بررسی تأثیر محلول‌پاشی نانوکلات روی بر برخی پارامترهای فیزیولوژیک و عملکرد پروتئین و دانه سویا در تنش کم آبیاری

سیما جورابی[۱]، حمیدرضا عیسوند[۱*]، احمد اسماعیلی[۱] و علی‌حیدر نصرالهی[۲]

[۱] گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، [۲] گروه مهندسی آبیاری، دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۱۰/۲۲)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر نانوکلات روی بر پارامترهای فتوسنتزی، فعالیت آنزیم گلوتامین سینتتاز، پروتئین، عملکرد و اجزای عملکرد دانه سویا تحت تنش کم آبیاری، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در سال زراعی۱۳۹۵-۱۳۹٤ اجرا شد. چهار سطح آبیاری (شامل آبیاری ۱۰۰، ۸۰، ٦۰ و ٤۰ درصد نیاز آبی) به‌عنوان فاکتور اصلی و محلول‌پاشی نانوکلات روی در دو سطح شاهد (آب‌مقطر) و محلول‌پاشی نانوکلات روی (حاوی ۲۰ درصد یون روی قابل جذب) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که با کاهش آب مورد نیاز گیاه صفاتی نظیر سرعت فتوسنتز خالص، تعرق، هدایت روزنه‌ای، فعالیت گلوتامین سینتتاز، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه، عملکرد دانه، درصد پروتئین دانه و عملکرد پروتئین دانه سویا کاهش یافت. در مقابل غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای و شاخص سبزینگی برگ در شرایط تنش افزایش نشان داد. در شرایط نرمال رطوبتی (۱۰۰ رطوبت خاک) کاربرد نانوکلات روی تأثیری بر شاخص سبزینگی برگ، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و عملکرد پروتئین و دانه وجود نداشت. اما در شرایط تنش کم آبیاری، محلول‌پاشی نانوکلات روی به ترتیب سبب افزایش ٤/۲، ۱۳/۸، ۱۷/۳، ٤٥/۷ و ۳۹/۳ درصدی صفات مذکور شد. همچنین در شرایط تنش کم آبیاری محلول‌پاشی نانوکلات روی باعث کاهش غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای و هدایت روزنه‌ای برگ‌ها شد. به‌طور کلی، اثر محلول‌پاشی نانوکلات روی در تخفیف اثر تنش کم آبیاری و بهبود عملکرد سویا مثبت بود. بنابراین استفاده از آن ممکن است بتواند مقاومت گیاه را بهبود بخشد.

واژه های کلیدی: دانه در غلاف، تنش خشکی، شاخص سبزینگی برگ، مرحله زایشی، وزن صد دانه

مقدمه

سویا از نظر تولید روغن خوراکی در جهان مقام اول را دارد (Liu and Li, 2010; Kobraee and Shamsi, 2013). براساس آمار سازمان خواروبار جهانی تولید دانه این گیاه در سال ۲۰۱٦ میلادی ۳۵۱/۳ میلیون تـن بوده است (FAO, 2018). سویا به دلیل دارابودن پروتئین و روغن غیراشباع زیاد در دانه در تولید محصولات غذایی جهت تغذیه انسان و دام از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (Liu and Li, 2010).

تغییرات آب و هوایی در کنار افزایش روزافزون جمعیت جهان سبب کاهش منابع آب مورد نیاز کشاورزی شده است (Ghasemi-Golezani *et al.*, 2015). هر ساله در سراسر جهان تنش خشکی ناشی از کمبود آب تأثیر منفی قابل توجهی بر

[*] نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: eisvand.hr@lu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.7.8]

تولیدات کشاورزی دارد. در تنش خشکی فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم دچار اختلال می‌گردد و تنش خشکی با تأثیر بر میزان فتوسنتز جاری برگ و کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در نهایت باعث کاهش عملکرد می‌شود (Flowers *et al.*, 2000). میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاهان یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است. تداوم فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک مقاومت به تنش هستند (Bertolli *et al.*, 2012). تنش خشکی با تولید گونه‌های اکسیژن فعال، کاهش تولید و افزایش تجزیه کلروفیل را در پی دارد (Sharifa and Muriefah, 2015). از دیگر شاخص‌های مقاومت گیاهان به تنش خشکی آنزیم گلوتامین سینتتاز است. میزان فعالیت این آنزیم در فرایند متابولیسم نیتروژن در شرایط تنش می‌تواند در ایجاد مقاومت‌های ناشی از تأمین پروتئین‌های آنزیمی برگ نقش مؤثری داشته باشد (Nagy *et al.*, 2013).

در تحقیقی Karymi و همکاران (۲۰۱٦) گزارش کردند که تنش خشکی سبب کاهش عملکرد، پروتئین محلول و محتوای کلروفیل برگ دو رقم سویا شد. یافته‌های کامروا و همکاران (۱۳۹٦) نیز نشان داد که تحت تأثیر تنش خشکی در مرحله زایشی محتوای کلروفیل ژنوتیپ‌های مختلف سویا به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. نتایج Kobraee و Shamsi (۲۰۱۳) در بررسی اثرات تنش کم‌آبی در مرحله زایشی سویا نشان‌دهنده اثر منفی تنش بر صفات مرتبط با عملکرد همچون تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و عملکرد دانه بود. یافته‌های دیگر نیز اثر منفی شدید کمبود آب در طی دوره گلدهی و پرشدن دانه بر عملکرد سویا را تأیید می‌نمایند (Ghasemi-Golezani *et al.*, 2015; Bertolli *et al.*, 2012; Manavalan *et al.*, 2009).

در شرایط تنش کم‌آبی قابلیت انحلال و جذب عناصر غذایی توسط ریشه کاهش می‌یابد (کمائی و همکاران، ۱۳۹۷). از این رو، اکثر زمین‌های واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک علاوه بر کمبود آب از نظر باروری نیز در سطح پایینی قرار دارند (Mousavi *et al.*, 2007). کاربرد عناصر غذایی بر مقاومت گیاهان در مقابل تنش خشکی می‌افزاید (Kobraee and Shamsi, 2013; Dimkpa *et al.*, 2017). در بین عناصر ضروری عنصر روی با فعال‌سازی آنزیم‌های ضروری تولید هورمون‌های رشد از جمله اکسین، افزایش تولید کلروفیل، افزایش تنفس، تنظیم رشد و تسریع بلوغ، افزایش ذخیره کربوهیدارت‌ها، افزایش پروتئین، تحریک تشکیل بذر، کمک به جذب بیشتر آب و افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی منجر به بهبود عملکرد محصولات زراعی می‌گردد (Pandey *et al.*, 2010; Marschner, 1995).

برخلاف اثرات فیزیولوژیک متعدد روی در گیاهان، کمبود روی در سطح وسیعی از اراضی کشاورزی جهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک پدیده‌ای بسیارشایع است. یکی از دلایل عمده کمبود روی در خاک وجود آهک زیاد و pH بالای خاک است (رضائی چیانه و همکاران، ۱۳۹٦؛ کمائی و همکاران، ۱۳۹۷) که سبب کاهش قابلیت انحلال و فراهمی آن برای ریشه می¬شود (Mousavi *et al.*, 2007). برای غلبه بر این مشکل محلول‌پاشی عنصر روی راهکار مطلوبی به‌شمار می‌آید. تماس مستقیم محلول با سطح برگ و مسیر کوتاه آن برای انتقال به مراکز فعال فتوسنتزی برگ و افزایش راندمان جذب از طریق برگ نسبت به ریشه سبب افزایش کاربرد روز افزون محلول‌پاشی عناصر غذایی شده است (Yassen *et al.*, 2010). در این راستا مشاهدات کمائی و همکاران (۱۳۹۷) نشان داد که محلول‌پاشی عنصر ریزمغذی روی سبب بهبود صفات شاخص سبزینگی برگ، پایداری غشای سلول و عملکرد دانه گندم در شرایط تنش گرمای آخر فصل شد. نتایج Shaban و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان داد که محلول‌پاشی روی در شرایط تنش خشکی، تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه، درصد پروتئین دانه و عملکرد پروتئین را در گیاه نخود افزایش داد.

