاظ آماری غیر معنی دار

## ادامه جدول ۱.

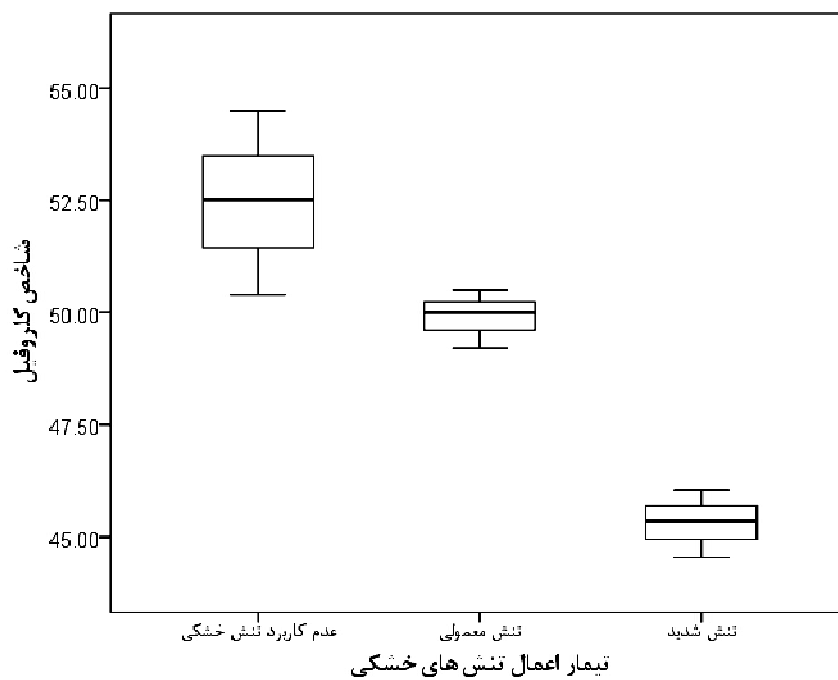
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						لینولنیک	آراشیدیک	میرستیک	پالمیتیک	استئاریک	اولئیک	لینولنیک	لینولنیک
تکرار	۲	۶/۲۷	۰/۵۴۲	۰/۰۱۴	۰/۱۷۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۲۶	۰/۰۰۹۶							
تنش	۲	۲۲۴۱/۱۴**	۱۴۴/۷۱**	۳/۷۰۶**	۴۲/۴۸**	۰/۰۵۲**	۰/۱۲۷**	۰/۳۶۳**							
خطای اصلی	۴	۱/۹۱	۰/۴۵	۰/۰۰۲	۰/۰۴۵	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۲							
نانوذرات	۶	۲۷/۶۷**	۲/۸۲**	۰/۱۰۱**	۱/۳۳**	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۵۲**	۰/۰۱۰۲**							
نانوذرات × تنش	۱۲	۴/۰۱**	۰/۳۵۵**	۰/۰۲**	۰/۱۴۳**	۰/۰۰۰۹**	۰/۰۰۰۱۱**	۰/۰۰۰۲ <sup>ns</sup>							
خطای فرعی	۳۶	۰/۸۲	۰/۰۵۳	۰/۰۰۴	۰/۰۴۵	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۴							
ضریب تغییرات(%)	-	۱/۶	۱/۹	۲/۲	۳	۵/۹	۴/۲	۸/۸							

\*\* معنی داری در سطح یک درصد، \* معنی داری در سطح آماری پنج درصد، ns از لحاظ آماری غیر معنی دار

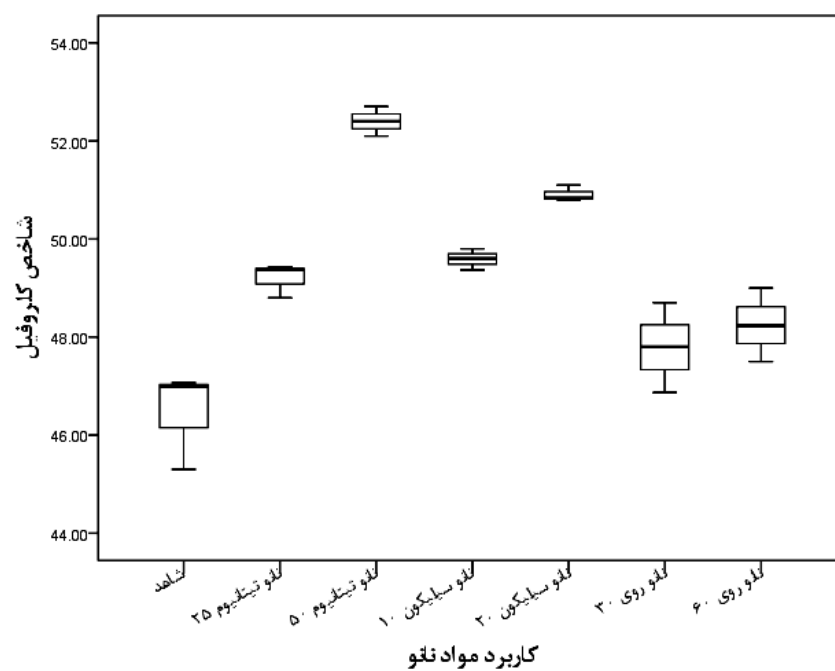
الف). تیمارهای تیتانیوم ۵۰ میلی مولار و عدم کاربرد نانو ذرات به ترتیب دارای بیشترین (۱۵۷/۶) و کمترین (۱۴۱/۸) شاخص سبزینگی برگ بودند (شکل ۲-ب). موسی (۳۵)، اذعان کرد مصرف تیتانیوم سبب افزایش شاخص سبزینگی در گیاه می شود و دلیل این امر شاید افزایش فعالیت آنزیم ATPase و تحریک سنتز کوفاکتورهای فلزی باشد که نتیجه آن سبب افزایش جذب و تجمع کاتیون های ضروری رشد باشد. از طرفی افزایش جذب نترات در حضور عنصر تیتانیوم تأثیر مستقیمی بر سنتز پروتئین و کلروفیل می تواند داشته باشد (۵۳). همچنین عنصر

پالمیتیک، میرستیک، آراشیدیک و لینولنیک در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. همچنین اثرات ساده فاکتورهای مورد بررسی بر صفات شاخص سبزینگی برگ و لینولنیک اسید روغن در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. لذا تفسیر نتایج بر حول محور اثرات متقابل ارائه شده است.

با توجه به جدول تجزیه واریانس داده ها (جدول ۱)، اثرات ساده کاربرد نانوذرات و تنش خشکی بر شاخص سبزینگی برگ در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. با افزایش تنش خشکی مقادیر شاخص سبزینگی برگی کاهش یافت (شکل ۲-۲)



(الف)



(ب)

شکل ۲. الف) اثر اعمال تنش خشکی بر شاخص سبزیگی گلرنگ بهاره و ب) اثر کاربرد نانوذرات بر شاخص سبزیگی گلرنگ بهاره

کاهش فلورسانس تأثیر می‌گذارد. در پژوهش حاضر، کاربرد نانو دی‌اکسید سیلیکون منجر به افزایش ۱۰ درصدی شاخص

تیتانیوم با جایگزینی با برخی از فلزات زنجیره انتقال الکترون به‌شدت روی انتقال الکترون فتوستتزی در شرایط تنش و

شدید از ۱۱/۴۶ درصد به ۱۶/۰۷ درصد کاهش داد. لازم به ذکر است که نانو ذره تیتانیوم با افزایش بیان ژن آنزیم روبیسکو اکتیواز سبب افزایش پروتئین می‌شود (۴۹). با کاربرد این نانو ذرات انتظار بر این است که کربوکسیلاسیون روبیسکو افزایش یافته و به تبع آن کارایی فتوسنتز و ثبات سلولی بهبود یابد. در حضور نانوذرات تیتانیوم میزان نشت الکترولیت در سلول‌های گیاهی نیز کاهش می‌یابد (۴۸) که نشان از کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی است. افت مقدار پروتئین در تیمارهای کاربرد نانوتیتانیوم در این پژوهش می‌تواند به دلیل حفظ تعادل سلولی و کاهش اثرات تنش خشکی باشد.

