

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^{*۱}

(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 به ترتیب ۱۱/۴۵، ۲۸/۶۸، ۱۵/۴۷، ۱۴، ۳۸/۰۲، ۱۶/۳۸ و ۱۶/۷۱ درصد بهبود بخشد. با توجه به اهمیت اسیدهای چرب لینولئیک و اولئیک، بیشترین مقادیر این اسیدهای چرب به ترتیب 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 به‌عنوان جایگزینی مناسب برای محصولاتی با نیازهای آبی بالا مورد نظر است (۳۷). اما وقوع تنش خشکی ترکیبات اسیدهای چرب اندام‌های هوایی به‌خصوص دانه‌های این گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به‌گونه‌ای 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 لینولینیک (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 به‌عنوان راه‌حلی مناسب به‌منظور 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

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.

$$I_n = \frac{(F_{ci} - \theta_i) \times D \times A}{100} \quad (1)$$

I_n : حجم آب مصرفی، F_{ci} : رطوبت خاک در شرایط ظرفیت زراعی، θ_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

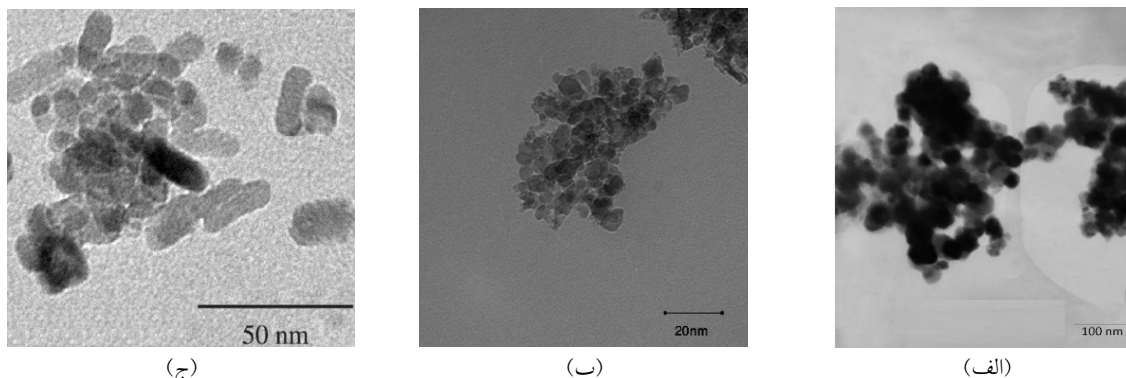
فتوکاتالیزی محسوب می‌شود (۳۹). نانوذرات تیتانیوم که به‌عنوان یکی از نانو بلورهای نیمه‌هادی اکسید فلزی شناخته می‌شود کلیه ویژگی‌های تیتانیوم را داراست، علاوه بر آن با توجه به اندازه کوچک‌تر و سطح تماس بیشتر دارای اثربخشی بیشتر نیز است. با این حال اطلاعات دقیقی در رابطه با اثر غلظت‌های مختلف نانوذرات بر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



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 آن 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 گونه‌ایی که با توجه به جدول ۱ برهم‌کنش مربوط به اعمال تنش خشکی و کاربرد نانو ذرات روی پروتئین، خاکستر، محتوای روغن، رطوبت، آنزیم آلفا-آمیلاز، دمای کانوپی، 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 آلفا 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) به‌وسیله 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

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

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

ادامه جدول ۱.