امروزه با بهره‌گیری از فناوری نانو در طراحی و ساخت نانوکودها، فرصت‌های جدیدی به‌منظور افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و به‌حداقل رساندن هزینه‌های حفاظت از محیط زیست پیش روی انسان گشوده شده است (Pandey *et al.*, 2010; Dimkpa *et al.*, 2017). نانوذرات به‌دلیل خصوصیات

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.7.8]

ویژه ناشی از اندازه خود باعث تغییرات مورفولوژیک و فیزیولوژیک بسیاری در گیاهان می‌شوند. کارایی نانوذرات توسط ترکیب شیمیایی، اندازه، سطح، واکنش‌پذیری و غلظت مصرفی تعیین می‌گردد و تأثیرات آنها نیز وابسته به شاخصه‌های یادشده است (Khodakovskaya *et al.*, 2012; Garcia-Gomez *et al.*, 2017). در چند سال اخیر یافته‌های نوینی در زمینه اثرات نانوذرات و جذب آنها توسط گیاه ارائه شده و یافته‌ها نشان داده که کاربرد نانوذرات حاوی عناصر میکرو از جمله روی، مس و بر در شرایط تنش خشکی می‌تواند نقش مؤثری در بهبود عملکرد سویا داشته باشد (Dimkpa *et al.*, 2017). نتایج رضائی چیانه و همکاران (۱۳۹۶) نیز حاکی از اثر مثبت کاربرد نانوکلات روی بر صفات تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و درصد روغن گلرنگ در شرایط تنش خشکی بود.

با توجه شرایط خشک و نیمه‌خشک غالب نواحی غربی ایران از جمله لرستان تولید سویا با موانع متعدد از جمله گرما و کمبود آب آبیاری مواجه است. همچنین درصد آهک و pH بالا در این مناطق سبب کاهش کارایی جذب عناصر میکرو از جمله روی می‌گردد. علاوه بر نقش مهم عنصر روی در رشد و نمو گیاهان در رژیم غذایی انسان نیز نقش اساسی دارد. بنابراین، غنی‌شدن محصولات کشاورزی از عنصر روی می‌تواند در بهبود کیفیت تغذیه بشر نقش به‌سزایی داشته باشد. اگر چه ترکیبات متعدد حاوی روی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kobraee and Shamsi, 2013)، اما امروزه کاربرد ترکیبات کلاته به‌دلیل حلالیت و قابلیت جذب بهتر مورد توجه ویژه قرار گرفته است. علاوه بر آن با توسعه فناوری‌های نانو، جهت افزایش کارایی جذب و انتقال، تولید نانوکلاته‌های عناصر کم مصرف از جمله روی در حال گسترش است (رضائی چیانه و همکاران، ۱۳۹۶). لذا در این مطالعه اثر محلول‌پاشی نانوکلات روی در شرایط تنش کم‌آبیاری بر پارامترهای فتوسنتزی، فعالیت آنزیم گلوتامین سینتتاز، عملکرد و اجزای عملکرد دانه، درصد و عملکرد پروتئین سویا مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در موقعیت ٤٨ درجه و ١٧ دقیقه طول جغرافیایی و ٣٣ درجه و ٢٦ دقیقه عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا ١١٤٨ متر در سال زراعی ١٣٩٥-١٣٩٤ انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل چهار سطح آبیاری ١٠٠، ٨٠، ٦٠ و ٤٠ درصد نیاز آبی گیاه به‌عنوان فاکتور اصلی و محلول‌پاشی نانوکلات روی در دو سطح شاهد (آب‌مقطر) و محلول‌پاشی نانوکلات روی (نانوکلات روی حاوی ٢٠ درصد یون روی قابل جذب) به‌عنوان فاکتور فرعی بود. نیاز آبی گیاه براساس کمبود رطوبت خاک نسبت به نقطه ظرفیت زراعی محاسبه شد به اینصورت که در هر آبیاری رطوبت خاک ناحیه ریشه گیاه روز قبل از آبیاری اندازه‌گیری شده و اختلاف آن با نقطه ظرفیت زراعی به‌عنوان نیاز خالص یا عمق خالص آبیاری برای تیمار بدون تنش آبی منظور گردید. پیش از کشت آنالیز خاک مزرعه پس از نمونه‌گیری از عمق صفر الی ٣٠ سانتی‌متری از سطح خاک انجام شد. براساس نتایج آزمون خاک بافت خاک رسی، اسیدیته خاک ٧/٨، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک ٠/٥٥ دسی‌زیمنس بر سانتی‌متر، درصد مواد آلی ١/١ درصد و آهک آن ١٦/٥ درصد بود. غلظت عناصر اندازه‌گیری‌شده خاک در جدول ١ ارائه شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده و توصیه کودی آزمایشگاه خاکشناسی، از کود پوسیده گوسفندی به‌میزان ٥ تن در هکتار استفاده شد. با در نظرگرفتن تثبیت نیتروژن توسط گره‌ها، کود اوره (نیتروژن ٤٦ درصد) براساس توصیه آزمایشگاه خاکشناسی به‌میزان ٥٠ کیلوگرم در هکتار پیش از کشت مصرف شد. همچنین ١٠٠ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل و ٢٥٠ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هر هکتار نیز همراه با عملیات آماده‌سازی زمین به خاک اضافه شد. هر واحد آزمایشی به مساحت ١٥ متر مربع (٣ × ٥) و شامل پنج جویچه به طول ٥ متر بود. فاصله بین کرت‌های اصلی و فرعی به‌ترتیب ٣ و ١/٥ متر و فاصله بین بلوک‌ها ٥ متر در نظر گرفته شد. فاصله

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.7.8]

جدول ۱- نتایج آنالیز خاک مزرعه مورد مطالعه (عمق صفر تا۳۰ سانتی‌متر از سطح خاک)

آهن	منگنز	روی	مس	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب
(ppm)					
٤/١٠	١٠/١	٠/٦٢	١/٣	٦/٨	٣٢٤

بوته‌های سویا روی ردیف‌های کاشت ۵/۵ سانتی‌متر و فاصله ردیف‌ها ٦٠ سانتی‌متر بود. تاریخ کاشت مؤثر (آبیاری اول) ۱۷ اردیبهشت ۱۳۹۵ بود. پیش از کشت، بذور سویا (رقم کوثر) با کود بیولوژیک حاوی باکتری *Bradyrhizobium japonicum* تلقیح شدند و کنترل علف‌های‌هرز در طول دوره رشد به صورت دستی انجام شد.

تیمارهای تنش کم‌آبیاری ازآغاز گلدهی (٦ تیرماه ۱۳۹۵) تا رسیدگی کامل (١٤ شهریورماه ۱۳۹۵) اعمال شد. تیمارهای آبیاری براساس کمبود رطوبت خاک تعیین شد که برنامه‌ریزی آن براساس زمان و عمق آبیاری بود. به‌منظور تعیین زمان مناسب آبیاری در روزهای پس از آبیاری و معمولاً از روز چهارم به بعد رطوبت خاک ناحیه ریشه به‌روش وزنی محاسبه شد. از این‌رو پیش از اینکه رطوبت خاک بیش از حد تیمار مورد نظر تخلیه شود، آبیاری صورت گرفت (Allen *et al.*, 1998). حجم آب مورد نیاز برای هر تیمار آبیاری با در نظرگرفتن مساحت هر کرت و اعمال ضرایب تنش مربوطه از طریق معادله ۱ محاسبه شد. عمق خالص و ناخالص آبیاری نیز با هدف جایگزین‌نمودن رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه به‌ترتیب از طریق معادله‌های ۲ و ۳ تعیین گردید. سیتم توزیع آب در مزرعه شامل خطوط لوله بود که کنتور حجمی برای اندازه‌گیری حجم آب به لوله توزیع متصل بود و حجم آب ورودی به هر کرت به وسیله کنتور حجمی کنترل شد.

$$V = d_g \times A \times f$$

معادله (۱)

که در این معادله A: سطح هر کرت (متر)، dg: عمق ناخالص آب آبیاری (میلی‌متر)، V: حجم آب آبیاری (لیتر) و f: ضریب تنش است.

$$dn = (\theta fc - \theta i) \times pb \times Zr$$

معادله (۲)

$$dg = dn / E$$

معادله (۳)

در معادلات ۲ و ۳ dn، عمق خالص آب آبیاری (mm)، θ_{fc} رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت زراعی، θi رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری، p_b جرم مخصوص ظاهری خاک (g/cm^3) و Z_r عمق ریشه (mm) و dg: عمق ناخالص آبیاری (mm) است. محاسبه عمق ناخالص آبیاری با در نظرگرفتن راندمان ۹۵ درصدی صورت گرفت (Allen *et al.*, 1998).