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که برهم‌کنش تیمارهای آبیاری و سطوح نانوذرات برای صفت میزان خاکستر گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. بیشترین مقدار خاکستر مربوط به تیمار تیتانیوم ۵۰ میلی‌مولار در شرایط رطوبتی و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد در شرایط تنش خشکی شدید بود (جدول ۲). درصد خاکستر بیانگر مقدار مواد کانی موجود در بافت‌های گیاهی است، با توجه به کاهش جذب مواد کانی در شرایط وقوع تنش خشکی انتظار بر این است که درصد خاکستر نیز در این شرایط کاهش یابد (۲۹)، کاهش درصد خاکستر گیاهان در شرایط تنش خشکی توسط کریمی و همکاران (۲۵) نیز گزارش شده است. طبق اظهارات پایس (۴۰) با کاربرد تیتانیوم میزان وزن خشک و خاکستر گیاهچه‌ها افزایش معنی‌داری می‌یابد. دلیل این افزایش نقش مستقیم تیتانیوم در جذب برخی از عناصر غذایی همانند نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم، روی، منگنز و آهن است.

طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱)، برهم‌کنش تیمارهای آبیاری و سطوح نانو ذرات در سطح احتمال یک درصد روی صفت محتوی روغن معنی‌دار بود. بیشترین میزان روغن دانه مربوط به تیمار ۵۰ میلی‌مولار تیتانیوم در شرایط بهینه رطوبتی و کمترین آن مربوط به تیمارهای شاهد در شرایط تنش خشکی شدید بود (جدول ۲). افشانه کردن موادی با خصوصیات نانو سبب افزایش محتوی روغن دانه گیاهان روغنی می‌شود (۲۸). در این میان، نانو دی‌اکسید سیلیکون با

سبزی‌نگی برگ نسبت به سطح شاهد شد. این ماده موجب افزایش سنتز کلروفیل (۵۳) و بهبود محتوی کلروفیل حتی در شرایط وقوع تنش‌های محیطی نیز می‌شود (۳۰). نانو دی‌اکسید سیلیکون در شرایط تنش با کاهش تعرق سبب ایجاد تحمل به تنش خشکی می‌شود (۴۹). در این راستا، امیری و همکاران (۴) گزارش کردند که افشانه کردن این ماده سبب افزایش میزان کلروفیل برگ‌ها نیز می‌شود. آل-آقابری و همکاران (۳) در گیاه گوجه‌فرنگی تحت شرایط بروز تنش با کاربرد سیلیکون افزایش میزان کلروفیل b را گزارش کردند، آنها همچنین تأثیر این عنصر بر افزایش کارایی فتوسنتز ۲ را نیز ثبت کردند. علاوه بر موارد ذکر شده، عناصر تیتانیوم و سیلیکون به دلیل محافظت از کلروپلاست در برابر نور شدید که به واسطه افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان همانند کاتالاز، پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز (۱۹) سبب طولانی‌تر شدن زمان فتوسنتز کلروپلاست نیز می‌شود (۵۳).

طبق تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱)، برهم‌کنش تیمارهای تنش خشکی و افشانه کردن نانوذرات بر محتوای پروتئین دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بالاترین درصد پروتئین مربوط به تیمار شاهد در شرایط تنش خشکی ملایم و کمترین آن مربوط به تیمار عدم کاربرد نانوذرات در شرایط تنش خشکی شدید بود (جدول ۲). هم‌راستا با این پژوهش عباسی و همکاران (۱)، کریمی و همکاران (۲۵)، موحدی دهنوی و همکاران (۳۴) و باقحانی و فرح‌بخش (۶) در گیاهان گندم، کتان و گلرنگ، نیز اذعان داشتند درصد پروتئین با وقوع تنش خشکی افزایش می‌یابد. در پاسخ به تنش خشکی سلول‌های گیاهی شروع به سنتز و تجمع پرولین، پروتئین، قند، ترکیبات الکلی، سیکلیتول‌ها و اسیدهای آلی می‌کنند که افزایش پروتئین در تیمارهای تنش ملایم نیز می‌تواند ناشی از این عمل باشد. اما در ارتباط با تیمار تنش خشکی شدید در این پژوهش افت میزان پروتئین احتمالاً هم‌راستا با نتایج رنجان و همکاران (۴۳) در نتیجه تجزیه پروتئین توسط انواع اکسیژن فعال و کاهش سنتز پروتئین باشد. در پژوهش حاضر، کاربرد نانو تیتانیوم ۵۰ میلی‌مولار میزان پروتئین را در شرایط تنش خشکی

جدول ۲. اثر متقابل کاربرد نانو ذرات تیتانیوم و سیلیکون بر صفات مورد مطالعه در شرایط متفاوت رطوبتی

