شناسه دیجیتال (DOI) : 10.22092/idaj.2021.121182.206

ارزیابی صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) با کاربرد نانو ذرات روی و آهن در شرایط مختلف رطوبتی

امین عباسی*[۱]، زهرا صیادی آذر[۲]، رامین لطفی[۳]

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
۲- داشجوی دکتری گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، ایران
۳- موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران

چکیده

بروز تنش خشکی و کمبود عناصر کم‌مصرف به‌ویژه روی و آهن در خاک‌های ایران بسیار شایع می‌باشد به گونه‌ای که کیفیت و کمیت عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی نانو ذرات روی و آهن در شرایط کم آبیاری بر صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گلرنگ (رقم سینا)، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی۹۵-۱۳۹۴ در دانشگاه مراغه انجام شد. سطوح آبیاری در ۹۰ (بدون تنش)، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به عنوان عامل اصلی و محلول‌پاشی عدم کاربرد و کاربرد نانو ذرات آهن و روی با مقادیر ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثرات ساده‌ی اعمال تیمار کم آبیاری و کاربرد نانو ذرات و برهمکنش آنها برای اکثر صفات تحت مطالعه معنی‌دار بود. بیشترین میزان هورمون ایندول استیک اسید با مقدار ۴۵۴/۷ و بیشترین میزان هورمون سیتوکنین با مقدار ۳۵۵/۷ نانوگرم بر گرم وزن‌تر در تیمار کاربرد ۶۰ میلی‌مولار نانو روی با آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی ثبت شد. بیشترین میزان هورمون جیبرلین نیز به ترتیب با مقادیر ۱۴۶/۶ و ۱۵۴/۸ نانو گرم بر گرم وزن‌تر در تیمارکاربرد ۶۰ میلی‌مولار نانو روی و آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. بیشترین میزان پروتئین دانه با مقدار ۲۴/۱۱ درصد در تیمار عدم محلول‌پاشی تحت آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بدست آمد. همچنین بالاترین مقدار عملکرد دانه گلرنگ نیز با ۱۳۶۶ کیلوگرم در هکتار در تیمار کاربرد ۶۰ میلی‌مولار نانو روی با آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. با توجه به نتایج این تحقیق کاربرد ۶۰ میلی‌مولار روی توانست سبب تعدیل رشدی و بهبود عملکرد گلرنگ در شرایط تنش شود که نشان از نقش انکارناپذیر عنصر روی در افزایش مقاومت گیاهان زراعی به تنش‌های محیطی دارد.

واژه های کلیدی: پروتئین دانه، تنش خشکی، عملکرد دانه، محتوای روغن دانه، هورمون‌ها

* نگارنده مسئول: *a.abbasi25@yahoo.com* تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۴

مقدمه

با توجه به واردات حدود ۹۰ درصدی روغن و لزوم توجه به گیاهان بومی به منظور تأمین نیاز مصرفی کشور، گلرنگ همواره به عنوان گیاهی روغنی بومی و سازگار با شرایط کشور مطرح می‌باشد. دانه‌های گلرنگ با ۴۵-۲۵ درصد روغن و ۲۴-۱۲ درصد پروتئین مهمترین بخش قابل برداشت این گیاه بوده که به دلیل دارا بودن اسیدهای چرب اولئیک و لینولئیک دارای کیفیت بالایی می‌باشد (امیدیان و همکاران، ۱۳۹۱؛ Weiss, 2000).

میزان کم نزولات آسمانی و پراکنش نامنظم آن سبب بروز خشکسالی و تنش خشکی می گردد. کمبود رطوبت از مهمترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی می‌باشد که وضعیت رشد و نمو گیاهان را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. با توجه به قرارگیری کشور ایران بر روی کمربند مناطق خشک و نیمه خشک جهان به طور میانگین تقریبا ۶۰ درصد از زمین‌های کشور در سال زراعی همواره با تنش خشکی روبرو است (Tabari *et al*., 2012). متأسفانه وضعیت حاضر به دلیل ادامه داشتن روند افت بارندگی هرساله وخیم‌تر از گذشته شده به گونه‌ای که اطلاعات هواشناسی کاهش بی‌سابقه بارندگی و وقوع تنش خشکی را در سال‌های پیش‌رو پیش‌بینی کرده است (Gornall *et al*., 2010). تنش خشکی رشد، نمو و عملکرد گیاهان زراعی را تحت تاثیر قرار داده و امروزه مشخص شده که بخشی از این تغییرات در اثر کاهش مستقیم آب در دسترس گیاهان اتفاق می‌افتد که در این میان از نقش تحریک‌کنندگی هورمون‌های گیاهی نمی‌توان غافل شد (Chaves *et al*., 2003). به گونه‌ای که تغییر در وضعیت هورمون‌های گیاهی به عنوان سرمنشأ تغییرات شناخته می‌شود. هورمون‌های گیاهی به‌عنوان مهم-ترین عوامل درونی تأثیرگذار بر روی رشد گیاهان بوده که عهده‌دار تنظیم و هماهنگی فرایندهایی در سرتاسر پیکر گیاهی می‌باشند (Roitsch and Ehneb, 2000). تغییرات محتوای اسیدهای چرب اشباع در گیاهان سویا (Dwivedi *et al*., 1993)، کلزا (Elferjani and Soolanayakanahally, 2018) ، آفتابگردان (Petcu *et al*., 2001) و گلرنگ (Hamrouni *et al*., 2001) با بروز تنش خشکی گزارش شده است. در رابطه با گیاه گلرنگ نیز افزایش معنی‌دار اسیدهای چرب استئاریک و پالمتیک (Ashrafi and Razmjoo, 2010) و کاهش معنی‌دار کل اسیدهای چرب (Laribi *et al*., 2009) این گیاه در اثر بروز تنش خشکی گزارش گردیده است. ساخته شدن زنجیره‌های طویل اسیدهای چرب دارای مراحل مختلفی می‌باشد که هر یک از این مراحل توسط آنزیم یا آنزیم‌های متعدد انجام می‌شود. بنا به اظهارات چیگون و همکاران (Gigon *et al*., 2004) میزان فعالیت آنزیم‌های دخیل در سنتز اسیدهای چرب به شدت وابسته به شرایط محیطی و به تبع آن تغییرات هورمون‌های گیاهی می‌باشد.

تیمارهای مختلفی از جمله گلایسین بتائین، اسید سالیسیلیک و کاربرد قارچ‌های همزیست توان کاهش خسارات ناشی از تنش خشکی را دارند (Khan *et al*., 2015). امروزه کاربرد عناصر کم‌مصرف نیز به عنوان یکی از عوامل مؤثر در

تعدیل اثرات تنش خشکی و بهبود وضعیت رشد و نمو گیاهان زراعی شناخته می‌شوند (Mosavi *et al*., 2007; Ravi *et al*., 2008). متأسفانه کودهای شیمیایی حاوی عناصر کم مصرف، پتانسیل بالایی برای آلوده‌سازی خاک، آب و هوا دارند؛ در سال‌های اخیر تلاش‌های فراوانی در جهت تأمین نهاده‌های مربوط به کشاورزی صورت گرفته است (Naderi and Danesh-Shahraki, 2013). ارائه فرم نانو برای عناصر کم‌مصرف همواره به عنوان راه‌حلی برای کاستن از مشکلات ناشی از مصرف کودهای شیمیایی مطرح می‌باشد (Nair *et al*., 2010; Said-Al and Abeer, 2010; Naderi and Danesh-Shahraki, 2013). نانو کودها به کودهایی اطلاق می‌شوند که اندازه عنصر به کار رفته در آن‌ها کمتر از ۱۰۰ نانومتر است (Andreta *et al*., 2003). در کشاورزی با بهره‌گیری از نانو کودها، عناصر غذایی به آرامی و با سرعتی مناسب در طول فصل رشد گیاه آزاد می‌شوند آب‌شویی به شدت کاهش یافته و گیاهان قادر به جذب بیشترین مقدار مواد غذایی خواهند بود (Shang *et al*., 2019). نانو ذرات به روش‌های مختلفی برای گیاهان قابل استفاده می‌باشند، یکی از روش‌های تأمین سریع عناصر غذایی برای گیاه محلول‌پاشی آن‌ها است. در این روش با حذف عوامل مؤثر بر جذب خاکی مواد غذایی به طور مستقیم در اختیار اندام هوایی قرار می‌گیرد (Khan *et al*., 2003). تبدیل مواد به مقیاس نانو، ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی، بیولوژیکی و فعالیت‌های کاتالیزوری آن‌ها را تغییر می‌دهد و انحلال‌پذیری را افزایش داده و سبب ایجاد قابلیت نفوذ در غشاهای سلولی در این ذرات می‌گردد (Liu *et al*., 2000; Premanathan *et al*., 2011).

