

بررسی تاثیر تنش خشکی و محلول پاشی ذرات نانو نقره بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک
آفتابگردان (*Helianthus annuus. L*)

Investigation of the Drought stress and Silver nano-particles sprays on morphological and
physiological traits on sunflower (*Helianthus annuus. L*)

سید حامد طباطبایی زواره^۱، میثم اویسی^{۱*} و محمد نصری^۱

۱- مرکز تحقیقات فناوری‌های نوین تولید غذای سالم، واحد ورامین- پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین- تهران- ایران.

نویسنده مسوول مکاتبات: meysam_oveysi@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۹/۱۹

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی تاثیر تنش خشکی و محلول پاشی ذرات نانو نقره بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک آفتابگردان (*Helianthus annuus. L*) به صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با تیمارهای تنش خشکی در سه سطح به‌عنوان عامل اصلی (I₀): ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A (آبیاری معمول)، I₁: ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A و I₂: ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A) و محلول پاشی ذرات نانو نقره در چهار سطح به‌عنوان عامل فرعی (NS₀): محلول پاشی با آب خالص، NS₁: ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره، NS₂: ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره، NS₃: ۱۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره) در سه تکرار اجرا گردید. نتایج نشان داد که اثرات ساده آبیاری و نانو ذره نقره و اثرات متقابل آن‌ها در سطح یک و پنج درصد بر صفات مورد بررسی، معنی‌دار بود. بالاترین میزان عملکرد دانه (۴۰۳۸/۴۹ kg.ha)، عملکرد روغن (۲۱۳۴/۵۲ kg.ha) از تیمار آبیاری معمول، ۶۰ mm تبخیر از تشتک × ۱۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره و عملکرد بیولوژیک (۱۱۲۴۸/۸ kg.ha) با تیمار آبیاری معمول، ۶۰ mm تبخیر از تشتک × ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره مشاهده شد. بیش‌ترین میزان کلروفیل a را تیمار آبیاری معمول و مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره با (۲۵/۰۵ میلی‌گرم در لیتر) به‌خود اختصاص داد. تنش سبب افزایش میزان مالون دی‌آلدئید شد. بالاترین میزان مالون آلدئید با (۱۲/۷۱ نانومول بر گرم) وزن تازه از تیمار تنش شدید و محلول پاشی با آب خالص حاصل شد. کم‌ترین میزان عملکرد دانه با (۳۰۹۱/۶ kg.ha) و عملکرد بیولوژیک با (۸۷۸۷/۲ kg.ha) و عملکرد روغن با (۱۳۲۶/۹۹ kg.ha) از تیمار تنش شدید، ۱۲۰ mm تبخیر از تشتک × آب خالص حاصل شد. کم‌ترین میزان مالون دی‌آلدئید از تیمار آبیاری معمول، ۶۰ mm تبخیر از تشتک تبخیر با (۶/۱۹ nmol.g.fw) و کلروفیل a با تیمار تنش شدید، ۱۲۰ mm تبخیر از تشتک تبخیر (۱۷/۷۲ میلی‌گرم بر لیتر وزن تازه برگ) به‌دست آمد.

واژگان کلیدی: آبیاری، آفتابگردان، تنش، محلول پاشی، نانو نقره.

مقدمه

یکی از چالش‌های اصلی در تلاش جهت رسیدن به تولید پایدار محصولات کشاورزی، تنش‌های محیطی می‌باشند. واکنش‌های گیاهان به تنش‌های محیطی پیچیده بوده و شامل بسیاری از انواع عکس‌العمل‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی می‌شود (Pessarakli, 2009). از مهم‌ترین مشکلات مناطق خشک و نیمه‌خشک، کمبود آب است که بر رشد و نمو گیاهان اثر می‌گذارد. نواحی خشک و نیمه‌خشک مناطقی هستند که کل تعرق گیاهان در آن ۵۰ درصد تعرق در شرایط بدون تنش و یا حتی کمتر از این مقدار باشد. متأسفانه کمبود آب تنها منحصر به این نواحی نمی‌شود، بلکه حتی در شرایط آب و هوای مرطوب توزیع نامنظم بارندگی منجر به محدود شدن آب قابل دسترس و در نتیجه کاهش رشد گیاه می‌شود (کافی و همکاران، ۱۳۹۱).

خشکی بر جنبه‌های مختلف رشد گیاه تأثیر گذاشته و موجب کاهش و به تأخیر انداختن جوانه‌زنی، کاهش رشد اندام‌های هوایی و تولید ماده خشک می‌گردد. در صورتی که شدت تنش آب زیاد باشد، موجب کاهش شدید فتوسنتز و مختل شدن فرآیندهای فیزیولوژیکی، توقف رشد و سرانجام مرگ گیاه می‌شود (Pessarakli, 2009).

آفتابگردان (*Helianthus annuus. L*) از تیره‌ی کاسنی (Asteraceae) گیاهی یک‌ساله است که در بهار کشت می‌شود. آفتابگردان به‌عنوان گیاهی سازگار به مناطقی با بارندگی زمستانه و بهار اندک و هوایی خشک در طول دوره گل‌دهی، پر شدن و رسیدن دانه از یک سو (بی‌نام، ۱۳۹۲) و با داشتن ریشه‌های طویل و با توان جذب آب بالا از بخش‌های عمیق‌تر خاک از سوی دیگر، به‌عنوان یک گیاه دانه روغنی نسبتاً متحمل به کمبود آب به حساب می‌آید (Yau, 2007).

مطالعه بر روی ارقام آفتابگردان تحت تنش خشکی، نشان داد که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت پراکسیداز و کاتالاز در این شرایط افزایش می‌یابد (Habibi et al., 2004).

به‌طور معمول غلظت عناصر غذایی جهت رشد در طی تنش خشکی داخل گیاه کاهش می‌یابند. این