اسید موریستیک	فیر	رطوبت	محتوای روغن	خاکستر	پروتئین	تیماز	تنش خشکی
(درصد)							
۰/۱۴۰	۴۴/۴۳۰	۶/۰۴۰	۲۷/۵۰۰	۲/۹۴۴	۲۱/۵۷۴	بذر خشک	عدم تنش
۰/۲۹۳ab	۴۵/۷۶۰	۶/۶۳ab	۳۱/۱۰۰	۳/۶۸۰	۱۹/۱۱۵	نانو تیتانیوم ۲۵	
۰/۳۱۶a	۴۵/۹۴۰	۶/۹۶۰	۳۲/۶۹۰	۳/۸۶۰	۱۷/۳۱۴	نانو تیتانیوم ۵۰	
۰/۶۸۰	۴۵/۰۳۰	۶/۴۵ab	۲۹/۳۵۰	۳/۷۷۰	۲۰/۴۹۰	نانو سیلیکون ۱۰	
۰/۷۵۰	۴۵/۲۳۰	۶/۵۸abc	۳۰/۸۳ab	۳/۱۹۰	۱۷/۹۷۴	نانو سیلیکون ۲۰	
۰/۱۴۰	۴۴/۴۳۰	۶/۱۰۵	۲۷/۶۷cd	۳/۰۲۵	۲۱/۴۰۰	نانو روی ۳۰	تنش خشکی ملایم
۰/۲۴۵	۴۴/۷۸۰	۶/۱۰۰	۲۷/۸۰cd	۳/۰۰۰	۲۰/۶۸cd	نانو روی ۶۰	
۰/۱۵۰	۴۲/۴۳۰	۵/۰۸۴	۲۳/۳۹gh	۲/۷۱۴	۲۳/۸۹۰	بذر خشک	
۰/۱۷۵	۴۲/۹/۸۰	۵/۱۶۴	۲۵/۴۳۴cd	۲/۸۲۴	۱۸/۹۰۰	نانو تیتانیوم ۲۵	
۰/۱۹d	۴۲/۳۱۰	۵/۶۰۴	۲۶/۸۳۵	۲/۹۳۴	۱۸/۱۷۰	نانو تیتانیوم ۵۰	
۰/۱۷۵	۴۲/۸۶۰	۵/۱۵۴	۲۴/۴۰gh	۲/۸۲۴	۲۰/۸۰cd	نانو سیلیکون ۱۰	تنش خشکی شدید
۰/۱۹d	۴۲/۱۱۰	۵/۳۶۴	۲۵/۱۳۴cd	۲/۸۴	۲۰/۱۳cd	نانو سیلیکون ۲۰	
۰/۱۷۵	۴۲/۳۴۰	۵/۳۱۴	۲۴/۰۳gh	۲/۷۴۴	۲۱/۱۷۰	نانو روی ۳۰	
۰/۱۸۰	۴۲/۵۰	۵/۳۵۴	۲۴/۴۳۵gh	۲/۸۳۴	۲۲/۳۵	نانو روی ۶۰	
۰/۱۵۰	۳۸/۴۷۴	۵/۰۶۸	۱۹/۶۷۴	۲/۱۳۰	۱۱/۴۰	بذر خشک	
۰/۱۴۰	۳۹/۶۳۴	۵/۱۶۴	۲۱/۸۳۵	۲/۲۱۰	۱۳/۸۳۰	نانو تیتانیوم ۲۵	تنش خشکی شدید
۰/۱۸۰	۴۰/۸۰۵	۵/۱۶۴	۲۲/۸۷gh	۲/۵۲gh	۱۶/۰۷۴	نانو تیتانیوم ۵۰	
۰/۱۸۰	۴۱/۵۰	۵/۳۳۴	۲۱/۵۳۵	۲/۲۲۰	۱۲/۵۹gh	نانو سیلیکون ۱۰	
۰/۲d	۴۱/۸۳d	۵/۴۴	۲۴/۵۷۵gh	۲/۲۴۰	۱۳/۶۸۰	نانو سیلیکون ۲۰	
۰/۱۷۵	۴۰/۴۳۵	۵/۱۴	۲۲/۰۳gh	۲/۳۵۵	۱۶/۱۴	نانو روی ۳۰	
۰/۱۸۰	۴۰/۵۷۵	۵/۱۶۴	۲۱/۹۷gh	۲/۲۴۰	۱۶/۱۴۴	نانو روی ۶۰	

میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی داری ندارند.



ادامه جدول ۲.

دماي کانوني	آب-آيلاز	اسيد آراشيدنيک	اسيد نيولينيک	اسيد استئاريک	اسيد پالمايک	تيمار	تنش خشکي
(درصد)							
(سانتي گراد)	واحد آنزيمي بر ميلي ليتر)						
۲۶/۵۹gh	۳۵/۶۷a	۰/۲۵ef	۰/۳۶ab	۰/۱۵e	۴/۸۵m	بدر خشک	
۲۶gh	۳۵/۳۳a	۰/۳۴b	۰/۴۲ab	۰/۱۶de	۵/۹gh	نانو تيتانيوم ۲۵	
۲۵/۸۷h	۳۷/۳۳a	۰/۳۷a	۰/۴۶a	۰/۱۸de	۶/۰۷gh	نانو تيتانيوم ۵۰	
۲۶/۱۷gh	۳۷a	۰/۲۸cd	۰/۳۹ab	۰/۱۸de	۵/۹gh	نانو سيلکون ۱۰	علم تنش
۲۹/۱۱ef	۳۷/۳a	۰/۳۱bc	۰/۴۲ab	۰/۲d	۶/۱۷gh	نانو سيلکون ۲۰	
۲۶gh	۳۶a	۰/۲۷de	۰/۳۸ab	۰/۱۷de	۵/۳۳m	نانو روي ۳۰	
۲۵/۷۷h	۳۶a	۰/۲۶de	۰/۳۸ab	۰/۱۸de	۵/۷۴kl	نانو روي ۶۰	
۲۹/۷۱bcd	۳۰/۶۷bcd	۰/۱۷gh	۰/۱۵ef	۰/۱۵ef	۶/۲۶gh	بدر خشک	
۲۸/۶۸efgh	۳۰cde	۰/۱۹hi	۰/۲۰cd	۰/۱۷de	۶/۹۷efg	نانو تيتانيوم ۲۵	
۲۸/۰defgh	۳۲/۶۷b	۰/۳۳ef	۰/۲۵c	۰/۱۹d	۷/۴۲de	نانو تيتانيوم ۵۰	
۲۸/۹۳defg	۳۱bcd	۰/۱۹hi	۰/۲۰cd	۰/۱۷de	۶/۶gh	نانو سيلکون ۱۰	تنش خشکي ملايم
۲۸/۴defgh	۳۱bcd	۰/۲gh	۰/۲۴cd	۰/۱۹d	۷/۲۴ef	نانو سيلکون ۲۰	
۲۹/۱۳ef	۳۰/۴bcd	۰/۱۹hi	۰/۱۶ef	۰/۱۷de	۶/۶gh	نانو روي ۳۰	
۲۹/۴bcde	۳۱/۴bc	۰/۲gh	۰/۱۸cd	۰/۱۸de	۶/۸efgh	نانو روي ۶۰	
۳۴/۷۷a	۲۴b	۰/۱۳i	۰/۱۱ef	۰/۲۴c	۸/۱۷c	بدر خشک	
۳۲/۱۳bde	۲۶/۶۷g	۰/۲kl	۰/۱۶ef	۰/۲۴ab	۹/۰۴ab	نانو تيتانيوم ۲۵	
۲۸/۹defg	۲۸/۶۷def	۰/۱۸hi	۰/۲۱cde	۰/۳۱a	۹/۱۶a	نانو تيتانيوم ۵۰	
۳۰/۴۷bcd	۲۶/۶fg	۰/۱۳i	۰/۱۷cd	۰/۲۶bc	۸/۳۵bc	نانو سيلکون ۱۰	تنش خشکي شديد
۳۰bcd	۲۸/۷def	۰/۱۴kl	۰/۱۸cd	۰/۲۵c	۸/۶abde	نانو سيلکون ۲۰	
۳۲/۴ab	۲۵/۶gh	۰/۱۴kl	۰/۱۶ef	۰/۲۴c	۸/۱۲cd	نانو روي ۳۰	
۳۰/۹bcd	۲۷/۶efg	۰/۱۶kl	۰/۱۴ef	۰/۲۴bc	۸/۱۶c	نانو روي ۶۰	

ميانگين هائي با حروف مشابه در سطح احتمال يک درصد تفاوت معني داري ندارند.