نانوکلات روی ۲۰ درصد از شرکت دانش بنیان فن‌آور سپهر پارمیس تهران تهیه شد. این ترکیب با عنوان "کلات روی ۲۰ درصد به‌صورت یون‌های آزاد با تغییرات در ساختمان اتمی با فن‌آوری نانو" به‌عنوان اختراع به ثبت رسیده است. قطر نانوذرات در شرایط کریستاله با میکروسکوپ الکترونی روبشی ٦٨ نانومتر تعیین شد. نانوکلات روی مورد استفاده به رنگ سفید با چگالی ۱/۱ گرم در سانتی‌متر مکعب و اسیدیته ۲ بود. محلول‌پاشی نانوکلات روی به‌ترتیب در دو مرحله ۵۰ درصد گلدهی (R1-R2) (۱۰ تیر ماه) و ۵۰ درصد غلاف‌دهی سویا (R2-R3) (۲۵ تیر ماه) به‌میزان دو لیتر در ۱۰۰۰ لیتر آب در هکتار و با سمپاش دستی تا مرحله چکه‌کردن آب از سطح برگ صورت گرفت. جهت عدم‌تداخل تیمار محلول‌پاشی با کرت مجاور از حفاظ پلاستیکی بین کرت‌ها استفاده شد. محلول‌پاشی در ساعات اولیه صبح صورت گرفت. در تیمار شاهد محلول‌پاشی با آب‌مقطر صورت گرفت.

شاخص سبزینگی در مرحله ۵۰ درصد غلاف‌دهی در بیست و هفتمین روز پس از اعمال تیمارهای تنش (۲ مرداد ماه) و با اندازه‌گیری روی برگ بالغ و جوان بالای ساقه از ۱۵ بوته با دستگاه کلروفیل‌متر (Konica Minolta Spad-502) ثبت و میانگین اعداد برای هر کرت در نظر گرفته شد. به‌منظور اندازه‌گیری پارامترهای تبادلات گازی برگ، ۲۷ روز پس از اعمال تیمار آبیاری (۲ مرداد ماه) از یک بوته یک برگ جوان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.7.8]

کاملاً توسعه‌یافته بالای گیاه انتخاب شد و پارامترهای تبادلات گازی برگ شامل سرعت فتوسنتز خالص (میکرومول دی‌اکسید کربن تثبیت‌شده بر متر مربع در ثانیه)، تعرق (میلی‌مول آب بر متر مربع در ثانیه)، غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه (میکرو مول دی‌اکسید کربن بر مول) و هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول آب بر متر مربع بر ثانیه) با دستگاه IRGA (مدلLC4) شرکت ADC BioScientific Ltd ساخت کشور انگلستان تعیین شد. اندازه‌گیری‌ها در ساعت ۱۰ تا ۱۲ روز آفتابی انجام گرفت.

برای تعیین میزان فعالیت گلوتامین سنتتاز مقدار ۰/۲ گرم از نمونه تازه برگ جوان کاملاً توسعه‌یافته بخش فوقانی گیاه در تاریخ ۵ مرداد ماه برداشت و با نیتروژن مایع پودر شد. سپس بافر تریس هیدروکلریک اسید ۵۰ میلی‌مولار (pH= ۸)، آدنوزین تری‌فسفات (ATP) ٦/۳ میلی‌مولار، گلوتامین ۱۰۰ میلی‌مولار، منیزیم سولفات ٤٤ میلی‌مولار به عصاره آنزیمی اضافه شد. پس از نگهداری مخلوط واکنش به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد نسبت‌های مساوی از آهن کلرید ۱۰ درصد محلول در کلریدریک اسید ۰/۲ مولار، تری‌کلرو استیک اسید ٢٤ درصد و کلریدریک اسید ۵۰ درصد اضافه شد و جذب در طول‌موج ٥٤٠ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر CECIL مدل ۳۰۰۰ (Cambridge, UK) خوانده و فعالیت آنزیمی بر حسب میکرومول γ-گلوتامیل هیدروکسامات تعیین شد (Berteli *et al.*, 1995).

جهت اندازه‌گیری طول غلاف در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک در هر کرت به‌طور تصادفی ۲۰ غلاف با موقعیت یکسان در روی بوته انتخاب و طول غلاف اندازه‌گیری و میانگین در نظر گرفته شد. پس از جداسازی دانه‌ها از سطح برداشت‌شده در نهایت عملکرد دانه در هر کرت تعیین گردید. به‌منظور جلوگیری از ریزش بذور برداشت نهایی همزمان با رسیدگی کامل در تاریخ ٢٤ شهریور ماه ۱۳۹۵ انجام شد. پس از حذف خطوط حاشیه برداشت به مساحت سه متر مربع از هر کرت انجام شد. جهت اندازه‌گیری تعداد غلاف در بوته غلاف‌های ۱۵ بوته از هر کرت شمارش و میانگین آنها در نظر گرفته شد. همچنین به‌طور تصادفی ۳۰ غلاف از هر کرت انتخاب و تعداد دانه در هر غلاف شمارش شد. وزن ۱۰۰ دانه نیز از طریق توزین نمونه‌ها با ترازوی دارای دقت ۰/۰۱ گرم تعیین شد. جهت تعیین درصد پروتئین دانه از هر کرت ۵۰ گرم دانه جدا شد. پس از آسیاب‌کردن نمونه‌ها با روش میکروکلدال غلظت نیتروژن دانه تعیین و با ضرب غلظت نیتروژن در عدد ۵/۷۱ غلظت پروتئین دانه به‌دست آمد. عملکرد پروتئین نیز از حاصل ضرب عملکرد دانه در درصد پروتئین دانه تعیین شد (Karymi *et al.*, 2016).

آزمون نرمال‌بودن توزیع دادها قبل از آنالیز آماری داده‌ها انجام شد. در ادامه تجزیه داده‌ها توسط نرم‌افزارSAS 9.1 انجام شد. مقایسات میانگین صفات در سطح احتمال پنج درصد و با آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel 2007 استفاده شد.

نتایج و بحث

اثرات متقابل سطوح تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی نانوکلات روی بر صفات سرعت فتوسنتز خالص، تعرق، هدایت روزنه‌ای و دی‌اکسید کربن زیر روزنه معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش سطوح تنش کم‌آبیاری، سرعت فتوسنتز خالص کاهش یافت و استفاده از نانوکلات روی تأثیر معنی‌داری بر میزان فتوسنتز نداشت. بیشترین و کمترین مقادیر سرعت فتوسنتز خالص به‌ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ و ٤٠ درصد نیاز آبی گیاه به‌دست آمد (شکل a ۱). کاهش سرعت فتوسنتز خالص در اثر تنش به عوامل متعددی وابسته است که می‌توان به اثر تنش بر تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی (Flowers *et al.*, 2000) اشاره کرد. در این راستا عنوان شده است که در شرایط تنش کم‌آبیاری افزایش تولید گونه‌های اکسیژن فعال موجب تجزیه کلروفیل می‌گردد (Sharifa and Muriefah, 2015). از سویی دیگر، Lal و Edwards (۱۹۹٦) گزارش کردند که کاهش سرعت فتوسنتز در طول دوره تنش خشکی ممکن است صرف نظر از تأثیر عوامل روزنه¬ای به‌علت کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو باشد.

