تأثیر میکوریزا و نانو ذرات آهن و سیلیکون بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی چاودار در شرایط قطع آبیاری

فاطمه بصیری راد[۱]. رئوف سیدشریفی[۲*]، خوشناز پاینده [۳] و سارا محمدی کله سرلو[۴]

۱، ۲ و ۴) گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه محقق اردبیلی. اردبیل، ایران.
۳) گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

نویسنده مسئول[*]: raouf_ssharifi@yahoo.com

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد می‌باشد.

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۰۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۵

چکیده

محدودیت آبی یکی از مهمترین تنش‌های غیر زیستی است که می‌تواند رشد و عملکرد چاودار (*Secale cereal* L.) را کاهش دهد. راه‌کارهای متعددی به‌منظور بهبود عملکرد چاودار تحت شرایط محدودیت آبی پیشنهاد شده‌اند که در میان آن‌ها کاربرد میکوریزا و نانوذرات آهن و سیلیکون، نقش مهمی را در بهبود عملکرد این گیاه ایفا می‌کند. در این رابطه به‌منظور بررسی تأثیر میکوریزا و نانوذرات آهن و سیلیکون بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی چاودار در شرایط قطع آبیاری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مراحل سنبله‌دهی و آبستنی (چکمه‌ای شدن)، کاربرد میکوریزا در دو سطح (بدون کاربرد به‌عنوان شاهد و کاربرد میکوریزا)، محلول‌پاشی نانواکسیدآهن و سیلیکون در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی نانواکسید آهن، نانوسیلیکون، کاربرد توام نانواکسیدآهن و سیلیکون) بود. نتایج نشان داد که قطع آبیاری، هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب را در همه مراحل نمونه‌برداری کاهش داد ولی، کاربرد نانوذرات و میکوریزا قادر بودند بخشی از این کاهش را جبران نمایند. همچنین کاربرد توام نانوذرات و میکوریزا در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، محتوای مالون‌دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن (به‌ترتیب ۵۸/۸۷ و ۳۶/۰۴ درصد) را نسبت به عدم کاربرد نانوذرات و میکوریزا در همان سطح از آبیاری، کاهش داد ولی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پلی‌فنل‌اکسیداز و پراکسیداز (به‌ترتیب ۳۴/۶۷، ۳۲/۱۴، ۳۲/۱۸ درصد)، محتوای پرولین و قندهای محلول (به‌ترتیب ۳۸/۰۱ و۲۸/۳۳ درصد) را در مقایسه با عدم کاربرد میکوریزا و نانوسیلیکون و آهن در همان سطح آبیاری افزایش داد. بیشترین عملکرد دانه (۲/۷۶ گرم در بوته) در کاربرد توام نانوذرات و میکوریزا در شرایط آبیاری کامل بدست آمد که در مقایسه با عدم کاربرد میکوریزا و نانوذرات در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، عملکرد دانه را ۴۵/۲ درصد افزایش داد. بر اساس نتایج این بررسی، می‌توان پیشنهاد نمود که در شرایط قطع آبیاری، کاربرد نانوذرات و میکوریزا می‌تواند با بهبود صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی، عملکرد دانه چاودار را افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: پراکسید هیدروژن، پرولین، قندهای محلول و هدایت روزنه‌ای.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

مقدمه

چاودار با نام علمی (*Secale cereal* L.) از غلات مهم و متحمل به خشکی است (Schlegel, 2014). این گیاه با دارا بودن مقادیر بالایی از فیبر و مواد معدنی، روی، آهن، فسفر، بتاگلوکان و نشاسته، از تاثیر مثبتی در تغذیه انسان برخوردار است (Anderson *et al*, 2009). خشکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که با ایجاد تغییرات اگروفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان در نواحی خشک و نیمه خشک، رشد و عملکرد گیاهان زراعی را به شدت تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (Das and Roychoudhury, 2014). از مهم‌ترین تغییرات بیوشیمیایی گیاهان در معرض محدودیت آبی، تولید گونه-های فعال اکسیژن است. رادیکال‌های آزاد اکسیژن، با تحت‌تأثیر قراردادن پیوندهای دوگانه اسیدهای چرب غیراشباع در غشا و واکنش‌های زنجیره‌ای پراکسیداسیون، منجر به تخریب اسیدهای چرب می‌شود (Heshmati *et al*, 2016). یکی از راه‌کارهای مناسب جهت بهبود عملکرد و تخفیف اثر ناشی از محدودیت آبی در گیاهان زراعی، استفاده از قارچ‌های میکوریزا است (سیدشریفی و نامور ۱۳۹۴). همزیستی با این قارچ، کارایی گیاه میزبان را از لحاظ تغذیه‌ای بهبود بخشیده و مقاومت به تنش‌های غیرزیستی از جمله خشکی را، افزایش می‌دهد (Ruiz-Lozano *et al*, 2011). TalaatوShawky (2014) بیان کردند که کاربرد میکوریزا تحت شرایط تنش، با افزایش محتوای نسبی آب، محتوای پرولین و قندهای محلول و کاهش محتوای پراکسید هیدروژن، منجر به بهبود هدایت روزنه‌ای، عملکرد کوانتومی و عملکرد دانه گندم شد. Kheirizadeh Arougha و همکاران (2016) افزایش محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ایی و عملکرد کوانتومی برگ پرچم تریتیکاله را با کاربرد میکوریزا و نانواکسید روی گزارش کردند. نظری و همکاران (۱۴۰۰) اظهار داشتند همزیستی قارچ میکوریزا با تریتیکاله ضمن کمک به جذب آب و مواد غذایی، موجب بهبود صفات بیوشیمیایی این گیاه از جمله اسمولیت-های سازگار، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و افزایش عملکرد دانه می‌شود. عبادی و همکاران (۱۳۹۸) گزارش کردند که کاربرد میکوریزا با کاهش هدایت الکتریکی و افزایش محتوای نسبی آب، موجب افزایش عملکرد دانه جو شد. سیلیسیوم یکی از فراوان‌ترین عناصر موجود در پوسته زمین است که اثر مفید آن بر رشد گیاهان در طیف وسیعی از گونه‌های گیاهی گزارش شده است (Rastogi *et al*, 2019). این عنصر از طریق بهبود استحکام مکانیکی گیاه و افزایش مقاومت در برابر انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی، در بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی موثر است (Yan *et al*., 2018). همچنین از طریق تشکیل لایه ضخیم در زیر اپیدرم برگ در گیاهان تحت تنش خشکی، محتوای نسبی آب را افزایش داده و از طریق بهبود هدایت روزنه‌ای و فعال کردن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، در افزایش مقاومت گیاه به خشکی و شوری و بهبود عملکرد، نقش مهمی را ایفا می‌کند (Mitani *et al*, 2009; Luyckx *et al*., 2017; Saud *et al*, 2014). برخی محققان افزایش عملکرد دانه برنج در شرایط تنش با کاربرد نانوسیلیکون را، به افزایش فعالیت فتوسنتزی، بهبود وضعیت آبی گیاه، وافزایش

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، نسبت دادند (کیانی چلمرادی و همکاران، ۱۳۹۱). آهن یکی دیگر از عناصر ضروری و موثر در رشد و عملکرد غلات است و محدودیت آبی با کاهش تحرک این عنصر در خاک، موجب می‌شود که گیاهان به‌طور فزاینده‌ای با کمبود این عنصر مواجه شوند. در این راستا کاربرد آهن به شکل نانو ذرات به‌دلیل سرعت جذب، انتقال و تجمع بیشتر این ذرات در مقایسه با فرم معمولی، یک راه‌کار موثر برای اصلاح کمبود آهن و بهبود عملکرد گیاهان به خصوص در شرایط تنش است (Kreslavski *et al*., 2023; Ma *et al*, 2017; Monica and Cremonini, 2009). نریمانی و همکاران (۱۳۹۹) اظهار داشتند که محلول‌پاشی نانواکسید آهن موجب بهبود فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، محتوای قندهای محلول و عملکرد گندم در شرایط محدودیت آبی شد. نتایج مشابهی نیز مبنی بر کاهش هدایت الکتریکی و افزایش محتوای نسبی آب و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی در تریتیکاله تحت شرایط تنش با کاربرد نانواکسید آهن و سیلیکون گزارش شده است (Aghaei *et al*., 2024). صدمات ناشی از محدودیت آبی در بیشتر مناطق خشک و نیمه خشک از مهم‌ترین عوامل موثر در کاهش عملکرد چاودار محسوب می‌شود. در این راستا به‌دلیل اهمیت میکوریزا و نانواکسید آهن و سیلیکون در تعدیل بخشی از اثرات ناشی از محدودیت آبی و بررسی‌های محدود انجام شده در خصوص برهمکنش توام این عوامل، موجب شد تا اثر این عوامل بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی چاودار در شرایط محدودیت آبی مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد وروش ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مراحل سنبله‌دهی و آبستنی (چکمه‌ای شدن) تا پایان دوره رشد گیاه، کاربرد کود زیستی میکوریزا در دو سطح (عدم کاربرد به‌عنوان شاهد و کاربرد میکوریزا)، محلول‌پاشی نانواکسیدآهن و سیلیکون در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانواکسیدآهن، ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون، کاربرد توام نانواکسیدآهن و سیلیکون) بود. محلول‌پاشی نانواکسید سیلیکون و آهن در مراحل پنجه‌دهی و ساقه‌دهی به‌ترتیب معادل با کد ۲۱ و ۳۰ از مقیاس BBCH اعمال شد. نانواکسید آهن از موسسه تجهیزات آزمایشگاهی و شیمیایی جهان کیمیای ارومیه و نانوسیلیکون (SiO_2-Nano) محصول شرکت Nanomaterial US Research بود کـــه از شـــرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه گردید و مشخصات آنها در جدول ۱ آورده شده است.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

جدول ۱: مشخصات نانواکسید آهن و نانوسیلیکون

نوع نانوذرات	خلوص (درصد)	میانگین اندازه ذرات (نانومتر)	سطح ویژه ذرات	رنگ
نانواکسید آهن	۹۹	۳۰<	$m^2.g^{-1}$۳۰>	پودری قرمز آجری
نانوسیلیکون	۹۹	۳۰-۲۰	$m^2.g^{-1}$۳۰>	پودری سفید

از چاودار رقم محلی اردبیل با تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع (۵۰ بذر در هرگلدان) که تراکم مطلوب و توصیه شده برای این رقم است، استفاده شد. کاشت در گلدان‌هایی با قطر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر انجام شد. خاک داخل هر گلدان حدود ۱۵ کیلوگرم بود. نتایج حاصل از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

جدول۲: مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان‌های آزمایشی

مشخصه	pH	هدایت الکتریکی خاک	بافت خاک	عصاره اشباع	رس	سیلت	شن	کربن آلی	نیتروژن	روی	فسفر	پتاسیم
مقادیر	۷/۸	دسی زیمنس بر متر	سیلتی	درصد						میلی گرم بر کیلوگرم		
		۱/۳۸		۴۷	۱۹/۵	۴۲	۳۸/۵	۰/۷۲	۰/۰۴	۱/۰۲	۲۷/۳	۲۵۵

اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی و براساس سطوح مشخص شده در آزمایش انجام شد. در طول دوره رشد، کنترل علف‌های هرز به طریقه دستی انجام شد. گلدان‌ها در شرایط گلخانه-ای در دمای ۲۴ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد با طول دوره روشنایی ۱۶-۱۵ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) نگهداری شدند. روند تغییرات هدایت الکتریکی و روزنه‌ایی برگ پرچم از ۸۲ روز بعد از کاشت (دو هفته بعد از قطع آبیاری در مرحله سنبله دهی معادل BBCH۵۹) شروع و تا ۱۰۶ روز پس از کاشت (اوایل مرحله شیری شدن یا BBCH۷۳) اندازه‌گیری شد. در هر مرحله از مراحل نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، نمونه‌های برگ پرچم در بشرهای محتوی ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفته و سپس توسط دستگاه EC متر (مدل Mi 180 Bench Meter) اندازه‌گیری شد. هدایت روزنه‌ای برگ پرچم نیز توسط دستگاه پرومتر (Porometer AP4, Delta-T Devices ltd., Cambridge, UK) اندازه‌گیری شد (سیدشریفی و قلی‌نژاد ۱۴۰۰). برای اندازه‌گیری روند تغییرات درصد محتوای نسبی آب برگ پرچم همانند روند هدایت الکتریکی، از هر گلدان دو برگ پرچم توسعه یافته به‌طور تصادفی انتخاب و بعد از قرار دادن در فویل‌های آلومینیومی، داخل کیسه‌های پلاستیکی و روی یخ قرار داده و خیلی سریع به آزمایشگاه منتقل و با استفاده از رابطه ۱ مقدار آن محاسبه شد.(Kostopoulou *et al*., 2010)

رابطه ۱: $$RWC = (F_W - D_W)/ (T_W - D_W) \times 100$$

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

در این رابطه RWC محتوای نسبی آب، Fw وزن تر، Tw وزن آماس یافته و Dw وزن خشک است.