در ایران تقریبا ۸۰ درصد زمین‌های زراعی دچار کمبود روی می‌باشند که به دلیل کمبود ماده آلی، بالا بودن کربنات کلسیم و اسیدیته خاک، قابلیت جذب این عنصر به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Shahbazi and Basharati, 2013). عنصر روی در ساختمان بسیاری از آنزیم‌ها به عنوان کوفاکتور عمل می‌نماید. همچنین این عنصر نقش اساسی در فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز، پروتئاز، تنظیم کننده‌های رشد واکنش‌های بیوشیمیایی، سنتز DNA، RNA و تنظیم میزان باز بودن روزنه‌ها دارد (Welch, 2001; Alloway, 2008). در رابطه با عنصر آهن علی‌رغم اینکه این عنصر به عنوان فراوان‌ترین عنصر ریزمغذی پوسته زمین شناخته می‌شود، اما کمبود مواد آلی خاک، قلیایی بودن خاک، مصرف زیاد کودهای فسفر مانع جذب آهن توسط گیاه می‌شود (Ronaghi *et al*., 2002). از طرفی عنصر آهن برای بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژی و زیست شیمیایی از جمله ساخت کلروفیل، تنفس، سیستم‌های اکسایش و احیا و فتوسنتز ضروری می‌باشد. این در حالی است که مصرف عناصر ریزمغذی علاوه بر رفع کمبود این عناصر می‌تواند افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی به ویژه تنش خشکی را افزایش دهد. مصرف آهن و روی تأثیر زیادی در کاهش اثرات سوء تنش خشکی در گیاهان زراعی دارند (شش بهره و موحدی دهنوی، ۱۳۹۱). افزایش محتوای روغن کلزا و گلرنگ با

افشانه کردن عنصر روی و آهن توسط افشاری و همکاران (۲۰۲۰) و پسندی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش شده است. همچنین افزایش محتوای عنصر روی دانه‌ی گندم با افشانه کردن سولفات‌روی توسط عباسی و همکاران (۱۳۹۵) گزارش شده است.

با توجه به اهمیت کاربرد نانو ذرات روی و آهن به منظور کاهش اثرات منفی تنش خشکی، پژوهش حاضر به منظور تعیین نقش نانو ذرات روی و آهن بر تغییرات فیتوهورمون‌های گلرنگ در شرایط کم آبیاری و تأثیر پذیری رشد، نمو و عملکرد از این تغییرات اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در مزرعه تحقیقاتی 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 ۱۴۸۵ متر بلندی از سطح دریا، میانگین دراز مدت بارندگی ۳۷۵ (۷۳ درصد به صورت باران و ۲۷ درصد به صورت برف) طی سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. فاکتورهای مورد مطالعه عبارت بودند از سه سطح مختلف رطوبتی آبیاری در ۹۰ (بدون تنش)، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به عنوان عامل اصلی و محلول‌پاشی نانو ذرات آهن و روی (بدون کاربرد (شاهد)، نانو آهن ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار و نانو روی ۳۰ و ۶۰ میلی-مولار) به عنوان عامل فرعی که به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. از گلرنگ سینا که رقمی خاردار و گلچه زرد که برای کشت دیم در مناطق سرد و معتدل سرد معرفی شده است، در این آزمایش استفاده شد. زمین مناسب، بعد از نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری از مناطق مختلف مزرعه تحقیقاتی براساس مقدار آهن و روی قابل جذب گیاهان انتخاب شد. غلظت برخی از عناصر غذایی و سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ آورده شده است. تغذیه کودی کشت‌زار به دو شکل کود پایه و کود سرک بر اساس آزمون خاک انجام شد.

جدول۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش

مقادیر	خصوصیات خاک	مقادیر	خصوصیات خاک
0.06 (%)	نیتروژن کل	شنی-لومی	ساختار خاک
3.81 (ppm)	فسفر قابل جذب	7.51	اسیدیته
364 (ppm)	پتاسیم قابل جذب	0.46 (%)	هدایت الکتریکی
0.38 (mg kg-1)	روی قابل جذب	9.61 (%)	کربنات کلسیم معادل
1.56 (mg kg-1)	منگنز قابل جذب	0.32 (%)	کربن آلی
3.26 (mg kg-1)	آهن قابل جذب	46 (%)	رطوبت اشباع

کشت در سطح کرت ۶ مترمربع با ۵ ردیف به فواصل ۴۰ سانتی‌متر و طول ۳ متر برای هر تیمار در پاییز انجام گرفت و آبیاری اولیه برای استقرار سریع‌تر گیاهچه‌ها صورت گرفت. کاربرد نانو

ذرات روی و آهن در بهار و در سه مرحله هفت برگی، آغاز گل‌دهی و ظهور کامل گل‌ها به‌ترتیب با مقادیر ۳۰ و ۶۰ میلی مولار انجام گرفت. تا مرحله ۶-۴ برگی، مزرعه به‌صورت کامل آبیاری شد و سپس زمان‌های آبیاری با اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش وزنی از طریق نمونه‌گیری در یک نوبت در وسط هر روز از عمق توسعه ریشه در تیمارهای مختلف و رسیدن به رطوبت مورد نظر تعیین شد (Martins *et al*., 2003). به منظور یکسان بودن آب در دستـــرس گیاهان، میزان آب آبیـــاری برای هر کرت با در نظر گرفتن عمق توسعه ریشه (۵۰ سانتی‌متر) مساحت کرت و رطوبت ظرفیت زراعی خاک بر حسب متر مکعب محاسبه شده و به مقدار مشخص طبق فرمول ذیل به هر کرت اضافه شد (Rostamza *et al*., 2011).

$$In = \frac{(Fci - \Theta i) \times \mathrm{D} \times \mathrm{A}}{100}$$

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

برای اندازه‌گیری پارامترهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی از برگ‌های جوان و کاملاً بالغ با فاصله ۷ روز پس از آخرین افشانه کردن نمونه‌ی برگی تهیه و بلافاصله در ازت مایع غوطه‌ور شد. نمونه‌ها تا زمان اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. مقادیر کلروفیل a[1]، b[2] و کاروتنوئید[3] کل بر اساس معادلات ولبورن (۱۹۹۴) و کلروفیل کل طبق معادله آرنون (۱۹۴۹) محاسبه گردید. هورمون آبسزیک اسید و ایندول استیک اسید[4] با روش یوکاتا و همکاران (۱۹۹۴) اندازه‌گیری شدند. غلظت هورمون جیبرلین[5] با روش بارندز و ورکن (۱۹۸۰) تعیین گردید. برای خالص سازی و اندازه‌گیری مقدار هورمون سیتوکنین[6] (زآتین) از روش اونیایار و همکاران (۱۹۹۶) استفاده شد. همچنین برای ارزیابی میزان تجمع پرولین[7] از روش باتس و همکاران (۱۹۷۳) استفاده گردید.

برای اندازه‌گیری درصد پروتئین دانه ابتدا درصد نیتروژن دانه به روش کجلدال تعیین و سپس درصد نیتروژن حاصل را در عدد ۵/۱۷ ضرب شد (پای‌گذار و همکاران، ۱۳۸۸). برای اندازه‌گیری روغن کل دانه از دستگاه Infarmatic 8620 pecor استفاده شد. اندازه‌گیری روی و آهن با بهره‌گیری از روش وت آشینگ[8] (Jon and Loon, 1980) صورت گرفت. در این روش ۰/۱ گرم نمونه گیاهی را توزین نموده در بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتری قرار داده و بر روی آن ۳ میلی‌لیتر اسید نیتریک و ۱ میلی‌لیتر اسید پرکلریک اضافه می‌شود. نمونه‌ها تا دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد تا زمانی که تمام بخارات زرد رنگ خارج گردد حرارت داده می‌شود، وقتی تمامی بخارات زرد

[1] Chlorophyll a
[2] Chlorophyll b
[3] Carotenoid (CAR)
[4] Indole-3-acetic acid (IAA)
[5] Gibberellin (GA)
[6] Cytokinin (CK)
[7] Proline (Pro)
[8] Wet ashing

رنگ خارج شدند، نمونه‌ها از روی اجاق الکتروترمال برداشته تا در هوای آزاد سرد شوند سپس عناصر ذکر شده با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Shimadzu AA-6300) انجام شد. سایر صفات زراعی شامل اجزای عملکرد تعداد قوزه در بوته، تعداد دانه در قوزه، وزن هزار دانه و در نهایت میزان روغن و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. پیش از تجزیه واریانس داده‌ها، تست نرمال بودن خطاهای داده‌های آزمایشی با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف انجام شد سپس تجزیه واریانس با استفاده از مدل GLM و بهره‌گیری از نرم افزار SPSS 17 و برای مقایسات میانگین از نرم افزارهای GenStat 12 و SPSS 17 استفاده شد.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، برهم‌کنش تیمارهای کم آبیاری و کاربرد نانو ذرات بر صفات میزان پروتئین، محتوای روغن، کلروفیل a و b، عملکرد، وزن هزار دانه، ایندول استیک اسید، سیتوکینین، پرولین و آهن در سطح احتمال یک درصد و تعداد دانه در طبق در سطح احتمال ۵ درصد تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۲). همچنین اثرات ساده اعمال تیمار کم آبیاری برای کلیه صفات به‌جزء قوزه در بوته و کاربرد نانو ذرات روی و آهن برای تمامی صفات به‌جزء محتوای روی و قوزه در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات محلول‌پاشی با نانو ذرات روی و آهن بر صفات مورد مطالعه گلرنگ تحت تأثیر تیمارهای کم آبیاری

S.O.V	Df	MS						
		Protein	Oil content	Chl a	Chl b	Car	IAA	GA
Repilication	2	5.92	1.1236	0.017	0.709	0.00029	408.2	31.49
Nanoparticles	4	14.26**	21.4767**	0.27**	0.44**	0.00042**	11203.92**	382.30**
Error a	8	0.126	0.3855	0.0025	0.003	0.00001	168.02	11.27
Stress	2	179.73**	99.9096**	4.22**	7.13**	0.0032**	98276.42**	2391.09**
Nano*Stress	8	0.94**	2.865**	0.037**	0.128**	0.000023ns	683.84**	72.87ns
Error b	20	0.047	0.686	0.0043	0.0028	0.000022	81.22	51.91
CV (%)	-	2.3	3.3	5.9	3.3	7.1	3	5.1