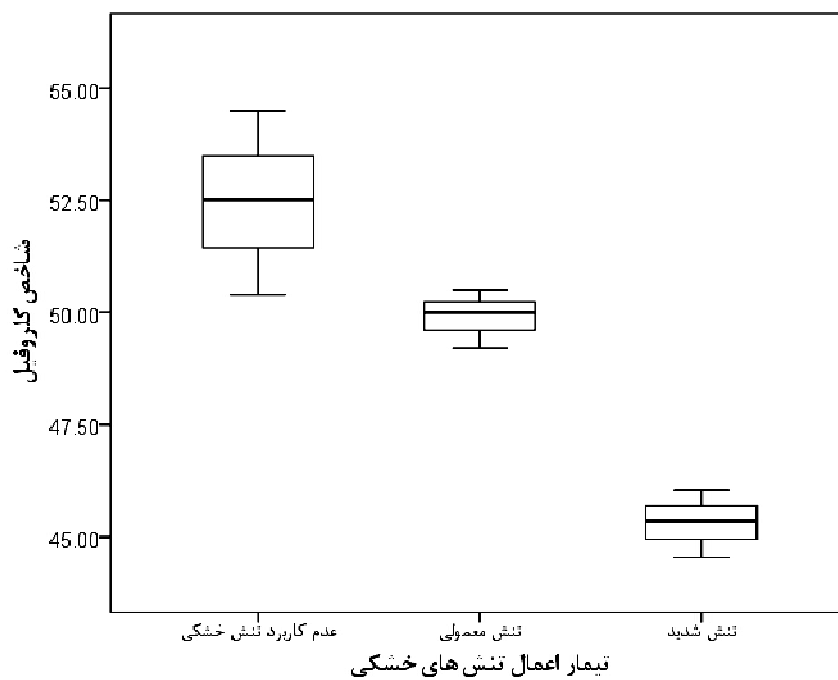
میانگین مربعات							درجه	منابع تغییرات
لینولنیک	آراشیدیک	میریستیک	پالمیتیک	استئاریک	اولئیک	لینولنیک	آزادی	
۰/۰۰۹۶	۰/۰۰۰۲۶	۰/۰۰۰۳	۰/۱۷۷	۰/۰۱۴	۰/۵۴۲	۶/۲۷	۲	تکرار
۰/۳۶۳**	۰/۱۲۷**	۰/۰۵۲**	۴۲/۴۸**	۳/۷۰۶**	۱۴۴/۷۱**	۲۲۴۱/۱۴**	۲	تنش
۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۴۵	۰/۰۰۰۲	۰/۴۵	۱/۹۱	۴	خطای اصلی
۰/۰۱۰۲**	۰/۰۰۵۲**	۰/۰۰۰۲**	۱/۳۳**	۰/۱۰۱**	۲/۸۲**	۲۷/۶۷**	۶	نانوذرات
۰/۰۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۱۱**	۰/۰۰۰۰۹**	۰/۱۴۳**	۰/۰۲**	۰/۳۵۵**	۴/۰۱**	۱۲	نانوذرات × تنش
۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۴۵	۰/۰۰۰۴	۰/۰۵۳	۰/۸۲	۳۶	خطای فرعی
۸/۸	۴/۲	۵/۹	۳	۲/۲	۱/۹	۱/۶	-	ضریب تغییرات(%)