دو هفته بعد از قطع آبیاری در مرحله خوشه‌دهی، نسبت به اندازه‌گیری برخی صفات اقدام شد. در این راستا برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنول‌اکسیداز)، ابتدا ۰/۲ گرم نمونه تر برگ پرچم در هاون چینی در مجاورت نیتروژن مایع پودر شد و با یک میلی‌لیتر بافر تریس-کلریدریک ۰/۰۵ مولار با pH=۷/۵ هموژن گردید. همگنای حاصل را به مدت۲۰ دقیقه با سرعت۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ کرده و محلول شناور رویی برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنول‌اکسیداز برگ پرچم مورد استفاده قرار گرفت (Sudhakar *et al*. 2001). برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز برگ پرچم، ۲/۵ میلی‌لیتر بافر تریس (۵۰ میلی‌مولار، pH=۷) و ۰/۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه (پنج میلی‌مولار) تهیه شده و سپس ۶۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی در حمام یخ به آن اضافه شد و میزان جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر قرائت شد. برای مقایسه فعالیت آنزیم نیز یک نمونه به‌عنوان شاهد (BLANK) استفاده شد که در این نمونه به جای ۶۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی از بافر تریس-کلریدریک ۰/۰۵ مولار استفاده شد. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به ۲/۵ میلی‌لیتر محلول واکنش شامل تریس-کلریدریک ۱۰۰ میلی‌مولار، آب اکسیژنه پنج میلی‌مولار و پیروگالل ۱۰ میلی‌مولار در حمام یخ اضافه شد و میزان تغییرات جذب در طول موج ۴۲۵ نانومتر قرائت شد. برای مقایسه فعالیت آنزیم نیز یک نمونه به‌عنوان شاهد (BLANK) استفاده شد که در این نمونه به جای ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی از بافر تریس-کلریدریک ۰/۰۵ مولار استفاده شد. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز برگ پرچم، محلول واکنش شامل ۱/۵ میلی‌لیتر بافر تریس (۵۰ میلی‌مولار، pH=۷) و ۰/۳ میلی‌لیتر پیروگالل (پنج میلی‌مولار) تهیه شده و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به آن اضافه نموده و سپس محلول حاصل در حمام بن‌ماری به مدت پنج دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. میزان جذب در طول موج ۴۲۰ نانومتر قرائت شد. برای مقایسه فعالیت آنزیم نیز یک نمونه به‌عنوان شاهد (BLANK) استفاده شد که در این نمونه به جای ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی از بافر تریس-کلریدریک ۰/۰۵ مولار استفاده شد. اندازه‌گیری محتوای پرولین برگ پرچم با استفاده از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) صورت گرفت، به این صورت که مقدار یک گرم از بافت برگ پرچم در ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالسیلک اسید سه درصد سائیده و محلول حاصل از کاغذ صافی عبور داده شد و با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس به دو میلی‌لیتر از عصاره حاصل، دو میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین که ۱/۲۵ گرم پودر اسید نین‌هیدرین را در۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال حل نموده و سپس دو میلی‌لیتر اسید فسفریک شش مولار با آن اضافه کرده و سپس دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال خالص اضافه گردید. لوله‌ها به مدت یک ساعت در حمام آب گرم قرار داده شد و سپس

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

چهار میلی‌لیتر تولوئن به هر یک از لوله‌ها اضافه و به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه توسط دستگاه ورتکس خوب به‌هم زده شد. پس از تشکیل دو فاز جداگانه، فاز رنگی بالایی با دقت جدا و جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل یو وی ۲۱۰۰ ساخت یونیکو آمریکا) با طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. محتوای پرولین بر حسب میکروگرم بر گرم بافت تازه برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد. محتوای قندهای محلول برگ پرچم به روش Dubios و همکاران (۱۹۵۶) انجام شد. مقدار ۰/۲ گرم از نمونه‌های برگ پرچم را با دو میلی‌لیتر بافر سدیم فسفات (pH=۷) ساییده و با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شدند. از محلول رویی ۱۰ میکرولیتر برداشته و به آن ۹۹۰ میکرولیتر آب مقطر اضافه شد. به ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول حاصل، ۰/۵ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد (محلول آبی) و ۲/۵ میلی-لیتر اسید سولفوریک (۹۸ درصد) افزوده شد. پس از تثبیت رنگ به مدت ۱۵-۱۰ دقیقه در دمای ۳۰-۲۷ درجه سانتی-گراد قرار گرفت و جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۹۰ نانومتر قرائت شد. برای اندازه‌گیری محتوای آنتوسیانین برگ پرچم، مقدار ۰/۰۵ گرم بافت برگ پرچم با چهار سی‌سی اسید کلریدریک یک درصد متانول در یک هاون چینی ساییده شد. محلول حاصل به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شد و سپس، محلول به مدت ۱۰ دقیقه و در ۴۰۰۰ دور سانتریفیوژ شد. پس از برداشتن فاز رویی، جذب محلول‌ها در طول موج ۵۳۰ و ۶۵۷ نانومتر نسبت به شاهد اندازه‌گیری شد و با استفاده از روش Wagner (۱۹۷۹) محاسبه شد. به‌منظور اندازه‌گیری محتوای پراکسید هیدروژن برگ پرچم یک گرم نمونه برگ پرچم، خرد کرده درون فالکن‌های ۱۵ میلی‌لیتری ریخته و به آن پنج میلی‌لیتر محلول اسید تری‌کلرواستیک یک درصد اضافه گردید. نمونه هموژنیزه شده با سرعت ۹۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول رویی به میکروتیوپ‌های دو میلی‌لیتری منتقل شده و به آن‌ها ۰/۵ میلی‌لیتر محلول بافرفسفات پتاسیم ۱۰ میلی‌مولار (pH=۷) و یک میلی‌لیتر محلول یک مولار یدید پتاسیم اضافه گردید. میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۳۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Alexieva *et al*. 2001). محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ پرچم بر اساس روش Stewart و Beweley (۱۹۸۰) اندازه‌گیری شد. در حدود ۰/۵ گرم از برگ پرچم گندم در ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۱ درصد تری‌کلرواستیک اسید همگن و به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. دو میلی‌لیتر از محلول روشناور حاصل با چهارمیلی‌لیتر از محلول ۲۰ درصد تری‌کلرواستیک اسید محتوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید مخلوط شد. کمپلکس حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری و سپس به حمام آب سرد منتقل گردید. نمونه‌ها دوباره۱۰ دقیقه در۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۳۲ و۶۰۰ نانومتر ثبت شد. در زمان رسیدگی تعداد هشت بوته به ظاهر مشابه در هر گلدان برداشت و میانگین داده‌های حاصل از آنها، به‌عنوان ارزش این صفت در تجزیه داده‌ها به‌کار گرفته شد. برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

SAS (نسخه۹/۱) استفاده شد. میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

هدایت الکتریکی

برهم‌کنش توأم نانو ذرات و میکوریزا در شرایط قطع آبیاری بر هدایت الکتریکی برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه-برداری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). با گذشت زمان هدایت الکتریکی برگ پرچم از روند صعودی برخوردار بود ولی میزان این افزایش در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی و عدم کاربرد نانوذرات و میکوریزا بیشتر از آبیاری کامل با کاربرد میکوریزا و نانوذرات بود. طوری‌که در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کاربرد توام نانوذرات با میکوریزا از کاهش ۵۷/۳ درصدی نسبت به شرایط عدم کاربرد نانوذرات و میکوریزا در همین سطح از محدودیت آبی در ۱۰۶ روز پس از کاشت برخوردار بود (جدول ۴).

جدول ۳: تجزیه واریانس اثر نانواکسید آهن و سیلیکون، میکوریزا و سطوح آبیاری بر هدایت الکتریکی برگ پرچم چاودار درمراحل مختلف نمونه برداری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		مراحل مختلف نمونه برداری (روزهای پس از کاشت)						
		۸۲	۸۶	۹۰	۹۴	۹۸	۱۰۲	۱۰۶
تکرار	۲	۲۶۶۴/۶۶**	۴۳۱۱/۴۴**	۵۰۹۸/۱۹**	۸۱۳۹/۷۶**	۱۱۵۷۱/۹۹**	۱۵۰۸۷/۱۹**	۲۱۸۶۸/۴۵**
قطع آبیاری (I)	۲	۲۸۱/۳۹**	۵۷/۴۳**	۸۵/۰۷**	۲۳۰۸/۵۷**	۲۸۸۶/۳۴**	۲۴۴۹/۰۹**	۱۰۱۷۹/۸۲**
محلولپاشی برگی(F)	۳	۵۳۰/۹۲**	۹۵/۲۲**	۲۳۳/۰۴**	۳۰۶۰/۶۰**	۳۷۱۴/۲۵**	۱۶۹۲/۴۱**	۱۱۴۹۰/۲۴**
کود زیستی (B)	۱	۴۵۳/۷۵**	۱۸/۵۲**	۹۶/۱۳**	۵۱۰/۹۳**	۳۰۲۲/۷۶**	۱۴۹۸/۷۸**	۴۷۶۱/۷۴**
I×F	۶	۲۱/۲۰**	۶/۴۶**	۹/۴۱**	۱۲۶/۵**	۱۳۲/۳۵**	۴۳/۳۶**	۵۴۷/۵۴**
I×B	۲	۱/۰۵ns	۱/۸۸**	۰/۵۱ns	۱۲/۸۸*	۹۷/۶۹**	۱۳۰/۲۵**	۲۳۴/۱۷**
B×F	۳	۱۹/۶۲**	۳/۲۷**	۸/۸۱**	۲۷/۹۷**	۱۹۷/۷۱ns	۳۴/۷۴*	۴۷۲/۴۱**
I×B×F	۶	۱۸/۹۵**	۱/۸۵**	۲/۰۳**	۴۲/۵۱**	۷۴/۹۹**	۳۵/۰۶**	۲۰۷/۰۲**
B×F در I_1	۷	۷۷/۷**	۸/۱۳**	۲۳/۶**	۶۴۳۴**	۱۱۵۱۵**	۲۳۰/۳۹**	۱۲۵۴**
B×F در I_2	۷	۱۴۵/۶۱**	۲۰/۸**	۴۷/۵**	۶۳۷/۷**	۷۲۱/۲۴**	۴۱۲/۸**	۲۰۴۱/۱**
B×F در I_3	۷	۱۱۲/۱**	۲۳/۵۱**	۵۶/۲۳**	۴۷۲/۸**	۱۰۷۷/۶**	۴۱۵/۴**	۲۳۲۵/۱۸**
خطا	۴۶	۱/۸۱	۰/۳۴	۰/۶۰	۹/۱۷	۱۲/۸۶	۷/۱۶	۳۷/۹۶

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر نانواکسید آهن و سیلیکون، میکوریزا و سطوح آبیاری بر هدایت الکتریکی برگ پرچم چاودار در مراحل مختلف نمونه برداری