ادامه‌ی جدول ۲

S.O.V	df	MS							
		CK	Pro	Fe content	Zn content	Yield	1000-seed weight	No. of heads per plant	No. of seeds per head
Repilication	2	160.16	634.1	25.4	30856.95	16088	1.04	246.1	10.82
Nanoparticles	4	4119.20**	40561.5**	1945.87**	347.17ns	20543.4**	17.33**	245.2ns	9.13**
Error a	8	64.68	373.7	29.18	578.98	435.4	0.39	219.7	0.18
Stress	2	20838.6**	4.59**	6211.44**	2030.01**	739432**	59.86**	855.9ns	191.02**
Nano*Stress	8	468.38**	2.7405**	41.87**	7.29ns	232.2**	1.87**	229.9	0.8*
Error b	20	34.98	228.0	8.98	85.54	663.9	0.53	218.2	0.21
CV (%)	-	2	3/7	3.1	28.4	2.9	1.8	11.02	7.6

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

میزان پروتئین دانه: نتایج مقایسه میانگین داده‌های حاصل از این پژوهش نشان داد که پروتئین دانه تحت تأثیر ترکیب تیماری کم‌آبیاری و کاربرد نانو ذرات قرار گرفت. به گونه‌ای که با افزایش تنش خشکی بر میزان درصد پروتئین افزوده شد. بیشترین مقدار عددی پروتئین دانه در تیمار عدم کاربرد نانو ذرات و با آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد، همچنین کمترین مقدار آن نیز در تیمار افشانه کردن ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار نانو آهن در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۳). در تمامی سطوح آبیاری مورد مطالعه، بیشترین درصد پروتئین در تیمارهای شاهد و نانو کود روی به خصوص در سطح ۶۰ میلی‌مولار مشاهده شد. افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده‌ی پروتئین (Michaletti *et al*., 2018) در شرایط بروز تنش خشکی از یک طرف و کاهش میزان سنتز پروتئین (Ramezani *et al*., 2013) در همین شرایط از طرف دیگر به شدت مقدار پروتئین را در گیاهان زراعی تحت تأثیر قرار می‌دهد. همزمان با این تغییرات در شرایط بروز تنش خشکی به خصوص در دوره پر شدن دانه، نمی‌توان از کاهش فعالیت آنزیم‌های سنتز نشاسته نیز چشم پوشی کرد. زمانی که میزان پروتئین در دانه‌ی گیاهان زراعی بر اساس درصد بیان می‌گردد به دلیل کاهش بیشتر میزان سنتز نشاسته در شرایط بروز تنش خشکی، احتمال بالا بودن درصد پروتئین حتی با وجود کاهش میزان سنتز آن وجود دارد (Garcia del Moral *et al*., 1995). در همین رابطه، وجود همبستگی منفی بین درصد پروتئین و عملکرد می تواند دلیل افزایش درصد پروتئین در شرایط کم آبی باشد (Filho *et al*., 2004). در پژوهش دیگری در سویا افزایش درصد پروتئین در شرایط بروز تنش خشکی گزارش شده است (مسعودی و همکاران، ۱۳۸۷). عنصر آهن در سنتز دو گروه اصلی پروتئین‌ها نقش مستقیمی دارد به گونه‌ای که تعداد ریبوزوم‌های سلول‌های برگ با کمبود این عنصر به شدت کاهش می‌یابند. از طرفی این عنصر در فرآیندهای وابسته به نور در فتوسنتز نیز دخیل می‌باشد. عنصر روی نیز در ساختار اسیدهای آمینه‌ی هیستیدین، گلوتامین، آسپاراژین و تریپتوفان به صورت مستقیم شرکت دارد. از طرفی این عنصر یکی از اجزای اصلی ساختار RNA پلی‌مراز بوده که دسترسی آن تأثیر مستقیمی بر سنتز پروتئین دارد. بنابراین عناصر آهن و روی در شرایط بروز تنش خشکی بدلیل کاهش اثرات سوء تنش و بهبود نسبی وضعیت رشد گیاه سبب افزایش درصد پروتئین گردیده است.

میزان روغن دانه: طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر متقابل تیمار کم آبیاری و کاربرد نانوذرات بر میزان روغن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین میزان روغن در تیمار آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌مولار نانو روی مشاهده گردید. این در حالی می‌باشد که میان تیمارهای افشانه کردن ۳۰ میلی مولار نانو روی و افشانه کردن ۳۰ و ۶۰ میلی مولار نانو آهن با این تیمار نیز تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. همچنین کمترین میزان روغن نیز در تیمار عدم افشانه کردن نانو مواد و افشانه کردن ۳۰ میلی‌مولار نانو آهن در شرایط آبیاری در ۵۰

درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۳). بروز تنش خشکی تأثیر مستقیمی بر کاهش درصد روغن دانه در انواع گیاهان روغنی دارد (Sabagh *et al.*, 2019). از طرفی، محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی به‌ویژه عنصر روی به دلیل افزایش متابولیسم چربی‌ها و رفع به موقع نیاز گیاه باعث افزایش میزان روغن در دانه گلرنگ شد (Ravi *et al.*, 2008). فراهمی عنصر آهن باعث جلوگیری از تخریب کلروفیل و زردی برگ‌ها و افزایش فتوسنتز جاری می‌گردد و تأثیر مستقیمی می‌تواند بر روی افزایش کمیت و کیفیت روغن بگذارد (Singh, 2000; Farahvash *et al.*, 2011).

محتوای کلروفیل برگ: طبق نتایج مقایسه میانگین، میزان کلروفیل a و b تحت تأثیر ترکیب تیماری کاربرد نانو ذرات و کم‌آبیاری قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین مقدار کلروفیل a در تیمار آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی به همراه کاربرد ۶۰ میلی‌مولار نانو روی مشاهده شد. بیشترین میزان کلروفیل b در تیمارآبیاری ۷۵ درصد ظرفیت زراعی به همراه کاربرد ۶۰ میلی‌مولار نانو روی بود. پایین‌ترین مقادیر هر دو کلروفیل نیز در تیمار عدم کاربرد نانو ذرات مورد استفاده در شرایط آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده گردید. کاهش کلروفیل در شرایط تنش خشکی به عنوان عامل محدود کننده غیرروزنه‌ای به حساب می‌آید و دلیل کاهش در شرایط تنش، تخریب رنگریزه‌ها و اختلال در سنتز آن‌ها می‌باشد (Sayyad-Amin *et al.*, 2016). گلوتامات به‌عنوان پیش ماده سنتز کلروفیل و پرولین شناخته می‌شود (Yaronskaya *et al.*, 2006). با توجه به افزایش سنتز پرولین در شرایط تنش خشکی احتمال کاهش میزان کلروفیل در اثر کمبود پیش ماده گلوتامات دور از انتظار نیست (Lawlor and Cornic, 2002). بر همین اساس پژوهشگران اثر نامطلوب تنش خشکی را بر کلروفیل a و b، گزارش کردند (Manivannan *et al.*, 2015). کلروفیل a به دلیل حساسیت بالاتر به تنش خشکی بیشتر از کلروفیل b از کاهش رطوبت متأثر می‌گردد (Ashraf and Naz, 1994). از طرف دیگر، کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی به علت افزایش تولید انواع اکسیژن فعال در شرایط تنش خشکی به عنوان عاملی مهم در کاهش میزان سنتز و افزایش تخریب کلروفیل‌ها معرفی شده است اما گیاهان در شرایط بروز تنش خشکی سعی بر افزایش نسبی مقادیر کلروفیل b دارند تا شدت خسارت‌های وارد شده را کاهش دهند (Mohammadkhani and Heidari, 2007). در پژوهش حاضر نیز میزان کلروفیل b در فواصل ابیاری ۹۰ و ۷۵ درصد نسبت به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و به خصوص با کاربرد عنصر روی بیشتر بود (جدول ۳). این عنصر از طریق اتصال به گروه سولفیدریل باعث استحکام آنزیم‌ها، پروتئین‌ها و ساختمان چربی غشای سلول و نهایتاً پایداری سنتز کلروفیل‌ها می‌شود. از طرفی حضور عنصر روی برای ساخت پورفووبیلینوژن[1] که به عنوان پیش ماده کلروفیل شناخته می‌شود ضروری و مهم شناخته می‌شود (Bhattacharjee, 2005). گزارش‌های متعددی حاکی از تأثیر مستقیم کاربرد عنصر روی بر سنتز کلروفیل و

[1] porphobilinogen

کاهش تخریب آن در دسترس می‌باشد (موحدی دهنوی و همکاران، ۱۳۸۳؛ Ayad *et al*., 2010). در رابطه با تأثیر عنصر آهن بر میزان کلروفیل گیاهان این نکته قابل ذکر می‌باشد که شکل‌گیری کلروفیل بدون حضور این عنصر امکان‌پذیر نمی‌باشد. کاربرد عنصر آهن به صورت محلول-پاشی در شرایط کمبود این عنصر و تحت تنش خشکی به خوبی سبب افزایش میزان کلروفیل برگ‌ها می‌گردد (Anderson and Parkpian, 1984). بالا بودن میزان کلروفیل بیشتر از آنکه تضمین‌کننده عملکرد بالا باشد نشان دهنده وضعیت مطلوب در تعدیل دمایی و رطوبت گیاه در مراحل مختلف رشد است به ویژه در گیاهان پاییزه مانند گلرنگ که مراحل پایانی رشد آن‌ها مانند گلدهی و تشکیل دانه با گرما و خشکی مواجه می‌گردد (Abdul Jaleel *et al.*, 2007).