با افزایش تنش کم‌آبیاری تعرق به‌طور معنی‌داری کاهش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.7.8]

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات سطوح کم‌آبیاری و محلول‌پاشی نانوکلات روی بر پارامترهای تبادلات گازی، شاخص سبزینگی و فعالیت گلوتامین سنتتاز برگ سویا رقم کوثر

منابع تغییر	درجه آزادی	صفات (میانگین مربعات)					
		سرعت فتوسنتز خالص	هدایت روزنه‌ای	دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای	تعرق	شاخص سبزینگی	گلوتامین سنتتاز
تکرار	۲	۰/۰۶ ns	۳ ns	۱۳۸ ns	۰/۰۰۵ ns	٤/۷ ns	۰/۰۰۰۱ ns
سطوح آبیاری (I)	۳	۱/۳۰ **	۷٤ **	۲۳٦۳ *	۰/۰٤۱ **	۱۱/۰ ns	۰/۰۱۰۸ **
خطای کرت اصلی	٦	۰/۰۵	۷	٦٦۲	۰/۰۱۸	٤/٦	۰/۰۰۰۳
محلول‌پاشی روی (Zn)	۱	۰/۱۲ ns	۲۷۰ **	۳۳۸۰۲ **	۰/۰٤۲ ns	۱۱/۵ *	۰/۰۰۳۰ *
I × Zn	۳	۰/۱۵ *	۳۷ **	٤۹٤۱ **	۰/۱۸۵ **	۱۲/۹ **	۰/۰۰۱۵ *
خطای کرت فرعی	۸	۰/۰۲	۳	٤۵٤	۰/۰۱۵	۱/۰	۰/۰۰۰۲
ضریب تغییرات (٪)	-	۵/۱	۱٦/۸	۲/۱	۱۵/۲	٦/۵	٦/٦

ns، * و ** به‌ترتیب عدم‌معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

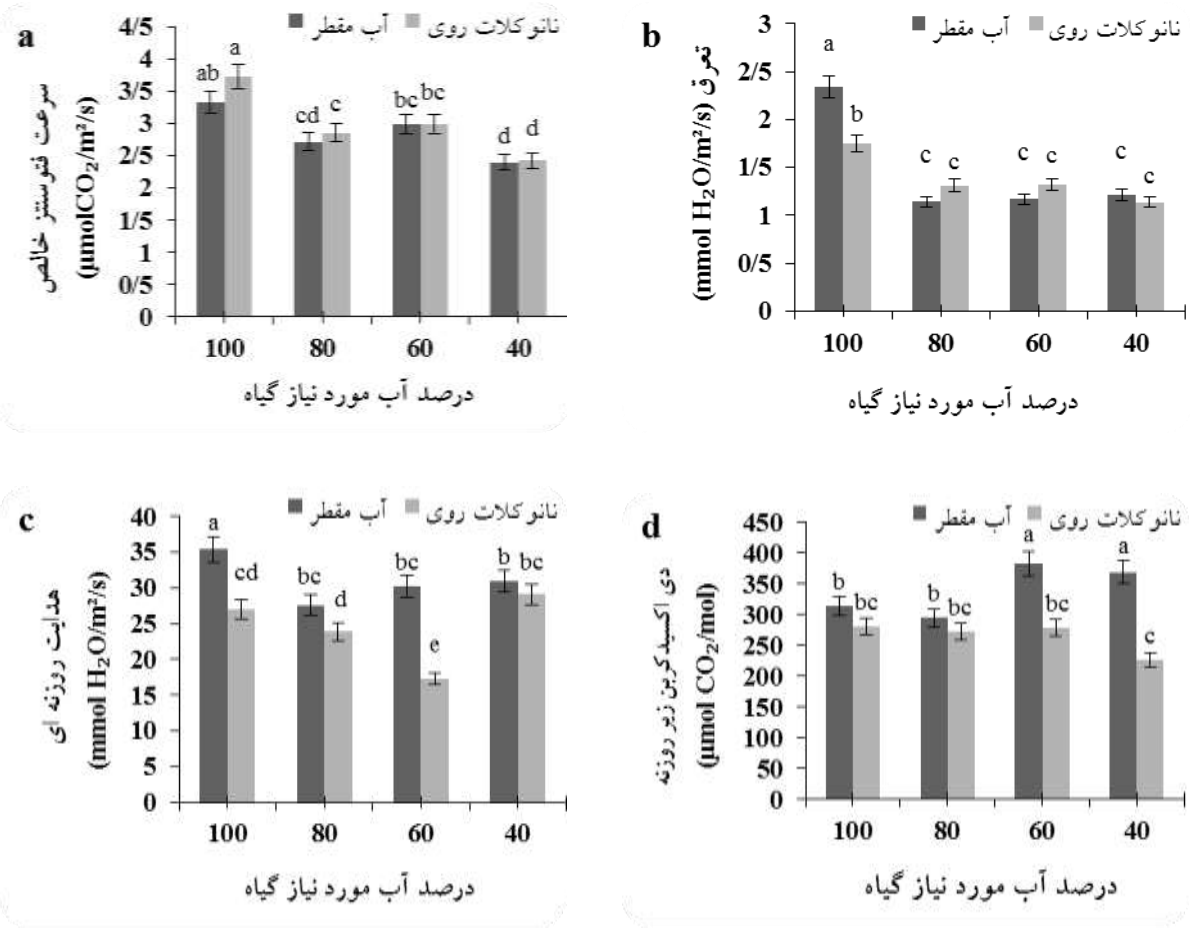
یافت. کاربرد نانوکلات روی در شرایط تنش کم‌آبیاری تأثیر معنی‌داری بر تعرق برگ سویا نداشت؛ اما در در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه تعرق برگ‌های تیمارشده با نانوکلات روی در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری کمتر بود (شکل b ۱). کاهش تعرق برگ در شرایط تنش به‌عنوان یکی از پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاه شناخته می‌شود (Flowers *et al.*, 2000) و در این آزمایش نیز چنین پاسخی در برگ‌های سویا مشاهده شد. به‌طور کلی، با اعمال تنش کم‌آبیاری هدایت روزنه¬ای در گیاه سویا کاهش یافت. در هر یک از سطوح آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ٦۰ درصد نیاز آبی گیاه، هدایت روزنه¬ای در اثر محلول‌پاشی نانوکلات روی کاهش یافت اما در شدیدترین سطح تنش کم‌آبیاری (٤۰ درصد نیاز آبی خاک) استفاده از نانوکلات روی تفاوت معنی‌داری بر هدایت روزنه‌ای نداشت (شکل c ۱).

غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای در اثر محلول‌پاشی روی در سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی خاک تفاوت معنی‌داری نداشت. اما در سطوح ٦۰ و ٤۰ درصد نیاز آبی گیاه، غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه¬ای در اثر کاربرد نانوکلات روی به‌طور معنی‌داری کاهش داشت (شکل d ۱). کاهش غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد. به اعتقاد محققان، غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی یکی از عوامل کلیدی در متابولیسم دی‌اکسید کربن برگ است و در تیمارهای دارای غلظت بالاتر کلروفیل انرژی لازم برای تثبیت دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد (Flowers *et al.*, 2000; Manavalan *et al.*, 2009). همچنین، یافته‌ها نشان داده در شرایط تنش هر چه تبادلات گازی از طریق روزنه‌ها افزایش یابد تخلیه دی‌اکسید کربن تجمع‌یافته ناشی از تنفس در اتاقک‌های زیر روزنه‌ای برگ راحت‌تر صورت می‌گیرد (Lal and Edwards, 1996). در این آزمایش به‌نظر می‌رسد که یکی از دلایل عمده کاهش غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای در تیمار نانوکلات روی در شرایط تنش، تأثیر این تیمار بر محتوای رنگیزه برگ باشد که درنتیجه آن متابولیسم کربن در مقایسه با تیمار آب‌مقطر با سهولت بیشتری صورت گرفته و به دنبال آن تجمع دی‌اکسید کربن در اتاقک زیر روزنه کاهش یافته است.