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

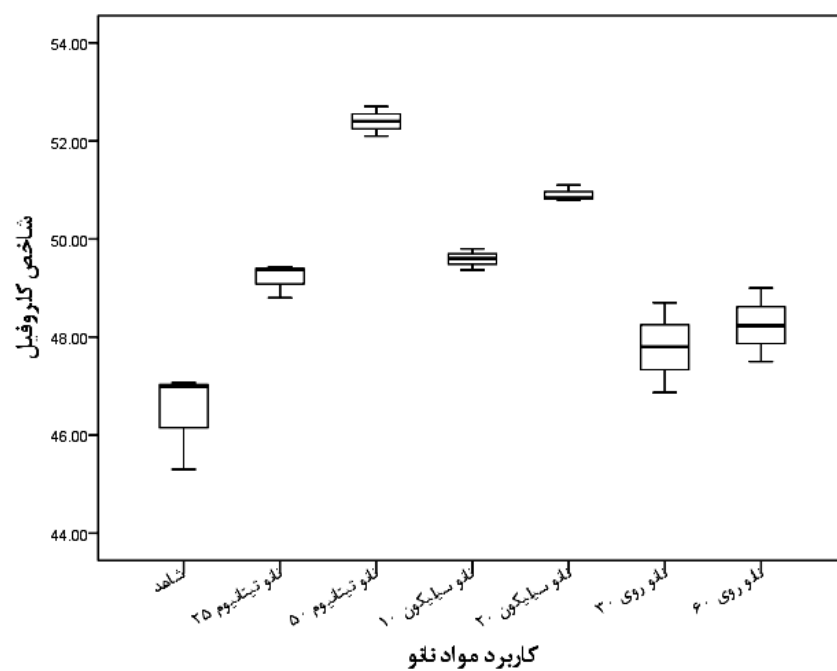
الف). تیمارهای تیتانیوم ۵۰ میلی مولار و عدم کاربرد نانو ذرات به ترتیب دارای بیشترین (۱۵۷/۶) و کمترین (۱۴۱/۸) شاخص سبزینگی برگ بودند (شکل ۲-ب). موسی (۳۵)، اذعان کرد مصرف تیتانیوم سبب افزایش شاخص سبزینگی در گیاه می شود و دلیل این امر شاید افزایش فعالیت آنزیم ATPase و تحریک سنتز کوفاکتورهای فلزی باشد که 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، میریستیک، 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 نانو ذرات 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 نانو تیتانیوم 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 نانو ذرات برای صفت میزان خاکستر گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. بیشترین مقدار خاکستر مربوط به تیمار تیتانیوم ۵۰ میلی‌مولار در شرایط بهینه 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-آقایی 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 نانو ذرات بر محتوی 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 نانو ذرات 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 مورستیک	فیبر	رطوبت	محتوای روغن	خاکستر	پروتئین	تیماز	تنش خشکی
(درصد)							
۰/۸۴c	۴۲/۴۱c	۶/۰۶a	۲۷/۵۱d	۲/۹۴f	۲۱/۵۷bc	بدر خشک	
۰/۲۹۳ab	۴۵/۷۶a	۶/۶۳ab	۳۱/۱۷b	۳/۲۸b	۱۹/۱۱de	نانو تیتانیوم ۲۵	
۰/۳۱۶a	۴۵/۹۴a	۶/۹۶a	۳۲/۶۹a	۳/۸۶a	۱۷/۳۱ef	نانو تیتانیوم ۵۰	
۰/۸۶c	۴۵/۰۳ab	۶/۴۵abcd	۲۹/۳۵bc	۳/۷۷bc	۲۰/۴۹bcd	نانو سیلیکون ۱۰	عدم تنش
۰/۷۵c	۴۵/۲۳ab	۶/۵۸abc	۳۰/۸۳ab	۳/۱۹cd	۱۷/۹۷ef	نانو سیلیکون ۲۰	
۰/۷۴c	۴۴/۶۱bc	۶/۱۵de	۲۷/۶۷cd	۳/۰۴de	۲۱/۴۱c	نانو روی ۳۰	
۰/۲۴۵c	۴۴/۷۷bc	۶/۱۱cd	۲۷/۸۱cd	۳de	۲۰/۶۲bcd	نانو روی ۶۰	
۰/۸۵c	۴۲/۴۳c	۵/۰۸f	۲۳/۳۹gh	۲/۷۸fg	۲۳/۷۹a	بدر خشک	
۰/۱۷de	۴۲/۹۸bc	۵/۸۶fg	۲۵/۴۳ef	۲/۸۲ef	۱۸/۹de	نانو تیتانیوم ۲۵	
۰/۸۹d	۴۲/۳۱c	۵/۶۶ef	۲۶/۸۳de	۲/۹۳ef	۱۸/۱۷c	نانو تیتانیوم ۵۰	تنش خشکی ملایم
۰/۱۷de	۴۲/۸۶bc	۵/۸۵fg	۲۴/۴۰gh	۲/۸۲ef	۲۰/۸۸bcd	نانو سیلیکون ۱۰	
۰/۸۹d	۴۲/۱۱c	۵/۳۶fg	۲۵/۱۳ef	۲/۸۴ef	۲۰/۱۳cd	نانو سیلیکون ۲۰	
۰/۱۷de	۴۲/۳۴c	۵/۳۱fg	۲۴/۰۳gh	۲/۷۴fg	۲۱/۱۷bc	نانو روی ۳۰	
۰/۸۸de	۴۲/۵۰c	۵/۳۵fg	۲۴/۸۳ef	۲/۸۳ef	۲۲/۳ab	نانو روی ۶۰	
۰/۸۵c	۳۸/۴۷f	۵/۰۶h	۱۹/۶۷i	۲/۱۳i	۱۱/۴gi	بدر خشک	
۰/۸۶c	۳۹/۶۳ef	۵/۸۶fg	۲۱/۸۳hi	۲/۲۱i	۱۳/۷۳h	نانو تیتانیوم ۲۵	
۰/۸۸de	۴۰/۰۸de	۵/۸۶fg	۲۲/۸۷gh	۲/۵۶gh	۱۶/۰۷fg	نانو تیتانیوم ۵۰	تنش خشکی شدید
۰/۸۸de	۴۱de	۵/۲۳fg	۲۱/۵۳hi	۲/۲۲i	۱۴/۵۹gh	نانو سیلیکون ۱۰	
۰/۸۴d	۴۱/۸۳d	۵/۴fg	۲۴/۵۷ef	۲/۲۴i	۱۳/۶۸h	نانو سیلیکون ۲۰	
۰/۱۷de	۴۰/۴۳de	۵/۱۴h	۲۲/۰۳gh	۲/۳۱hi	۱۶/۸۱fg	نانو روی ۳۰	
۰/۸۸de	۴۰/۵۷de	۵/۸۶fg	۲۱/۹۷gh	۲/۲۴i	۱۶/۱۳fg	نانو روی ۶۰	