موضوع نشان‌دهنده اثر غیرمستقیم حجم آب خاک بر جذب عناصر غذایی است که از اثر مستقیم تنش خشکی بر رشد گیاه، اهمیت بیش‌تری دارد (کافی و همکاران، ۱۳۸۸). محققان در بررسی‌های خود اعلام کردند که رژیم‌های متفاوت آبیاری در آفتابگردان در مراحل رشد سریع ساقه، گل‌دهی و دانه‌بندی موجب می‌شود که عملکرد دانه در هکتار افزایش چشم‌گیری دارد و مرحله نیاز آبی در آفتابگردان در مرحله گل‌دهی و دانه‌بندی حساس‌تر از سایر دوره رشدی است (Patel, 2009). فن‌آوری نانو به‌عنوان یک فن‌آوری بین رشته‌ای و پیش‌تاز رفع مشکلات و کمبودها در بسیاری از عرصه‌های علمی و صنعتی، به‌خوبی جایگاه خود را در علوم کشاورزی و صنایع وابسته آن به اثبات رسانیده است. فن‌آوری نانو کاربردهای وسیعی در همه مراحل تولید، فرآوری، نگهداری، بسته‌بندی و انتقال تولیدات کشاورزی دارد. ورود فن‌آوری نانو به صنعت کشاورزی و صنایع غذایی متضمن افزایش میزان تولیدات و کیفیت آن‌ها، در کنار حفظ محیط زیست و منابع کره‌ی زمین می‌باشد (صالحی و تمسکنی، ۱۳۸۷). یکی از دلایل کاربرد گسترده ذرات نانو نقره، خاصیت ضدباکتریایی این ذرات است و در واقع این نانوذرات برای عوامل بیماری‌زا یک سم تلقی می‌شوند، همچنین این ذرات بر سوخت و ساز، تنفس و تولیدمثل ریزجانداران اثر می‌گذارد (Zhang and Sun, 2007). تعامل گیاه با نانو ذرات به دو صورت مستقیم، از طریق انواع حاصلخیز کننده‌ها و سموم دفع آفات و علفکش‌های مبتنی بر نانوذرات و به‌صورت غیرمستقیم، از طریق آب‌های آبیاری آلوده به نانو ذرات قابل بررسی می‌باشد. نانو ذرات نقره در حال حاضر بالاترین سطح استفاده در نانو تکنولوژی و به‌طور خاص در کشاورزی را به‌خود تخصیص داد. دو سازوکار عمده نانو نقره‌ها عبارتند از: الف: سازوکار کاتالیزتی: تولید اکسیژن فعال توسط نقره، این سازوکار بیش‌تر در مورد کامپوزیت‌های نانو نقره‌ای صدق می‌کند که روی پایه‌های نیمه‌هادی مانند TiO_2 یا SiO_2 قرار گرفته می‌شود. در این وضعیت ذره مانند یک پیل الکتروشیمیایی عمل می‌کند و با اکسید کردن اتم

سرب، نیکل و کادمیوم موجب افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز می‌شوند. نیکل در غلظت‌های ۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، جوانه‌زنی بذر یونجه را بیش از رشد گیاه و طول ریشه‌چه کاهش داد (Zenovia et al., 2008).

هدف از انجام این تحقیق بررسی محلول‌پاشی ذرات نانو نقره در سطوح مختلف بر صفات فیزیولوژیک آفتابگردان در شرایط تنش خشکی است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به منظور بررسی تاثیر محلول‌پاشی ذرات نقره بر صفات مرفولوژیک و فیزیولوژیک آفتابگردان در شرایط تنش خشکی به صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با تیمارهای تنش خشکی در سه سطح به‌عنوان عامل اصلی و محلول‌پاشی ذرات نانو نقره در چهار سطح به‌عنوان عامل فرعی در سه تکرار اجرا شد.

اعمال تنش خشکی بر اساس تبخیر از تشت تبخیر کلاس A صورت گرفت که شامل ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A (به‌عنوان شاهد)، ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A بود. عامل‌های فرعی شامل چهار سطح محلول‌پاشی که شامل NS_0 = محلول‌پاشی با آب خالص و $NS_1 = 50$ میلی‌گرم در لیتر و $NS_2 = 90$ میلی‌گرم در لیتر و $NS_3 = 120$ میلی‌گرم در لیتر است که در حداکثر زمان سرعت رشد گیاه (CGR) اتفاق افتاد. عملیات کاشت به‌روش دستی و در عمق سه تا پنج سانتی‌متری از سطح خاک انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل پنج ردیف به طول چهار متر با فواصل ۵۰ سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها روی خط پنج سانتی‌متر و فاصله هر تکرار از یکدیگر یک متر بود. تراکم آزمایش ۴۰ بوته در مترمربع است. دو ردیف کناری و همچنین نیم‌متر از ابتدا و انتهای هر ردیف، به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد.

جهت محاسبه عملکرد با در نظر گرفتن نیم‌متر حاشیه از هر خط تمامی طبق‌ها پس از برداشت بسته‌بندی و شماره‌گذاری گردید و پس از جداکردن

اکسیژن، یون اکسیژن و با هیدرولیز کردن آب، یون OH^- را تولید می‌کند که هر دو از بنیان‌های فعال و از قوی‌ترین عاملین ضد میکروبی نیز می‌باشند. ب: سازوکار یونی: دگرگون ساختن ریزسازواره به وسیله تبدیل پیوندهای SH - به SAG - در این سازوکار ذرات نانو نقره فلزی به مرور زمان یون‌های نقره از خود ساطع می‌کنند. این یون‌ها طی واکنش جانشینی، باندهای SH- را در جداره ریزسازواره به باندهای SAG- تبدیل می‌کنند، که نتیجه آن واکنش تلف شدن ریزسازواره است (فیضی و همکاران ۱۳۸۹).

ذرات نانو نقره در غلظت‌های کم دارای خاصیت ضد میکروبی است که در کشت بافت گیاه تنباکو برای از بین بردن باکتری‌ها استفاده شد (Safavi et al., 2011). با کاربرد نانو ذرات نقره میزان تخلیه عناصری چون نیتروژن، فسفر و کلسیم توسط گیاه از خاک افزایش می‌یابد (فیضی و همکاران ۱۳۸۹). حل شدن نانو نقره با آزاد شدن انواع اکسیژن‌های فعال همراه است، اکسیژن‌های فعال تولید شده ممکن است جزیی از سازوکار سمیت نانونقره باشد (Wigginton et al., 2010). گزارش شد که ۲۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات نانو نقره در سطوح مختلف شوری، بر شاخص‌های درصد جوانه‌زنی و قدرت جوانه‌زنی اثر معنی‌داری داشت و باعث افزایش تحمل آنها به شوری گردید (اختیاری، ۱۳۸۹).

گیاهان چهارده روزه آفتابگردان که با محلولی از آهن، مس و کادمیوم به مدت دوازده ساعت در حضور نور تیمار شدند، کلروفیل کم‌تری نسبت به شاهد داشتند و در این گیاهان، فعالیت لیپوکسیژناز و پراکسیداسیون افزایش یافت. برخلاف یون‌های آهن و کادمیوم که سبب کاهش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز شدند، یون مس موجب افزایش فعالیت آنها گردید. البته هر سه یون به کاهش دیگر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت (کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گلووتاتیون ردکتاز و دهیدروآسکوربات) منجر شدند. این نتایج نشان داد که یون‌های آهن، کادمیوم و مس، به اکسیداتیو در برگ گیاهان خسارت می‌زنند (Gallego et al., 1996). فلزات

فرمول‌های مربوطه جایگزین شد تا میزان کلروفیل a,b به دست آمد (Gupta, 2000).

$$\text{chl. a (mg. L}^{-1}\text{)} = (12.25 * A663 - 2.79 * A647) * D$$

$$\text{chl. b (mg. L}^{-1}\text{)} = (21.5 * A647 - 5.1 * A663) * D$$

$$\text{chl a + b (mg. L}^{-1}\text{)} = (7.15 * A663 - 1871 * A647) * D$$

D = thickness of used cuvette (cm)