ترکیب تیماری		مراحل مختلف نمونه برداری(روزهای پس از کاشت) هدایت الکتریکی ($\mu S\ m^{-1}$)					
		۸۲	۸۶	۹۰	۹۴	۹۸	۱۰۲	۱۰۶
	$F_1 \times B_1$	۶۵/۳۹$^{de(a)}$	۶۹/۳۸$^{d(a)}$	۷۷/۲۰$^{e(a)}$	۱۰۵/۵۵$^{bc(a)}$	۱۲۸/۶۷$^{ef(a)}$	۱۳۲/۲۰$^{fg(a)}$	۱۶۷/۵۲$^{fe(a)}$
I_1	$F_1 \times B_2$	۵۸/۵۷$^{ij(c)}$	۶۷/۲۸$^{fe(b)}$	۷۱/۷۹$^{jhi(c)}$	۹۱/۷۳$^{fg(b)}$	۱۰۱/۸۶$^{mln(c)}$	۱۲۲/۶۰$^{jik(b)}$	۱۵۳/۶۵$^{hg(b)}$
	$F_2 \times B_1$	۶۰/۸۱$^{hg(b)}$	۶۶/۴۳$^{fg(c)}$	۷۳/۵۰$^{gf(b)}$	۸۶/۷۵$^{hg(c)}$	۱۱۳/۳۱$^{ij(b)}$	۱۲۲/۱۰$^{jk(b)}$	۱۳۵/۴۰$^{kj(c)}$
آبیاری	$F_2 \times B_2$	۵۲/۳۵$^{oqp(de)}$	۶۵/۲۱$^{hi(d)}$	۷۰/۰۷$^{gf(de)}$	۷۷/۱$^{kl(d)}$	۹۱/۶۱$^{P(d)}$	۱۱۰/۶۰$^{n(c)}$	۱۱۸/۴۰$^{nm(d)}$
کامل	$F_3 \times B_1$	۵۴/۳۵$^{omn(d)}$	۶۵/۰۱$^{hi(de)}$	۷۰/۸۲$^{mnkl(d)}$	۷۵/۶۰$^{lk(de)}$	۹۳/۱۱$^{op(d)}$	۱۱۲/۶۰$^{n(c)}$	۱۲۰/۳۰$^{lnm(d)}$
	$F_3 \times B_2$	۵۲/۱۰$^{qp(e)}$	۶۵/۰۱$^{hi(de)}$	۶۹/۵۷$^{jki(ef)}$	۷۴/۱$^{lk(de)}$	۹۱/۰۰$^{P(d)}$	۱۰۹/۸۰$^{n(c)}$	۱۱۵/۹۰$^{nm(d)}$
	$F_4 \times B_1$	۵۲/۸۴$^{oqp(de)}$	۶۴/۷۶$^{i(e)}$	۶۹/۰۷$^{jki(f)}$	۷۱/۸۵$^{l(e)}$	۹۱/۰۰$^{P(d)}$	۱۰۹/۶۰$^{n(c)}$	۱۱۴/۶۵$^{n(d)}$
	$F_4 \times B_2$	۵۱/۲۷$^{q(e)}$	۶۴/۷۵$^{i(e)}$	۶۸/۹۵$^{n(f)}$	۷۱/۴$^{lk(e)}$	۹۰/۹۲$^{P(d)}$	۱۰۹/۵۶$^{n(c)}$	۱۱۳/۶۳$^{n(d)}$
	$F_1 \times B_1$	۷۳/۹۹$^{a(a)}$	۷۱/۸۳$^{a(a)}$	۷۹/۳۷$^{bc(a)}$	۱۱۱/۵۰$^{a(a)}$	۱۳۷/۵۰$^{cb(a)}$	۱۴۴/۶۰$^{jk(a)}$	۱۹۵/۰۰$^{ba(a)}$
I_2	$F_1 \times B_2$	۶۴/۰۶$^{ef(b)}$	۶۹/۸۸$^{dc(b)}$	۷۷/۳۰$^{d(b)}$	۱۰۸/۴۹$^{ba(a)}$	۱۲۲/۸۵$^{gf(b)}$	۱۳۰/۶۰$^{hg(c)}$	۱۹۱/۹۰$^{ba(ab)}$
	$F_2 \times B_1$	۶۱/۵۶$^{gh(c)}$	۷۱/۱۳$^{ba(a)}$	۷۷/۹۰$^{d(b)}$	۱۱۱/$^{(a)}$	۱۱۶/۵۱$^{Ih(c)}$	۱۳۵/۶۰$^{fe(b)}$	۱۸۱/۴۰$^{dc(b)}$
قطع	$F_2 \times B_2$	۵۷/۰۷$^{ljk(d)}$	۶۷/۱۸$^{fe(c)}$	۷۴/۵۰$^{f(c)}$	۹۹$^{de(b)}$	۱۰۷/۱۱$^{kl(d)}$	۱۱۷/۱۰$^{ml(de)}$	۱۴۲/۴۰$^{ij(d)}$
آبیاری در	$F_3 \times B_1$	۵۹/۵۶$^{ih(c)}$	۶۶/۷۸$^{fg(c)}$	۷۲/۲۹$^{ghi(d)}$	۸۸/۷۵$^{hg(c)}$	۱۱۰/۱۱$^{kj(d)}$	۱۲۹/۱۰$^{hg(c)}$	۱۶۰/۸۵$^{fg(c)}$
مرحله	$F_3 \times B_2$	۵۵/۳۵$^{lmn(de)}$	۶۶/۷۸$^{fg(c)}$	۷۰/۳۲$^{mkl(e)}$	۸۸/۷۵$^{hg(c)}$	۹۸/۸۶$^{mon(e)}$	۱۱۳/۶۰$^{mn(ef)}$	۱۳۰/۴۰$^{lk(e)}$
سنبله‌دهی	$F_4 \times B_1$	۵۳/۳۵$^{oqpn(ef)}$	۶۵/۴۳$^{hi(d)}$	۶۹/۸۲$^{mnl(e)}$	۸۱/۵۰$^{hi(d)}$	۹۴/۳۶$^{po(ef)}$	۱۲۰/۶۰$^{jlk(d)}$	۱۲۲/۹۰$^{lmn(ef)}$
	$F_4 \times B_2$	۵۲/۸۵$^{oqp(f)}$	۶۴/۷۶$^{i(d)}$	۶۹/۳۲$^{mn(e)}$	۷۲/۶۰$^{lk(e)}$	۹۱/۵۰$^{P(f)}$	۱۱۰/۶۰$^{n(f)}$	۱۱۷/۹۰$^{nm(f)}$
	$F_1 \times B_1$	۶۹/۴۵$^{b(a)}$	۷۱/۱۳$^{ba(a)}$	۸۰/۸۲$^{a(a)}$	۱۱۳/۰۶$^{a(a)}$	۱۴۸/۹۳$^{a(a)}$	۱۵۱/۶۶$^{a(a)}$	۱۹۷/۰۶$^{a(a)}$
I_3	$F_1 \times B_2$	۶۷/۲۱$^{cd(bc)}$	۷۱/۷۳$^{ba(a)}$	۷۸/۲۷$^{dc(b)}$	۱۱۱/۰۰$^{a(a)}$	۱۳۲/۲۵$^{cd(c)}$	۱۴۸/۶۰$^{ba(a)}$	۱۹۳/۹۰$^{ba(ab)}$
	$F_2 \times B_1$	۶۸/۷۱$^{cb(ab)}$	۷۱/۹۰$^{a(a)}$	۸۰/۱۲$^{ba(a)}$	۱۱۱/۹۰$^{a(a)}$	۱۳۹/۷۰$^{b(b)}$	۱۴۲/۱۰$^{dc(b)}$	۱۹۵/۹۰$^{ba(ab)}$
قطع	$F_2 \times B_2$	۶۲/۸۱$^{gf(d)}$	۷۰/۷۸$^{bc(a)}$	۷۶/۰۰$^{e(c)}$	۱۰۸/۶۰$^{ba(a)}$	۱۱۹/۷۳$^{gh(d)}$	۱۳۸/۱۰$^{de(b)}$	۱۷۴/۳۵$^{de(c)}$
آبیاری در	$F_3 \times B_1$	۶۶/۴۶$^{d(c)}$	۶۸/۰۸$^{e(b)}$	۷۲/۷۹$^{gh(d)}$	۱۰۱/۲۵$^{dc(b)}$	۱۲۸/۹۵$^{ed(c)}$	۱۴۰/۶۰$^{dc(b)}$	۱۸۶/۹۰$^{bc(b)}$
مرحله	$F_3 \times B_2$	۵۶/۳۲$^{lmk(e)}$	۶۷/۷۸$^{e(b)}$	۷۱/۶۷$^{ghi(d)}$	۹۴/۷۵$^{fe(c)}$	۱۰۴/۱۱$^{ml(e)}$	۱۲۶/۶۰$^{hi(c)}$	۱۴۸/۶۵$^{hi(d)}$
آبستنی	$F_4 \times B_1$	۵۷/۵۸$^{ijk(e)}$	۶۵/۹۳$^{hg(c)}$	۷۱/۳۲$^{jki(d)}$	۸۴/۵۰$^{hi(d)}$	۱۰۴/۱۱$^{ml(e)}$	۱۲۴/۶۰$^{JI(c)}$	۱۴۳/۶۵$^{hij(d)}$
	$F_4 \times B_2$	۵۳/۸۳$^{opn(f)}$	۶۴/۶۸$^{i(d)}$	۶۹/۵۲$^{mn(e)}$	۸۱/۷۶$^{ji(d)}$	۹۵/۹۶$^{pon(f)}$	۱۱۹/۱۰$^{lK(d)}$	۱۲۵/۲۷$^{lkm(e)}$
LSD		۲/۲۱	۰/۹۶	۱/۲۷	۴/۹۷	۵/۸۹	۴/۳۹	۱۰/۲۱

I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبستنی. F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی نانو اکسید آهن، نانوسیلیکون، محلول‌پاشی توام آهن و نانوسیلیکون. B_1 و B_2 به‌ترتیب عدم کاربرد میکوریزا و کاربرد میکوریزا. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند. حروف بیرون پرانتز مقایسه میانگین اثرات متقابل کلی و حروف درون پرانتز مقایسه میانگین به روش برش‌دهی را نشان می‌دهد.

افزایش هدایت الکتریکی در شرایط تنش، می‌تواند ناشی از تولید گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو باشد. گونه های فعال اکسیژن به‌دلیل پراکسیداسیون لیپیدی و تغییر در نفوذپذیری غشا، منجر به صدمه به غشای سلولی و افزایش نشت یونی به بیرون از سلول شده و به تبع از آن، هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد (آقایی و همکاران، ۱۴۰۱). از این‌رو در شرایط قطع آبیاری، آسیب دیدگی غشای سلول‌ها منجر به کاهش توانایی سلول در کنترل ورود و خروج مواد از غشای سلولی شده و همین امر منجر به افزایش هدایت الکتریکی می‌شود ولی در تمامی مراحل نمونه‌برداری، کاربرد توام نانوذرات با میکوریزا موجب کاهش هدایت الکتریکی شد (Mittler, 2002) (جدول ۴). بخشی از کاهش هدایت الکتریکی در شرایط کاربرد نانوذرات و میکوریزا را می‌توان به نقش موثر این عوامل در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش محتوای پراکسید هیدروژن نسبت داد (جدول ۱۰). نتایج مشابهی نیز مبنی براینکه در شرایط محدودیت آبی، کاربرد قارچ میکوریزا با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش گونه‌های فعال اکسیژن منجر به کاهش هدایت الکتریکی

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

می‌شود، توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده است (Benaffari *et al*., 2022 ; Kheirizadeh Arougha and SeyedSharifi,2017). آقایی و همکاران (۱۴۰۱) اظهار داشتند که کاربرد نانواکسید سیلیکون و آهن در شرایط محدودیت آبی به‌دلیل بهبود پایداری غشای سلولی، موجب کاهش هدایت الکتریکی در تریتیکاله شد.

هدایت روزنه‌ای

برهم‌کنش توام میکوریزا، نانو ذرات و سطوح آبیاری بر هدایت روزنه‌ای در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). محدودیت آبی منجر به کاهش و استفاده از نانوذرات و میکوریزا منجر به افزایش هدایت روزنه‌ایی شد. طوری‌که در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کاربرد توام نانوذرات با میکوریزا موجب افزایش ۴۴/۶۱ درصدی هدایت روزنه‌ایی نسبت به شرایط عدم کاربرد نانوذرات و میکوریزا در همین سطح از سطوح آبیاری در ۱۰۶ روز پس از کاشت شد (جدول ۶).

جدول۵: تجزیه واریانس اثر نانواکسید آهن و سیلیکون، میکوریزا و سطوح آبیاری بر هدایت روزنه‌ای برگ پرچم چاودار درمراحل مختلف نمونه برداری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		مراحل مختلف نمونه برداری (روزهای پس از کاشت)						
		۸۲	۸۶	۹۰	۹۴	۹۸	۱۰۲	۱۰۶
تکرار	۲	۵۹۱۷/۳۴**	۵۲۰۳/۹۷**	۴۲۰۲/۰۰**	۳۴۵۶/۴۹**	۳۱۸۱/۱۳**	۴۲۰۳/۵۷**	۲۴۷۰/۰۱**
قطع آبیاری (I)	۲	۱۱۰/۰۰**	۴۵۶/۴۳**	۵۰۴/۳۴**	۸۰۶/۳۱**	۸۱۴/۶۹	۵۰۵/۸۰**	۵۰۹/۵۱**
محلولپاشی برگی(F)	۳	۲۶۹/۴۶**	۳۷۳/۵۸**	۶۲۶/۱۰**	۴۰۶/۴۹**	۳۸۴/۹۱**	۶۲۷/۶۶**	۳۲۸/۵۴**
کود زیستی (B)	۱	۱۰۹/۷۹**	۲۸۱/۳۳**	۶۲۲/۵۵**	۱۶۷/۶۲**	۲۴۰/۶۸**	۶۲۵/۷۳**	۲۸۱/۷۵**
I×F	۶	۲/۱۰۵**	۱۰/۸۹**	۱۶/۸۴**	۳۰/۸۰**	۷/۹۵**	۱۵/۳۳**	۵/۷۱**
I×B	۲	۳/۴۰۴**	۷/۱۰**	۳۳/۶۷**	۵/۷۰*	۴۰/۹۳**	۲۷/۳۷**	۱۸/۵۶**
B×F	۳	۱/۱۱۹Ns	۱۱/۱۵**	۳۷/۵۳**	۸/۴۹**	۵/۸۱**	۳۹/۰۲**	۳/۳۷*
I×B×F	۶	۲/۹۶**	۸/۸۶**	۱۷/۲۷**	۹/۸۹**	۶/۶۰**	۱۸/۸۵**	۳/۶۷**
B×F در I_1	۷	۷۳/۵۳ **	۱۰۶/۳۴ **	۱۹۱/۷ **	۷۷/۳۴ **	۶۴/۲۶ **	۱۸۵/۱ **	۹۱/۲ **
B×F در I_2	۷	۵۲/۳۲ **	۶۸/۱۴ **	۱۳۱/۷ **	۱۱۲/۴ **	۱۰۶/۱۸ **	۱۳۱/۷ **	۶۲/۷ **
B×F در I_3	۷	۴۲/۹ **	۴۹/۵۵ **	۸۸/۷ **	۴۸/۵ **	۵۵/۵۶ **	۹۵/۳۱ **	**۴۲
خطا	۴۶	۰/۷۰	۱/۴۷	۳/۰۸	۲/۰۱	۱/۸۶	۴۹۲/۱۷	۱/۳۹