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

ادامه جدول ۲.

دما کانوی	۴-امیلاز	اسید آرازیدیک	اسید نیونیک	اسید استارک	اسید پالمیتیک	تیمار	تنش خشکی
(نسبتی گرد)	(واحد آنزیمی بر میلی‌لیتر)			(درصد)			
۲۶/۵۹gh	۳۵/۶۷a	۰/۸۵f	۰/۲۶ab	۰/۱۵e	۴/۸۵m	بدر خشک	
۲۶gh	۳۵/۳۳a	۰/۳۴b	۰/۴۲ab	۰/۱۶ab	۵/۹۴h	نانو تینانیم ۲۵	
۲۵/۸۷h	۳۷/۳۳a	۰/۳۷a	۰/۴۶a	۰/۱۸ab	۶/۰۷ijk	نانو تینانیم ۵۰	
۲۶/۱۷/gh	۳۷a	۰/۲۸cd	۰/۲۹ab	۰/۱۸ab	۵/۹۴h	نانو سیلیکون ۱۰	علم تنش
۲۹/۱۱def	۳۷/۳a	۰/۳۱bc	۰/۴۲ab	۰/۲d	۶/۱۷hijk	نانو سیلیکون ۲۰	
۲۶gh	۳۶a	۰/۲۷de	۰/۳۸ab	۰/۱۷ab	۵/۳۳im	نانو روی ۳۰	
۲۵/۷۷h	۳۶a	۰/۲۶de	۰/۳۸ab	۰/۱۸ab	۵/۷۴kl	نانو روی ۶۰	
۲۹/۷۱bcd	۳۰/۶۷bcd	۰/۱۷hijk	۰/۱۵mdef	۰/۱۵ef	۶/۲۶pqrst	بدر خشک	
۲۸/۶۷/gh	۳۰cde	۰/۱۹ij	۰/۲۷cd	۰/۱۷ab	۶/۹۷efg	نانو تینانیم ۲۵	
۲۸/۹۳defg	۳۲/۶۷b	۰/۲۳ef	۰/۲۵c	۰/۱۹d	۷/۴۲de	نانو تینانیم ۵۰	
۲۸/۴۷/gh	۳۱bcd	۰/۱۹ij	۰/۳۷cd	۰/۱۷ab	۶/۲۶pqrst	نانو سیلیکون ۱۰	تنش خشکی ملایم
۲۸/۴۷/gh	۳۱bcd	۰/۲۷cd	۰/۲۴cd	۰/۱۹d	۷/۲۴ef	نانو سیلیکون ۲۰	
۲۹/۱۳cdef	۳۰/۳۷cd	۰/۱۹ij	۰/۱۶cdef	۰/۱۷ab	۶/۶۴pqr	نانو روی ۳۰	
۲۹/۳۷cde	۳۱/۳bc	۰/۲۷cd	۰/۱۸cdef	۰/۱۸ab	۶/۸۷efgh	نانو روی ۶۰	
۳۲/۲۷a	۲۲h	۰/۱۳i	۰/۱۶f	۰/۲۴c	۸/۱۷e	بدر خشک	
۳۲/۱۳abc	۲۶/۶۷fg	۰/۲۴d	۰/۱۶cdef	۰/۲۹ab	۹/۰۴ab	نانو تینانیم ۲۵	
۲۸/۹۷efg	۲۸/۶۷def	۰/۱۸hij	۰/۲۱cde	۰/۳۱a	۹/۱۶a	نانو تینانیم ۵۰	
۳۰/۴۷/abcd	۲۶/۶fg	۰/۱۳i	۰/۱۷cdef	۰/۲۶abc	۸/۳۵bc	نانو سیلیکون ۱۰	تنش خشکی شدید
۳۰bcd	۲۸/۷def	۰/۱۴hij	۰/۱۸cdef	۰/۲۵c	۸/۶۷abc	نانو سیلیکون ۲۰	
۳۲/۳ab	۲۵/۶gh	۰/۱۴hij	۰/۱۶cdef	۰/۲۴c	۸/۱۲cd	نانو روی ۳۰	
۳۰/۹bcd	۲۷/۶efg	۰/۱۴hij	۰/۱۴ef	۰/۲۶c	۸/۱۶c	نانو روی ۶۰	