برای اندازه‌گیری پرولین ابتدا ۰/۵ گرم نمونه از برگ‌های تازه (مرحله خمیری) وزن شد و سپس مقدار ۱۰ میلی‌لیتر محلول سه درصد اسید سولفوسالیسیلیک به آن اضافه و به‌طور کامل در هاون ساییده گردید تا به‌صورت هموژنیزه درآید. سپس از کاغذ صافی واتمن شماره یک صاف شد و در داخل لوله‌های آزمایش جمع‌آوری گردید. به ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره مذکور دو میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک غلیظ اضافه شد. سپس لوله‌های آزمایش به مدت یک ساعت در بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. بعد از آن به هرکدام از لوله‌های آزمایش چهار میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد. محلول‌ها به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه توسط شیکر مخلوط گردید و پس از آن قسمت رنگی حاوی تولوئن از قسمت مایع جدا گردید و جذب نوری آن در ۵۲۰ نانومتر با استفاده از تولوئن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. معرف نین‌هیدرین با استفاده از ۱/۲۵ گرم نین‌هیدرین، ۳۰ میلی‌لیتر اسیداستیک خالص و ۲۰ میلی‌لیتر اسید فسفوریک شش مولار و با گرم کردن تدریجی روی شیکر مگنت‌دار حرارتی در ظروف دربسته ساخته شد. مقدار پرولین نمونه‌ها براساس روابط زیر به دست آمد (Gupta, 2000):

$$\text{مقدار پرولین (میلی‌گرم بر مول)} = \frac{\text{مقدار پرولین (میلی‌گرم بر مول)} \times \frac{\text{مقدار پرولین (میلی‌گرم بر مول)}}{115}}{\frac{\text{مقدار پرولین (میلی‌گرم بر مول)}}{13}}$$

سنجش مالون دی‌آلدیید (MDA) با روش Ohkaw ارزیابی گردید. بدین منظور ۰/۲ گرم بافت گیاهی (برگ یا ریشه)، به قطعات کوچک تقسیم و با همونایزر در دو میلی‌لیتر محلول تری کلرواستیک اسید پنج درصد در مجاورت یخ وزن شد. سپس در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ و

دانه‌ها از طبق‌ها به‌صورت دستی توزین، عملکرد دانه در هر کرت فرعی برحسب تن در هکتار محاسبه گردید. جهت محاسبه عملکرد بیولوژیک با در نظر گرفتن نیم متر حاشیه از هر خط تمامی طبق‌ها پس از برداشت جدا گردید به‌صورت دستی توزین، عملکرد بیولوژیک در هر کرت فرعی برحسب تن در هکتار محاسبه گردید. عملکرد روغن در واحد سطح نیز از حاصل ضرب عملکرد دانه در درصد روغن بر حسب تن بر هکتار به دست آمد (Gupta, 2000). درصد روغن × عملکرد دانه = عملکرد روغن. جهت محاسبه محتوی آب نسبی (RWC)، سه برگ انتهایی در مرحله هشت برگی از هر گلدان انتخاب و داخل کیسه پلاستیکی قرار گرفت. ابتدا وزن اولیه برگ‌ها اندازه‌گیری و بعد در داخل ظرف حاوی آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی قرار گرفت. سپس برگ‌ها را بیرون آورده و با کاغذ صافی خشک نمود و وزن آماس یافته تعیین و سپس وزن خشک اندازه‌گیری شد (Gupta, 2000).

وزن خشک برگ - وزن اشباع برگ / وزن خشک برگ - وزن تازه برگ = محتوای رطوبت نسبی جهت اندازه‌گیری میزان کلروفیل ابتدا یک گرم برگ خرد شده به‌همراه یک گرم کربنات کلسیم درون یک هاون چینی مخلوط گردید و میزان ۱۰ سی سی استن ۱۰۰ درصد به تدریج به آن اضافه گردید، مخلوط حاصل صاف گردید و درون لوله آزمایش ریخته شد، لوله آزمایش را درون ظرف آب و یخ قرار گرفت و محیط آزمایشگاه حتی‌الامکان تاریک گردید تا فعل و انفعالات بیوشیمیایی به حداقل ممکن برسد تا استن تبخیر نشود. سپس لوله‌ها را درون دستگاه سانتریفوژ با دور ۲۵۰۰ به مدت دو دقیقه قرار داده شد تا عصاره یکنواختی به دست آید و هموژن شود، سپس لوله‌ها را خارج کرده یک سی سی از آن را با نه سی سی استن ۸۰ درصد مخلوط نمود و در داخل سل‌های اسپکتروفتومتر قرارداد. و در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۷ نانومتر برای کلروفیل b در نظر گرفته شد، در نهایت میزان جذب نور قرائت شد و یادداشت گردید. سپس اعداد مربوط به هر نمونه در

توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل (جدول دو) مشاهده شد که بیش‌ترین عملکرد دانه مربوط به تیمار آبیاری معمول، ۶۰ mm تبخیر از تشتک × ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره با ۴۰۳۸/۹ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین مربوط به تنش شدید، ۱۲۰ mm تبخیر از تشتک × آب خالص با ۳۰۹۱/۶۲ کیلوگرم در هکتار بود.

دادی و همکاران (۱۳۸۶) با انجام تحقیقی بر اثرات تنش خشکی بر خصوصیات زراعی هیبریدهای آفتابگردان مشاهده کردند که اثر تنش خشکی بر وزن هزار دانه، تعداد دانه در گیاه و عملکرد دانه معنی‌دار بود. در شرایط تنش شدید خشکی، عملکرد ۸۳ درصد کاهش یافت و محصول دانه ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بود که ناشی از کاهش وزن هزار دانه (۵۰ درصد) و تعداد دانه در گیاه (۵۴ درصد) بود.

قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در گندم گردید (Ashkiani et al., 2013).

نتایج مطالعات نشان داد قرار گرفتن دائم گیاه ذرت در معرض میدان مغناطیس به‌همراه کاربرد نانو ذرات نقره باعث افزایش عملکرد کمی و کیفی گردید (فیضی و همکاران ۱۳۸۹)، که با نتایج به دست آمده در این تحقیق مطابقت دارد.

محلول رویی برداشت شد. نیم میلی‌لیتر از محلول تیوباربیوتوریک اسید و تری کلرواستیک ۲۰ درصد مخلوط و در ۹۶ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۵ دقیقه انکوبه شد. سپس در شرایط سرد در ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت پنج دقیقه سانتریفوژ گردید (Gupta, 2000). با استفاده از آزمون هدایت الکتریکی که شاخص میزان تراوش مواد از برگ است EC برگ مشخص گردید. از وسط بوته یک برگ جدا گردید، به اندازه‌ی یک سکه از برگ بریده شد سپس به مدت ۲۴ ساعت برگ را در داخل آب مقطر قرار گرفت و سپس با استفاده از دستگاه EC meter میزان EC محلول اندازه‌گیری شد (Gupta, 2000).