افزایش تبادلات گازی، کارایی مصرف آب و درصد فتوسنتز خالص سبب افزایش رشدونمو گیاه و افزایش اجزای عملکرد و روغن دانه می‌شود (۴۹). در مورد تأثیر تنش خشکی بر درصد روغن گزارش‌های متفاوتی وجود دارد و با توجه به اینکه، درصد روغن دانه یک صفت کمی است و توسط ژن‌های متفاوتی کنترل می‌شود، بنابراین امکان آسیب دیدن تعداد متعددی از این ژن‌های کنترل‌کننده در شرایط تنش خشکی دور از انتظار نیست. از این‌رو احتمال می‌رود که کاهش درصد روغن در اثر تنش خشکی بایستی به‌صورت بسیار جزئی باشد (۲۳). در همین رابطه فرخی‌نیا و همکاران (۱۳) گزارش کردند درصد روغن دانه در گیاه گلرنگ تحت تأثیر تنش خشکی و عوامل محیطی قرار نگرفته است. همچنین توکلی (۵۰) نیز عدم تغییر درصد روغن دانه گلرنگ در اثر اعمال تیمار تنش ملایم را گزارش کردند. اما در پژوهش حاضر درصد روغن در شرایط تنش خشکی شدید افت بیشتری را تجربه کرد. نکته قابل ذکر این است که درصد روغن نشان‌دهنده نسبت روغن موجود در دانه به کل وزن دانه (پوست و فیبر) هست. با توجه به کاهش وزن دانه در شرایط تنش خشکی شدید این نکته دور از انتظار نیست که حتی با وجود کاهش میزان روغن در شرایط تنش خشکی، درصد روغن کل تغییر زیادی نشان ندهد (۵۰). ولی در همین رابطه، کافی و رستمی (۲۴) کاهش درصد روغن دانه در گیاه گلرنگ در اثر اعمال تنش خشکی شدید را گزارش کردند.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان می‌دهد که برهم‌کنش تیمارهای تنش خشکی و نانوذرات روی رطوبت دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. در این پژوهش تنش خشکی سبب کاهش رطوبت دانه شد به گونه‌ای که کمترین میزان رطوبت دانه در تیمار عدم کاربرد نانوذرات در شرایط تنش خشکی شدید ثبت شد. با توجه به اثرات کاربرد نانوذرات روی کاهش اثرات تنش خشکی انتظار بر این است که با کاربرد نانوذرات میزان رطوبت بذر افزایش یابد. در همین رابطه کاربرد نانوذرات تیتانیوم، سیلیکون و روی در شرایط تنش خشکی ملایم توانستند میزان رطوبت دانه را به‌ترتیب

۱۰/۲۴، ۵/۲۲ و ۵/۰۴ درصد افزایش دهند. در پژوهش حاضر بیشترین میزان رطوبت دانه نیز مربوط به تیمار تیتانیوم ۵۰ میلی‌مولار در شرایط بهینه رطوبتی بود (جدول ۲).

طبق نتایج تجزیه واریانس جدول ۱، برهم‌کنش اثرات تیمارهای تنش خشکی و کاربرد نانوذرات در سطح احتمال یک درصد روی فعالیت آنزیم آلfa آمیلاز معنی‌دار شد. شرایط محیطی در طول فصل رشد و به‌خصوص در مرحله رسیدگی بذر می‌تواند روی خصوصیات جوانه‌زنی و سبز شدن بذرها تأثیرگذار باشد (۲۶). تنش خشکی سبب کوچک و چروکیده شدن بذور تولیدی می‌شود که در نتیجه آن میزان و کیفیت ذخایر بذری نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد. بهبود شرایط رشدونمو در گیاه مادری سبب افزایش درصد جوانه‌زنی و طول و وزن گیاهچه‌های مورد مطالعه می‌شود (۱۴). کاهش فعالیت آنزیم‌های بذری و اختلال در رشد رویان توسط تعدادی از پژوهشگران گزارش شده است (۱۱ و ۱۴). آنزیم آلfa آمیلاز از آنزیم‌های تأثیرگذار در فرایند جوانه‌زنی است که فعالیت آن سبب شکستن پلیمر نشاسته و تجزیه آن به قندهای ساده می‌شود. بنا به اظهار نظر الیاس و همکاران (۱۱) وقوع تنش خشکی تأثیر منفی بر مقادیر فعالیت آنزیم‌های جوانه‌زنی بذر به‌خصوص آنزیم آلfa آمیلاز دارد که باتوجه به کاهش همزمان ذخایر بذر این تأثیر چند برابر خواهد شد. گزارش‌های متعددی از بهبود وضعیت جوانه‌زنی در شرایط افزایش میزان فعالیت این آنزیم در دسترس است (۳۶ و ۵۲). طی پژوهش حاضر میزان آلfa آمیلاز تحت تنش خشکی کاهش و در اثر افشانه کردن نانوذرات افزایش یافت. بیشترین میزان آلfa آمیلاز مربوط به تیمار تیتانیوم ۵۰ میلی‌مولار و کمترین میزان آن مربوط به تیتانیوم ۲۵ میلی‌مولار است (جدول ۲). انتظار بر این است که خصوصیات فیزیولوژیکی و متابولیسمی که به انجام جوانه‌زنی منتهی می‌شود در این تیمارها بیش از سایر تیمارهای مورد مطالعه باشد.

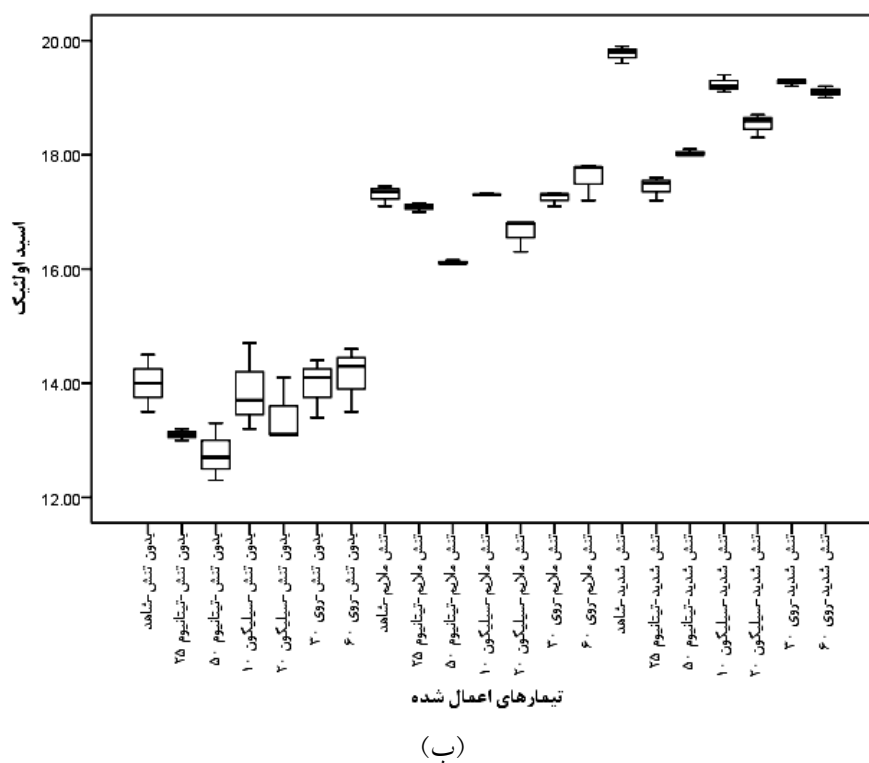
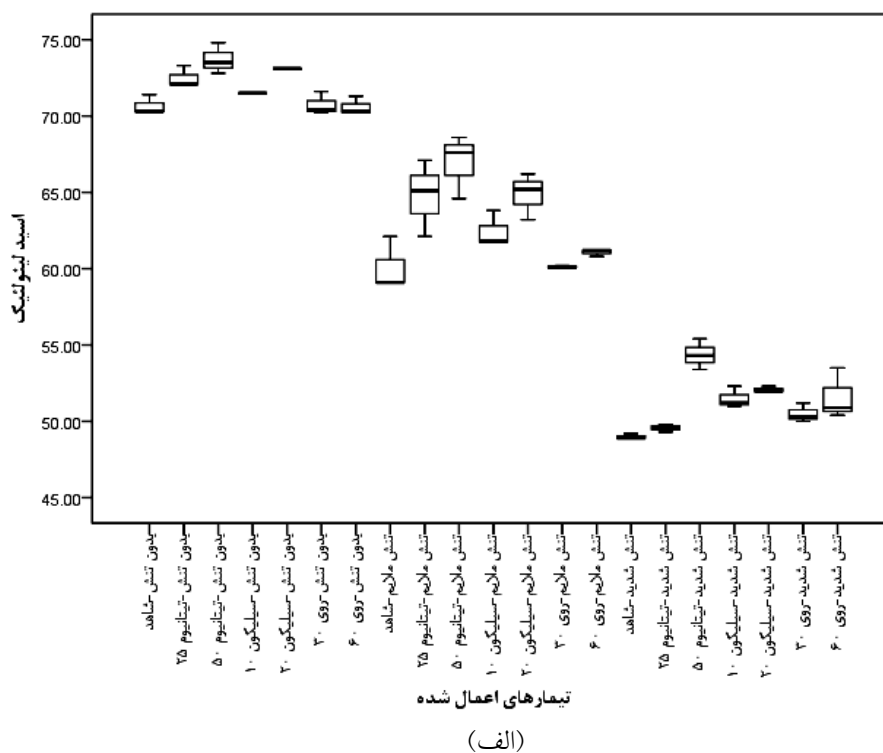
همان‌طور که از جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) مشاهده می‌شود، برهم‌کنش اثرات تنش خشکی و افشانه کردن نانوذرات برای صفت دمای کانوبی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. تیمار عدم کاربرد نانوذرات در شرایط