میکن هلی با حروف مشابه در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

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

طبق نتایج تجزیه واریانس جدول ۱، برهم کنش اثرات تیمارهای تنش خشکی و کاربرد نانو ذرات در سطح احتمال یک درصد روی فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز معنی دار شد. شرایط محیطی در طول فصل رشد و به خصوص در مرحله رسیدگی بذری می تواند روی خصوصیات جوانه زنی و سبز شدن بذرها تأثیرگذار باشد (۲۶). تنش خشکی سبب کوچک و چروکیده شدن بذور تولیدی می شود که در نتیجه آن میزان و کیفیت ذخایر بذری نیز تحت تأثیر قرار می گیرد. بهبود شرایط رشد و نمو در گیاه مادری سبب افزایش درصد جوانه زنی و طول و وزن گیاهچه های مورد مطالعه می شود (۱۴). کاهش فعالیت آنزیم های بذری و اختلال در رشد رویان توسط تعدادی از پژوهشگران گزارش شده است (۱۱ و ۱۴). آنزیم آلفا آمیلاز از آنزیم های تأثیرگذار در فرایند جوانه زنی است که فعالیت آن سبب شکستن پلیمر نشاسته و تجزیه آن به قندهای ساده می شود. بنا به اظهار نظر الیاس و همکاران (۱۱) وقوع تنش خشکی تأثیر منفی بر مقادیر فعالیت آنزیم های جوانه زنی بذری به خصوص آنزیم آلفا آمیلاز دارد که با توجه به کاهش همزمان ذخایر بذری این تأثیر چند برابر خواهد شد. گزارش های متعددی از بهبود وضعیت جوانه زنی در شرایط افزایش میزان فعالیت این آنزیم در دسترس است (۳۶ و ۵۲). طی پژوهش حاضر میزان آلفا آمیلاز تحت تنش خشکی کاهش و در اثر افشانه کردن نانو ذرات افزایش یافت. بیشترین میزان آلفا آمیلاز مربوط به تیمار تیتانیوم ۵۰ میلی مولار و کمترین میزان آن مربوط به تیتانیوم ۲۵ میلی مولار است (جدول ۲). انتظار بر این است که خصوصیات فیزیولوژیکی و متابولیسمی که به انجام جوانه زنی منتهی می شود در این تیمارها بیش از سایر تیمارهای مورد مطالعه باشد.

همان طور که از جدول تجزیه واریانس داده ها (جدول ۱) مشاهده می شود، برهم کنش اثرات تنش خشکی و افشانه کردن نانو ذرات برای صفت دمای کانوبی در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. تیمار عدم کاربرد نانو ذرات در شرایط

افزایش تبدلات گازی، کارایی مصرف آب و درصد فتوسنتز خالص سبب افزایش رشد و نمو گیاه و افزایش اجزای عملکرد و روغن دانه می شود (۴۹). در مورد تأثیر تنش خشکی بر درصد روغن گزارش های متفاوتی وجود دارد و با توجه به اینکه، درصد روغن دانه یک صفت کمی است و توسط ژن های متفاوتی کنترل می شود، بنابراین امکان آسیب دیدن تعداد متعددی از این ژن های کنترل کننده در شرایط تنش خشکی دور از انتظار نیست. از این رو احتمال می رود که کاهش درصد روغن در اثر تنش خشکی بایستی به صورت بسیار جزئی باشد (۲۳). در همین رابطه فرخی نیا 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 نشان دهنده 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.