نتایج توسط نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون دانکن در سطح پنج درصد انجام گردید. رسم نمودارها و گراف توسط نرم‌افزار Excel 2007 صورت گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثرات ساده آبیاری و نانو نقره و اثرات متقابل آن‌ها در سطح یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول یک) با

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر کم آبیاری و نانو نقره

Table 1. Analysis of variance effect of deficit irrigation and nano silver

S.O.V	منابع تغییرات	میانگین مربعات M.S				
		درجه آزادی (df)	عملکرد دانه G.Y	عملکرد بیولوژیک BF	عملکرد روغن OY	کلروفیل a Chl a
Replication	تکرار	2	24470.991	196638.041	14401.041	0.113
Irrigation (I)	آبیاری	2	1299647.631**	8613921.361*	100456.323 **	161.618 **
Nano Silver (NS)	نانو نقره	3	292363.766**	10744840.591**	127987.842 **	1.11 *
NS *I	آبیاری × نانو نقره	6	241034.986**	686699.836 **	7470.429 **	1.424 **
Error	خطا	18	23253.257	147112.409	7470.638	0.318
CV (%)	ضریب تغییرات		4.37	3.9	5.0	3.4

ns و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد معنی‌دار

ns * and ** non-significant at 5% and 1% significant

ادامه جدول یک
Continued Table 1

S.O.V	منابع تغییرات	میانگین مربعات M.s				
		درجه آزادی (df)	محتوای نسبی آب RWC	پرولین P	آلدئید دی مالون MDA	پایداری غشا Ec
Replication	تکرار	2	13.500	0.000001	0.010	0.67
Irrigation (I)	آبیاری	2	543.962*	0.000002**	86.592**	0.892*
Nano Silver (NS)	نانو نقره	3	113.791 ^{ns}	0.000063**	02010**	0.474**
NS *I	آبیاری × نانو نقره	6	135.478 ^{ns}	0.0000071**	0.413*	0.263**
Error	خطا	18	136.790	0.000001	0.158	0.40
CV (%)	ضریب تغییرات		6.13	4.63	4.4	7.0

ns * و ** به ترتیب غیرمعنی دار، در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد معنی دار

ns * and ** non-significant at 5% and 1% significant

عملکرد بیولوژیک

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثرات ساده آبیاری و نانو ذره نقره و اثرات متقابل تیمارها در سطح پنج درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی دار شد (جدول یک). با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل جدول دو مشاهده شد که بالاترین عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار آبیاری معمول، ۶۰ mm تبخیر از تشتک × ۹۰ میلی گرم در لیتر نانو نقره با ۱۱۲۴۸/۸ کیلوگرم در هکتار بود که با تیمار آبیاری معمول، ۶۰ mm تبخیر از تشتک × ۱۳۰ میلی گرم در لیتر نانو نقره اختلاف معنی داری نداشت و کمترین مربوط به تنش شدید، ۱۲۰ mm تبخیر از تشتک × آب خالص با ۸۷۸۷/۲ کیلوگرم در هکتار بود.

تنش آبی موجب بسته شدن روزنه‌ها شد، در نتیجه میزان فتوسنتز کاهش یافت و در نهایت تولید ماده خشک و میزان عملکرد کاهش داشت. کاهش میزان فتوسنتز خالص در شرایط تنش خشکی بیانگر کاهش مقدار تولید ماده خشک در واحد سطح برگ و در نتیجه کاهش عملکرد است، نتایج نشان می‌دهد که در اثر تنش خشکی، کارایی سطح برگ کاهش یافت. ضابط و حسین‌زاده (۱۳۹۰) گزارش کردند که کاهش ارتفاع گیاه و تعداد گره در ساقه دلیلی است بر این که تنش خشکی باعث کاهش تقسیمات سلولی گردید و رشد رویشی گیاه و عملکرد بیولوژیکی گیاه کاهش داشت. در اثر تنش خشکی و کاهش سطح برگ از طریق کاهش تقسیمات سلولی و تورژسانس و بزرگ شدن و تأثیر بر رشد کل گیاه، کاهش ارتفاع

بوته و ریزش برگ، همچنین کاهش هدایت روزنه‌ای برای جلوگیری از عدم هدرروی آب و در نتیجه جذب کم‌تر دی‌اکسیدکربن و همچنین اثر تنش بر میزان کلروفیل باعث کاهش فتوسنتز گردید. در نتیجه عملکرد بیولوژیکی که به‌عنوان مخزن تعیین‌کننده میزان عملکرد دانه است تحت تأثیر قرار می‌گردد. افزایش ماده خشک تولیدی در گیاهان تحت شرایط آبیاری مطلوب می‌تواند به دلیل گسترش بیش‌تر سطح برگ و نیز دوام سطح برگ آن باشد که با ایجاد منبع فیزیولوژیکی کارآمد جهت استفاده هرچه بیش‌تر از نور دریافتی باعث افزایش تولید ماده خشک شد (Lak et al., 2007) که با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق مطابقت دارد.

عملکرد روغن

نتایج نشان داد عملکرد روغن تحت تاثیر اثرات ساده کم‌آبیاری و نانو ذره نقره و اثرات متقابل تیمارها قرار گرفت و اختلافات به‌وجود آمده از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول یک). در سطح یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول یک). با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل جدول دو مشاهده شد که بالاترین عملکرد روغن مربوط به تیمار آبیاری معمول، ۶۰ mm تبخیر از تشتک × ۱۳۰ میلی گرم در لیتر نانو نقره با ۲۱۳۴/۵۲ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین مربوط به تنش شدید، ۱۲۰ mm تبخیر از تشتک × آب خالص با ۱۳۲۶/۹۹ کیلوگرم در هکتار بود که با

چربی‌ها کم شده و انتظار می‌رود در اثر تنش از میزان روغن دانه کاسته شود. از طرف دیگر درصد روغن صفت کمی است که با تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود و بنابراین احتمال می‌رود که تعدادی از ژن‌های کنترل‌کننده این صفت در اثر تنش آسیب ببینند. تحقیقات خلیل‌وند و همکاران (۱۳۸۸) نشان داد که اعمال تنش کمبود آب باعث کاهش معنی‌دار صفات عملکرد دانه در متمرربع و عملکرد روغن در متمرربع گردید. راضی و آساد (۱۳۸۳) در بررسی تغییرات صفات زراعی و معیارهای تحمل به خشکی در ارقام آفتابگردان گزارش کردند که در شرایط خشکی، عملکرد دانه و عملکرد روغن و وزن هزار دانه بیش‌ترین کاهش را داشت و این موضوع بیانگر این است که صفات مرتبط با مرحله زایشی گیاه بیش‌تر تحت تاثیر خشکی قرار می‌گیرند که با نتایج این پژوهش کاملاً تطبیق می‌کند.