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

جدول ۶: مقایسه میانگین اثر نانواکسیدآهن و سیلیکون، میکوریزا و سطوح آبیاری بر هدایت روزنه‌ای برگ پرچم چاودار در مراحل مختلف نمونه برداری

ترکیب تیماری		هدایت روزنه‌ای ($mmol\ H_2O.m^{-2}.s^{-1}$)						
		مراحل مختلف نمونه برداری (روزهای پس از کاشت)						
		۸۲	۸۶	۹۰	۹۴	۹۸	۱۰۲	۱۰۶
I_1 آبیاری کامل	$F_1 \times B_1$	k(f)۴۰/۳۵	ihj(f)۳۵/۲۰	ghi(d)۳۲/۱۵	f(d)۳۱/۵۰	hi(f)۳۰/۲۵	jih(c)۲۸/۶۵	ij(f)۲۶/۸۰
	$F_1 \times B_2$	ji(d)۴۱/۸۵	g(d)۳۸/۷۰	gf(d)۳۴/۶۵	d(c)۳۶/۲۵	fg(e)۳۲/۷۵	gf(c)۳۱/۱۵	gf(e)۳۱/۰۵
	$F_2 \times B_1$	fg(e)۴۴/۶۰	c(e)۴۶/۳	c(b)۴۱/۶۲	b(b)۴۳/۳۰	dc(c)۳۸/۵۰	c(b)۳۸/۱۲	ed(d)۳۶/۰۰
	$F_2 \times B_2$	a(c)۴۹/۹۵	ba(bc)۴۹/۸۰	a(a)۴۹/۲۴	ba(ab)۴۴/۳	ba(a)۴۱/۸۵	a(a)۴۵/۷۴	cb(bc)۳۹/۰۰
	$F_3 \times B_1$	fg(d)۴۴/۳۵	fe(c)۴۱/۲۰	de(c)۳۸/۵۰	d(c)۳۸/۰۰	fe(d)۳۴/۵۰	de(b)۳۵/۰۰	gf(e)۳۱/۰۴
	$F_3 \times B_2$	de(b)۴۶/۲۵	bc(ab)۴۸/۲۹	a(a)۵۰/۵۰	b(b)۴۳/۳۳	bc(bc)۳۹/۹۰	a(a)۴۷/۰۰	cd(cd)۳۷/۵۰
	$F_4 \times B_1$	bc(a)۴۸/۴۵	a(ab)۵۰/۳۰	a(a)۵۱/۸۷	ba(ab ۴۴/۸)	ba(ab)۴۱/۳۵	a(a)۴۸/۳۷	b(b)۳۹/۵۰
	$F_4 \times B_2$	۵۰/۷۱a(a)	۵۰/۸۶a(a)	۵۱/۲۴a(a)	۴۵/۷۲a(a)	۴۲/۵۶a(a)	۴۶/۶۶a(a)	۴۳/۵۳a(a)
I_2 قطع آبیاری در مرحله سنبله-دهی	$F_1 \times B_1$	nm(g)۳۸/۱۰	kj(f)۳۳/۴۱	ji(f)۲۹/۴۱	hg(d ۲۶/۸۶)	nm(f)۲۳/۲۵	ji(f)۲۵/۹۱	ml(f)۲۳/۵۵
	$F_1 \times B_2$	lm(fg)۳۸/۸۵	h(e)۳۶/۷۰	gf(e)۳۳/۹۰	hg(۲۷/۶۰ d)	lm(c)۲۴/۵۰	gfh(e)۳۰/۴۰	j(e)۲۶/۵۵
	$F_2 \times B_1$	gh(d)۴۳/۳۵	fg(e)۳۹/۴۵	fe(c)۳۶/۷۵	ed(۳۶/۰۰ b)	ji(d)۲۹/۰۰	fe(d)۳۳/۲۵	ih(d)۲۸/۵۵
	$F_2 \times B_2$	dc(b)۴۷/۴۵	d(cd)۴۴/۱۲	b(b)۴۵/۶۵	c(a)۴۰/۸۰	f(c)۳۴/۰۰	b(b)۴۲/۱۵	f(c)۳۱/۵۵
	$F_3 \times B_1$	lk(ef)۳۹/۶۰	ih(d)۳۵/۹۵	gh(e)۳۳/۴۰	hg(d ۲۸/۴۵)	lk(e)۲۶/۵۰	gh(e)۲۹/۹۰	ij(de)۲۷/۰۵
	$F_3 \times B_2$	jk(b)۴۶/۲۵	feg(c)۴۰/۲۰	dce(c)۳۹/۶۱	ef(b)۳۳/۷۵	fg(c)۳۲/۷۵	dce(c)۳۶/۱۱	f(c)۳۲/۳۰
	$F_4 \times B_1$	fe(c)۴۴/۸۵	e(b)۴۱/۴۵	dc(c)۴۱/۱۳	d(b)۳۷/۵۰	de(b)۳۶/۵۰	dc(c)۳۷/۶۳	e(b)۳۴/۳۰
	$F_4 \times B_2$	۴۹/۴۵ba(a)	۴۸/۳۰ b(a)	۴۹/۲۴a(a)	bc(۴۲/۸۰a)	۳۹/۹۰ bc(a)	۴۵/۷۴a(a)	۳۷/۵۰ cd(a)
I_3 قطع آبیاری در مرحله آبستنی	$F_1 \times B_1$	nm(e)۳۷/۵۶	l(d)۳۱/۱۲	j(c)۲۹/۰۵	hg(d ۲۶/۶۴)	n(d)۲۲/۰۰	j(c)۲۴/۳۰	m(d)۲۱/۹۹
	$F_1 \times B_2$	n(e)۳۷/۳۵	lk(d)۳۲/۱۰	ji(c)۲۹/۵۲	h(d)۲۶/۵۲	nm(d)۲۳/۰۰	ji(c)۲۶/۰۲	kl(c)۲۴/۵۵
	$F_2 \times B_1$	ih(c)۴۲/۶۰	ij(c)۳۴/۴۳	jhi(bc)۳۰/۸۹	۲۷/۱۰ hg(dc)	lk(c)۲۶/۰۰	jih(bc)۲۷/۳۹	kl(c)۲۴/۵۵
	$F_2 \times B_2$	fg(b)۴۴/۳۵	fe(a)۴۰/۷۰	dci(a)۳۹/۶۰	f(b)۳۲/۷۵	hg(b)۳۱/۵۰	dci(a)۳۶/۱۰	gf(ab)۳۰/۵۵
	$F_3 \times B_1$	lm(e)۳۸/۸۴	ij(c)۳۴/۴۲	jhi(bc)۳۰/۸۹	hg(dc)۲۷/۰	nm(d)۲۲/۸۰	jih(bc)۲۷/۳۹	m(d)۲۲/۵۵
	$F_3 \times B_2$	jk(d)۴۰/۶۰	h(b)۳۶/۴۵	gh(b)۳۳/۶۰	۲۸/۰۵ hg(dc)	nm(d)۲۳/۲۵	gh(b)۳۰/۱۰	kj(c)۲۵/۵۵
	$F_4 \times B_1$	fgh(bc)۴۳/۸۵	fe(a)۴۰/۷۰	dc(a)۴۰/۶۴	g(c)۲۸/۹۰	jk(c)۲۷/۰۰	dc(a)۳۷/۱۴	gh(b)۲۹/۵۵
	$F_4 \times B_2$	bc(a)۴۸/۱۹	fe(a)۴۱/۳۴	c(a)۴۲/۳۸	d(a)۳۷/۹۴	fg(a)۳۳/۴۶	c(a)۳۸/۸۸	f(a)۳۱/۸۰
	LSD	۱/۴	۱/۹	۲/۸	۲/۳	۲/۲	۳/۱	۱/۹

I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبستنی. F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی نانو اکسید آهن، نانوسیلیکون، محلول‌پاشی توام آهن و نانوسیلیکون. B_1 و B_2 به‌ترتیب عدم کاربرد میکوریزا و کاربرد میکوریزا. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند. حروف بیرون پرانتز مقایسه میانگین اثرات متقابل کلی و حروف درون پرانتز مقایسه میانگین به روش برش‌دهی را نشان می‌دهد.

بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای از اولین واکنش‌های گیاه به خشکی است که مقدار Co_2 قابل دسترس برای سلول‌های مزوفیل را محدود کرده و منجر به اختلال در فتوسنتز و کاهش عملکرد می‌شود (Kusvura *et al*, 2012). به نظر می‌رسد بخشی از افزایش هدایت روزنه‌ایی در کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی نانواکسیدآهن و سیلیکون، ناشی از تاثیر این عوامل در افزایش اسمولیت‌های سازگاری همچون پرولین و قندهای محلول باشد که ضمن کمک به جذب آب،

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

منجر به بهبود پتانسیل آب برگ و هدایت روزنه‌ای شده است (جدول‌های۶ و ۱۰). همچنین کاربرد میکوریزا تحت شرایط محدودیت آبی از طریق کمک به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و جذب عناصر غذایی و نانوسیلیکون با رسوب در سلول‌های نگهبان روزنه وکمک به افزایش جذب آب، نقش موثری در حفظ تعادل آبی در بافت‌های گیاهی ایفا کرده و موجب افزایش هدایت روزنه‌ای می‌شود. نتایج مشابهی نیز توسط دیگر محققان مبنی بر بهبود هدایت روزنه‌ایی برگ با کاربرد نانوسیلیکون گزارش شده است (Raza *et al*., 2023; Maghsoudi *et al*., 2019; Benaffari *et al*, 2022; زروشان و همکاران، ۱۳۹۹) (جدول ۱۰). در این راستا آقایی و همکاران (۱۴۰۱) نیز بهبود وضعیت آبی و افزایش محتوای نسبی آب و هدایت روزنه‌ای برگ پرچم درطول دوره‌ی رشدی تریتیکاله را، در اثر محلول‌پاشی با نانواکسیدآهن و سیلیکون در شرایط محدودیت آبی گزارش کردند.

محتوای نسبی آب

برهم‌کنش توام میکوریزا، نانوذرات و سطوح آبیاری بر محتوای نسبی آب در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۷). نتایج نشان داد که کاربرد نانوذرات و میکوریزا در شرایط محدودیت قطع آبیاری درمرحله آبستنی، از افزایش ۱۷/۹ درصدی محتوای نسبی نسبت به عدم کاربرد میکوریزا و نانوذرات تحت همان سطح از محدودیت آبیاری در ۱۰۶ پس از کاشت برخوردار بود (جدول ۸).