محتوای کاروتنوئید: اثرات ساده‌ی فاکتورهای مورد مطالعه بر روی محتوی کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در رابطه با فاکتور آبیاری، بیشترین میزان این صفت در تیمار آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. کمترین محتوای کاروتنوئید نیز در آبیاری۷۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد(جدول ۳). کارتنوئیدها به عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی از طریق خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد، فرایند اکسیداسیون را متوقف می‌کند و نقش مهمی در کاهش اثرات منفی تنش در گیاهان دارد. کارتنوئیدها ترکیبات تتراترپنی هستند که به عنوان رنگریزه‌های کمکی شناخته می‌شوند، این ترکیبات با تبدیل اکسیژن یکتایی به اکسیژن سه‌تایی و کاهش میزان خسارات ناشی از حضور انواع اکسیژن فعال به عنوان حامی برای کلروفیل‌ها به حساب می‌آیند (Zur *et al*., 2000). در همین راستا محمدخانی و حیدری (۲۰۰۷) در پژوهشی بر روی ذرت کاهش میزان کلروفیل و افزایش مقدار کارتنوئید را در شرایط کم آبیاری گزارش کردند. در رابطه با فاکتور کاربرد نانو مواد می‌توان اذعان داشت که تیمار کاربرد ۶۰ و ۳۰ میلی‌مولار نانو روی توانست بالاترین میزان کاروتنوئید را به خود اختصاص دهد. در همین زمینه، تأثیر مثبت محلول-پاشی عنصر روی بر غلظت رنگریزه‌های فتوسنتزی در گیاه شمعدانی گزارش شده است (Hasnaa *et al*., 2010). عنصر آهن نیز برای سنتز کلروپلاست و کاروتنوئید ضروری می‌باشد (Pushnik *et al*., 1984). کاروتنوئیدها در غشای کلروپلاست جای دارند، به هنگام افزایش مقادیر آهن در دسترس میزان سنتز کاروتنوئیدها افزایش و در پی آن آسیب وارده به کلروفیل به شدت کاهش می‌یابد (Alloway, 2004).

ایندول استیک اسید: نتایج تجزیه واریانس‌ها داده‌های حاصل از پژوهش حاضر (جدول ۲) بیانگر اثر معنی‌دار ترکیب تیماری نانو ذرات و کم آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر میزان ایندول استیک اسید است. بیشترین میزان این هورمون با کاربرد ۶۰ میلی‌مولار نانو روی در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. از طرفی پایین‌ترین مقادیر این هورمون نیز در تیمار عدم کاربرد نانو ذرات و کاربرد ۳۰ میلی‌مولار نانوآهن در شرایط آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی ثبت شد (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسات میانگین محلول‌پاشی نانو ذرات روی و آهن بر صفات اندازه گیری شده تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری

Stress	Treatment	Protein	Oil content (%)	Chl a (mmol / gFW)	Chl b (mmol / gFW)	IAA (ng/g FW)	Cytokinin (ng/g FW)	Prolin (mg kg-1)	Fe content (mg/kg)	Yield (Kg/ha)	1000 Seed weight (g)	N. of seeds per head
Irrigation at 90%	Control	16.63 F	26.27 bcde	1.393 c	2.17 g	33 de	327 bcd	191.3 gh	109.93 Cde	1308 a	44.64 ab	13.67 B
	Nano Fe 30 mM	14.73 G	27.07 abcd	1.473 c	2.97 fg	348.7 cd	339.3 abc	204 gh	125.87 B	1325 a	45.13 ab	13.67 B
	Nano Fe 60 mM	13.72 G	27.77 abc	1.77 b	2.237 fg	366.3 c	342.3 ab	178 h	144.8 a	1316 a	45.11 ab	15.67 A
	Nano Zn 30 mM	15.93 F	28.7 ab	1.947 ab	2.353 ef	144.7 b	356.3 a	220.3 gh	103.177 def	1358 a	45.95 a	15.67 A
	Nano Zn 60 mM	16.8 F	28.87 a	20.07 a	2.443 de	454.7 a	355.7 a	236.3 g	103.47 def	1366 a	46.04 a	16.67 A
	Mean	**15.562**	**27.736**	**5.3306**	**2.4346**	**269.48**	**344.12**	**205.98**	**117.449**	**1090**	**45.374**	**15.07**
Irrigation at 75%	Control	22.38 B	23.53 fgh	0.687 fg	2.59 bcd	261.3 jk	276 f	358.8 f	94.83 fg	1088 c	38.21 e	9.33 Ef
	Nano Fe 30 mM	20.47 D	23.17 fgh	0.78 efg	2.54 cd	286.7 fgh	251.3 g	389.3 ef	114.5 Bcd	1083 c	39.15 e	10 Def
	Nano Fe 60 mM	18.83 E	24 efg	0.807 efg	2.662 abc	297.7 efg	292 ef	397 ef	119.97 Bc	1136 bc	39.55 de	10.33 De
	Nano Zn 30 mM	21.8 bc	25.07 def	0.963 de	2.733 ab	315.7 def	313 cde	432 de	94.57 fg	1151 bc	41.76 cd	11.33 De
	Nano Zn 60 mM	22.53 B	26.1 cde	1.022 d	2.783 a	166.7 gh	320.3 cde	562 c	96 efg	1199 b	43.48 bc	12.33 Bc
	Mean	**21.202**	**24.374**	**0.8518**	**2.6616**	**265.62**	**290.52**	**427.82**	**103.974**	**1131.4**	**40.43**	**10.664**
Irrigation at 50%	Control	24.11 A	19.67 i	0.627 g	0.787 k	182.3 k	236 g	454.3 d	65.77 h	809 f	31.25 h	7.33 G
	Nano Fe 30 mM	21.47 bcd	21.43 i	0.743 fg	0.947 k	201.3 k	250.7 g	552 c	88.13 g	828 f	31.98 h	7.67 G
	Nano Fe 60 mM	20.63 D	21.97 ghi	0.793 efg	1.403 j	219 j	285.7 f	593 c	97.77 efg	883 ef	32.35 gh	7.67 G
	Nano Zn 30 mM	21.5 bcd	24.57 def	0.87 def	1.587 i	233 ij	296 ef	667 b	66.63 h	955 de	33.75 Gh	8.67 Fg
	Nano Zn 60 mM	22.53 B	25.67 cdef	0.843 def	1.897 h	266.7 gh	294 ef	735.7 a	69.47 h	976 d	34.82 F	8.67 Fg
	Mean	**22.048**	**22.662**	**0.7752**	**1.3242**	**220.46**	**272.48**	**600.4**	**77.554**	**890.2**	**32.83**	**8.002**

ادامه جدول ۳

Treatment	Protein	Oil content (%)	Chl a (mmol / gFW)	Chl b (mmol / gFW)	Carotenoid (mmol / gFW)	IAA (ng/g FW)	Gibberellin (ng/g FW)	Cytokinin (ng/g FW)	Prolin (mg kg-1)	Fe content (mg/kg)	Yield (Kg/ha)	1000 Seed weight (g)
Control	21.04 a	23.16 C	0.902 d	1.849 d	0.0626 b	257.8 e	130.6 c	279.7 c	334.8 d	90.18 c	1068 C	38.04 B
Nano Fe 30 mM	18.89 c	23.89 Bc	0.999 c	1.894 d	0.0647 b	278.9 d	137.1 bc	280.4 c	381.8 c	109.50 b	1079 Bc	38.75 B
Nano Fe 60 mM	17.73 d	24.58 B	1.123 b	2.101 c	0.0675 b	294.3 c	142.4 ab	306.7 b	389.3 c	120.86 a	1112 B	39.00 B
Nano Zn 30 mM	19.74 b	26.11 A	1.260 a	2.224 b	0.0752 a	320.1 b	144.9 ab	321.8 a	439.8 b	88.32 c	1153 A	40.49 A
Nano Zn 60 mM	20.12 b	26.88 A	1.316 a	2.374 a	0.0784 a	348.1 a	146.6 a	323.3 a	511.3 a	89.64 c	1180 A	41.45 A

ادامه جدول ۳

Stress	Protein	Oil content (%)	Chl a (mmol / gFW)	Chl b (mmol / gFW)	Carotenoid (mmol / gFW)	IAA (ng/g FW)	Gibberellin (ng/g FW)	Cytokinin (ng/g FW)	Prolin (mg kg-1)	Fe content (mg/kg)	Zn content (mg/kg)	Yield (Kg/ha)	1000 Seed weight (g)
Irri ati on at 90%	22.05 a	27.73 a	1.731 A	2.280 b	0.0758 b	382.3 a	154.8 a	344.1 a	206.0 c	117.57 a	61.35 a	61.35 a	45.37 a
Irrigation at 75%	20.90 b	24.37 b	0.854 B	2.662 a	0.053 c	296.8 b	134.5 b	290.5 b	427.8 b	103.97 b	51.69 ab	51.69 b	40.43 b
Irrigation at 50%	15.56 c	22.66 c	0.775 C	1.324 c	0.0803 a	220.5 c	131.7 b	272.5 c	600.44 a	77.55 c	38.19 b	38.19 b	32.83 C

ایندول استیک اسید به عنوان اکسین اصلی گیاهان زراعی فراوان‌ترین و مهم‌ترین شکل اکسین در گیاهان می‌باشد (Taiz and Zeiger, 2006) این هورمون به عنوان ماده کلیدی برای رشد و نمو اکثر گیاهان مطرح بوده که به مقدار زیاد در بافت‌های جوان و رأس ساقه‌ها، جوانه‌ها و میوه‌های جوان یافت می‌شود (علیخانی و همکاران، ۱۳۹۰). کمبود روی بر سطوح اکسین در گیاه اثر دارد و کمبود آن موجب توقف رشد ریشه و تجزیه ایندول استیک اسید به وسیله افزایش فعالیت پراکسیدازها می‌گردد. روی به طور غیر مستقیم مقدار آب گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. زیرا کاهش مقدار اکسین به علت کمبود روی منجر به ناتوانی دیواره سلول‌ها برای رشد می‌شود بنابراین موجب یک فشار اسمزی زیاد و محدود شدن جذب آب گیاه می‌شود (Harlan, 1981). با توجه به قطر ذرات نانو انتقال و تجمع ذرات نانو بسیار بیشتر از ذرات معمول می‌باشد. مصرف نانو ذرات اکسید روی از طریق افزایش سطح ایندول‌استیک‌اسید در ریشه نخود موجب افزایش رشد این گیاه نسبت به شکل معمول آن می‌شود (شجاعی و مکاریان، ۱۳۹۳).