تیمار تنش شدید، ۱۲۰mm تبخیر از تشتک×۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره اختلاف معنی‌داری نداشت. عملکرد روغن دانه از مهم‌ترین صفات در آفتابگردان روغنی است. روند تغییرات عملکرد روغن با افزایش عملکرد دانه افزایش یافت. افزایش میزان روغن دانه در آفتابگردان مستلزم طولانی شدن دوره رشد و نمو گیاه خصوصاً در مرحله گل‌دهی تا پر شدن دانه است بنابراین طولانی شدن دوره زایشی در این مورد مفیدتر است. اما گزارشات نشان داد که در اثر تنش خشکی طول دوره زایشی کاهش داشت، از طرفی کاهش سطح برگ، چه از طریق کوچک کردن آن‌ها و چه به‌وسیله ریزش آن‌ها باعث کاهش منبع فتوسنتزی (مبدا) گردید. از آن‌جایی که در اثر تنش، قدرت مخزن کاهش می‌یابد و از طرفی اختصاص آسیمیلات‌ها برای به شرکت گذاشتن آن‌ها جهت سنتز آسیمیلات‌هایی چون قندهای محلول، پرولین و غیره می‌شود، مقدار آسیمیلات مصرفی جهت سنتز

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و نانو نقره بر صفت عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد روغن

Table 2. compares the average interaction systems and nano-silver to Grain yield, biological yield and oil yield

Treatments	تیمار	عملکرد دانه Grain Yield (kg.ha)	عملکرد بیولوژیک Biological Yield(kg.ha)	عملکرد روغن oil Yield (kg.ha)
I ₀ NS ₀	آبیاری معمول، ۶۰mm تبخیر از تشتک تبخیر× آب خالص	3708.82 ^{bc}	10676.4 ^{bc}	1920.53 ^b
I ₀ NS ₁	آبیاری معمول، ۶۰mm تبخیر از تشتک× ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	3868.3 ^{ab}	10039.7 ^{bc}	2000.83 ^{ab}
I ₀ NS ₂	آبیاری معمول، ۶۰mm تبخیر از تشتک× ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	3884.7 ^{ab}	11248.8 ^a	2033.88 ^{ab}
I ₀ NS ₃	آبیاری معمول، ۶۰mm تبخیر از تشتک× ۱۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	4038.49 ^a	11099.9 ^{ab}	2134.52 ^a
I ₁ NS ₀	تنش ملایم، ۹۰mm تبخیر از تشتک× آب خالص	3164.84 ^{de}	8912.7 ^{cde}	1504.02 ^{cd}
I ₁ NS ₁	تنش ملایم، ۹۰mm تبخیر از تشتک× ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	3245.54 ^d	9850.5 ^{bcd}	1535.17 ^{cd}
I ₁ NS ₂	تنش ملایم، ۹۰mm تبخیر از تشتک× ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	3405.08 ^{cd}	9164.1 ^{bcd}	1667.28 ^{bcd}
I ₁ NS ₃	تنش ملایم، ۹۰mm تبخیر از تشتک× ۱۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	3776.14 ^{bc}	10362.8 ^{bc}	1866.80 ^{bc}
I ₂ NS ₀	تنش شدید، ۱۲۰mm تبخیر از تشتک× آب خالص	3091.6 ^e	8787.2 ^e	1326.99 ^e
I ₂ NS ₁	تنش شدید، ۱۲۰mm تبخیر از تشتک× ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	3151.97 ^{de}	9341.1 ^{bcd}	1381.69 ^{de}
I ₂ NS ₂	تنش شدید، ۱۲۰mm تبخیر از تشتک× ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	3321.84 ^{cde}	8974.1 ^{cde}	1556.42 ^{cd}
I ₂ NS ₃	تنش شدید، ۱۲۰mm تبخیر از تشتک× ۱۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	3409.99 ^{cd}	9408.9 ^{bcd}	1534.67 ^{cd}

میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترکند، اختلاف آماری معنی‌داری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Averages that at least one letter in common, a significant difference in Duncan's multiple range test have five percent

به‌وجود آمده از نظر آماری در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار شد (جدول یک). باتوجه به جدول مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و محلول‌پاشی (جدول سه) بالاترین میزان کلروفیل a مربوط به

کلروفیل a

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که کلروفیل a تحت تاثیر اثرات ساده تنش خشکی و نانو نقره و اثرات متقابل تیمارها قرارگرفت و اختلافات

موجود در برگ می‌شود که از عوامل آن قهوه‌ای شدن گیاه در طی دوره خشکی است. تنش خشکی بر پایداری کلروفیل a می‌افزاید. کاهش فتوسنتز در شرایط تنش خشکی به دلیل اختلال در فرآیندهای بیوشیمیایی مسیرهای فتوسنتزی است. هر چند فتوسیستم II تا حد زیادی نسبت به خشکی متحمل است ولی خشکی می‌تواند مانع انتقال الکترون در این نظام شود. از این رو از کارایی فتوسنتز کاسته شد و بر میزان فلورسانس کلروفیل افزوده می‌شود. در شرایط تنش، کمبود آب باعث تجزیه کلروفیل گردید، گلوتامات که پیش ماده کلروفیل و پرولین است در اثر تنش خشکی به پرولین تبدیل شد و در نتیجه از محتوی کلروفیل کاسته می‌گردد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۹). بابائیان و همکاران (۱۳۸۸) و خلیل‌وند و همکاران (۱۳۸۸) نتیجه گرفتند که با اعمال تنش خشکی میزان فلورسانس کلروفیل و عدد کلروفیل متر تغییر یافت و بیشترین مقادیر آن‌ها در تیمار تنش خشکی در مرحله گل‌دهی به‌دست آمد. که با نتایج به‌دست آمده از تحقیق مطابقت دارد.

آبیاری معمول، ۶۰ mm تبخیر از تشتک × ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره با ۲۵/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر وزن تازه برگ می‌باشد و کم‌ترین میزان کلروفیل a مربوط به تنش شدید، ۱۲۰ mm تبخیر از تشتک × ۱۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره با ۱۷/۱۸ میلی‌گرم بر لیتر وزن تازه برگ بود. تنش خشکی باعث محدودیت رشد و کاهش فتوسنتز می‌شود، همان‌طور که مشخص گردید تنش در سطح I₀ (کم‌ترین میزان تنش) بیش‌ترین میزان کلروفیل a را به‌دست آورد. افزایش میزان کلروفیل a با اعمال نانو نقره در سطح NS₃ به این دلیل است که نانو نقره فعل و انفعالات فتوسنتزی را در شرایط تنش بهبود می‌بخشد و موجب تحمل گیاه در برابر تنش می‌شود. کلروفیل برگ یکی از مهم‌ترین شاخص‌های نشان‌دهنده فشارهای محیطی وارد بر گیاهان بود و مقدار کلروفیل در گیاهان، تحت تنش کاهش یافت و باعث تغییر در نسبت جذب نور و در نتیجه کاهش کل جذب نور توسط گیاه گردید. تنش خشکی موجب خشک شدن برگ‌ها و مانع ساخته شدن کلروفیل می‌شود و حتی باعث تخریب کلروفیل

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات آبیاری و نانو نقره بر صفت کلروفیل a و پایداری غشای سلول
Table 5. compares the average effects of water and nano-silver property on chlorophyll a