جدول ۷: تجزیه واریانس اثر نانواکسید آهن و سیلیکون، میکوریزا و سطوح آبیاری بر محتوای نسبی آب برگ پرچم چاودار درمراحل مختلف نمونه برداری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		مراحل مختلف نمونه برداری (روزهای پس از کاشت)					
		۸۲	۸۶	۹۰	۹۴	۹۸	۱۰۲	۱۰۶
تکرار	۲	۶۰۳۴/۳۲**	۵۴۰۶/۹۶**	۵۴۷/۱۹**	۳۶۱۰/۶۶**	۳۳۳۷/۹۳**	۳۰۶۰/۷۱**	۲۶۰۵/۲**
قطع آبیاری (I)	۲	۱۰۶/۸۳**	۴۶۸/۵۰**	۴۱۹۸/۴۶**	۸۲۵/۷۱**	۸۶۸/۵۷**	۷۳۷/۲۰**	۵۸۹/۵۳**
محلولپاشی برگی(F)	۳	۲۶۹/۴**	۳۹۱/۷۶**	۷۳۸/۰۴**	۴۱۷/۶۲**	۴۲۷/۳۷**	۶۱۳/۱**	۳۲۳/۱۶**
کود زیستی (B)	۱	۱۰۹/۷۴**	۳۰۱/۳۵**	۷۸۰/۷۸**	۱۸۸/۶۶**	۳۰۶/۴۰**	۲۰۰/۷۰**	۲۷۴/۳۶**
I×F	۶	۲/۱۵**	۱۰/۵۶**	۱۱/۴۶*	۲۷/۸۴**	۵/۱۹**	۲۱/۶۶**	۸/۳۴**
I×B	۲	۳/۰۹**	۹/۲۹**	۵/۸۴^{ns}	۴/۷۲^{ns}	۲۳/۹**	۴/۲۸^{ns}	۲۸/۲**
B×F	۳	۱/۱۲^{ns}	۸/۱۹**	۰/۴۵^{ns}	۸/۳۲**	۵/۷۲**	۱۳/۲۲**	۲/۸۴^{ns}
I×B×F	۶	۳/۴۹**	۷/۵۰**	۲۹/۹**	۱۰/۸۷**	۵/۷۱**	۱۰/۱**	۷/۱۹**
B×F در I_1	۷	۴۰/۶۷ **	۱۱۳ **	۲۰۲/۸ **	۷۵/۶۵ **	۶۷**	۱۳۰/۸ **	۱۰۲/۶ **
B×F در I_2	۷	۵۲/۳ **	۶۸/۱۴ **	۱۴۶/۲۳ **	۱۱۲/۴۳ **	۱۰۶/۱۸ **	۱۱۷/۹۲ **	۸۲/۷۹ **
B×F در I_3	۷	۴۴/۳۴ **	۵۱/۴۱ **	۱۰۸/۹ **	۵۵/۹۵ **	۷۲/۳۱ **	۷۶/۸۱ **	۳۴/۸ **
خطا	۴۶	۰/۶۸	۱/۴۸	۴۷۷/۸۳	۱/۹۴	۲	۲/۱۷	۱/۴۹

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

جدول ۸: مقایسه میانگین اثر نانواکسید آهن و سیلیکون، میکوریزا و سطوح ابیاری بر محتوای نسبی آب برگ پرچم چاودار درمراحل مختلف نمونه برداری

ترکیب تیماری		محتوای نسبی آب (درصد)						
		مراحل مختلف نمونه برداری (روزهای پس از کاشت)						
		۸۲	۸۶	۹۰	۹۴	۹۸	۱۰۲	۱۰۶
	$F_1 \times B_1$	۷۶/۹۳$^{j(f)}$	۶۹/۷۰$^{jkl(f)}$	۶۰/۱۵$^{b(e)}$	۵۸$^{i(e)}$	۵۷/۷۵$^{hi(g)}$	۵۱/۴۹$^{hi(e)}$	۴۸/۳۰$^{jik(e)}$
	$F_1 \times B_2$	۷۸/۴$^{ih(e)}$	۷۳/۲۰$^{ih(e)}$	۶۲/۶۵$^{b(e)}$	۶۲/۷۵$^{fg(d)}$	۶۰/۲۵$^{fg(f)}$	۵۷/۶۷$^{ed(d)}$	۵۲/۵۵$^{gf(d)}$
I_1	$F_2 \times B_1$	۸۱/۱$^{fe(d)}$	۸۰/۸۰$^{d(c)}$	۶۹/۶۲$^{b(c)}$	۶۹/۸۰$^{b(b)}$	۶۶ dc(d)	۶۶/۷۲$^{bc(bc)}$	۵۷/۵۰$^{cd(c)}$
	$F_2 \times B_2$	۸۶/۵۳$^{a(a)}$	۸۴/۳۰$^{bc(b)}$	۷۷/۲۴$^{b(b)}$	۷۰/۸۳$^{ba(ab)}$	۶۹/۳$^{ba(ab)}$	۶۷/۸۰$^{ba(ab)}$	۶۰/۵۰$^{b(b)}$
	$F_3 \times B_1$	۸۰/۹$^{fe(d)}$	۷۵/۸۰$^{gf(d)}$	۶۶/۵۰$^{b(d)}$	۶۵/۱۱$^{de(c)}$	۶۲ fe(e)	۵۵/۹۲$^{ef(d)}$	۵۲/۵۴$^{gf(d)}$
آبیاری	$F_3 \times B_2$	۸۲/۸۳$^{d(c)}$	۸۲/۷۹$^{cd(bc)}$	۷۸/۷۴$^{b(ab)}$	۶۹/۸۳$^{b(b)}$	۶۷/۴$^{bc(cd)}$	۶۴/۹۷$^{c(c)}$	۵۹/۰۰$^{cb(bc)}$
کامل	$F_4 \times B_1$	۸۵ bc(b)	۸۴/۸۰$^{ba(ab)}$	۸۰/۷۵$^{b(a)}$	۷۱/۳۳$^{ba(ab)}$	۶۸/۸$^{ba(bc)}$	۶۷/۰۵$^{bac(ab)}$	۶۱/۰۰$^{b(b)}$
	$F_4 \times B_2$	۸۷/۰۳$^{a(a)}$	۸۶/۶۰$^{a(a)}$	۷۹/۷۵$^{b(ab)}$	۷۲/۱۴$^{a(a)}$	۷۰/۷۰$^{a(a)}$	۶۹/۱۹$^{a(a)}$	۶۶/۶۰$^{a(a)}$
	$F_1 \times B_1$	۷۴/۶$^{ml(g)}$	۶۷/۹۱$^{ml(f)}$	۵۶/۱۲$^{b(f)}$	۵۳/۳۶$^{kjl(d)}$	۵۰/۷$^{lm(f)}$	۴۷/۳۵$^{lk(e)}$	۴۵/۰۵$^{mn(f)}$
I_2	$F_1 \times B_2$	۷۵/۴$^{kl(fg)}$	۷۱/۲۰$^{ji(e)}$	۶۱/۹۰$^{b(e)}$	۵۴/۱۰$^{kjl(d)}$	۵۲ lk(ef)	۴۸/۶۰$^{jk(e)}$	۴۸/۰۵$^{jlm(e)}$
	$F_2 \times B_1$	۷۹/۹$^{fg(d)}$	۷۳/۹۵$^{gh(d)}$	۶۴/۷۵$^{b(d)}$	۶۲/۵۰$^{hg(b)}$	۵۶/۵i$^{(d)}$	۵۶/۹۱$^{edf(b)}$	۵۰/۰۵$^{jih(d)}$
قطع	$F_2 \times B_2$	۸۴ dc(b)	۷۸/۶۲$^{e(b)}$	۷۴/۲۳$^{b(b)}$	۶۷/۳۰$^{dc(a)}$	۶۱/۵$^{f(c)}$	۵۸/۶۳$^{d(b)}$	۵۳/۰۵$^{gf(c)}$
آبیاری	$F_3 \times B_1$	۷۶/۱$^{kg(ef)}$	۷۰/۴۵$^{jk(e)}$	۶۱/۴۰$^{b(e)}$	۵۴/۹۵$^{kj(d)}$	۵۴ jk(e)	۵۱/۱۰$^{hi(d)}$	۴۸/۵۵$^{jik(ed)}$
در	$F_3 \times B_2$	۷۷/۲$^{ig(e)}$	۷۴/۷۰$^{gfh(cd)}$	۶۷/۶۱$^{b(c)}$	۶۰/۲۵$^{ih(c)}$	۶۰/۲$^{fg(c)}$	۵۳/۴۸$^{hg(c)}$	۵۳/۸۰$^{ef(c)}$
مرحله	$F_4 \times B_1$	۸۱/۴$^{e(c)}$	۷۵/۹۵$^{gf(c)}$	۶۹/۱۳$^{b(c)}$	۶۴/۰۰$^{feg(b)}$	۶۴ de(b)	۵۶/۹۲$^{edf(b)}$	۵۵/۸۰$^{ed(b)}$
سنبله- دهی	$F_4 \times B_2$	۸۶/۳$^{ba(a)}$	۸۲/۸۰$^{bcd(a)}$	۷۷/۲۴$^{b(a)}$	۶۹/۳۰$^{bc(a)}$	۶۷/۴$^{bc(a)}$	۶۶/۷۲$^{bc(a)}$	۵۹/۰۰$^{cb(a)}$
	$F_1 \times B_1$	۷۴/۱$^{ml(ef)}$	۶۵/۶۲$^{n(d)}$	۵۳/۳۱$^{b(e)}$	۵۲/۰۰$^{l(f)}$	۴۷/۱۲$^{n(f)}$	۴۶/۳۰$^{lk(e)}$	۴۲/۵۰$^{o(e)}$
I_3	$F_1 \times B_2$	۷۳/۹$^{m(f)}$	۶۶/۶۰$^{nm(d)}$	۵۷/۵۲$^{b(d)}$	۵۳/۰۲$^{kl(def)}$	۴۹/۱$^{nm(e)}$	۴۶/۱۳$^{l(e)}$	۴۶/۰۵$^{mln(c)}$
	$F_2 \times B_1$	۷۹/۱$^{hg(c)}$	۶۸/۹۳$^{kl(c)}$	۵۸/۸۹$^{b(cd)}$	۵۳/۶۰$^{kgl(def)}$	۵۳/۵$^{jk(d)}$	۵۱/۷۳$^{hi(c)}$	۴۶/۰۵$^{mln(c)}$
قطع	$F_2 \times B_2$	۸۰/۹$^{fe(b)}$	۷۵/۲۰$^{gfh(a)}$	۶۷/۶۰$^{b(b)}$	۵۹/۲۵$^{i(b)}$	۵۹ hg(b)	۵۸/۱۷$^{ed(a)}$	۵۲/۰۵$^{gfh(a)}$
آبیاری	$F_3 \times B_1$	۷۵/۴$^{kl(e)}$	۶۸/۹۲$^{kl(c)}$	۵۸/۸۹$^{b(cd)}$	۵۳/۵۰$^{kjl(def)}$	۵۰/۴$^{lm(e)}$	۴۸/۶۰$^{jk(d)}$	۴۴/۰۵$^{on(d)}$
در	$F_3 \times B_2$	۷۷ ij(d)	۷۰/۹۵$^{j(b)}$	۶۰/۱۹$^{b(c)}$	۵۴/۵۵$^{kj(cd)}$	۵۰/۷$^{lm(c)}$	۴۹/۸۲$^{ji(d)}$	۴۷/۰۵$^{mlk(c)}$
مرحله	$F_4 \times B_1$	۸۰/۴$^{feg(bc)}$	۷۵/۲۰$^{gfh(a)}$	۶۸/۶۴$^{b(b)}$	۵۵/۴۰$^{j(c)}$	۵۵/۷$^{ji(c)}$	۵۴/۷۲$^{gf(b)}$	۵۱/۰۵$^{gh(ab)}$
آبستنی	$F_4 \times B_2$	۸۵ bc(a)	۷۶/۲۷$^{f(a)}$	۷۲/۰۳$^{b(a)}$	۶۵/۰۰$^{fe(a)}$	۶۱ fg(a)	۵۹/۱۲$^{d(a)}$	۵۰/۱۱$^{ih(b)}$
	LSD	۱/۳۵	۲/ ۰۰	۳۵/۹۲	۲/۲۹	۲/۳۲	۲/۴۲	۲/۰۱

I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبستنی. F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی نانو اکسید آهن، نانوسیلیکون، محلول‌پاشی توام آهن و نانوسیلیکون. B_1 و B_2 به‌ترتیب عدم کاربرد میکوریزا و کاربرد میکوریزا. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند. حروف بیرون پرانتز مقایسه میانگین اثرات متقابل کلی و حروف درون پرانتز مقایسه میانگین به روش برش‌دهی را نشان می‌دهد.

برخی محققین کاهش محتوای نسبی آب برگ گندم با افزایش تنش رطوبتی را، به کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش جذب آب از ریشه‌ها در شرایط خشکی نسبت دادند (یقینی و همکاران ۱۳۹۸). در صورتی‌که کاربرد میکوریزا به‌عنوان کود زیستی موثر بر جذب آب از طریق توسعه و گسترش بیشتر ریشه در خاک و کمک به جذب بیش‌تر آب به‌واسطه تغییر در مورفولوژی ریشه، منجر به بهبود وضعیت آبی گیاه می‌شود(عبادی و همکاران. ۱۳۹۸). در این راستا عبادی و همکاران (۱۳۹۸) اظهار داشتند کاربرد میکوریزا در شرایط محدودیت آبی در مرحله سنبله‌دهی جو، موجب بهبود وضعیت آبی گیاه و افزایش محتوای نسبی آب نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی می‌شود. بخشی از بهبود محتوای نسبی آب با کاربرد نانواکسید آهن و سیلیکون می‌تواند ناشی از تاثیر این عوامل در افزایش اسمولیت‌های سازگاری همانند پرولین و قندهای

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

محلول باشد که با کمک به جذب بهتر و راحت‌تر آب توسط گیاه حتی در شرایط قطع آبیاری در مرحله خوشه‌دهی و آبستنی، منجر به افزایش محتوای نسبی آب می‌شود (جدول ۱۰). نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش محتوای نسبی آب با محلول‌پاشی نانواکسیدآهن توسط دیگر محققان گزارش شده است (آقایی و همکاران ۱۴۰۱).