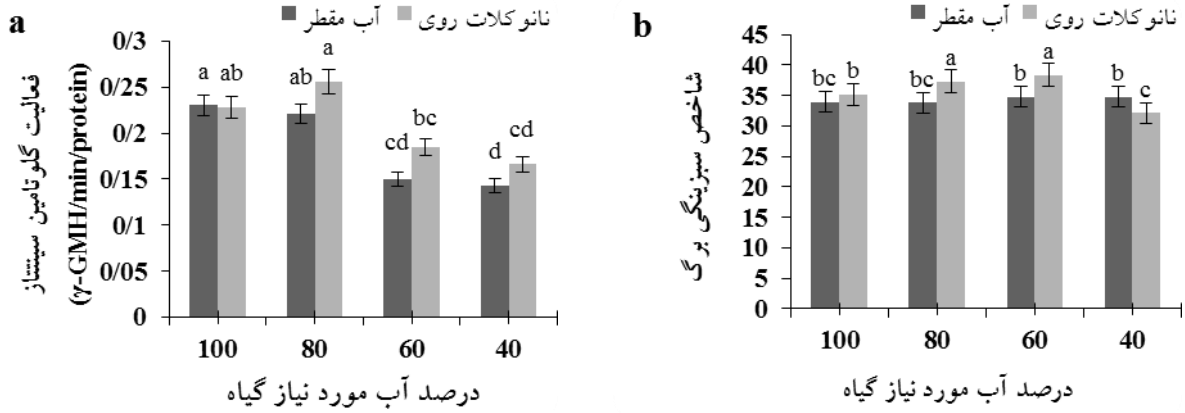
اثرات متقابل سطوح تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی نانوکلات روی بر فعالیت گلوتامین سینتتاز و شاخص سبزینگی برگ سویا معنی‌دار بود (جدول ۲). فعالیت گلوتامین سینتتاز برگ با افزایش تنش کم‌آبی و فارغ از کاربرد و یا عدم‌کاربرد نانوکلات روی به‌طور معنی‌داری کاهش نشان داد (شکل a ۲). آنزیم گلوتامین سینتتاز یک شاخص مهم در تعیین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.7.8]



شکل ۱- اثرات متقابل تیمارهای کم‌آبیاری و محلول‌پاشی نانوکلات روی بر پارامترهای تبادلات گازی برگ سویا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون دانکن ندارند. میله‌های عمودی نشان‌دهنده انحراف معیار است.



شکل ۲- اثرات متقابل تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی نانوکلات روی بر فعالیت گلوتامین سینتتاز (a) و شاخص سبزینگی برگ (b) سویا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن ندارند. میله‌های عمودی نشان-دهنده انحراف معیار است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.7.8]

مقاومت به تنش خشکی است (Nagy *et al.*, 2013). در هر یک از سطوح تنش کم‌آبیاری فعالیت گلوتامین سینتتاز با کاربرد نانوکلات روی تغییر معنی‌داری نداشت. بنابراین نتایج حاضر نشان‌دهنده عدم‌تأثیر نانوکلات روی بر این شاخص مقاومت به خشکی در برگ سویا بوده است. همچنین نتایج گزارشات نشان داد که تحت تأثیر تنش خشکی میزان آنزیم گلوتامین سینتتاز به‌طور معنی‌داری در ژنوتیپ‌های سویا (نصراصفهانی و مددکار حق‌جو، ۱۳۹٤) و گندم (Nagy *et al.*, 2013) کاهش یافته که هم‌راستا با نتایج به‌دست آمده در بررسی حاضر هستند. با افزایش سطوح تنش کم‌آبیاری، تغییر معنی‌داری در شاخص سبزینگی برگ تیمار شاهد مشاهده نشد. اما در تیمار محلول‌پاشی نانوکلات روی، شاخص سبزینگی برگ در سطوح ۸۰ و ٦۰ درصد نیاز آبی به‌طور معنی‌داری بالاتر از سایر تیمارهای مورد بررسی بود (شکل b ۲). افزایش شاخص سبزینگی برگ در تیمار محلول‌پاشی نانوکلات روی در شرایط تنش خشکی در سایر مطالعات نیز مشاهده شده است (افشانی و همکاران، ۱۳۹٤؛ کامروا و همکاران، ۱۳۹٦؛ کمائی و همکاران، ۱۳۹۷). پژوهشگران بیان داشتند که تأثیر مثبت روی در کاهش تخریب کلروفیل و افزایش ضخامت برگ در شرایط تنش در افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ اثرگذار است (جمشیدی و همکاران، ۱۳۹٦). در همین راستا عنوان شده است که عنصر روی با تأثیر مثبت بر تولید هورمون‌های رشد از جمله اکسین سبب افزایش تولید کلروفیل در برگ می‌گردد (Pandey *et al.*, 2010; Marschner, 1995). بنابراین در این آزمایش نیز به‌نظر می‌رسد که افزایش ضخامت و کاهش تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ سویا یکی از عوامل مؤثر در افزایش شاخص سبزینگی برگ تیمار محلول‌پاشی نانوکلات روی بوده است.

اثرات متقابل سطوح تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی نانوکلات روی بر صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد دانه سویا معنی‌دار بود (جدول ۳). تعداد غلاف در بوته سویا با افزایش تنش کم‌آبیاری کاهش یافت. در سطوح ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی تعداد غلاف در بوته با تیمار نانوکلات روی به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد. اما در سطوح بالاتر تنش تفاوتی از این نظر مشاهده نشد (شکل a ۳). تعداد دانه در غلاف تحت تأثیر افزایش سطوح تنش کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری کاهش نشان داد و در سطوح ٦۰ و ٤۰ درصد نیاز آبی خاک، تعداد دانه در غلاف تیمار محلول‌پاشی نانوکلات روی به‌طور معنی‌داری افزایش داشت (شکل b ۳). با افزایش تنش کم‌آبیاری وزن صد دانه سویا کاهش یافت. تنها در سطح ۸۰ درصد نیاز آبی، وزن صد دانه تیمار نانوکلات روی به‌طور معنی‌داری بالاتر بود و در سایر سطوح تفاوتی بین محلول‌پاشی و عدم‌محلول‌پاشی نانوکلات روی از این نظر وجود نداشت (شکل c ۳). تحت تأثیر افزایش تنش کم‌آبی عملکرد دانه سویا به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. تأثیر تنش کم‌آبیاری در تیمارهای محلول‌پاشی نانوکلات روی یکسان نبود به طوریکه در دو سطح ۸۰ و ٤۰ درصد نیاز آبی، عملکرد دانه تیمار محلول‌پاشی نانوکلات روی نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری بالاتر بود (شکل ۳ d). به‌طور کلی نتایج نشان داد که تأثیر تنش کم‌آبیاری بر عملکرد دانه سویا از طریق اثر منفی آن بر اجزای عملکرد همچون تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه بود. اما کاربرد نانوکلات روی با تأثیر مثبت بر اجزای عملکرد دانه سویا، عملکرد را سطوح تنش ۸۰ الی ٤۰ درصد نیاز آبی گیاه افزایش داد (شکل ۳). مشابه این یافته‌ها، نتایج سایر مطالعات نیز نشان‌دهنده اثر بازر تنش خشکی در مرحله زایشی بر عوامل مؤثر در عملکرد دانه و نقصان آن است (Sharifa and Muriefah, 2015; Karymi *et al.*, 2016). همچنین سایر مطالعات نشان داده که استفاده از ریزمغذی‌ها در تنش سبب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد می‌گردد (Thalooth *et al.*, 2006; Yadavi *et al.*, 2014) که با نتایج حاضر منطبق است.