Treatments	تیمار	کلروفیل a chlorophyll a (mg.lit)	پایداری غشا EC (ds.m)
I ₀ NS ₀	آبیاری معمول، ۶۰ mm تبخیر از تشتک تبخیر × آب خالص	24.19 ^{ab}	2.61 ^{cd}
I ₀ NS ₁	آبیاری معمول، ۶۰ mm تبخیر از تشتک × ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	25.05 ^a	2.56 ^{cd}
I ₀ NS ₂	آبیاری معمول، ۶۰ mm تبخیر از تشتک × ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	24 ^{ab}	2.74 ^{cd}
I ₀ NS ₃	آبیاری معمول، ۶۰ mm تبخیر از تشتک × ۱۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	18.86 ^{de}	2.34 ^{de}
I ₁ NS ₀	تنش ملایم، ۹۰ mm تبخیر از تشتک × آب خالص	22.74 ^{cd}	3.32 ^{ab}
I ₁ NS ₁	تنش ملایم، ۹۰ mm تبخیر از تشتک × ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	22.62 ^{cd}	2.84 ^{bc}
I ₁ NS ₂	تنش ملایم، ۹۰ mm تبخیر از تشتک × ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	22.48 ^{cd}	2.14 ^e
I ₁ NS ₃	تنش ملایم، ۹۰ mm تبخیر از تشتک × ۱۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	23 ^b	2.89 ^{bc}
I ₂ NS ₀	تنش شدید، ۱۲۰ mm تبخیر از تشتک × آب خالص	17.89 ^{deg}	3.4 ^a
I ₂ NS ₁	تنش شدید، ۱۲۰ mm تبخیر از تشتک × ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	18.20 ^{de}	3.23 ^{ab}
I ₂ NS ₂	تنش شدید، ۱۲۰ mm تبخیر از تشتک × ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	17.62 ^{deg}	2.84 ^{bc}
I ₂ NS ₃	تنش شدید، ۱۲۰ mm تبخیر از تشتک × ۱۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	17.18 ^g	2.96 ^{bc}

میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترکند، اختلاف آماری معنی‌داری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند
Averages that at least one letter in common, a significant difference in Duncan's multiple range test have five percent

پایداری غشای سلولی

نتایج نشان داد بعد از اثرات ساده تنش خشکی و نانو نقره و اثرات متقابل تیمارها در سطح پنج و یک درصد بر پایداری غشا سلولی تاثیر معنی‌داری داشت (جدول یک). با توجه به جدول مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و محلول‌پاشی بالاترین میزان پایداری غشا مربوط به تنش شدید، ۱۲۰ mm تبخیر از تشتک × آب خالص با ۳/۴۰ ds/m می‌باشد. کم‌ترین میزان پایداری غشا مربوط به تنش ملایم، ۹۰ mm تبخیر از تشتک × ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره با ۲/۱۴ ds/m می‌باشد (جدول سه). افزایش میزان هدایت الکتریکی (EC) در آزمایش خسارت غشای سلولی در شرایط تنش را می‌توان آسیب وارده به غشای سلولی و کاهش تحمل آن دانست. که این افزایش خسارت غشای سلولی در اثر تنش در آزمایش‌های گانس و همکاران (Gane et al, 2010) نیز مشاهده شد. با توجه به همبستگی منفی و معنی‌دار بین عملکرد و پایداری غشای در شرایط تنش به نظر می‌رسد که ارقام متحمل دارای مقدار خسارت سلولی کم‌تر باشند. کوچوا و گئورگیف (Kocheva and Gorgiev, 2003) در ارزیابی تحمل به خشکی ارقام جو، در ارقام متحمل‌تر به خشکی تخریب کم‌تری در غشاهای سلولی مشاهده کردند. تولید و تجمع گونه‌های سمی اکسیژن نظیر رادیکال‌های سوپراکسید، هیدروژن پراکسید و رادیکال‌های هیدروکسیل در شرایط تنش خشکی به بسیاری از ترکیبات سلولی نظیر چربی‌ها، پروتئین‌ها کربوهیدرات‌ها و اسیدهای نوکلئیک صدمه می‌زند (Jiang & Huang, 2001). مطالعات نشان می‌دهد پاسخ سلولی مشخصی نسبت به حضور نانو ذرات نقره در سلول وجود دارد، این پاسخ‌ها شامل تولید زیاد پروتئین‌های ساختاری، ناپایدار شدن غشای خارجی است (Lok et al., 2006) که با نتایج این

تحقیق مطابقت دارد.

محتوی نسبی آب برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده آبیاری بر محتوای نسبی آب برگ در سطح پنج درصد معنی‌دار شد و اثر ساده محلول‌پاشی و اثر متقابل تنش خشکی در محلول‌پاشی بر روی محتوای نسبی آب تاثیر معنی‌داری نداشت (جدول یک). جدول مقایسه میانگین اثر ساده تنش خشکی بر روی محتوای نسبی آب نشان داد بالاترین درصد مربوط به تیمار آبیاری معمول با ۷۸/۴۸ درصد می‌باشد و کم‌ترین درصد مربوط به تیمار (۱۲۰ میلی‌لیتر تبخیر از تشت تبخیر) با ۶۵/۱۹ درصد است.

به‌طور کلی ارقام متحمل به خشکی در مقایسه با ارقام حساس به خشکی در حالتی که تحت تنش آبی قرار می‌گیرند آب بیش‌تری را در بافت‌های خود مخصوصاً برگ‌ها نگهداری می‌کنند (لک و همکاران ۱۳۸۶). به‌طور معمول ارقام متحمل به خشکی، در محتوی نسبی آب و پتانسیل اسمزی پایین‌تر می‌توانند فعالیت فتوسنتزی بالاتری را نسبت به ارقام حساس داشته باشد و از این نکته می‌توان چنین نتیجه گرفت که تنظیم تورژانس و حفظ RWC بالا، نقش مهمی در نگهداری فتوسنتز در طول تنش خشکی ایفا می‌کند (راهنما، ۱۳۸۲). در طی آزمایشی بر روی آفتابگردان در شرایط تنش خشکی نظرعلی و همکاران (Nazarali et al., 2010) بیان کردند که محتوی نسبی آب برگ و کمبود آب اشباع و غلظت کلروفیل در شرایط تنش خشکی کاهش داشت. که با نتایج این تحقیق تطبیق ندارد. مقدار آب نسبی برگ معرف خوبی از وضعیت گیاه است که به‌عنوان یک شاخص جهت تحمل به خشکی استفاده می‌شود. ارقام متحمل به خشکی دارای فعالیت فتوسنتزی بالاتری هستند که به‌دلیل داشتن محتوی نسبی آب برگ بالا و پتانسیل اسمزی پایین است.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده سطوح کم آبیاری بر صفت محتوای نسبی آب

Table 4. compares the average effects of irrigation on RWC

Treatments	تیمار	محتوای نسبی آب RWC (%)
	آبیاری	
I ₀	آبیاری معمول، ۶۰mm تبخیر از تشتک تبخیر	78.48 ^a
I ₁	تنش ملایم، ۹۰mm تبخیر از تشتک تبخیر	73.72 ^{ab}
I ₂	تنش شدید، ۱۲۰mm تبخیر از تشتک تبخیر	65.19 ^a

میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترکند، اختلاف آماری معنی‌داری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Averages that at least one letter in common, a significant difference in Duncan's multiple range test have five percent

مالون دی‌آلدئید

با توجه به نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تنش خشکی و اثر ساده محلول پاشی نانو نقره در سطح یک درصد و اثر متقابل تنش خشکی در محلول پاشی نانو ذرات نقره در سطح پنج درصد بر صفت مالون دی‌آلدئید معنی‌دار شد (جدول یک). با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل جدول چهار مشاهده شد که بالاترین مالون دی‌آلدئید مربوط به تیمار تنش شدید، ۱۲۰mm تبخیر از تشتک × آب خالص با ۱۲/۷۱ nmol.g.fw و کم‌ترین مربوط به آبیاری معمول، ۶۰mm تبخیر از تشتک × ۱۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره با ۵/۸۹ nmol.g.fw می‌باشد که با تیمار آبیاری معمول، ۶۰mm تبخیر از تشتک × ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره اختلاف معنی‌داری نداشت.