آنزیم‌های آنتی اکسیدانی (کاتالاز، پلی‌فنل اکسیداز، پراکسیداز)

تاثیر نانوذرات، میکوریزا و سطوح آبیاری و برهم‌کنش توام این سه عامل بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پلی‌فنل‌اکسیداز و پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۹). بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پلی‌فنل‌اکسیداز و پراکسیداز (به‌ترتیب ۵۴/۷۳، ۱۱۸/۷۳ و ۷۶/۱۴ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کاربرد توام میکوریزا و محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و ۰/۸ گرم در لیتر نانواکسیدآهن مشاهده شد که از افزایش به‌ترتیب ۳۴/۶۷، ۳۲/۱۴ و ۳۲/۱۸ درصدی نسبت به شرایط عدم کاربرد نانوذرات و میکوریزا در همین سطح از محدودیت آبی برخوردار بود (جدول ۱۰).

جدول ۹: تجزیه واریانس اثر نانواکسید آهن و سیلیکون، میکوریزا و سطوح ابیاری بر صفات بیوشیمیایی و عملکرد چاودار درمراحل مختلف نمونه برداری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		کاتالاز	پراکسیداز	پلی فنل اکسیداز	پرولین	قندهای محلول	مالون دی آلدهید	پراکسید هیدروژن	آنتوسیانین	عملکرد دانه
تکرار	۲	۳۱۸/۹۲**	۱۱۴۱۱/۹۹**	۱۹۳۱/۸۴**	۴/۱۳**	۲۵۳۳/۰۲**	۰/۰۰۱۲۱**	۰/۱۴۳۱**	۰/۰۰۰۰۳۸**	۱/۶۳**
قطع آبیاری (I)	۲	۶۵۸/۸۸**	۲۸۲۹/۷۱**	۹۱۷/۲۴**	۱۵/۵۵**	۱۷۶۳/۴۵**	۰/۰۰۸۲۲**	۰/۰۱۴**	۰/۰۰۰۰۸۳**	۰/۱۰۹**
محلولپاشی برگی(F)	۳	۳۹۰/۳۷**	۱۱۵۳/۱۹**	۶۵۸/۳**	۱۲/۰۹**	۱۰۸۸/۸۷**	۰/۰۰۵۷**	۰/۰۰۵۶**	۰/۰۰۰۰۵۵**	۰/۱۵۲**
کود زیستی (B)	۱	۱۶۱/۸۲**	۵۸۸/۴**	۲۹۸/۸۲**	۳/۴۱**	۲۸۶/۶۸**	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۰۶ns	۰/۰۰۰۰۲۸**	۰/۱۲**
I×F	۶	۱۰/۷۱**	۳۷/۵۹**	۲۴/۹۵**	۰/۷۵**	۵۲/۷۷**	۰/۰۰۰۲۶**	۰/۰۱۹۱**	۰/۰۰۰۰۰۲**	۰/۰۴۴**
I×B	۲	۰/۱۳۹ns	۴۲/۱۱**	۷/۷۴**	۰/۱۱ns	۱/۴۷ns	۰/۰۰۰۱۵**	۰/۰۰۱۳**	۰/۰۰۰۰۰۰۲ns	۰/۲۰۷**
B×F	۳	۱/۷۶ns	۲/۹۲ns	۶/۴۶**	۰/۰۷ns	۵/۱۹ns	۰/۰۰۰۰۲ns	۰/۰۰۵۷**	۰/۰۰۰۰۰۴**	۰/۰۱۲ns
I×B×F	۶	۱۱/۳**	۳۴/۰۶**	۲۸/۴**	۰/۴۱**	۱۸/۳۳**	۰/۰۰۰۱۱**	۰/۰۰۰۶**	۰/۰۰۰۰۰۲**	۰/۲۴۹**
B×F در I_1	۷	۵۸**	۱۳۱**	۱۲۱/۵ **	۱/۴۷ **	۱۷۷/۸ **	۰/۰۰۱۷ **	۰/۰۰۴۴ **	۰/۰۰۰۰۰۷۵ **	۰/۱۳۲ **
B×F در I_2	۷	۷۸/۳ **	۲۶۸/۸ **	۱۳۸/۷ **	۲/۰۱ **	۲۲۵/۶۳ **	۰/۰۰۰۹۲**	۰/۰۰۴۱۱ **	۰/۰۰۰۰۰۰۹ **	۰/۱۱۸ **
B×F در I_3	۷	۷۳/۷۳ **	۱۸۱/۴۶ **	۱۱۵/۲ **	۳/۲۴ **	۱۰۷/۷۷ *	۰/۰۰۰۶ **	۰/۰۱۳۶ **	۰/ ۰۰۰۰۱۶	۰/۰۳۵ *
خطا	۴۶	۱/۰۲	۳/۲۷	۲/۰۳	۰/۱۱	۴/۲۹	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۶	۰/۰۱

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

جدول ۱۰: مقایسه میانگین اثر نانواکسید آهن و سیلیکون، میکوریزا و سطوح آبیاری بر صفات بیوشیمیایی و عملکرد چاودار

ترکیب تیماری		کاتالاز	پلی‌فنول-اکسیداز	پراکسیداز	پرولین (میکروگرم بر گرم وزن تر برگ)	قندهای محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	پراکسیدهیدروژن	مالون‌دی-آلدهید	آنتوسیانین	عملکرد دانه (گرم در بوته)
		تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه			میکرومول بر گرم وزن تر برگ					
آبیاری کامل	$F_1 \times B_1$	۳۵/۶۱۶$^{k(e)}$	۸۰/۲۸$^{n(e)}$	۵۱/۱۱$^{p(g)}$	۷/۲۶$^{i(d)}$	۷۳/۱۱$^{n(f)}$	۰/۳۴۳$^{k(d)}$	۰/۲۲۳$^{bc(a)}$	۰/۰۱۶۵$^{l(d)}$	۲/۵۶$^{bc(ab)}$
	$F_1 \times B_2$	۳۶/۶۵۵$^{jk(e)}$	۸۱/۰۶$^{mn(e)}$	۵۴/۱۸$^{no(ef)}$	۷/۴۵$^{i(cd)}$	۷۳/۹$^{n(ef)}$	۰/۳۴۴$^{k(d)}$	۰/۲$^{fg(b)}$	۰/۰۱۶۸$^{kl(cd)}$	۲/۱۷$^{defghi(c)}$
	$F_2 \times B_1$	۴۰/۵۸$^{h(c)}$	۸۷/۷۳$^{jk(bc)}$	۵۹/۹۵$^{kl(d)}$	۷/۶۶$^{hi(bcd)}$	۷۹/۶۹$^{kl(dc)}$	۰/۳۹$^{fg(b)}$	۰/۱۸۷$^{h(c)}$	۰/۰۱۷۳$^{jkl(bcd)}$	۲/۲۸$^{defg(bc)}$
	$F_2 \times B_2$	۴۱/۲۴$^{gh(bc)}$	۹۵/۷۸$^{h(a)}$	۶۲/۶۴$^{ij(c)}$	۸/۰۵$^{fgh(bc)}$	۸۷/۲۴$^{hi(b)}$	۰/۳۴۴$^{k(d)}$	۰/۱۶۵$^{j(d)}$	۰/۰۱۸$^{ijk(bc)}$	۲/۳۳$^{d(bc)}$
	$F_3 \times B_1$	۳۵/۸۹$^{k(e)}$	۸۳/۳۹$^{lm(de)}$	۵۲/۸$^{op(fg)}$	۷/۳۸$^{i(d)}$	۷۴/۱۳$^{mn(ef)}$	۰/۳۴۶$^{k(cd)}$	۰/۲۰۶$^{ef(b)}$	۰/۰۱۶۸$^{kl(cd)}$	۲/۱۵$^{efghi(c)}$
	$F_3 \times B_2$	۳۸/۲۹$^{ij(d)}$	۸۴/۹۲$^{kl(cd)}$	۵۶/۱۴$^{mn(e)}$	۷/۸$^{fgh(bcd)}$	۷۷/۵۲$^{lm(de)}$	۰/۳۵۹$^{ijk(c)}$	۰/۱۷۳$^{i(d)}$	۰/۰۱۷۸$^{ijk(bcd)}$	۲/۲۶$^{defgh(c)}$
	$F_4 \times B_1$	۴۲/۵$^{fg(b)}$	۸۹/۰۵$^{j(b)}$	۶۵/۹۷$^{gh(b)}$	۸/۱۱$^{fgh(b)}$	۸۲/۷$^{jk(c)}$	۰/۴۳۹$^{c(a)}$	۰/۱۶۶$^{ij(d)}$	۰/۰۱۸۶$^{hij(b)}$	۲/۲۸$^{defg(bc)}$
	$F_4 \times B_2$	۴۸/۷۱$^{fg(a)}$	۹۸/۷۱$^{fg(a)}$	۶۸/۴۵$^{ef(a)}$	۹/۴۵$^{cde(a)}$	۹۵/۲۱$^{def(a)}$	۰/۳۱۲$^{l(e)}$	۰/۱۵۳$^{k(e)}$	۰/۰۲۱$^{cd(a)}$	۲/۷۶$^{a(a)}$
قطع آبیاری در مرحله سنبله-دهی	$F_1 \times B_1$	۳۸/۵۲$^{i(e)}$	۸۴/۶۴$^{l(f)}$	۵۷/۳۶$^{m(f)}$	۷/۴۵$^{i(d)}$	۷۴/۵۲$^{mn(f)}$	۰/۳۴۴$^{k(f)}$	۰/۲۲۳$^{b(a)}$	۰/۰۱۷۲$^{kl(d)}$	۲/۳$^{def(c)}$
	$F_1 \times B_2$	۴۳/۳۸$^{f(d)}$	۸۸/۶۷$^{j(e)}$	۶۱/۶$^{jk(e)}$	۸/۴۱$^{f(c)}$	۸۵/۹۳$^{hi(e)}$	۰/۳۷۵$^{ghi(e)}$	۰/۲۲$^{bcd(a)}$	۰/۰۱۹۱$^{ghi(c)}$	۲/۵$^{c(b)}$
	$F_2 \times B_1$	۴۵/۷۴$^{e(c)}$	۹۲/۱$^{i(d)}$	۶۴/۸۱$^{hi(d)}$	۹/۰۴$^{e(b)}$	۸۹/۵۲$^{gh(d)}$	۰/۳۸۲$^{gh(de)}$	۰/۱۴$^{cde(b)}$	۰/۰۱۸$^{ijk(d)}$	۲/۱۶$^{efghi(de)}$
	$F_2 \times B_2$	۴۹/۸۵$^{cd(b)}$	۱۰۲/۷۷$^{ef(b)}$	۷۲/۸۸$^{bc(a)}$	۹/۴۶$^{cde(ab)}$	۹۵/۰۳$^{def(b)}$	۰/۴۵۷$^{b(a)}$	۰/۱۸۹$^{h(d)}$	۰/۲۰۸$^{def(bc)}$	۲/۲۱$^{defghi(d)}$
	$F_3 \times B_1$	۳۹/۶$^{hi(e)}$	۸۵/۴$^{kl(f)}$	۵۶/۴۳$^{mn(f)}$	۷/۷۱$^{hi(d)}$	۷۵/۹۱$^{mn(f)}$	۰/۳۵۴$^{jk(f)}$	۰/۲۲۱$^{bcd(a)}$	۰/۰۱۷۴$^{jkl(d)}$	۲/۷$^{ab(a)}$
	$F_3 \times B_2$	۴۷/۲۹$^{de(c)}$	۹۷/۱۳$^{h(c)}$	۶۷/۷۱$^{fg(c)}$	۹/۰۴$^{e(b)}$	۹۳/۶۱$^{ef(bc)}$	۰/۳۹۱$^{fg(d)}$	۰/۲۰۶$^{ef(c)}$	۰/۰۱۹۷$^{fgh(c)}$	۲/۱۳$^{ghi(e)}$
	$F_4 \times B_1$	۴۹/۵۵$^{c(b)}$	۱۰۰/۶۷$^{fg(b)}$	۷۰/۴۹$^{de(b)}$	۹/۱۱$^{e(b)}$	۹۱/۸۱$^{fg(c)}$	۰/۴۰۹$^{de(c)}$	۰/۲۰۳$^{f(c)}$	۰/$^{efg(bc)}$	۲/۱۶$^{efghi(de)}$
	$F_4 \times B_2$	۵۳/۰۷$^{ab(a)}$	۱۱۱/۸۴$^{cd(a)}$	۷۴/۲$^{ab(a)}$	۹/۷$^{bcd(a)}$	۹۷/۸۴$^{cd(a)}$	۰/۴۲۳$^{cd(b)}$	۰/۱۷۴$^{i(e)}$	۰/۰۲۲$^{bc(a)}$	۲/۳۱$^{de(c)}$
قطع آبیاری در مرحله آبستنی	$F_1 \times B_1$	۴۰/۶۴$^{h(f)}$	۸۹/۸۵$^{ij(f)}$	۵۷/۶$^{m(d)}$	۷/۵۵$^{hi(d)}$	۸۲/۳۵$^{k(e)}$	۰/۵۱$^{a(a)}$	۰/۲۴۲$^{a(a)}$	۰/۰۱۷۶$^{jkl(g)}$	۱/۹۵$^{j(d)}$
	$F_1 \times B_2$	۴۸/۷۱$^{cd(d)}$	۱۰۵/۶۳$^{e(e)}$	۶۹/۵۸$^{def(c)}$	۹/۲۵$^{de(b)}$	۹۵/۹۹$^{de(c)}$	۰/۳۵۴$^{jk(e)}$	۰/۲۲۷$^{b(b)}$	۰/۰۲۲$^{bc(c)}$	۲/۰۴$^{ij(cd)}$
	$F_2 \times B_1$	۵۱/۷۸$^{b(c)}$	۱۰۸/۸۹$^{d(d)}$	cd(bc ۷۱/۳۴)	۹/۹۷$^{abc(a)}$	۹۹/۷۴$^{ab(b)}$	۰/۳۹۹$^{ef(bc)}$	۰/۲۲۲$^{bc(bc)}$	۰/ ۲۰۳$^{defg(e)}$	۲/۱۱$^{hij(bc)}$
	$F_2 \times B_2$	۵۴/۱۳$^{a(a)}$	۱۱۶/۳۱$^{ab(b)}$	۷۵/۸۸$^{a(a)}$	۱۰/۲۲$^{a(a)}$	۱۰۳/۰۵$^{a(ab)}$	۰/۴۱۹$^{d(b)}$	۰/۲۱۳$^{de(c)}$	۰/۰۲۳$^{ab(b)}$	۲/۱۹$^{defghi(b)}$
	$F_3 \times B_1$	۴۶/۱۴$^{e(e)}$	۱۰۵/۳۲$^{e(e)}$	۶۹/۲۳$^{def(c)}$	۸/۳۶$^{fg(c)}$	۹۱/۸۴$^{fg(d)}$	۰/۴۹۹$^{a(a)}$	۰/۲۲۷$^{b(b)}$	۰/۰۱۹۶$^{fgh(f)}$	۲/۵$^{c(a)}$
	$F_3 \times B_2$	۵۲/۴۴$^{b(bc)}$	۱۱۲/۰۹$^{c(c)}$	۷۵/۸۳$^{a(a)}$	۹/۹۷$^{abc(a)}$	۹۹/۷۲$^{bc(b)}$	۰/۳۶۸$^{hij(de)}$	۰/۲۲۳$^{b(bc)}$	۰/۰۲۱$^{cde(d)}$	۲/۶$^{abc(a)}$
	$F_4 \times B_1$	۵۴/۵۴$^{a(a)}$	۱۱۵/۴۳$^{b(b)}$	۷۴/۴$^{ab(ab)}$	۱۰/۲۲$^{a(a)}$	۱۰۱/۹۸$^{b(b)}$	۰/۳۹۱$^{fg(cd)}$	۰/۲۲۲$^{bc(bc)}$	۰/۰۲۳$^{ab(b)}$	۲/۱۴$^{fghi(bc)}$
	$F_4 \times B_2$	۵۴/۷۳$^{a(a)}$	۱۱۸/۷۳$^{a(a)}$	۷۶/۱۴$^{a(a)}$	۱۰/۴۲$^{a(a)}$	۱۰۵/۶۸$^{a(a)}$	۰/۳۲۱$^{l(f)}$	۰/۱۹۲$^{gh(d)}$	۰/۰۲۴$^{a(a)}$	defghi(b ۲/۲۰۶)
	LSD	۱/۶۶	۲/۹۷	۲/۳۴	۰/۵۶	۳/۴	۰/۰۱۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱۴	۰/۱۶۷