جیبرلین: نتایج تجزیه وایانس حاصل از این پژوهش نشان داد که اثرات ساده‌ی کاربرد نانو ذرات و تیمار کم آبیاری به صورت جداگانه بر جیبرلین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین مقادیر این هورمون به صورت جداگانه در تیمار آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد ۶۰ میلی‌مولار نانو روی و کمترین مقادیر در تیمار آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد نانو ذرات مشاهده شد (جدول ۳). جیبرلین به‌عنوان گروه مهمی از هورمون‌های تاثیرگذار بر روی رشد می‌باشد که با تاثیر بر روی تحریک طویل شدن سلولی سبب افزایش رشد می‌گردد. این نکته نیز قابل ذکر می‌باشد که این هورمون علاوه بر رشد طولی به صورت مستقیم بر روی تقسیم سلولی نیز تاثیر می‌گذارد. پیش‌تر اثبات گردیده است که این هورمون میزان جذب آب را افزایش نمی‌دهد بلکه با شل شدن و توسعه‌پذیری دیواره سلولی سبب افزایش تقسیم سلولی می‌گردد (Arteca, 1982). طبق گزارش پوسپیسیلوا (۲۰۰۳) تنش خشکی باعث کاهش مقدار جیبرلین در گیاه ذرت گردید. افزایش مقادیر جیبرلین به واسطه افشانه کردن یا عوامل ثانویه مانند کاربرد عناصر ریز مغذی سبب ایجاد تعادل در گیاهان زراعی می‌گردد. در همین رابطه همبستگی بین تغییرات هورمون جیبرلین و عملکرد، سطح برگ، میزان کلروفیل در ذرت گزارش شده است (Shaddad *et al.*, 2011).

سیتوکینین: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان دهنده‌ی اثر معنی‌دار ترکیب تیماری کاربرد نانو ذرات و کم آبیاری بر میزان هورمون سیتوکنین است. بیشترین میزان این هورمون در تیمار کاربرد ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار نانو روی در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار کاربرد ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار نانو آهن نداشت (جدول ۳). همچنین پایین‌ترین مقادیر این هورمون نیز در تیمارهای عدم کاربرد نانو ذرات و ۳۰ میلی‌مولار نانو آهن در

شرایط آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار کاربرد ۳۰ میلی‌مولار آهن در شرایط آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۳). سیتوکینین‌ها، پیام‌برهای شیمیایی ویژه گیاهان هستند که در تنظیم چرخه سلول گیاهی و بسیاری از فرآیندها نقش ایفا می‌کنند. این هورمون‌ها بر روی متابولیسم عمومی گیاه و به ویژه فعالیت آنزیم‌ها و کوآنزیم‌های مؤثر در بیوسنتز مواد و رشد گیاه اثر می‌گذارد (Kuriyama and Fukuda, 2002). سیتوکینین در گیاهان در معرض تنش به عنوان عامل محدود کننده شناخته می‌شود (Wang, 2009). حضور هورمون سیتوکینین در شرایط تنش خشکی با اثربخشی بر کاهش مقادیر نشت الکترولیت‌ها و کاهش در آسیب سلولی سبب افزایش مقاومت گیاهان زراعی می‌گردد (Wang *et al*., 2008). نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر نیز در همین راستا می‌باشد و با کاربرد نانو روی در شرایط تنش خشکی، گیاهان توانستند میزان این هورمون را نسب به شرایط عدم کاربرد نانو ذرات افزایش بدهند که نشان از افزایش مقاومت این گیاهان دارد. از طرفی، در گیاهان زراعی تغییر در مقادیر سیتوکینین در مرحله پر شدن دانه سبب شروع تجمع نشاسته و ذخیره پروتئین در دانه می‌گردد که به احتمال زیاد این کار از طریق تغییر در تقسیم سلولی و ایجاد پتانسیل در مقصد انجام می‌پذیرد (Yang *et al*., 2000).

میزان پرولین: پرولین نیز تحت تأثیر معنی‌دار ترکیب تیماری نانو ذرات و کم آبیاری قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین میزان پرولین با کاربرد ۶۰ میلی‌مولار نانو روی در شرایط آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد و کمترین مقدار آن نیز به محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌مولار نانو آهن در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی مربوط بود (جدول ۳). پرولین به عنوان یک اسمولیت حذف کننده رادیکال‌ها و به عنوان تثبیت کننده پروتئین و ماکروملکول‌ها و کلاته کننده فلزات شناخته می‌شود (Shah and Dubey, 1998). در هنگام بروز تنش خشکی گلوتامات که پیش ساز سنتز کلروفیل و پرولین است احتمالا به سمت تولید پرولین پیش می‌رود و نهایتاً سبب افزایش میزان پرولین در شرایط تنش می‌شود. سنتز پرولین به صورت مستقیم در کاهش پتانسیل اسمزی سیتوپلاسمی و حفظ نسبت $NADP/NADPH^{+}$ دخالت دارد (Llamas *et al*., 2000; Matysik *et al*., 2002). تجمع پرولین در گیاهان تحت تنش با کاهش خسارت در غشای سلولی و پروتئین‌ها مرتبط است و از پراکسیداسیون لیپیدها و گونه‌های فعال اکسیژن جلوگیری می‌کند. در مسیر بیوسنتز پرولین که به مسیرگلوتامات شناخته می‌شود آنزیم‌های کلیدی موجود به افشانه کردن عنصر روی و آهن تأثیر مثبت نشان داده است که نتایج پژوهش حاضر با این نتایج هم‌راستا می‌باشد (Shah and Dubey, 1998).

محتوای روی و آهن دانه: اثر ساده‌ی سطوح آبیاری در محتوای عنصر روی دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دارشد (جدول ۲). بیشترین میزان عنصر روی با مقدار ۶۱/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت

زراعی حاصل شد و کمترین مقدار آن نیز در شرایط آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۳). برهمکنش دوجانبه‌ی کاربرد مواد نانو و سطوح مختلف آبیاری بر روی محتوای عنصر آهن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین مقدار این عنصر با میزان ۱۴۴/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار کاربرد ۶۰ میلی‌مولار آهن و آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. کمترین مقدار عنصر آهن نیز در دانه‌های به دست آمده از تیمار عدم کاربرد نانو مواد، کاربرد ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار نانو روی در شرایط آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد (جدول ۳). در پژوهش حاضر اعمال تیمار کم آبیاری باعث کاهش میزان محتوی آهن دانه گردید به گونه‌ای که در هر سه سطح آبیاری، محلول‌پاشی با نانو آهن ۶۰ میلی‌مولار باعث افزایش محتوی آهن دانه شد. اولین دلیل افزایش محتوای عناصر دانه، فراهمی آن عنصر می‌باشد. در شرایطی که عنصری در دسترس گیاهان باشد با وجود رطوبت کافی جذب و انتقال عنصر مد نظر آغاز می‌گردد. در رابطه با افشانه کردن عناصر غذایی نیز این گفته صدق می‌کند و نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر نشان دهنده افت محتوای آهن دانه در شرایط عدم کاربرد نانو آهن می‌باشد. بیشترین میزان عنصر روی نیز در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد نانو روی ۶۰ میلی‌مولار ثبت شد. کاهش شدید تحرک عناصر غذایی در شرایط کمبود رطوبت سبب افت بسیار زیاد عناصر غذایی در گیاهان زراعی می‌شود. تحت چنین شرایطی هر عاملی که سبب افزیش تحرک عناصر یا افزایش قدرت جذب ریشه گردد به عنوان راهکاری در کاهش مشکلات تغذیه‌ای کشور در دیم‌زارها مطرح می‌باشد. محلول‌پاشی عناصر روی و آهن در مرحله بعد از گل‌دهی به دلیل ارتباط بین آوند چوب و آبکش در گل‌آذین گیاهان و امکان تبادل مناسب عناصر در این مکان به عنوان راه حلی مطرح می‌باشد که توان افزایش عناصر روی و آهن را در دانه دارد (موحدی دهنوی و همکاران، ۱۳۸۳). تنش خشکی باعث تحرک کم عناصر روی و آهن شده و کاهش محتوی روی و آهن را به دنبال دارد که محلول‌پاشی با عناصر روی و آهن باعث افزایش محتوی روی و آهن در دانه می‌شود.