(۲۵) گزارش کردند که بروز تنش خشکی سبب کاهش معنی‌داری بر فیبر خام گیاه سورگوم شده است. یادآور می‌شود افزایش محتوی فیبر نشان‌دهنده کاهش قابلیت هضم و خوش‌خوراکی علوفه است (۴۴).

بر اساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر اسید چرب غالب گیاه گلرنگ لینولئیک است که میزان آن در مقایسه با سایر اسیدهای چرب با محدوده مقدار ۴۹ تا ۷۳/۷ درصد در بالاترین مقدار قرار داشت. با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس برهم‌کنش اثرات اصلی کاربرد نانو ذرات و تنش خشکی روی مقدار اسید چرب لینولئیک در سطح یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین مقدار اسید چرب لینولئیک (۷۳/۷ درصد) مربوط به تیمار نانو تیتانیوم ۵۰ میلی‌مولار و کمترین آن (۴۹ درصد) مربوط به تیمار عدم کاربرد تیمارهای نانو در شرایط تنش شدید بود. مقادیر این اسید چرب با بروز تنش خشکی ملایم ۱۰/۵۷ درصد و با بروز تنش شدید ۲۱/۶۷ درصد کاهش نشان داد. کاربرد نانو تیتانیوم ۵۰ میلی‌مولار توانست مقادیر اسید چرب لینولئیک را در تیمار تنش ملایم ۱۰/۲ درصد و تیمار تنش شدید ۹/۸۷ درصد بهبود دهد (شکل ۳-الف). تیمار سیلیکون ۲۰ میلی‌مولار توانست مقدار این اسید چرب را ۷/۳۵ درصد در تیمار تنش خشکی ملایم و ۵/۸۹ درصد در تیمار تنش خشکی شدید افزایش دهد. در رابطه با نانو روی، غلظت ۶۰ میلی‌مولار این ماده توانست مقدار اسید چرب لینولئیک را در تیمار تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب ۱/۵۸ و ۵/۰۳ درصد افزایش دهد. کاهش میزان این اسید چرب در شرایط تنش خشکی نیز توسط حسین و همکاران (۲۰) گزارش شده است. کیفیت بالای روغن گلرنگ به‌علت بالا بودن نسبت اسید چرب غیر اشباع به اسید چرب اشباع است به‌گونه‌ای که در ارقام اصلاح شده امروزی محتوای اسید چرب غیر اشباع در حدود ۹۰ درصد است. یادآور می‌شود که اسیدهای چرب غیر اشباع برای بدن انسان ضروری و مهم تلقی می‌شوند اما اسیدهای چرب اشباع برای بدن مضر هستند. افزودن اسیدهای چرب غیر اشباع در سبد غذایی سبب کاهش چربی خون، کلسترول، تری‌گلیسیریدها می‌شود و همچنین سبب افزایش HDL (کلسترول خوب خون) نیز می‌شود (۳۸).

تنش خشکی شدید با مقدار ۳۴/۲ درجه سانتی‌گراد بیشترین و تیمارهای ۵۰ میلی‌مولار نانو تیتانیوم و ۶۰ میلی‌مولار نانو اکسید روی در شرایط بهینه رطوبتی به ترتیب با مقادیر ۲۵/۸ و ۲۵/۷ درجه سانتی‌گراد دارای کمترین دمای کانوپی بودند (جدول ۲). اندازه‌گیری دمای کانوپی روش بسیار مناسبی برای مطالعه سریع، دقیق و غیر تخریبی پاسخ گیاه به تنش آب است (۲۲). طبق اظهارات هلیم و همکاران (۱۵) تنش خشکی سبب افزایش درجه حرارت پوشش گیاهی خواهد شد. در همین رابطه، نتایج پژوهش حاضر با نتایج حاصل از تحقیقات پژوهشگران دیگر (۱۵ و ۲۴) هم‌راستا بوده و نشان از افزایش دمای کانوپی در شرایط تنش خشکی است. بالا بودن دمای کانوپی در تیمارهای عدم کاربرد نانو ذرات و تنش خشکی ملایم و شدید را می‌توان به بسته بودن روزنه‌ها به‌علت حساسیت آنها به کمبود آب دانست (۲۱). با کاربرد نانو دی‌اکسید تیتانیوم این حساسیت کاهش یافته و در همین راستا با افت میزان تنفس در این گیاهان شاهد افزایش فتوسنتز خواهیم بود که این فعل و انفعالات را در بررسی پارامترهای درصد رطوبت دانه، محتوای روغن و درصد خاکستر می‌توان مشاهده کرد.