در مطالعات انجام‌شده روی گونه‌های مختلفی مانند کلزا (افشانی و همکاران، ۱۳۹٤)، گلرنگ (رضائی‌چیانه و همکاران، ۱۳۹٦)، ماش (Thalooth *et al.*, 2006)، نخود (Shaban *et al.*, 2012) و سویا (کامروا و همکاران، ۱۳۹٦؛ نصراصفهانی و مددکار حق‌جو، ۱۳۹٤؛ Sharifa and Muriefah, 2015) نتایج

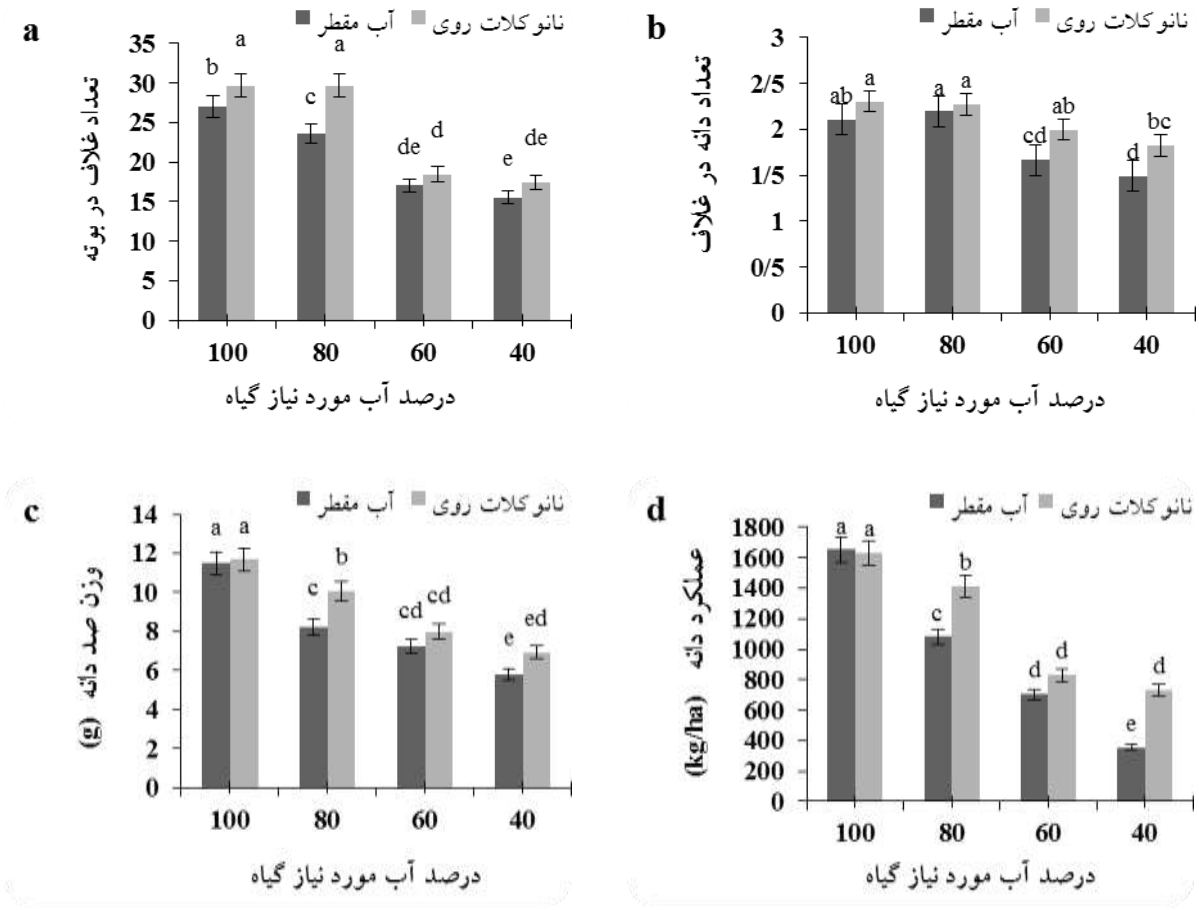
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.7.8]

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات سطوح کم‌آبیاری و محلول‌پاشی نانوکلات روی بر طول غلاف، ارتفاع بوته، عملکرد و اجزای عملکرد سویا رقم کوثر

منابع تغییر	درجه آزادی	صفات (میانگین مربعات)					
		تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن صد دانه	عملکرد دانه	درصد پروتئین دانه	عملکرد پروتئین
تکرار	۲	۱ ns	۰/۰۲۱ ns	۱/۷ ns	۲۸۹۳۹ ns	۹ ns	۱۰۰۰۹ ns
سطوح آبیاری (I)	۳	۲۱۹ **	۰/٤۸۱ **	۳۰/۲ **	۱٤٥۳۹۳٥ **	۲٥۲۹ **	۱۰۷۰٥٦۱ **
خطای کرت اصلی	٦	۸	۰/۰۲٤	۰/٦	۷۹٤۰	۱۰	۲۰۳٥
محلول‌پاشی روی (Zn)	۱	٥٤ **	۰/۳۳۱ **	٥/٦ **	۲٥۲۲۷۹ **	۳۸ ns	۳٥۱٦۸ *
I × Zn	۳	٦ *	۰/۲۲۲ *	۱/۷ *	٥۱۹۲٤ *	۱۰ *	۱٤۷۳۱ *
خطای کرت فرعی	۸	۱	۰/۰۲۱	۰/۲	۹۲٤۰	۳	۱۲۳٤
ضریب تغییرات (٪)	-	۷/۹	۸/۰	۹/۰	۱٤/۷	۷/۳	۸/٦

ns، * و ** به‌ترتیب عدم‌معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد



شکل ۳- اثرات متقابل تیمارهای آبیاری ومحلول‌پاشی نانوکلات روی بر تعدا دانه در غلاف (a)، تعداد غلاف در بوته (b)، وزن صد دانه (c) و عملکرد دانه (d) سویا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن ندارند. میله‌های عمودی نشان‌دهنده انحراف معیار است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.7.8]

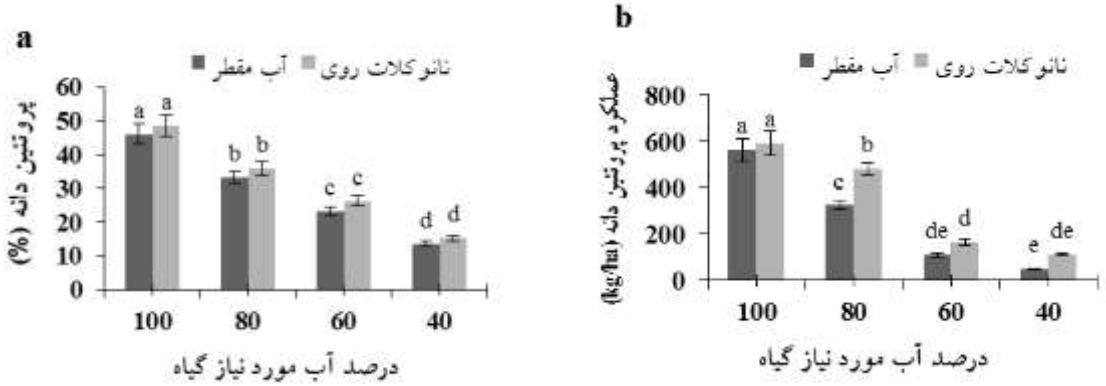
مشابهی مبنی بر کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه در شرایط تنش رطوبتی گزارش شده است. یکی از دلایل عمده کاهش تعداد غلاف در بوته ناشی از کاهش توسعه شاخه‌های جانبی در اثر افزایش بازدارنده رشد آبسیزیک اسید در شرایط تنش است (Pandey *et al.*, 2010). همچنین بررسی‌ها نشان داده که عدم‌توسعه لوله‌های گرده و کاهش دوام گل‌ها در اثر تنش خشکی سبب کاهش تعداد دانه غلاف می‌گردد (Sharifa and Muriefah, 2015). کاهش وزن دانه در شرایط تنش به کاهش مواد پرورده گیاهی در اثر کاهش فتوسنتز جاری برگ و ذخیره‌های هیدروکربنی گیاه نسبت داده شده (Lal and Edwards, 1996) و عنوان–شده که گیاه با قرارگیری در تنش خشکی برای فرار از اثرات تنش اقدام به کوتاه‌کردن زندگی خود می‌کند. بنابراین به‌دلیل کوتاهترشدن طول دوره پرشدن دانه، وزن نهایی دانه‌ها کاهش می‌یابد (افشانی و همکاران، ۱۳۹٤). به‌نظر می‌رسد در آزمایش حاضر کاهش اجزای عملکرد و عملکرد دانه با کاهش فتوسنتز جاری برگ در اثر افزایش شدت تنش منطبق باشد. بنابراین می‌توان بیان داشت که تأثیر منفی خشکی بر تولید مواد پرورده جاری در مرحله زایشی یکی از دلایل مهم در کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه سویا بوده است.