با توجه به نتایج هرچه میزان تنش شدیدتر شد، میزان مالون دی‌آلدئید هم افزایش پیدا کرد. زمانی که دفاع آنتی‌اکسیدانتی کاهش یافت یا تشکیل رادیکال‌های آزاد افزایش داشت در این گونه موارد حالتی موسوم به تنش اکسیداتیو پدید آمد. تنش اکسیداتیو منجر به آسیب بافتی می‌شود هنگامی که تنش اکسیداتیو رخ می‌دهد پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع، لیپیدها افزایش یافت و در اثر حمله رادیکال‌های آزاد به لیپیدها، آلدئیدهای گوناگون از جمله مالون دی‌آلدئید ایجاد شد.

در زمینه افزایش MDA با افزایش تنش نمک گزارش‌های متعددی از جمله در کولتیوارهای حساس وجود دارد (Arora et al., 2008). محققان بیان کردند که تشخیص پایداری غشای سلولی، یک روش

مناسب برای غربال کردن گیاهان تحت تنش شوری می‌باشد (Farooq and Azam, 2006).

تنش اکسیداتیو در هنگام تنش خشکی و افزایش رادیکال‌های آزاد یا کاهش دفاع آنتی‌اکسیدانتی منجر به آسیب بافت‌ها، لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود و غلظت بیومارکرهای تخریبی چون مالون دی‌آلدئید، دی‌تیروزین و دی‌هیدروکسی گوانوزین افزایش می‌یابد. در واقع در اثر تنش و با توجه به اوج گرما در منطقه، گیاه با سرعتی که آب از دست می‌دهد، به دلیل مقاومت در ریشه، ساقه و برگ نمی‌تواند با همان سرعت کمبود آب خود را جبران کند (Jin et al., 2006).

هم‌زمان با فعالیت مالون دی‌آلدئید در گیاه، میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت نیز افزایش یافت تا به این ترتیب مانع خسارت زدن بیومارکرهای تخریب به سلول‌ها گردد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. براساس یافته‌های تحقیق حاضر کاربرد نانو نقره می‌تواند تا حدودی خسارت ناشی از تنش خشکی را جبران کرد و باعث افزایش فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه کنترل بیومارکرهای تخریب شود.

میزان پرولین

با توجه به نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تنش خشکی و اثر ساده محلول پاشی و اثر متقابل تنش خشکی در محلول پاشی ذرات نانو نقره بر روی پرولین در سطح یک درصد معنی‌دار شد.

با توجه به جدول مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و محلول پاشی بالاترین میزان پرولین مربوط به تنش ملایم، ۹۰mm تبخیر از

پرولین افزایش می‌یابد. اکثر محققان گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی میزان اسیدهای آمینه کاهش پیدا می‌کند اما بعضی از اسیدهای آمینه از جمله پرولین افزایش می‌یابد. در آزمایشی که بر روی اثرات تنش خشکی بر ژنوتیپ‌های گندم انجام شد، مشخص گردید که تنش خشکی سبب افزایش پرولین در تمام مراحل رشدی گردید (Chandrasekar *et al.*, 2000)، که با نتایج به‌دست آمده مطابقت دارد.

تشتک × ۱۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره با ۰/۰۴۳ میلی‌گرم برگرم وزن تربرگ و کم‌ترین میزان پرولین مربوط به آبیاری معمول و محلول‌پاشی با آب خالص با ۰/۰۰۹ میلی‌گرم برگرم وزن تربرگ بود (جدول پنج).

افزایش پرولین در جهت کاهش پتانسیل آبی گیاه به‌منظور حفظ فشار تورژسانس صورت می‌گیرد (بقایی، ۱۳۸۳). شکروی (۱۳۸۳) گزارش داد که با کاهش محتوی نسبی آب در برگ آفتابگردان، مقدار

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات آبیاری و نانو نقره بر صفت میزان پرولین و بیومارکر تخریب مالون دی‌آلدئید

Table 5. Compares the average effects of irrigation and nano-silver on proline

Treatment s	تیمار	پرولین Proline (mg.g ⁻¹ FW)	مالون دی‌آلدئید MDA (nmol.g fw)
I ₀ NS ₀	آبیاری معمول، ۶۰ mm تبخیر از تشتک تبخیر × آب خالص	0.009 ^g	6.67 ^e
I ₀ NS ₁	آبیاری معمول، ۶۰ mm تبخیر از تشتک × ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	0.010 ^{ef}	6.23 ^{ef}
I ₀ NS ₂	آبیاری معمول، ۶۰ mm تبخیر از تشتک × ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	0.011 ^e	5.95 ^g
I ₀ NS ₃	آبیاری معمول، ۶۰ mm تبخیر از تشتک × ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	0.012 ^f	5.89 ^g
I ₁ NS ₀	تنش ملایم، ۹۰ mm تبخیر از تشتک × آب خالص	0.033 ^{cd}	9.51 ^{cd}
I ₁ NS ₁	تنش ملایم، ۹۰ mm تبخیر از تشتک × ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	0.038 ^{bc}	9.38 ^{cd}
I ₁ NS ₂	تنش ملایم، ۹۰ mm تبخیر از تشتک × ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	0.036 ^{bc}	8.85 ^{de}
I ₁ NS ₃	تنش ملایم، ۹۰ mm تبخیر از تشتک × ۱۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	0.043 ^a	8.23 ^{de}
I ₂ NS ₀	تنش شدید، ۱۲۰ mm تبخیر از تشتک × آب خالص	0.026 ^d	12.71 ^a
I ₂ NS ₁	تنش شدید، ۱۲۰ mm تبخیر از تشتک × ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	0.029 ^{de}	11.29 ^{bc}
I ₂ NS ₂	تنش شدید، ۱۲۰ mm تبخیر از تشتک × ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	0.028 ^{de}	11.67 ^{bc}
I ₂ NS ₃	تنش شدید، ۱۲۰ mm تبخیر از تشتک × ۱۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو نقره	0.033 ^{cd}	10.56 ^c

میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترکند، اختلاف آماری معنی‌داری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Averages that at least one letter in common, a significant difference in Duncan's multiple range test have five percent

بود و باعث بهبود شرایط گیاه در تنش خشکی شد. به طور معمول غلظت عناصر غذایی جهت رشد در طی تنش خشکی داخل گیاه کاهش یافت. این موضوع نشان‌دهنده اثر غیرمستقیم حجم آب خاک بر جذب عناصر غذایی است که از اثر مستقیم تنش خشکی بر رشد گیاه، اهمیت بیش‌تری دارد. نتایج برخی از آزمایشات نشان داد که گیاهان تیمار شده با نانو نقره تا حدودی شاداب‌تر از گیاهان شاهد بود و رشد بهتری دارند که احتمالاً مربوط به اثر نقره روی توقف عمل اتیلن می‌باشد که با نتایج پژوهش حاضر نیز مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به آنالیز داده‌ها اثر تنش خشکی، روی اکثر صفات اندازه‌گیری شده در آفتابگردان معنی‌دار بود. از طرفی سطوح محلول‌پاشی نانو نقره روی اکثر صفات به جز محتوی نسبی آب معنی‌دار گردید. همچنین اثرات متقابل تنش خشکی و نانو نقره بر صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد روغن دانه، مالون دی‌آلدئید، پرولین، کلروفیل a و پایداری غشا معنی‌دار گردید. همان‌طور که از نتایج مشخص است محلول‌پاشی نانو نقره در برخی صفات تاثیرگذار