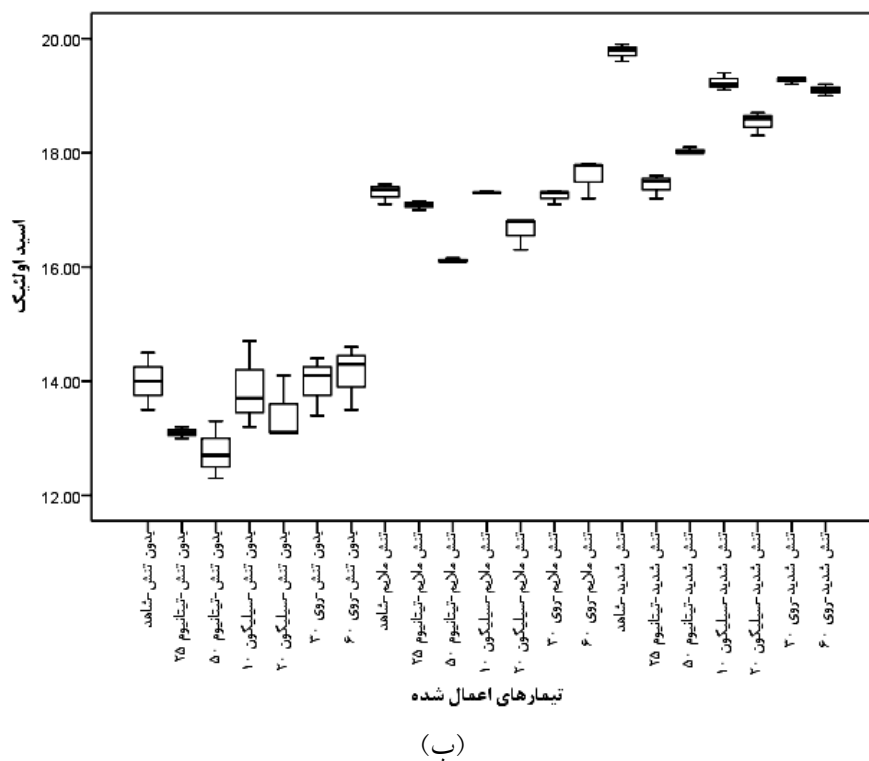
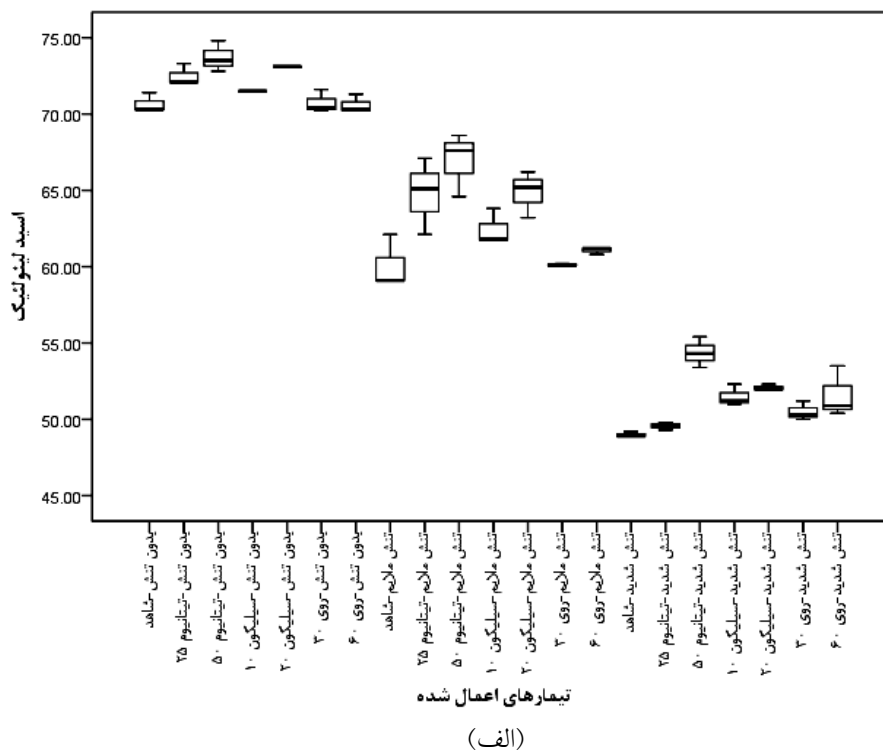
نتایج تجزیه واریانس داده ها (جدول ۱) نشان می دهد که برهم کنش تیمارهای تنش خشکی و نانو ذرات روی رطوبت دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. در این پژوهش تنش خشکی سبب کاهش رطوبت دانه شد به گونه ای که کمترین میزان رطوبت دانه در تیمار عدم کاربرد نانو ذرات در شرایط تنش خشکی شدید ثبت شد. با توجه به اثرات کاربرد نانو ذرات روی کاهش اثرات تنش خشکی انتظار بر این است که با کاربرد نانو ذرات میزان رطوبت بذری افزایش یابد. در همین رابطه کاربرد نانو ذرات تیتانیوم، سیلیکون و روی در شرایط تنش خشکی ملایم توانستند میزان رطوبت دانه را به ترتیب