I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبستنی. F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی نانو اکسید آهن، نانوسیلیکون، محلول‌پاشی توام آهن و نانوسیلیکون. B_1 و B_2 به‌ترتیب عدم کاربرد میکوریزا و کاربرد میکوریزا. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند. حروف بیرون پرانتز مقایسه میانگین اثرات متقابل کلی و حروف درون پرانتز مقایسه میانگین به روش برش‌دهی را نشان می‌دهد.

گیاهان برای کاهش اثرات مخرب گونه‌های فعال اکسیژن، ساز وکارهای متفاوتی دارند. از جمله این سازوکارها می‌توان به افزایش سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی اشاره کرد (Agarwal *et al*, 2004). کاتالاز از مهم‌ترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی است که فعالیت بیشتر آن یکی از راهکارهای مقابله در کاهش اثر مخرب گونه‌های فعال اکسیژن بوده و موجب کاهش پراکسید هیدروژن می‌شود (Hong and Je-Ya, 2007). در این راستا بررسی محتوای پراکسید هیدروژن نشان می‌دهد که در همان ترکیبات تیماری که فعالیت آنزیم کاتالاز بیشتر بوده است محتوای پراکسید هیدروژن نیز کاهش یافته است (جدول ۱۰). آنزیم پراکسیداز نیز به‌عنوان آنزیم موثر در مقابله با تنش، در برخی از فرآیندهای سلولی مانند سازوکار دفاعی، اتصال عرضی مونومرهای گلیکوپروتئین‌های غنی از هیدروکسی پرولین موجود در دیواره سلولی، اتصال عرضی پلی‌ساکاریدهای پکتینکی به‌وسیله اسیدهای فنولیک و مشارکت در چوب‌پنبه‌ای شدن دیواره سلولی، موجب تعدیل اثرات

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

مخرب تنش‌های محیطی از جمله محدودیت آبی در گیاهان می‌شود (Das and Roychoudhury, 2014). همچنین آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز، اکسیدوردوکتازهایی هستند که نقش بسیار مهمی را در پاسخ به تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی و شوری دارند و در سم‌زدایی اشکال مختلف اکسیژن فعال شده در سلول و به هنگام بروز تنش در جمع‌آوری رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولید شده نقش فعالی دارد (Mittler, 2002). یقینی و همکاران (۱۳۹۸) اظهار داشتند استفاده از میکوریزا در شرایط محدودیت آبی به‌علت کمک به افزایش جذب عناصر غذایی، موجب افزایش فعالیت برخی آنزیم‌ها از جمله آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش رادیکال‌های آزاد می‌شود. همچنین نظری و همکاران (۱۴۰۰) افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان تیمار شده با سیلیکون تحت تنش خشکی را، به اثر این ماده در جلوگیری از تخریب سلول در برابر گونه‌های فعال اکسیژن و کاهش محتوای پراکسید هیدروژن نسبت دادند. نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی گندم در اثر محلول‌پاشی با نانواکسید آهن توسط دیگر محققان گزارش شده است (نریمانی و همکاران، ۱۳۹۹).

اسمولیت‌های سازگار (پرولین و قندهای محلول)

برهم‌کنش توام میکوریزا، نانو ذرات و قطع آبیاری بر محتوای پرولین و قندهای محلول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۹). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کاربرد نانوذرات و میکوریزا موجب افزایش ۳۸/۰۱ درصدی پرولین در مقایسه با عدم کاربرد تعدیل کننده‌های تنش در همین سطح از آبیاری شد (جدول ۱۰). بیش‌ترین محتوای قندهای محلول (۱۰۵/۶۸ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ) در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کاربرد توام میکوریزا با نانوذرات سیلیکون و آهن مشاهده شد که از افزایش ۲۸/۳۳ درصدی نسبت به عدم کاربرد نانوذرات و میکوریزا در همین سطح از سطوح آبیاری برخوردار بود (جدول۱۰). زمانی که محدودیت آبی افزایش می‌یابد، پتانسیل اسمزی از طریق تجمع محلول‌های سازگار (قندهای محلول و پرولین) در سیتوپلاسم افزایش می‌یابد. اگرچه پرولین به‌عنوان اسمولیت سازگار در نظر گرفته می‌شود ولی کارکرد چندگانه آن به‌عنوان آنتی‌اکسیدان و سیگنالینگ درسازگاری به تنش، سودمند است. پرولین در گیاهان، عمدتا از گلوتامات سنتز می‌شود که از طریق آنزیم پیرولین ۵ کربوکسیلات سنتتاز به گلوتامات سمی آلدئید احیا و سریع به پیرولین ۵ کربوکسیلات تبدیل می‌شود، و افزایش میزان پرولین در شرایط تنش خشکی می‌تواند به علت افزایش فعالیت این آنزیم باشد (Kariola *et al*., 2005). برخی محققان افزایش محتوای پرولین با کاربرد میکوریزا در شرایط تنش را، به کاهش سنتز پروتئین و افزایش میزان اسید آبسیزیک نسبت دادند، به‌طوری که میکوریزا با تاثیر بر هیدرولیز نشاسته و تبدیل آن به قندهای ساده‌تر، موجب افزایش محتوای قندهای محلول می‌شود (یقینی و همکاران، ۱۳۹۸). نظری و همکاران (۱۴۰۰) نیز گزارش کردند که کاربرد سیلیکون با

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

تاثیر بر متابولیسم قندها، موجب افزایش قندهای محلول می‌شود. به نظر می‌رسد محلول‌پاشی آهن در شرایط خشکی با کمک با افزایش اسمولیت‌های سازگاری همچون پرولین و قندهای محلول موجب حفظ تورژسانس سلول‌ها شده و به بهبود جذب آب حتی در پتانسیل‌های پایین آب خاک کمک می‌کند (نریمانی و همکاران، ۱۳۹۹) (جدول۱۰).

پراکسیدهیدروژن

برهم‌کنش توام میکوریزا، نانو ذرات و سطوح آبیاری بر محتوای پراکسید هیدروژن در سطح احتمال یک درصد معنی-دار شد (جدول ۹). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که قطع آبیاری در مرحله آبستنی به همراه کاربرد نانوذرات و میکوریزا موجب کاهش ۵۸/۸ درصدی پراکسید هیدروژن در مقایسه با عدم کاربرد تعدیل کننده‌های تنش در همین سطح از سطوح آبیاری شد (جدول۱۰). پراکسید هیدروژن، به‌عنوان یک گونه اکسیژن واکنش‌گر، مولکول مهم پیام‌رسان در بسیاری از سیستم‌های زیستی، به خصوص تحت شرایط تنش‌های محیطی است و افزایش آن موجب بهم ریختگی فرآیندهای مختلف فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاهان می‌گردد (Niu and Liao, 2016). در این راستا ارزیابی هدایت الکتریکی و محتوای مالون دی‌آلدهید گواه این ادعاست. طوری‌که در هر ترکیب تیماری که محتوای پراکسید هیدروژن افزایش داشته است به-دلیل تاثیر آن در افزایش تنش اکسیداتیو موجب شده است که به محتوای مالون‌دی آلدهید و هدایت الکتریکی نیز افزایش یابد (جدول‌های ۴ و ۱۰). به نظر می‌رسد کاربرد میکوریزا و نانوذرات در شرایط قطع آبیاری با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و آنتوسیانین موجب مهار بیشتر رادیکال‌های آزاد شده و با کاهش میزان گونه‌های فعال اکسیژن و آسیب به غشاء سلولی برگ، موجب شده است که محتوای پراکسید هیدروژن کاهش یابد(جدول ۱۰). نتایج مشابهی نیز مبنی بر کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن با کاربرد توام میکوریزا و نانوسیلیکون تحت شرایط خشکی توسط دیگر محققان گزارش شده است (یقینی و همکاران، ۱۳۹۸). نریمانی و همکاران (۱۳۹۹) اظهار داشتند که در شرایط خشکی، محلول‌پاشی آهن موجب کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن در گندم شد.

مالون دی‌آلدهید

برهم‌کنش توام میکوریزا، نانو ذرات و قطع آبیاری بر محتوای مالون دی‌آلدهید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۹). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کاربرد نانو ذرات و میکوریزا موجب کاهش ۳۶/۰۴ درصدی محتوای مالون دی‌آلدهید در مقایسه با عدم کاربرد تعدیل کننده‌های تنش در همین سطح از آبیاری شد (جدول ۱۰). مالون‌دی‌آلدهید به‌طور طبیعی در گیاهان تولید می‌شود و مقدار آن با شکست و جدایی اسیدهای چرب غیراشباع متناسب است. افزایش تولید آن از تخریب اسیدهای چرب دیواره سلولی ناشی می‌شود. از این‌رو مقدار مالون‌دی‌آلدهید می‌تواند شاخص مناسبی برای پراکسیداسیون لیپیدی و به تبع از آن افزایش هدایت الکتریکی

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

باشد(جدول ۴). تحت شرایط تنش، گیاهان تعدادی از گونه‌های فعال اکسیژنی مانند سوپراکسید، پراکسیدهیدروژن، رادیکال‌های هیدروکسیل و اکسیژن منفرد تولید می‌کنند که با افزایش شدت تنش و یا افزایش ترکیبات ROS، ساختار غشاء اسیب دیده و تخریب لیپیدهای آن، موجب افزایش مالون‌دی‌آلدهید می‌شود (جدول ۱۰) (Moller *et al*, 2007). به نظر می‌رسد کاربرد میکوریزا و نانوذرات آهن و سیلیکون با بهبود محتوای اسمولیت‌های سازگار (پرولین و قندهای محلول)، محتوای آنتوسیانین و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی موجب کاهش محتوای پراکسیدهیدروژن، افزایش پایداری غشاء و کاهش هدایت الکتریکی و در نهایت کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید در شرایط محدودیت آبی شده است (جدول-های ۴ و ۱۰). نتایج مشابهی نیز مبنی بر کاهش محتوای مالون دی آلدهید در شرایط محدودیت آبی با کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی با نانواکسید آهن توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده است(نظری و همکاران،۱۴۰۰؛ نریمانی و همکاران، ۱۳۹۹) (جدول‌های ۴ و ۱۰).