عملکرد دانه: عملکرد دانه گلرنگ هم تحت تأثیر معنی‌دار ترکیب تیماری کاربرد نانوذرات و کم‌آبیاری قرار گرفت (جدول ۲). بالاترین مقدار عملکرد دانه در تیمار آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی برای تمای تیمارهای کاربرد مواد نانو بدست آمد. پایین‌ترین میزان عملکرد دانه در تیمار عدم کاربرد نانو ذرات در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد که با تیمار محلول‌پاشی ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار نانو آهن در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳). کاهش عملکرد ناشی از تنش خشکی احتمالاً به دلیل کاهش سطح فتوسنتز و افزایش انرژی مصرفی گیاه جهت جذب آب و بالا بردن شیره سلولی باشد (اردکانی و همکاران، ۱۳۸۶). کمبود رطوبت به‌ویژه در مرحله زایشی باعث کاهش ظرفیت مخزن و در نتیجه کاهش عملکرد دانه می‌شود. همچنین بیشترین میزان عملکرد طی

این پژوهش در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی در تمامی تیمارهای کاربرد نانو ذرات مشاهده شد. براساس نتایج ، کاربرد نانو روی در هر دو شرایط تنش خشکی توانست وضعیت گیاهان را بهبود بخشد. عنصر روی اثر مطلوبی بر فعالیت فتوسنتزی برگ‌ها داشته و سبب بهبود انتقال مواد فتوسنتزی می‌شود (Wang *et al*., 2009). فتوسنتز یک جمعیت گیاهی در طول دوره رشد زایشی یک عامل مهم در تعیین عملکرد شناخته می‌شود. در همین زمینه هر گونه تنش در این مرحله اثر جبران‌ناپذیری برعملکرد دارد. بروز تنش آبی در مرحله رویشی با کاهش سطح برگ و فتوسنتز به طور غیر مستقیم بر تعداد دانه و نهایتاً عملکرد اقتصادی تأثیرگذار است. همچنین وقوع تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه با کاهش طول دوره و اختلال در انتقال مواد به دانه و افت وزن هزار دانه تأثیر معنی‌داری در کاهش عملکرد دارد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۶). کمبود عنصر روی در خاک‌های زراعی کشور امری بدیهی به شمار می‌رود. کمبود عنصر روی به‌تنهایی می‌تواند تأثیر معنی‌داری بر روی گیاهان داشته باشد (Harlan, 1981). تحت شرایط کمبود روی تولید ماده خشک قسمت هوایی کاهش یافته، گلدهی و تولید دانه در هنگام کمبود روی به شدت مختل شده و در نتیجه تعداد دانه‌ها و عملکرد کاهش می‌یابد (Brennan, 2001). کاهش شدید ایندول استیک اسید در شرایط کمبود عنصر روی و تأثیر آن بر گرده‌افشانی و رشد اندام‌های جنسی نر و ماده سبب کاهش عملکرد می‌گردد (Brennan, 2001). گزارشی هم از بهبود عملکرد کلزا با کاربرد عنصر روی ارائه شده است (Bybordi and Malakouti, 2007). محلول‌پاشی عنصر آهن نیز سبب بهبود وضعیت گیاهان در شرایط تنش خشکی و افزایش عملکرد اقتصادی گیاهان می‌گردد که دلیل آن را به افزایش فتوسنتز و افزایش تولیدات پروتئینی گیاهان در حضور عنصر آهن نسبت داده‌اند (تاتاری، ۱۳۸۴). افزایش سرعت فتوسنتز و بهبود تداوم سطح برگ در گیاه کلزا عامل اصلی افزایش عملکرد در شرایط کاربرد عنصر آهن در تنش خشکی معرفی شده است که با تأثیر بر اجزای عملکرد تعداد غلاف در بوته و وزن هزار دانه سبب بهبود عملکرد اقتصادی گردید (Singh, 2000).

اجزای عملکرد دانه: براساس نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) تعداد قوزه تحت تأثیر تیمارهای افشانه کردن نانو ذرات و سطوح مختلف آبیاری قرار نگرفت. اثرات ساده و برهمکنش کاربرد نانو ذرات و کم‌آبیاری تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در قوزه داشت. بالاترین تعداد دانه در قوزه در شرایط آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار نانو کود روی مشاهده شد که با تیمار کاربرد ۶۰ میلی‌مولار نانو کود آهن تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). کمبود رطوبت در طی مراحل رشد زایشی، به دلیل اثر نامناسب بر جذب آسیمیلات و کاهش عرضه مواد فتوسنتزی و کاهش قدرت مخزن، سبب تمایز کمتر سلول‌ها و حتی عقیم شدن گل‌های قوزه می‌گردد (کافی و رستمی، ۱۳۸۶). کاهش تعداد دانه به رشد رویشی کمتر گیاهان در

شرایط تنش خشکی نسبت داده می‌شود. تنش خشکی با کاهش حرکت مواد ذخیره به دانه به علت محدودیت آب، با کاهش سهم مواد فتوسسنتزی برگ‌ها همراه بوده و در اثر محدودیت در انتقال عناصر روی و آهن در گیاه و وزن هزار دانه کاهش می‌یابد (شش بهره و موحدی دهنوی، ۱۳۹۱). در همین رابطه تأثیر مثبت کاربرد عناصر روی و آهن بر روی تعداد دانه در گیاهان مختلف توسط پژوهشگران گزارش شده است (رحیمی-زاده، ۱۳۸۹؛ Mahdieh *et al.,* 2018; Janmohammadi *et al.,* 2016).

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس، برهمکنش کاربرد نانو ذرات و کم آبیاری تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر وزن هزار دانه داشت (جدول ۲). بالاترین وزن هزار دانه در شرایط آبیاری نرمال و تیمار ۶۰ میلی‌مولار نانو کود روی بود (جدول ۳). چنین نتایجی به‌صورت جداگانه برای شرایط آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نیز ثبت گردید به گونه‌ای که بالاترین وزن هزار دانه در هر دو شرایط مربوط به تیمار محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌مولار نانو روی بود که با برخی از تیمارها اختلاف آماری معنی‌دار نداشت. دلیل اصلی کاهش وزن هزار دانه در تنش‌های پایان فصل زراعی دراثر همزمانی دوره پر شدن دانه با کاهش رطوبت در دسترس گیاهان می‌باشد. تنش خشکی با کوتاه کردن دوره پر شدن دانه، باعث کاهش عملکرد دانه و وزن هزار دانه می‌شود (رمرودی و همکاران، ۱۳۹۰). تنش کم آبی خصوصاً در مرحله زایشی به علت کاهش طول دوره فتوسنتزی و انتقال مواد حاصل از فتوسنتز جاری به دانه است که این امر ناشی از پیری زودرس برگ، کاهش سطح برگ و نیز کاهش سهم مواد ذخیره از ساقه به دانه بوده و موجب کاهش عملکرد به سبب وزن دانه‌ها می‌شود. کاربرد عناصر ریز مغذی سبب افزایش دوام سطح سبز گیاه و افزایش وزن هزاردانه می‌شود (رمرودی و همکاران، ۱۳۹۰). پژوهشگران گزارش کردند محلول‌پاشی عنصر روی در گیاه آفتابگردان باعث افزایش وزن هزار دانه می‌گردد زیرا روی و آهن باعث افزایش تنظیم کننده‌های رشد از جمله ایندول استیک اسید و کربوهیدرات‌ها و متابولیسم نیتروژن شده که این امر سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد از جمله تجمع آسیمیلات در دانه و سنگین شدن دانه می‌شود (Ebrahimian *et al*., 2010). تعداد رنگدانه‌های فتوسنتزی، مقدار کلروفیل برگ‌ها، فتوسنتز، تثبیت دی اکسید کربن، در حضور آهن در واحد سطح برگ افزایش یافته در نتیجه نشاسته و قند در برگ‌ها و ذخیره‌سازی آن در دانه موجب افزایش وزن هزاردانه و عملکرد دانه می‌شود (Malakouti, 2008).

براساس نتایج به دست آمده از این پژوهش، می‌توان اذعان داشت، کم آبی و تنش خشکی سبب اختلال در جذب و انتقال آهن و روی می‌گردد. افشانه کردن عناصر غذای روی و آهن علاوه بر افزایش محتوای عناصر گیاه در تعدیل شرایط رشدی گیاه نیز می‌تواند تأثیرگذار باشد. به عنوان نتیجه نهایی می‌توان چنین اظهار نمود که با توجه به نقش مهم و غیر قابل انکار عنصر روی در تحمل گیاهان به تنش خشکی تیمار افشانه کردن نانو روی ۶۰ میلی‌مولار در شرایط مختلف رطوبتی

توانست سبب تعدیل رشدی گیاه و افزایش کیفیت
دانه‌های گیاه گلرنگ شود.

منابع

اردکانی محمدرضا، عباس‌زاده بهلول، شریفی ابراهیم، لباسچی محمد حسین، پاک‌نژاد فرزاد. ۱۳۸۶. بررسی اثر کمبود آب بر کمیت و کیفیت گیاه بادرنجبویه(*Melissa officinalis* L.) . تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران۲۳ (۲): ۲۶۱-۲۵۱.

امیدیان اکبر، سیادت سید عطاءاله، ناصری رحیم، مرادی میثم. ۱۳۹۱. اثر محلول‌پاشی سولفات روی بر عملکرد، میزان روغن و پروتئین دانه چهار رقم کلزا. نشریه علوم زراعی ایران ۱۴ (۱): ۲۸-۱۶.

پای‌گذار یوسف، قنبری احمد، حیدری مصطفی، توسلی ابوالفضل. ۱۳۸۸. اثر محلول‌پاشی عناصر کم مصرف بر خصوصیات کمی و کیفی ارزن مرواریدی رقم نوتریفید (*Pennisetum glacum*) تحت تنش خشکی. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی ۱۰ (۳): ۷۹-۶۷.

تاتاری مریم. ۱۳۸۴. اثرات سطوح مختلف شوری و دفعات آبیاری بر رشد و عملکرد سیاه‌دانه در شرایط آب و هوایی مشهد. کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد.

رحیمی‌زاده مجید، کاشانی علی، زارع فیض‌آبادی احمد، مدنی حمید، سلطانی الیاس. ۱۳۸۹. تأثیر کودهای ریزمغذی بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان تحت شرایط تنش خشکی. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی ۳ (۱):۷۲-۵۷.

رمرودی محمود، کیخاژاله مهدی، گلوی محمد، ثقه‌الاسلامی محمد جواد. ۱۳۹۰. اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و رژیم‌های آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی اسفرزه (Plantago ovata Forsk). نشریه بوم شناسی کشاورزی ۳ (۲): ۲۲۶-۲۱۹.

شجاعی حسن، مکاریان حسن. ۱۳۹۳. تأثیرمحلول‌پاشی اکسید روی نانو و غیر نانو بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش (*Vigna radiata* L.) در شرایط تنش خشکی. نشریه پژوهشهای زراعی ایران ۷۳۷-۷۲۷: (۴)۱۲ .