(۲۵) گزارش کردند که بروز تنش خشکی سبب کاهش معنی داری بر فیبر خام گیاه سورگوم شده است. یادآور می شود افزایش محتوی فیبر نشان دهنده کاهش قابلیت هضم و خوش خوراکی 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 برهم کنش اثرات اصلی کاربرد نانو ذرات و تنش خشکی روی مقدار اسید چرب لینولئیک در سطح یک درصد معنی دار شد. بیشترین مقدار اسید چرب لینولئیک (۷۳/۷ درصد) مربوط به تیمار نانو تیتانیوم ۵۰ میلی مولار 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 میلی مولار 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 میلی مولار 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 میلی مولار 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 به علت بالا بودن نسبت اسید چرب غیر اشباع به اسید چرب اشباع است به گونه ای که در ارقام اصلاح شده امروزی محتوای اسید چرب غیر اشباع در حدود ۹۰ درصد است. یادآور می شود که اسیدهای چرب غیر اشباع برای بدن انسان ضروری و مهم تلقی می شوند اما اسیدهای چرب اشباع برای بدن مضر هستند. افزودن اسیدهای چرب غیر اشباع در سبذ غذایی سبب کاهش چربی خون، کلسترول، تری گلیسیریدها می شود و همچنین سبب افزایش HDL (کلسترول خوب خون) نیز می شود (۳۸).

تنش خشکی شدید با مقدار ۳۴/۲ درجه سانتی گراد بیشترین و تیمارهای ۵۰ میلی مولار نانو تیتانیوم و ۶۰ میلی مولار نانو اکسید روی در شرایط بهینه رطوبتی به ترتیب با مقادیر ۲۵/۸ و ۲۵/۷ درجه سانتی گراد دارای کمترین دمای کانوپی بودند (جدول ۲). اندازه گیری 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) هم راستا 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 می توان به بسته بودن روزنه ها به علت حساسیت آنها به کمبود آب دانست (۲۱). با کاربرد نانو دی اکسید 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.

برهم کنش اثرات اصلی کاربرد نانو ذرات و تنش خشکی روی صفت فیبر در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۱). بیشترین میزان این پارامتر در تیمار تیتانیوم ۵۰ و ۲۵ میلی مولار با مقادیر ۴۵/۹۴ و ۴۵/۷۶ درصد مشاهده شد. پایین ترین 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 به عنوان منبع غذایی احشام استفاده می شود. وقوع تنش خشکی سبب کاهش میزان فیبر گیاه می شود. 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 می دانند. کریمی و همکاران



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

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).

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

نتیجه گیری

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.

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 کانوبی 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

منابع مورد استفاده

1. 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).
2. 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.
3. Al-aghaby, 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.
4. 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).
5. 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.
6. 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).
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Elias, S., A. Garary, L. Schweitzer and S. Hanning. 2006. Seed quality testing of native species. *Native Plants Journal* 7(1): 15-19.
12. 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.
13. Farokhi 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).
14. 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 intensity changes and osmotic stress in sorghum seedlings 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-TiO₂ 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-SiO₂ 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-TiO₂ 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. Jahansouz 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. Rudolphi, 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-acidinducible 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 TiO₂ 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^{1*}

(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, α -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