برهم‌کنش اثرات اصلی کاربرد نانو ذرات و تنش خشکی روی صفت فیبر در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بیشترین میزان این پارامتر در تیمار تیتانیوم ۵۰ و ۲۵ میلی‌مولار با مقادیر ۴۵/۹۴ و ۴۵/۷۶ درصد مشاهده شد. پایین‌ترین مقدار فیبر نیز در تیمار عدم کاربرد تیمار نانو در شرایط تنش خشکی شدید با مقدار ۳۸/۴۷ درصد مشاهده شد. کنجاله گلرنگ با درصد پروتئین و فیبر بالا همواره به‌عنوان منبع غذایی احشام استفاده می‌شود. وقوع تنش خشکی سبب کاهش میزان فیبر گیاه می‌شود. کاهش درصد الیاف خام علوفه تحت شرایط تنش خشکی توسط بونفیم سیلوا و همکاران (۸) و چاندرا و همکاران (۹) نیز گزارش شده است. میتال و همکاران (۳۳) وانگ و همکاران (۵۱) علت کاهش درصد الیاف خام علوفه را در شرایط بروز تنش خشکی به دلیل افزایش مرگ کنترل شده سلولی، تغییر در ساختار سلولی و کاهش سنتز اجزای دیواره سلولی می‌دانند. کریمی و همکاران



شکل ۳. الف) اثر کاربرد نانو ذرات بر مقدار اسید لئوئیک در شرایط متفاوت رطوبتی و ب) اثر کاربرد نانو ذرات بر مقدار اسید اولئیک در شرایط متفاوت رطوبتی

افزایش میزان اسید چرب اولئیک در مقایسه با اسید چرب لینولئیک سبب پایداری بیشتر و مطلوبیت بالاتر این روغن می‌شود، به همین دلیل یکی از اهداف پژوهشگران در راستای بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه گلرنگ محدود شدن ترکیب اسید چرب روغن به انواع اسید چرب لینولئیک و اولئیک است (۴۸). طی این پژوهش برهم‌کنش اثرات اصلی کاربرد نانو ذرات و تنش خشکی روی مقدار اسید چرب اولئیک در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بالاترین مقدار این اسید چرب (۱۹/۷۷ درصد) در تیمار عدم کاربرد نانو کود در شرایط تنش خشکی و کمترین مقدار آن (۱۲/۷ درصد) در تیمار افشانه کردن نانو تیتانیوم در شرایط آبیاری معمول ثبت شد. با توجه به شکل ۳-ب می‌توان نتیجه گرفت که وقوع تنش رطوبتی در این پژوهش سبب افزایش میزان اسید چرب اولئیک شد به گونه‌ای که میزان این اسید چرب در تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب ۱۹/۰۷ و ۲۹/۱۸ درصد نسبت به سطح شاهد (عدم تنش) افزایش یافت (شکل ۳-ب). بلالویی و همکاران (۷) اذعان کردند همانند پژوهش حاضر میزان اسید اولئیک در شرایط تنش خشکی در گیاه سویا افزایش معنی‌داری را نشان داد.

ترکیب اسیدهای چرب دانه گلرنگ به اسیدهای چرب لینولئیک، اولئیک، استئاریک و پالمیتیک محدود است و به‌طور معمول دانه‌های گلرنگ حاوی ۳۰ تا ۴۰ درصد روغن، ۱۵ تا ۲۰ درصد پروتئین و ۳۵ تا ۴۵ درصد پوست دانه هستند. توزیع و ترکیب اسیدهای چرب در دانه‌های گلرنگ تقریباً به یک اندازه هستند و میزان اسید استئاریک در دانه‌های گلرنگ پایین است. برهم‌کنش اثرات اصلی کاربرد نانو ذرات و تنش خشکی روی مقدار اسید چرب استئاریک در سطح یک درصد معنی‌دار بود. بالاترین میزان این اسید چرب در تیمار تیتانیوم ۵۰ میلی‌مولار در شرایط تنش خشکی شدید (۰/۳۱ درصد) و پایین‌ترین آن در تیمار عدم کاربرد نانو روی در شرایط بدون تنش خشکی و تنش خشکی ملایم (۰/۱۵ درصد) ثبت شد (جدول ۲). یونس و همکاران (۵۴) اظهار داشتند که میزان اسیدهای چرب اشباع همانند اسید استئاریک در گیاه سویا هنگام بروز شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد. در پژوهش

حاضر نیز میزان اسید استئاریک در شرایط تنش خشکی شدید نسبت به شرایط عدم تنش افزایشی ۳۷/۵ درصدی ثبت شد. طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱)، اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و کاربرد نانو ذرات برای محتوی اسید پالمیتیک روغن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بالاترین میزان اسید پالمیتیک مربوط به تیمار تیتانیوم ۵۰ میلی‌مولار در شرایط تنش خشکی شدید با مقدار ۹/۱۶ و پایین‌ترین آن در تیمار عدم کاربرد نانو ذرات در شرایط عدم خشکی با مقدار ۴/۸۶ درصد بود (جدول ۲). طبق اظهارات یونس و همکاران (۵۴) میزان اسید پالمیتیک در شرایط محدودیت آبی افزایش می‌یابد. نتایج پژوهش حاضر در رابطه با افزایش مقادیر اسید چرب پالمیتیک با نتایج به‌دست آمده از پژوهش زراع (۵۵) در گیاه سویا هم راستا است.

اسید چرب مریستیک به دلیل پایین بودن محتوای دانه گلرنگ فاقد اهمیت است، با این وجود بیشترین مقدار این اسید چرب با مقدار ۰/۳۱۶ درصد در تیمار کاربرد نانوتیتانیوم در شرایط بدون تنش و کمترین مقدار آن نیز با ۰/۱۵ درصد در تیمار عدم کاربرد نانو ذرات در شرایط تنش شدید ثبت شد. اسید آراشیدیک دارای زنجیره بلند و اشباع بوده و از نظر تغذیه‌ای همانند اسید استئاریک سبب افزایش کلسترول بد خون و افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی در بدن انسان می‌شود. مقادیر هر دو اسید چرب در پژوهش حاضر پایین است به همین دلیل حائز اهمیت کمتری هستند. بیشترین مقدار این اسید چرب (۰/۳۷۶ درصد) در تیمار کاربرد نانوتیتانیوم در شرایط بدون تنش و کمترین مقدار آن (۰/۱۳ درصد) در تیمار عدم کاربرد نانو ذرات در شرایط تنش شدید مشاهده شد (جدول ۲). در رابطه با اسید چرب لینولئیک نیز میزان این اسید چرب در گلرنگ پایین‌تر از سایر اسیدهای چرب است. طی این پژوهش بالاترین میزان این اسید چرب (۰/۴۶ درصد) در تیمار کاربرد نانو تیتانیوم در شرایط بدون تنش و کمترین مقدار آن (۰/۱۱ درصد) در تیمار عدم کاربرد نانو ذرات در شرایط تنش شدید مشاهده شد (جدول ۲).

## نتیجه گیری

به عنوان نتیجه نهایی می توان چنین استنباط کرد که کمبود رطوبت در خاک سبب کاهش شاخص سبزینگی، پروتئین، خاکستر، فیبر، آلفا-آمیلاز، محتوای روغن دانه و محتوای اسیدهای چرب روغن دانه از جمله اسید چرب لینولئیک، مریستیک، لینولنیک، آراشیدیک و افزایش مقدار اسید چرب اولئیک، پالمیتیک، استئاریک و دمای کانوپی شد. در نقطه مقابل، کاربرد نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم، دی اکسید سیلیکون و اکسید روی سبب بهبود شماری از پارامترهای مورد مطالعه شد. در بین پارامترها، با توجه به اهمیت افزایش میزان اسید چرب اولئیک و لینولئیک روغن در گیاه گلرنگ، بیشترین

مقدار اسید چرب لینولئیک (۷۳/۷ درصد) مربوط به تیمار نانو تیتانیوم ۵۰ میلی مولار بود و کمترین آن (۴۹ درصد) مربوط به تیمار عدم کاربرد تیمارهای نانو در شرایط تنش شدید است. در رابطه با اسید چرب اولئیک نیز بالاترین مقدار این اسید چرب (۱۹/۷۷ درصد) در تیمار عدم کاربرد نانو کود در شرایط تنش خشکی و کمترین مقدار آن (۱۲/۷ درصد) در تیمار افشانه کردن نانو تیتانیوم در شرایط آبیاری معمول ثبت شد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می توان اظهار داشت کاربرد نانو ذرات به خصوص نانو تیتانیوم تأثیر مثبتی بر کاهش اثرات تنش خشکی و بهبود کمیت و کیفیت روغن دانه گلرنگ داشت.