شش بهره جلیل، موحدی دهنوی محسن. ۱۳۹۱. اثر محلول پاشی روی و آهن بر بنیه بذر سویا رشد کرده در شرایط تنش خشکی. تولید گیاهان زارعی۵ (۱): ۶۵-۱۹.

عباسی امین، شکاری فریبرز، موسوی سید بهمن، جوانمرد عبداله. ۱۳۹۵ تأثیر سولفات روی بر ویژگی های کمی و کیفی دانه گندم تحت شرایط تنش خشکی. تحقیقات غلات۷ (۲): ۲۳۳-۲۱۷.

علیخانی حسینعلی، سقفی مراخانلو داود، عبادی نهاری علی. ۱۳۹۰. بررسی توان تولید هورمون اکسینی ایندول استیک اسید (IAA) توسط باکتری های ریزوبیومی و سودوموناس فلورسنت. اولین کنگره ملی علوم و فناوریهای نوین کشاورزی، ۲۱-۱۹ شهریور، دانشگاه زنجان.

علیزاده امید، مجیدی هروان اسلام، نادیان حبیب اله، نورمحمدی قربان، عامریان محمدرضا. ۱۳۸۶. اثر تنش خشکی و کود نیتروژن بر عملکرد و اجزا عملکرد ذرت دانه‌ای. علوم کشاورزی۱۳ (۲): ۴۳۷-۴۲۷.

کافی محمد و رستمی مجید. ۱۳۸۶. اثر تنش خشکی بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن ارقام گلرنگ در شرایط آبیاری با آب شور. پژوهش‌های زراعی ایران۵ (۱): ۱۳۱-۱۲۱.

مسعودی بهرام، بی‌همتا محمد رضا، بابایی حمید رضا، پیغمبری سید علی. ۱۳۸۷. ارزیابی روابط بین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک با برخی از صفات مهم زراعی در سویا به وسیله تجزیه علیت. علوم گیاهان زراعی ایران ۳۹ (۱): ۸۹-۷۷.

موحدی دهنوی محسن، مدرس ثانوی سید علی محمد، سروش‌زاده علی، جواران مختار. ۱۳۸۳. تغییرات میزان پرولین، قندهای محلول کل، کلروفیل (SPAD) و فلورسانس کلروفیل در ارقام گلرنگ پاییزه تحت تنش خشکی و محلول‌پاشی روی و منگنز. بیابان۹ (۱): ۱۱۱-۹۳.

Abdul Jaleel C, Manivannan P, Lakshmanan GM, Gomathinayagam M, Panneerselvam R. 2007. Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of Catharanthus roseus under soil water deficits. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 61(2), 298-303.

Afsahi K, Nazari M, Omidi H, Shekari F, Bostani AA. 2020 .The effects of different methods of zinc application on canola seed yield and oil content. Journal of Plant Nutrition. 8;43(8):1070-9.

Ashrafi E, Razmjoo K. 2010. Effect of irrigation regimes on oil content and composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. Journal of the American Oil Chemists' Society, 87(5): 499-506.

Alloway BJ. 2004. Zinc in soils and crop nutrition. Intl. Zinc Association (ILZA).

Alloway BJ. 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition (Second Ed). IZA and IFA Publication. Brussels, Belgium and Paris, France.

Anderson W, Parkpian B. 1984. Plant availability of an iron waste product utilized as an agricultural fertilizer on calcareous soil. Plant Nutrition 7: 223-233.

Andreta E. 2003. Nanosciences and Nanotechnologies: What future for Research. Future conference and Expo. 26. February 2003. Chiba-shi, Chiba, Tokyo, Japan.

Arnon DT. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenol oxidase in Beta vulgaris. Plant physiology 24: 1-15.

Arteca RN. 1982. Effect of root applications of kinetin and gibberellicacid on transplanting shock in tomato plants. Horticulture Science. 17:633-634.

Ashraf M, Naz F. 1994. Responses of some arid zone grasses to k deficiency. Acta physiology Plant. 16: 69-80.

Ayad HS, Reda F, Abdalla MSA. 2010. Effect of putrescine and zinc onvegetative growth, photosynthetic pigments, lipid peroxidation and essential oil content ofgeranium (*Pelargonium graveolens* L.). World Journal of Agricultural Sciences 6: 601-608.

Barendse GWM, and Werken VD. 1980. High-performance liquid chromatogtaphy of gibberellins. Journal of chromatogr 198: 449-455.

Bates L, Waldren R, Teare I. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39(1): 205-207.

Bhattacharjee S. 2005. Reactive oxygen species and oxidative burst: Roles in stress, senescence and signal transducation in plants. Current Science 1113-1121.

Brennan RF. 2001. Residual value of zinc fertilizer for production of wheat. Australian Journal of Experimental Agriculture 41: 541-547.

Bybordi A. Malakouti MJ. 2007. Effects of zinc fertilizer on the yield and quality of two winter varieties of canola crops; Improving crop production and human health, 24 -26 May, Istanbul, Turkey.

Chaves MM, Maroco JP. Pereira JS. 2003. Understanding plant responses to drought from genes to the whole plant. Functional Plant Biology 30: 239-264.

Dwivedi SL, Nigam SN, Jambunathan R, Sahrawat KL, Nagabhushanam GV, Raghunath K. 1993 .Effect of genotypes and environments on oil content and oil quality parameters and their correlation in peanut (*Arachis hypogaea* L.). Peanut Science 20(2):84-9.

Ebrahimian E, Bybordi A, Pasban Eslam B. 2010. Efficiency of zinc and iron application methods on sunflower. Food, Agriculture & Environment 8(3): 783-789.

Elferjani R, Soolanayakanahally R. 2018. Canola responses to drought, heat, and combined stress: shared and specific effects on carbon assimilation, seed yield, and oil composition. Frontiers in plant science 30-9:1224.

Farahvash F, Mirshekari B, Abbasi- Seyahjani E. 2011. Effects of water deficit on some traits of three sunflower cultivars. Middle-East. Journal of Scientific Research 9(5): 584-587.

Filho OL, Sediyama CS, Moreira MA, Silvareis M. 2004. Grain Yield and seed quality of soybean selected for high protein content. Pesquisa Agropecuaria Brasileira 39(5): 445-450.

Garcia del Moral LF, Bounjenna A, Yanez JA, Ramos JM. 1995. Forrage production, grain yield and protein content in dual-purpose triticale grown for both grain and forage. Agronomy Journal 87: 902-908.

Gigon A, Matos AR, Laffray D, Zuily-Fodil Y, Pham-Thi AT. 2004. Effect of drought stress on lipid metabolism in the leaves of Arabidopsis thaliana (ecotype Columbia). Annals of botany 94(3): 345-351.

Gornall J, Betts R, Burke, Clark R, Camp J, Willett K, Wiltshire A. 2010. Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 365(1554): 2973-2989.

Hamrouni I, Salah HB, Marzouk B. 2001. Effects of water-deficit on lipids of safflower aerial parts. Phytochemistry 58(2):277-80.

Harlan JR. 1981. The early history of wheat: Earliest traces to the sack of Rome. In: LT Evans and WJ Peacock (eds), Wheat science today and tomorrow. Cambridge University Press. Cambridge UK

Hasnaa S, Ayad F. Abdalla MSA. 2010. Effect of putrescine and zinc on vegetative growth, photosynthetic pigments, lipid peroxidation and essential oil content of Geranium (*Pelargonium graveolens*), World Journal of Agricultural Science 6(5): 601-608.

Janmohammadi M, Amanzadeh T, Sabaghnia N, Dashti S. 2016. Impact of foliar application of nano micronutrient fertilizers and titanium dioxide nanoparticles on the growth and yield components of barley under supplemental irrigation. Acta Agriculturae Slovenica 107(2):265-76.

Jon C, Loon V. 1980. Analytical Atomic Absorption Spectroscopy. Academic Press Inc.Chapter 5: Anal Organic Compounds. pages 158-220.

Khan HR, McDonald GK Rengel Z. 2003. Zn fertilization improves water use efficiency, grain yield and seed Zn content in chickpea. Plant Soil 241: 389-400.

Khan MIR, Fatma M, Per TS, Anjum NA, Khan NA. 2015. Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. Frontiers in Plant Science 6, 462.

Kuriyama H, Fukuda H. 2002. Developmental programmed cell death in plants. Current opinion in plant biology 5(6): 568-573.

Laribi B, Bettaieb I, Kouki K, Sahli A, Mougou A, Marzouk B. 2009 .Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oil and fatty acid composition. Industrial Crops and Products 30(3):372-9.

Lawlor DW. Cornic G. 2002. Photosynthetic cabon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, Cell and Environment 25: 275-294.

Liu A, Hamel C, Hamilton RI, Ma BL, Smith, DL. 2000. Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. Mycorrhizae 9: 331-336.

Llamas A, Ullrich CI, Sanz, A. 2000. Cadmium effects on transmembrance electrical potential difference, respiration and membrane permeability of rice (*Oryza sativa* L.) roots. Plant and Soil 219: 21-28.

Mahdieh M, Sangi MR, Bamdad F, Ghanem A. 2018. Effect of seed and foliar application of nano-zinc oxide, zinc chelate, and zinc sulphate rates on yield and growth of pinto bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars. Journal of plant nutrition 41(18):2401-12.

Malakouti MJ. 2008. The effect of micronutrients in ensuring efficient use of macronutrients. Turkish Journal of Agricultural and Forestry 32: 215-220.

Manivannan P, Jaleel CA, Sankar B, Kishorekumer A, Somasundaram R, Lakshmanan GMA, Panneerselvam R. 2015. Growth, biochemical and Surfaces, modificationand proline metabolism in (*Helianthus annus* L.) as induced by drought stress. Journal of Plant Nutrition 59: 141-149.