مطابق با یافته‌های Kobraee و Shamsi (۲۰۱۳)، اگر چه تنش کم‌آبیاری به‌ویژه در مرحله زایشی بر صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و عملکرد دانه گیاه سویا اثر منفی داشت. اما محلول‌پاشی نانوکلات روی سبب کاهش اثرات مخرب تنش خشکی بر خصوصیات مرتبط با عملکرد دانه سویا شد. همچنین نتایج Thalooth و همکاران (۲۰۰٦) نشان داد که کاربرد برگی ترکیب سولفات روی، رشد و عملکرد ماش را تحت تنش خشکی بهبود داد. مطالعه ارقام لوبیا توسط Yadavi و همکاران (۲۰۱٤) در شرایط تنش کم‌آبیاری نشان‌دهنده کاهش اثرات تنش خشکی در اثر کاربرد برگی روی بر عملکرد دانه بود. همچنین گزارش‌شده که با کاربرد برگی روی، عملکرد دانه و بیومس نخود افزایش یافته است (Shaban *et al.*, 2012). گزارش رضائی‌چیانه و همکاران (۱۳۹٦) نیز نشان‌دهنده اثر مثبت کاربرد نانوکلات روی بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ در شرایط تنش خشکی بود. هم‌راستا با نتایج بررسی‌های دیگر در این آزمایش نیز اثر مثبت محلول¬پاشی روی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه سویا در شرایط تنش کم‌آبیاری مشاهده شد. به اعتقاد محققان عنصر روی با فعال‌سازی آنزیم‌های ضروری تحریک تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین شده و از این طریق علاوه بر تحریک رشد شاخه‌های فرعی در شرایط تنش سبب تحریک تشکیل بذر می‌گردد. همچنین مقاومت ناشی از مصرف روی در برابر تنش کم‌آبی از طریق افزایش قدرت جذب آب توسط گیاه از عوامل مؤثر در بهبود عملکرد در شرایط تنش به‌شمار می‌آید (Pandey *et al.*, 2010; Marschner, 1995). هر چند فتوسنتز جاری برگ در تیمارهای نانوکلات روی تفاوتی با تیمار آب‌مقطر نداشت اما به نظر می‌رسد که دوام فتوسنتز برگ‌های تحت تیمار نانوکلات روی در طول دوره تنش بر فراهمی مواد پرورده گیاه جهت تأمین نیاز مقاصد فتوسنتزی فعال (دانه) تأثیر بسزایی داشته و نقش بسزایی در بهبود عملکرد دانه سویا داشته است.

اثرات متقابل سطوح تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی نانوکلات روی بر صفات درصد پروتئین دانه و عملکرد پروتئین سویا معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش شدت تنش کم‌آبیاری درصد پروتئین دانه سویا در هر دو تیمار محلول-پاشی به‌طور معنی‌داری کاهش نشان داد. اما بین تیمارهای محلول‌پاشی نانوکلات روی در هر سطح تنش از این نظر تفاوتی مشاهده نشد (شکل a ٤). نتایج افشانی و همکاران (۱۳۹٤) نیز حاکی از اثر منفی تنش بر درصد پروتئین دانه بود. در همین رابطه، محققان عنوان داشته‌اند که کاهش رطوبت خاک در طی مرحله گلدهی و دانه‌بندی، آمینواسیدهای آزاد را افزایش داده و در مقابل تولید آمینواسیدهای مورد نیاز ترکیبات پروتئینی را محدود کرده و از این طریق بر درصد پروتئین دانه اثر می‌گذارد (Labanauskas *et al.*, 1981). هر چند در گزارشات پیشین اثر مثبت کاربرد برگی روی بر درصد پروتئین دانه گزارش شده است (افشانی و همکاران، ۱۳۹٤؛

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.7.8]



شکل ٤- اثرات متقابل تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی نانو کلات روی بر درصد پروتئین دانه (a)، و عملکرد پروتئین (b) سویا. میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن ندارند. میله‌های عمودی نشان دهنده انحراف معیار است.

Shaban *et al.*, 2012; Marschner, 1995). اما در این پژوهش نانوکلات روی بر درصد پروتئین دانه اثر معنی‌داری نداشت. آنزیم گلوتامین سینتتاز به‌عنوان یک آنزیم مهم در متابولیسم نیتروژن به‌شمار می‌آید و نقش مؤثری در فراهمی این عنصر برای تولید ترکیبات نیتروژن‌دار از جمله پروتئین دارد (Nagy *et al.*, 2013). در آزمایش حاضر کاهش فعالیت آنزیم گلوتامین سینتتاز در اثر تنش کم‌آبیاری با کاهش درصد پروتئین دانه سویا منطبق بود. همچنین عدم‌تأثیر معنی‌دار نانوکلات روی در هر سطح تنش بر فعالیت این آنزیم نیز مشابه نتایج درصد پروتئین دانه بود. بنابراین می‌توان گفت که در این آزمایش عدم‌تأثیر روی بر فعالیت آنزیم گلوتامین سینتتاز یکی از دلایل عدم‌تأثیر آن بر درصد پروتئین دانه بوده است. همانند درصد پروتئین، عملکرد پروتئین دانه سویا نیز با افزایش شدت تنش کم‌آبیاری در هر دو تیمار محلول‌پاشی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و تنها در سطح تنش ۸۰ درصد نیاز آبی اثر محلول‌پاشی نانوکلات روی نسبت به آب‌مقطر بر عملکرد پروتئین دانه مثبت و معنی‌دار بود (شکل ٤ b).

نتیجه‌گیری

یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که تشدید کمبود آب سبب کاهش سرعت فتوسنتز خالص، تعرق، هدایت روزنه‌ای، فعالیت آنزیم گلوتامین سینتتاز، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه، عملکرد دانه، درصد پروتئین دانه و عملکرد پروتئین دانه سویا شد. تیمار محلول‌پاشی نانوکلات روی در شرایط تنش سبب کاهش مقاومت روزنه‌ای و غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای برگ شد و در مقابل شاخص سبزینگی برگ، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و عملکرد دانه سویا را در مقایسه با تیمار آب‌مقطر افزایش داد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، اگر چه بیشترین عملکرد دانه در شرایط عدم‌تنش رطوبتی و عدم‌محلول‌پاشی روی به‌دست آمد اما به‌نظر می‌رسد که استفاده از نانوکلات روی در سطوح ۸۰ الی ٤۰ درصد نیاز آبی سویا در شرایط اقلیمی خرم آباد به‌منظور بهبود تولید قابل توصیه باشد.

منابع

افشانی، س.، امیرنیا، ر. و هادی، ه. (۱۳۹٤) بررسی اثر محلول‌پاشی آهن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزای پاییزه (*Brassica napus* L.) در شرایط کم‌آبیاری. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۱۳: ۵۲-٤۳.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.7.8]

جمشیدی، پ.، برادران فیروزآبادی، م.، علومی، ح. و نقوی، ه. (۱۳۹٦) بررسی محلول‌پاشی کود روی و کلسیم بر عملکرد و صفات فیزیولوژیکی گلرنگ تحت تنش سرب. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۱۵: ۳۷۹-۳٦۸.