## منابع مورد استفاده

- Abbasi, A. and F. Shekari. 2016. Effect of zinc sulfate on growth and yield of wheat under soil zinc deficiency and drought stress. *Cereal Research* 6(2): 145-158. (In Farsi).
- Abdel Latef, A. A. H., A. K. Srivastava, M. S. A. El-sadek, M. Kordrostami and L. S. P. Tran. 2018. Titanium dioxide nanoparticles improve growth and enhance tolerance of broad bean plants under saline soil conditions. *Land Degradation and Development* 29(4): 1065-1073.
- Al-aghabary, K., Z. Zhu and Q. Shi. 2004. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Journal of Plant Nutrition* 27(12): 2101-2115.
- Amiri, A., A. Bagheri, M. Khaje, F. Najafabadi Pour and P. Yadollahi. 2014. Effect of silicone foliar application on yield and antioxidant enzymes activity of safflower under limited irrigation conditions. *Journal of crop Prouduction Research* 5(4): 361-373. (In Farsi).
- Aslani, F., S. Bagheri, N. Muhd Julkapli, A. S. Juraimi, F. S. G. Hashemi and A. Baghdadi. 2014. Effects of engineered nanomaterials on plants growth: an overview. *The Scientific World Journal* 2014: 1-29.
- Baghkhan, F. and H. Farahbakhsh. 2008. Effects of drought stress on yield and some physiological characters of three spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) varieties. *Journal of Water Soil and Plant in Agricultural* 8(2): 45-57. (In Farsi).
- Bellaloui, N., M. W. Ebelhar, A. M. Gillen, D. K. Fisher, H. K. Abbas, A. Mengistu, K. N. Reddy and R. L. Paris. 2011. Soybean seed protein, and fatty acids are altered by S and S+N fertilizers under irrigated and nonirrigated environments. *Journal of Agricultural Science* 2(4): 465-476.
- Bonfim-Silva, E. M., E. C. A. D. Anicésio, J. R. D. Oliveira, H. H. D. F. Sousa and T. J. A. D. S. Silva. 2015. Soil water availability on growth and development of safflower plants. *American Journal of Plant Sciences* 6: 2066-2073.
- Chandra, D., S. Chandra and A. K. Sharma. 2016. Review of Finger millet (*Eleusine coracana* (L.) Gaertn): A power house of health benefiting nutrients. *Food Science and Human Wellness*. 5(3): 149-155.
- Devi, P. G. and A. S. Velu. 2016. Synthesis, structural and optical properties of pure ZnO and Co doped ZnO nanoparticles prepared by the co-precipitation method. *Journal of Theoretical and Applied Physics* 10(3): 233-240.
- Elias, S., A. Garary, L. Schweitzer and S. Hanning. 2006. Seed quality testing of native species. *Native Plants Journal* 7(1): 15-19.
- Erdem, T., Y. Erdem, A. H. Orta and H. Okursoy. 2006. Use of a crop water stress index for scheduling the irrigation of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 30: 11-20.
- Farrokhi Nya, M., M. Roshdi, B. Pasban Eslam and S. Rezadoost. 2009. Study of effects drought stress on the yield and some of the vegetative characters in spring safflower. *Journal of Research in Crop Sciences* 2(5): 1-11. (In Farsi).
- Galeshi, S. A. and T. A. Bayate. 2005. Effects of post anthesis drought stress on seed vigour in two wheat cultivars. *Journal Agriculture Science Natural Resource* 12(6): 113-1198.

15. Halim, R. A., D. R. Buxton, M. J. Hatteendrof and R. E. Carlson. 1990. Crop water stress index and forage quality relationship in Alberta. *Agronomy Journal* 82: 906-909.
16. Hamrouni, I., H. Ben Salah and B. Marzouk. 2001. Effects of water- deficit on lipids of safflower aerial parts. *Phytochemistry* 58: 277-280.
17. Hattori, T., S. Inanaga, H. Araki, P. An, S. Morita, M. Luxová and A. Lux. 2005. Application of silicon enhanced drought tolerance in sorghum bicolor physiologia plantarum. *Physiologia Plantarum* 123(4): 459-466.
18. Hattori, T., K. Sonobe, S. Inanaga, P. An, W. Tsuji, H. Araki and S. Morita. 2007. Short term stomatal responses to light inten sity changes and osmotic stress in sorghum seedings raised with and without silicon. *Environmental and Experimental Botany* 60(2): 177-182.
19. Hong, F., J. Zhou, C. Liu, F. Yang, C. Wu, L. Zheng and P. Yang. 2005. Effect of nano-TiO<sub>2</sub> on photochemical reaction of chloroplasts of spinach. *Biological Trace Element Research* 105(1-3): 269-279.
20. Hussain, M. I., D. A. Lyra, M. Farooq, N. Nikoloudakis and N. Khalid. 2016. Salt and drought stresses in safflower: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 36(1): 443-455.
21. Iramki, S. D., D. Z. Haman and R. Bastug. 2000. Determination of crop water stress index for irrigation timing and yield estimation of corn. *Agronomy Journal* 92: 1221-1234.
22. Jackson, R. D., R. J. Idso, P. J. Reginato and J. R. Pinter. 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research* 17(4): 1133-1138.
23. Johnson, R. R. and L. M. Wax. 1978. Relationship of soybean germination and vigor tests of field performance. *Agronomy Journal* 75: 859-803.
24. Kafi, M. and M. Rostami. 2007. Yield characteristics and oil content of three safflowers (*Cathamus tinctorius*) cultivars under drought in reproductive stage and irrigation with saline water. *Journal of Research in Crop Sciences* 5(1): 121-131. (In Farsi).
25. Karimi, R., H. Hadi and M. Tajbakhsh. 2016. Forage yield of sorghum under water deficit and foliar application of zinc sulphate and salicylic acid. *Agricultural Science and Sustainable Production* 26(2): 169-187. (In Farsi).
26. Khaliliaqdam, N., A. Soltani, N. Latifi and F. Ghaderi-Far. 2012. Effect of environmental conditions on soybean seed vigor in different area of Iran. *Electronic Journal of Crop Production* 5(4): 87-104.
27. Kisan, B., H. Shruthi, H. Sharanagouda, S. B. Revanappa and N. K. Pramod. 2015. Effect of nano-zinc oxide on the leaf physical and nutritional quality of spinach. *Agrotechnology* 5: 135.
28. Kohnaward, P., J. Jalilian and A. Pirzad. 2012. Effect of foliar application of micro-nutrients on yield and yield components of safflower under conventional and ecological cropping systems. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* 3(7): 1460-1469.
29. Lewis, D. C. and J. D. Mc Farlane. 1986. Effect of foliar applied manganese on the growth of safflower and the diagnosis of manganese deficiency by plant issue and seed analysis. *Australian Journal of Agriculture Research* 72(1): 57-59.
30. Li, B., G. Tao, Y. Xie and X. Cai. 2012. Physiological effects under the condition of spraying nano-SiO<sub>2</sub> onto the *Indocalamus barbatus* McClure leaves. *Journal of Nanjing Medical University (Natural Science Edition)* 36: 161-164.
31. Macwan, D. P., P. N. Dave and S. Chaturvedi. 2011. A review on nano-TiO<sub>2</sub> sol-gel type syntheses and its applications. *Journal of Materials Science* 46(11): 3669-3686.
32. Martin, D., E. Stegman and E. Fereres. 1990. Irrigation scheduling principles. IN: Management of Farm Irrigation Systems. *American Society of Agricultural Engineers*, St. Joseph, MI. 155-203, 19, 9, 81.
33. Mittal, A., Y. Jiang, G. L. Ritchie, J. J. Burke and C. D. Rock. 2015. AtRAV1 and AtRAV2 overexpression in cotton increases fiber length differentially under drought stress and delays flowering. *Plant Science* 241: 78-95.
34. Movahhedi Dehnavi, M., M. Ranjbar, A. R. Yadavi and B. Kavusi. 2011. Effect of cycocel on proline, soluble sugars, protein, oil and fatty acids of flax (*Linum usitatissimum* L.) plants under drought stress in a pot trial. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 3(2): 129-138. (In Farsi).
35. Mussa, H. R. 2006. Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt stressed maize (*Zea mayz* L.). *Agriculture and Biology Journal* 2: 293-297.
36. Ogawa, M., A. Hanada, Y. Yamauchi, A. Kuwahara, Y. Kamiya and S. Yamaguchi. 2003. Gibberellin biosynthesis and response during Arabidopsis seed germination. *The Plant Cell* 15: 1591-1604.
37. Omid, A. H. 2000. A review of agro-breeding safflower researches in Iran and the world. *Zeitoon* 142: 14-19. (In Farsi).
38. Omrani, G., Z. Mazlum, M. Sovid and A. A. Rashidi. 2003. Effect of omega-3 fatty acids on glycaemic control and lipid profile in patients with type 2 diabetes. *Iranian Journal of Diabetes and Metabolism* 2(1): 11-16.
39. Owolade, O. F., D. O. Ogunleti and M. O. Adenekan. 2008. Titanium dioxide affects disease development and yield of cowpea. *Food Chemistry* 7(50): 2942-2947.
40. Pais, I. 1983. The biological importance of titanium. *Journal of Plant Nutrition* 6: 3-13.
41. Postel, S. 2014. The Last Oasis: Facing Water Scarcity. Routledge Press. Worldwatch Environmental Alert Series. 71-98.
42. Premanathan, M., K. Karthikeyan, K. Jeyasubramanian and G. Manivannan. 2011. Selective toxicity of ZnO