References

منابع

- اختیاری، ر.، کریمی، ک. ۱۳۹۰. بررسی اثرات نانو نقره بر تحمل به شوری گیاه زیره سبز در مراحل جوانه زنی در شرایط آزمایشگاهی. دومین همایش ملی دست‌آورد‌های نوین در زراعت. صفحه ۲۲۰-۲۲۴.
- بی‌نام. ۱۳۹۲. آمارنامه کشاورزی. وزارت کشاورزی معاونت برنامه ریزی و بودجه. ۳۲۱ صفحه.
- جهان‌بین، ع. ۱۳۸۱. بررسی سازگاری و مقایسه عملکرد ارقام پیشرفته کلزا در منطقه داراب فارس. انتشارات وزارت جهاد کشاورزی. ۵۸ صفحه.
- خلیل‌وند بهروزیار، ا.، یارنیا، م.، دربندی، ص. و آلیاری، ه. ۱۳۸۶. اثرات تنش کمبود آب بر برخی از صفات مورفولوژیک دو رقم آفتابگردان در تراکم‌های مختلف. مجله دانش نوین کشاورزی، سال سوم، شماره هشتم. ۱-۱۳.
- دادی، ح.، اکبری، غ.ع.، دانشیان، ج.، شهبازیان، ا. و شهبازیان، ن. ۱۳۸۶. تاثیر آبیاری محدود بر خصوصیات فنولوژیک، مورفولوژیک و زراعی هیبریدهای آفتابگردان. پژوهش در علوم کشاورزی ۲، ۳.
- راضی، ه. و آساد، م. ۱۳۸۳. ارزیابی تغییرات صفات مهم زراعی و معیارهای سنجش تحمل به خشکی در ارقام آفتابگردان، مجله علوم کشاورزی و منابع آبیاری طبیعی، ۲(۱): ۳۱-۴۲.
- راهنما، ع.ا. ۱۳۸۲. ارزیابی اولیه ارقام کلزا با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی. نتایج تحقیقات به زراعی کلزا در سال زراعی ۸۲-۱۳۸۱. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. بخش تحقیقات دانه‌های روغنی.
- صالحی، م. و تمسکنی، ف. ۱۳۸۷. تاثیر نانوسید در تیمار بذری بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گندم تحت تنش شوری. خلاصه مقالات اولین همایش ملی علوم و تکنولوژی بذر ایران. صفحه ۳۵۸.
- ضابط، م. و حسین‌زاده، ع. ۱۳۹۰. تعیین مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد ماش (*Vadiatalwilczekvigna*) با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره در شرایط تنش خشکی و بدون تنش. مجله پژوهش‌های حبوبات ایران، ۲(۱): ۸۷-۹۸.
- علیزاده، ا. ۱۳۸۳. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات آستان قدس رضوی. ۲۶۴ صفحه.
- فیضی، ح.، برهند، ع.ا.، رضوانی‌مقدم، پ.، فتوم، و.، شاه‌طهماسبی، ا. ۱۳۸۹. کاربرد نانو ذرات نقره و میدان مغناطیسی در تحریک رشد و عملکرد ذرت. اولین کنفرانس علوم و فناوری نانو. صفحه ۱۶۹۴-۱۶۹۷.
- کافی، م.، برزویی، ا.، صالحی، م.، کمندی، ع.، معصومی، ع. و نباتی، ج. ۱۳۹۱. فیریولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان، جهاد دانشگاهی مشهد. ۳۹۰ صفحه.
- کافی، م.، دامغانی، ع.م. ۱۳۸۸. مکانیزم‌های مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. چاپ اول.
- ملکوتی، م.ج. و غیبی، م. ۱۳۷۶. تعیین حد بحرانی عناصر غذایی محصولات استراتژیک و توصیه صحیح کودی در کشور. انتشارات نشر آموزش کشاورزی، ۹۲ صفحه.
- نادری، م.ر. و عابدی، ا. ۱۳۹۱. کاربرد فناوری نانو در کشاورزی و پالایش آلاینده‌های زیست محیطی. ماهنامه فناوری نانو. سال یازدهم. شماره ۱. پیاپی ۱۷۴.
- Gupta, P.K., and Varshney, R.K. 2000.** The development and use of icrosatellite markers for genetic analysis and plant breeding with emphasis on bread wheat. *Euphytica* 113: 163-185.
- Habibi, D., Boojar, M.M.A., Mahmoudi, A. 2004.** Antioxidative enzymes in sunflower subjected to drought stress. (4th International Crop Science Congress. Brisbane, Australia).
- Jiang, Y., and Huang, B. 2001.** Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Sci.* 41(2): 436-442
- Lak, Sh, Ahmadi, A., Siyadat, A., and Nourmohamadi, Gh. 2007.** Effect of different levels of nitrogen and plant density on grain yield and its components and water use efficiency of maize (*Zea mays* L.). *Iranian Jurnal of Crop Science.* 7 (2): 153-170. (In Persian).
- Lok, N.C., Chen, M., He, R., Che, Q.Y. 2006.** Proteomic analysis of the mode of antibacterial action of silver nanoparticles. *J. Proteome Res.* 5(4): 16-24.

- Patel, P.T., Patel, K.J., and Jakasaniya, M.S. 2009.** Efficacy of cyclic mode of pond and saline water irrigations on sunflower yield. Sesame and Sunflower Newsletter No, 18 (2003). Published by Institute of Sustainable Agriculture. Cordoba, Spain.
- Petersen, S.D., Rasmussen, L., Jensen, C.R., Mogensen, V.O., Anderson, M.N., and Jacobsen, S.E. 2009.** Leaf water potential and relative water content. *J. Exp. Bot.* 121:131-149.
- Safavi, K., Esfahanizadeh, M., Mortazaiezhad, F., Dastjerd, H. 2011.** The Study of Nano Silver (NS) Antimicrobial Activity and Evaluation of Using NS in Tissue Culture Media. *International Conference on Life Science and Technology*; 1(3): 159-161.
- Weiss, E.A. 2000.** Production and improvement of crops for dry land. *Jihad-e-Daneshgahi Mashhad Publications*. Mashhad, Iran (in Persian).
- Wigginton, N.S., Detitta, A. 2010.** *Environmental science and technology*, 44: 2163-2168.
- Yau, S.K. 2007.** Winter versus spring sowing of rain-fed safflower in a semi-arid:high-elevation Mediterranean environment. *Eur. J. Agron.* 26, 249–256.
- Zhang, Y.Y., and Sun, J. 2007.** A study on the bio-safety for nano-silver as anti-bacterial materials. *31: 1.* 36-38.