رضائی‌چیانه، ا.، خرم‌دل، س.، مولودی، آ. و رحیمی، ا. (۱۳۹٦) اثر کود نانوکلات روی و تلقیح با قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک گلرنگ (*Carthamus tinctirius* L.) در شرایط تنش خشکی. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۱۵: ۱۸٤-۱٦۸.

کامروا، س.، بابائیان جلودار، ن. ع. و باقری، ن. ع. (۱۳۹٦) تأثیر تنش خشکی بر صفات کلروفیل و پرولین در ژنوتیپ‌های مختلف سویا (*Glycine max*). پژوهش‌نامه اصلاح گیاهان زراعی ۹: ۱۰٤-۹۵.

کمائی، ح.، عیسوند، ح. ر. و نظریان، ف. (۱۳۹۷) اثرات تاریخ کاشت، کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی عناصر روی و بور بر صفات فیزیولوژیک و زراعی گندم نان (رقم افلاک). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۱٦: ۱۷۹-۱٦۵.

نصراصفهانی، م. و مددکار حق‌جو، م. (۱۳۹٤) پاسخ گیاه سویا (*Glycine max*) به تنش خشکی در رابطه با شاخص‌های رشد و برخی آنزیم‌های کلیدی متابولیسم کربن و نیتروژن. زیست‌شناسی گیاهی ایران ۷: ۸۹-۷۷.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998) Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Kobraee, S. and Shamsi, K. (2013) Impact of micronutrients foliar application on soybean yield and its components under water deficit condition. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences 3: 39-45.

Berteli, F., Corrales, E., Guerrero, C., Ariza, M. J., Pliego, F. and Valpuesta, V. (1995) Salt stress increases ferredoxin-dependent glutamate synthase activity and protein level in the leaves of tomato. Physiology Plant 93: 259-264.

Bertolli, S. C., Rapchan, G. L. and Souza, G. M. (2012) Photosynthetic limitations caused by different rates of water-deficit induction in *Glycine max* and *Vigna unguiculata*. Photosynthetica 50: 329-336.

Dimkpa, C. O., Bindraban, P. S., Fugice, J., Agyin-Birikorang, S., Singh, U. and Hellums, D. (2017) Composite micronutrient nanoparticles and salts decrease drought stress in soybean. Agronomy for Sustainable Development 37: 5-9.

FAO. (2009) FAO Land and plant nutrition management service. Available online at: http://www.fao.org/. Accessed 12 Jan 2017.

Flowers, T. J., Troke, P. F. and Yeo, A. R. (2000) The mechanism of salt tolerance in halophytes Annual Journal of Plant Physiology 28: 89-121.

Garcia-Gomez, C ., Obrador, A., Gonzalez, D., Babin, M. and Fernandez, M. D. (2017) Comparative effect of ZnO NPs, ZnO bulk and ZnSO4 in the antioxidant defenses of two plant species growing in two agricultural soils under greenhouse conditions. Science of the Total Environment 589: 11-24.

Ghasemi-Golezani, K., Bakhshi, J. and Dalil, B. (2015) Rate and duration of seed filling and yield of soybean affected by water and radiation deficits. Acta Agriculturae Slovenica 105: 225-232.

Karymi, S., Modarres sanavy, S. A. M., Ghanehpoor, S. and Keshavarz, H. (2016) Effect of foliar zinc application on yield, physiological traits and seed vigor of two soybean cultivars under water deficit. Notulae Scientia Biologicae 8: 181-191.

Khodakovskaya, M. V., De Silva, K., Biris, A. S., Dervishi, E. and Villagarcia, H. (2012) Carbon nanotubes induce growth enhancement of tobacco cells. ACS Nano 6: 2128-2135

Labanauskas, C. K., Shouse, P., Stolzy, L. H. and Handy, M. F. (1981) Protein and free amino acids in field-grown cowpea seeds as affected by water stress at various growth stages. Plant Soil 63: 355-368.

Lal, A. and Edwards, G. E. (1996) Analysis of inhibition of photosynthesis under water stress in the C_4 species *Amaranthus cruentus* and *Zea mays*: electron transport, CO_2 fixation and carboxylation capacity. Australian Journal of Plant Physiology 23: 403-410.

Liu, M. and Li, D. (2010) An analysis on total factor productivity and influencing factors of soybean in China. Journal of Agricultural Science 2: 158-167.

Manavalan, L. P., Guttikonda,S. K., Phan Tran, L. S. and Nguyen, H. T. (2009) Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. Plant and Cell Physiology 50: 1260-1276.

Marschner, H. (1995) Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd Ed. Academic Press, New York.

Mousavi, S. R., Galavi, M. and Ahmadvand, G. (2007) Effect of Zinc and manganese foliar application on yield, quality and enrichment on potato. Asian Journal of Plant Sciences 6: 1256-1260.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.7.8]

Nagy, Z., Nemeth, E., Guoth, A., Bona, L., Wodala, B. and Pecsvaradi, A. (2013) Metabolic indicators of drought stress tolerance in wheat: glutamine synthetase isoenzymes and rubisco. Plant Physiology and Biochemistry 67: 48-54.

Shaban, M., Lak, M. and Hamidvand, Y. (2012) Response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars to integrated application of zinc nutrient with water stress. International Journal of Agricultural Crop Science 4: 1074-1082.

Sharifa, S. and Muriefah, A. (2015) Effects of paclobutrazol on growth and physiological attributes of soybean (*Glycine max*) plants grown under water stress conditions. International Journal of Advanced Research in Biological Sciences 2: 81-93.

Pandey, A. C., Sanjay, S. S. and Yadav, R. S. (2010) Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum* L. Journal of Experience Nano Science 5: 488-497.

Thalooth, A. T., Tawfik, M. M. and Magda, M. H. (2006) Comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions. World Journal of Agricultural Sciences 2: 37-46.

Yadavi, A., Aboueshaghi, R. S., Dehnavi, M. M. and Balouchi, H. (2014) Effect of micronutrients foliar application on grain qualitative characteristics and some physiological traits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress. Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences 4: 124-131.

Yassen, A., Abou El-Nour, E. and Shedeed, S. (2010) Response of wheat to foliar spray with urea and micronutrients. Journal of American Science 6: 14-22.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.7.8]

Effects of Zn nano-chelate foliar application on some physiological traits and grain yield of soybean under water deficit stress

Sima Joorabi[1], Hamid Reza Eisvand[1*], Ahmad Ismaili[1], Ali Heidar Nasrolahi[2]

[1] Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University
[2] Dept. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University
(Received: 29/07/2018, Accepted: 12/01/2019)

Abstract

In order to the investigate Zn nano-chelate foliar application effects on photosynthetic parameters, glutamine synthetase, protein, grain yield and yield components of soybean under water deficit, a split-plot experiment was conducted as a randomized complete block design with three replications at Research Farm, Faculty of Agriculture, University of Lorestan, in 2016. The treatments consisted of different irrigation regimes (100, 80, 60 and 40% of plant water requirement) in the main plots and zinc nano-chelate foliar application (Control or distilled water and zinc as zinc nano-chelate containing 20% zinc absorbable ion) in the subplots. The results showed that by decreasing water requirement, some traits such as photosynthesis, transpiration, stomatal conductance, glutamine synthetase, the number of pods per plant, the number of grain per pod, 100-grain weight, grain yield, protein percentage of grain and protein yield decreased as well. In contrast, internal CO_2 concentration (Ci) and SPAD value increased in stress condition. In normal condition, zinc nano-chelate treatment no effects on SPAD value, the number of seed per pod, 100-seed weight, seed and protein yield. In water deficit conditions, zinc nano-chelate foliar application increased the mentioned traits by 4.2, 13.8, 17.3, 45.7 and 39.3 percent, respectively. In addition, in water deficient, zinc nano-chelate decreased Ci and stomatal conductance of leaves. In general, zinc nano-chelate application mitigated effects of water deficit and it was positive for improving soybean yield. Therefore, its application may improve tolerance of soybean.

Keywords: Chlorophyll index, Drought stress, Number of seed per pod, Reproductive phase, 100-Seed weight.

Corresponding author, Email: eisvand.hr@lu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.7.8]