- nanoparticles toward gram-positive bacteria and cancer cells by apoptosis through lipid peroxidation. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine* 7(2): 184-192.
43. Ranjan, R., S. P. Bohra and A. M. Jeet. 2001. Book of plant senescence. Jodhpur, Agrobios New York.
  44. Relling, E. A., W. A. Van Niekerk, R. J. Coertze and N. F. G. Rethman. 2001. An evaluation of *Panicum maximum* cv. Gatton: 3. The partial digestion by sheep of organic matter, nitrogen and neutral detergent fiber of herbage at three stages of maturity during summer, autumn or winter. *South Africa Journal of Animal Science* 31: 93-99.
  45. Hansawasdi, C., J. Kawabata and T. Kasai. 2000. a-amylase inhibition from Roselle (*Hibiscus sabdariffa* Linn.) Tea. *Biosci Biochem* 64: 1041-1043.
  46. Rossi, L. M., L. Shi, F. H. Quina and Z. Rosenzweig. 2005. Stober synthesis of monodispersed luminescent silica nanoparticles for bioanalytical assays. *Langmuir* 21(10): 4277-4280.
  47. Rostamza, M., M. R. Chaichi, M. R. Jahansouza and A. Alimadadi. 2011. Forage quality, water use and nitrogen utilization efficiencies of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) grown under different soil moisture and nitrogen levels. *Agricultural Water Management* 98(10): 1607-1614.
  48. Rudolph, S., H. C. Becker, A. Schierholt and S. Von Witzke-Ehbrecht. 2012. Improved estimation of oil, linoleic and oleic acid and seed hull fractions in safflower by NIRS. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 89(3): 363-369.
  49. Siddique, M. H., M. H. Al-Whaibi, M. Firoz and M. Y. Al-Khaishany. 2015. Role of nanoparticle in plants in nanotechnology and plant sciences. *Springer International Publishing* 123: 19-35
  50. Tavakoli, A. 2002. Investigation of irrigation intervals in different stages of growth on yield, yield components and yield of safflower oil. MSc. Thesis. Faculty of Agriculture, University of Tehran. (In Farsi).
  51. Wang, R. J. I., P. Zhang, Y. Meng, Y. Wang, B. Chen and Z. Zhou. 2016. Drought effects on cotton yield and fiber quality on different fruiting branches. *Crop Science* 56(3): 1265-1276.
  52. Xie, X., Z. Zhang and S. Hanzlik. 2007. Salicylic acid inhibits gibberellin-induced alpha-amylase expression and seed germination via a pathway involving an abscisic-acid-inducible WRKY gene. *Plant Molecular Biology* 64: 293-303.
  53. Yang, F., F. Hong, W. You, C. Liu, F. Gao, C. Wu and P. Yang. 2006. Influence of nano-anatase TiO<sub>2</sub> on the nitrogen metabolism of growing spinach. *Biological Trace Element Research* 110(2): 179-190.
  54. Younis, M. E., A. M. Gaber and M. El-Nimr. 2001. Plant growth, metabolism and adaptation of Glycine max and Phaseolus vulgaris subjected to anaerobic conditions and drought. *Egyptian Journal of Physiological Sciences* 23: 273-296.
  55. Zare, M. 2004. Evaluation of tolerance of some soybean genotypes to drought stress. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 35(4): 261-272. (In Farsi).



## Changes in Some Physiological Traits and Fatty Acids Profile of Safflower with Application of Nano-Silicone, Nano-Titanium and Nano-Zinc in Different Moisture Conditions

A. Abbasi<sup>1\*</sup>

(Received: October 20-2018; Accepted: December 18-2018)

### Abstract

Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) is a multipurpose plant; since its seeds contain multi-saturated fatty acids it is grown as an oilseed plant. Drought stress at late season, reduces both seed yield and quality. On the other hand, the use of nanoparticles due to their high contact surfaces can reduce the effects of environmental stresses. Hence, the present study was carried out to investigate the effects of Nano-silicon oxide (10 and 20 mM), Nano-titanium dioxide (25 and 50 mM) and Nano-zinc (30 and 60 mM) on the growth and yield of spring safflower exposed to different moisture regimes (non-stress, drought stress, and severe stress) in 2015. The results of this study showed that the application of nanoparticles decreases the negative effects of drought stress. Among nanoparticles, the application of nano-titanium improved the amount of chlorophyll index, concentration of protein, ash and oil, moisture content,  $\alpha$ -amylase activity and canopy temperatures by 11.45, 28.68, 15.47, 14, 38.02, 16.38 and 16.71 percent, respectively. The highest amounts of linoleic and oleic fatty acids were observed in 50 mM nano-titanium treatments and non-application of nanoparticles under drought stress conditions. It can be concluded that application of nanoparticles, especially nano-titanium, may have a positive effect on reducing the effects of drought stress and improve the quality and quantity of safflower seed oil.

**Keywords:** Oleic Acid, Alpha Amylase, Protein, Canopy Temperature, Fiber and Linoleic Acid

1. Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: a.abbasi25@yahoo.com