Martins ALC, Batagha OC, Camargo OA, Contarella H. 2003. Corn yield and uptake of Cu, Fe, Mn and Zn from sewage sludge-amend soil with and without liming. Revista - Basilica- Deciencia 27: 563-574.

Matysik J, Alia Bhalu B, Mohanty P. 2002. Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. Current Science 82 (5): 525-532.

Michaletti A, Naghavi M R, Toorchi M, Zolla L, Rinalducci S. 2018. Metabolomics and proteomics reveal drought-stress responses of leaf tissues from spring-wheat. Scientific reports. 8(1), 5710.

Mohammadkhani N, Heidari R. 2007. Effects of water stress on respiration, photosynthetic pigments and water content in tow Maize cultivar. Pakistan Journal of Biological Sciences 10(22): 4022- 4028.

Mosavi SR, Galavi M, Ahmadvand G. 2007. Effect of zinc and manganese foliar application on yield, quality and enrichment on potato (*Solanum tuberosum* L.). Asian Journal of Plant Sciences 6: 1256-1260.

Naderi MR, Danesh-Shahraki A. 2013. Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 5 (19): 2229-2232.

Nair R, Varghese SH, Nair BG, Maekawa T, Yoshida Y, Sakthi Kumar D. 2010. Review: Nanoparticulate material delivery to plants. Plant Science 179: 154-163.

Pasandi M, Janmohammadi M, Abasi A, Sabaghnia N. 2018. Oil characteristics of safflower seeds under different nutrient and moisture management. Nova Biotechnologica et Chimica. 17(1):86-94.

Petcu E, Arsintescu A, Stanciu D. 2001. The effect of drought stress on fatty acid composition in some Romanian sunflower hybrids. Romanian Agricultural Research15:39-43.

Pospíšilová J. 2003. Participation of phytohormones in the stomatal regulation of gas exchange during water stress. Biologia plantarum, 46(4): 491-506.

Premanathan M, Karthikeyan K, Jeyasubramanian K, Manivannan G. 2011. Selective toxicity of ZnO nanoparticles toward Gram-positive bacteria and cancer cells by apoptosis through lipid peroxidation. Nanomedicine 7: 184-192.

Pushnik JC, Miller GW, Manwaring JH. 1984. The role of iron in higher plant chlorophyll biosynthesis, maintenance and chloroplast biogenesis. Journal of Plant Nutrition 7(1-5):733-58.

Ramezani M, Seghatoleslami M, Mousavi G, Sayyari-Zahan MH. 2013. Effect of salinity and foliar application of iron and zinc on yield and water use efficiency of ajowan (*Carum copticum*). International Journal of Agriculture and Crop Sciences 7: 421-426.

Ravi S, Channal HT, Hebsur NS, Patil BN, Dharmatti PR. 2008. Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Karnataka Journal of Agricultural Sciences 21(3): 382-385.

Roitsch T. Ehneb R. 2000. Regulation of source-sink relations by cytokinins. Plant Growth Regulators 32: 359-367.

Ronaghi A, Chakrol-hosseini M, Karimian N. 2002. Growth and chemical composition of corn as affected by phosphorus and iron. Journal of Science and Technology of Agricultural and Natural Resources 6: 91-102.

Rostamza M, Chaichi MR, Jahansouz MR, Alimadadi A. 2011. Forage quality, water use and nitrogen utilization efficiencies of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) grown under different soil moistur and nitrogen levels. Agricultural Water Management 98: 1607-1614.

Sabagh A, Hossain A, Barutcular C, Gormus O, Ahmad Z, Hussain S, Islam MS, Alharby H, Bamagoos A, Kumar N, Akdeniz H. Effects of drought stress on the quality of major oilseed crops: implications and possible mitigation strategies–a review. Applied Ecology and Environmental Research. 2019 Jan 1;17(2):4019-43.

Shahbazi K. Basharati H. 2013. Overview of Agricultural Soil Fertility Status of Iran. Journal of Land Management. 1 (1): 1-15.

Said-Al Ahl HAH, Abeer AM. 2010. Effect of zinc and /or iron foliar application on growth and essential oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. Ozean Applied Sciences 3(1): 97-111.

Sayyad-Amin P, Jahansooz MR, Borzouei A, Ajili F. 2016. Changes in photosynthetic pigments and chlorophyll-a fluorescence attributes of sweet-forage and grain sorghum cultivars under salt stress. Journal of biological physics 42(4):601-20.

Shaddad MAK, Hamdia Abd El-Samad M, Mohammed HT. 2011. Interactive effects of drought stress and phytohormones or polyamines on growth and yield of two mazie (*Zea maize* L.) genotypes. American Journal of Plant Sciences 2: 790-807.

Shah K, Dubey RS. 1998. Effect of cadmium on prolin accumulation and ribonuclease activity in rice seedling: Role of proline as a possible enzyme protectant. Biological Plantarum 40:121-130.

Shang Y, Hasan M, Ahammed GJ, Li M, Yin H, Zhou J. 2019. Applications of nanotechnology in plant growth and crop protection: a review. Molecules 24(14), 2558.

Singh S. 2000. Effect of Fe, Zn on growth of canola. Journal of Environmental Sciences 34 (1-2): 57-63.

Tabari H, Abghari H, Hosseinzadeh Talaee P. 2012. Temporal trends and spatial characteristics of drought and rainfall in arid and semiarid regions of Iran. Hydrological Processes 26(22): 3351-3361.

Taiz L, Zeiger E. 2006. Plant physiology. 4th. Sinauer Associate, Sunderland, Mass., EUA.

Unyayar S, Topcuolu f, Ünyayar A. 1996. A modified method forextraction and identification of indole-3-acetic acid (IAA), gibberellic acid (GA3), abscisic acid (ABA) and zeatin produced byPhanerochate chrysosporiumME 446. Bulgarian Journal of Plant physiology 22 (3-4): 105-110.

Wang CA. Yang H. Yin A. Zhang J. 2008. Influence of Water Stress on Endogenous Hormone Contents and Cell Damage of Maize Seedlings. Journal of Integrative Plant Biology 50 (4): 427–434.

Wang JR, Hu H, Wang GH, Li J, Chen JY, Wu P. 2009. Expression of PIN genes in rice (*Oryza sativa* L.): tissue specificity and regulation by hormones. Molecular Plant 2:823–831.

Weiss E. 2000. Oilseed Crops. Blackwell Publishing Limited, London, UK. ISBN: 0632052597, 364pp.

Welch RM. 2001. Impact of mineral nutrients in plants on human nutrition on a worldwide scale. Plant Nutrition 92: 284-285.

Wellburn AR. 1994. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. Journal of plant physiology 144(3): 307-313.

Yang J, Peng S, Visperas RM, Sanico AL, Zhu Q, Gu S. 2000. Grain filling pattern and cytokinin content in the grains and roots of rice plants. Plant growth regulation. 1;30(3):261-70.

Yaronskaya E, Vershilovskaya I, Poers Y, Alawady AE, Averina N, Grimm B. 2006. Cytokinin effects on tetrapyrrole biosynthesis and photosynthetic activity in barley seedlings. Planta. 224(3):700-9.

Yokota T, Nahayama M, Harasawa I, Kawabe S. 1994. Polyamines, indole-3 acetic acid and abscisic acid in rice phloem sap. Plant Growth Regulation 15: 125-128

Zur Y, Gitelson AA, Chivkunova OB, Merzlyak MN. 2000. The spectral contribution of carotenoids to light absorption and reflectance in green leaves. 2nd International Conference Geospatial Information in Agriculture and Forestry, Buena Vista, FL, 10-12 January, 2000, v. 2.

DOI: 10.22092/idaj.2021.121182.206

Evaluation of biochemical and physiological changes of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) with the application of zinc and iron nanoparticles under different moisture conditions

Amin Abbasi*[1], Zahra Sayadi[2] Azar, Ramin Lotfi[3]

1- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Maragheh University, Maragheh, Iran
2- PhD Student of plant physiology, Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Maragheh University, Maragheh, Iran
3- Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research Education Extension (AREEO), Maragheh, Iran

Abstract

A considerable fraction of the decline in quality and quantity of crop production in the arable land is attributed to drought stress and deficiency of trace elements, especially zinc and iron. To investigate the effect of foliar application of zinc and iron nanoparticles in low irrigation conditions on biochemical and physiological traits of safflower (Sina cultivar), an experiment was conducted in the form of split plots based on a randomized complete block with three replications in 2016 at Maragheh University. Different irrigation levels (90, 75, and 50% of field capacity) as the main factors and the application of zinc and iron nanoparticles (Non-application of nanoparticles, 30 and 60 mM Nano-Iron, 30 and 60 mM Nano-Zinc) as the sub-factors were considered. According to the results of the analysis of variance, the simple effects of low irrigation treatment and application of nanoparticles and their interaction were significant for most of the studied traits. The highest amount of indole acetic acid with 454.7 and the highest amount of cytokinin with 355.7 ng/gFW were recorded in 60 mM nano zinc application at irrigation in 90% field capacity. The highest levels of gibberellin with 146.6 and 154.8 ng/gFW were observed in 60 mM nano zinc application at irrigation in 90% field capacity, respectively. The highest amount of grain protein with 24.11% was obtained in non-foliar treatment under irrigation of 50% of field capacity. Also, the highest yield of safflower with 1366 kg/ha was observed in the application of 60 mM nano-zinc with irrigation at 90% of field capacity. According to the results of this study, the application of 60 mM of nano-zinc was able to improve the growth and yield of safflower under stress, which shows the undeniable role of zinc in increasing the resistance of crops to environmental stresses.

Key words: Seed protein, drought stress, Seed yield, Seed oil content, Hormones

** Corresponding author: a.abbasi25@yahoo.com* *Submit date:2018/03/18 Accept date: 2021/03/14*