آنتوسیانین

برهم‌کنش توام میکوریزا، نانو ذرات و قطع آبیاری بر محتوای آنتوسیانین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۹). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کاربرد نانوذرات و میکوریزا موجب افزایش ۳۶/۳ درصدی آنتوسیانین در مقایسه با عدم کاربرد تعدیل کننده‌های تنش در همین سطح از محدودیت آبی شد (جدول ۱۰). به نظر می‌رسد محلول‌پاشی نانوسیلیکون با پیشگیری از افت معنی‌دار آنتوسیانین در گیاهان تحت تنش، موجب کاهش اثرات منفی تنش بر سیستم فتوسنتزی می‌شود و از این طریق می‌تواند مقاومت گیاه را نسبت به تنش افزایش دهد (Kalteh *et al*., 2014). به بیانی دیگر آنتوسیانین از مهم‌ترین ترکیبات آنتی‌اکسیدانی هستند که نه تنها در محیط‌های تنش‌زا رادیکال‌های آزاد را از بین می‌برند، بلکه از تولید بیشتر آن‌ها در گیاه جلوگیری کرده و موجب محافظت از سیستم فتوسنتزی میشود (سعادتمند و انتظاری، ۱۳۹۲). به طوری‌که در این بررسی نیز، در آن ترکیبات تیماری محتوای آنتوسیانین بالاتر بود که محتوای اسمولیت‌های سازگاری همچون پرولین و قندهای محلول حداکثر، ولی محتوای پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدهید و همچنین هدایت الکتریکی، از مقادیر حداقلی برخوردار بود(جدول‌های ۴ و ۱۰). این نتایج با یافته‌های دیگر محققان مبنی براینکه کاربرد توام میکوریزا و محلول‌پاشی نانوسیلیکون منجر به افزایش محتوای آنتوسیانین شد هماهنگ است (نظری و همکاران، ۱۴۰۰).

عملکرد دانه

برهم‌کنش توام میکوریزا، نانوذرات و قطع آبیاری بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۹). بیش‌ترین عملکرد دانه (۲/۲۶ گرم در بوته) در شرایط آبیاری کامل، کاربرد توام میکوریزا و محلول‌پاشی نانوسیلیکون و آهن

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

مشاهده شد که از افزایش ۱۸/۹۴ درصدی نسبت به شرایط عدم کاربرد نانوذرات و میکوریزا در همین سطح از محدودیت آبیاری برخوردار بود (جدول۱۰). در شرایط قطع آبیاری درمرحله آبستنی بخشی از بهبود عملکرد دانه با کاربرد میکوریزا و نانوذرات را میتوان به اثر این عوامل در مهار بیشتر رادیکال‌های آزاد و یا کاهش میزان گونه‌های فعال اکسیژن و آسیب به غشاء سلولی برگ، افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، پلی فنل اکسیداز و محتوای اسمولیت‌های سازگاری همچون پرولین و قندهای محلول، افزایش محتوای نسبی آب و بهبود هدایت روزنه‌ایی و کاهش مقادیر هدایت الکتریکی و محتوای پراکسیدهیدروژن و مالون دی‌آلدهید نسبت داد (جدول‌های ۴، ۶، ۸ و ۱۰). نظری و همکاران (۱۴۰۰) نیز افزایش عملکرد تریتیکاله با مصرف توام میکوریزا و نانوسیلیکون را، به اثر مثبت این کودها بر صفات بیوشیمیایی از جمله آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و آنتوسیانین و همچنین اسمولیت‌های سازگار (پرولین و قندهای محلول) تحت شرایط محدودیت آبی نسبت دادند. همچنین Kalteh و همکاران (2014) بیان داشتند محلول‌پاشی نانوسیلیکون با افزایش تجمع آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و افزایش کارایی دستگاه‌های فتوسنتزی، رشد و عملکرد گیاهان را بهبود می‌بخشد. محمدزاده و همکاران (۱۴۰۲) نیز اظهار داشتند محلول‌پاشی نانوسیلیکون ازطریق کاهش هدایت الکتریکی و افزایش هدایت روزنه‌ای، موجب افزایش عملکرد دانه تریتیکاله شد. نریمانی و همکاران (۱۳۹۹) اظهار داشتند که کاربرد نانواکسید آهن با بهبود وضعیت غشایی و کاهش اکسیژن‌های فعال، ضمن افزایش آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و اسمولیت‌های سازگار (جدول۱۰)، موجب افزایش عملکرد گندم شد.

نتیجه گیری

کاربرد توام میکوریزا و محلول‌پاشی نانوسیلیکون و آهن تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی موجب افزایش محتوای هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب، آنتوسیانین، محتوای اسمولیت‌های سازگار (پرولین و قندهای محلول) و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پلی‌فنل‌اکسیداز و پراکسیداز) نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل شد. همچنین کاربرد توام میکوریزا و نانوسیلیکون و آهن در شرایط آبیاری کامل دارای کم‌ترین محتوای هدایت الکتریکی، پراکسیدهیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید و بیش‌ترین عملکرد دانه بود. به‌نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون با بهبود برخی از صفات فیزیولوژیک مانند اسمولیت‌های سازگار، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و افزایش محتوای نسبی آب و هدایت روزنه‌ایی می‌تواند عملکرد دانه چاودار را حتی در شرایط قطع آبیاری افزایش دهد.

منابع

آقایی، ف.، سید شریفی، ر. و فرزانه، س. ۱۴۰۱. تاثیر نانوذرات و کودهای زیستی بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

و برخی صفات فیزیولوژیکی تریتیکاله (*Triticosecale Wittmack* L.) در شرایط شوری. زیست شناسی گیاهی ایران (۵۳)۱۴: ۴۰-۱۳.

زراوشان، م.، عبدل‌زاده، ا.، صادقی‌پور، ح. و مهربان جوینی، پ. ۱۳۹۹. مقایسه اثر سیلیکون معدنی و نانوسیلیکون بر برخی صفات بیوشیمیایی و فتوسنتزی در گیاه ذرت تحت تنش شوری. فیزیولوژی محیطی گیاهی. ۱۵(۵۷): ۲۳-۳۸.

عبادی، ن.، سید شریفی، ر. و نریمانی، ح. ۱۳۹۸. تاثیر آبیاری تکمیلی و کودهای بیولوژیک بر عملکرد، انتقال ماده خشک و برخی صفات فیزیولوژیک جو تحت شرایط دیم. تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. (۲)۱۰: ۱۳۵-۱۲۳.

سعادتمند، م. و انتشاری، س. ۱۳۹۲. اثر طول زمان پیش تیمار با سیلیکون برتحمل شوری در گیاه گل گاوزبان ایرانی. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. (۱۲)۳: ۵۷-۴۵.

سید شریفی، ر. و نامور ع. ۱۳۹۴. کودهای زیستی در زراعت. انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی. ۲۸۲ صفحه.

سید شریفی، ر. و قلی نژاد ا. ۱۴۰۰. ارزیابی صفات زراعی و مورفوفیزیولوژیکی گیاهان زراعی. انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی. ۴۰۰ صفحه.

کیانی چلمردی، ز.، عبدل‌زاده، ا. و صادقی‌پور، ح. ۱۳۹۱. بررسی اثر تغذیه سیلیکون در تخفیف کمبود آهن در گیاه برنج (Oryza sativa L.) با تاکید بر رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان. زیست شناسی گیاهی ایران. ۴(۱۴): ۶۱-۷۴.

محمدزاده، ز.، سید شریفی، ر.، فرزانه، س. و نریمانی، ح. ۱۴۰۲. تاثیر شوری، آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیسیم) بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی تریتیکاله (*Triticosecale Wittmak* ×). تولید گیاهان زراعی، (۲)۱۶: ۷۹-۱۰۴:

نریمانی، ح.، سید شریفی، س.، و عبادی، ن. ۱۳۹۹. تاثیر نانو اکسید آهن بر عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گندم در شرایط آبیاری دیم و تکمیلی. تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. (۱)۱۰: ۱۴۱-۱۲۷.

نظری، ژ.، سید شریفی، ر.، نریمانی، ح. و محمدی، س. ۱۴۰۰. تاثیر محدودیت آبی، کودهای زیستی و نانوسیلیکون بر محتوای اسمولیت‌های سازگار و صفات بیوشیمیایی تریتیکاله. به زراعی کشاورزی. ۲: ۱۱۷-۱۱۰.

یقینی، ف.، سید شریفی، ر.، قاسمی، م. و نریمانی، ح. ۱۳۹۸. تاثیر آبیاری تکمیلی و تلقیح بذر با کودهای زیستی بر عملکرد و برخی از صفات بیوشیمیایی گندم دیم. کشاورزی بوم شناختی(۲)۹: ۱۳۰-۱۱۵.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

Agarwal, S. and Pandey, V. 2004. Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in Cassia angustifolia. PlantBiology. 48: 555-560.

Aghaei, F., Seyed Sharif, R. and Farzaneh, S. 2024. Efects of nano iron-silicon oxide on yield and some biochemical and physiological characteristics of triticale under salinity stress. Silicon. 1-13.

Alexieva, V., Sergiev, I. Mapelli, S. and Karanov, E. 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. Plant Cell and Environment. 24: 1337-1344.

Andersson. R., fransson, G., Tietjen, M. and Aman, P., 2009. Content and molecular-weight distribution of dietary fiber components in wholegrain ray flour and bread. Journal of Agricultural anf Food Chemistry. 57 (5): 2004-2008.

Bates, L., Walderen, S. and Taere, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil 39: 205-207.

Benaffari, W., Boutasknit, A,. Anli, M., Ait-El-Mokhtar, M., Ait-Rahou, Y., Ben-Laouane, R., Ben Ahmed, H., Mitsui, T., Baslam, M. and Meddich, A. 2022. The native arbuscular mycorrhizal fungi and vermicompost-based organic amendments enhance soil fertility, growth performance, and the drought stress tolerance of Quinoa. Plants. 393(11): 1-27.

Das, K., and Roychoudhury, A. 2014. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. Frontiers in Environmental Science. 2:53- 66.

Dubios, M., Gilles, K.A., Hamilton, J. K., Roberts, P.A. and Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Annals of Chemistry 28: 350-356.

Heshmati, S., Amini A., Dehaghi, M. and Fathi Amirkhiz, K. 2016. Effect of chemical and biological phosphorus on antioxidant enzymes activity and some biochemical traits of spring Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water deficit stress conditions. Crop Production and Processing, 6(19): 203-214.

Hong, W. and Ji-Yan, J. 2007. Effects of zinc deficiency and drought stress on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize (*Zea mays* L.). Agricultural Science in China. 6(8): 988-995.

Kalteh, M., Alipour, Z.T., Ashraf, S., Aliabadi, M.M. and Nosratabadi, A.F., 2014. Effect of silica nanoparticles on basil (*Ocimum basilicum*) under salinity stress. Chemical Health Risks. 4: 49-55.

Kariola, T., Brader, G., Li, J. and Palva, E.T. 2005. Adamage control enzyme, effects the balance betweendefense pathway in plant. The Plant Cell. 17:282-294.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

Kheirizadeh Arougha, Y., Seyed Sharifi, R. and Seyed Sharifi, R. 2016. Biofertilizers and zinc effects on some physiological parameters of triticale under water-limitation condition. Journal of Plant Interactions. 11 (1): 167–177.

Kheirizadeh Arougha, Y. and Seyed Sharifi, R. 2017. Physiological response of triticale to zinc application and biofertilizers under various water limitation treatments. Philippine Agricultural Scientist. 100(2): 178-189.

Kostopoulou, P., Barbayiannis, N. and Basile, N. 2010. Water relations of yellow sweet clover under the synergy of drought and selenium addition. Plant and Soil. 330:65-71.

Kreslavskia, V. D., Shmarev, A. N., IvanovA, A. A., Zharmukhamedov, S. K., Strokina, V., Kosobryukhov, A., Yu, M., Allakhverdiev, S. I., and Shabala, S. 2023. Effects of iron oxide nanoparticles (Fe3O4) and salinity on growth, photosynthesis, antioxidant activity and distribution of mineral elements in wheat (*Triticum aestivum*). Functional Plant Biology. https://doi.org/10.1071/fp23085

Kusvuran, S. 2012. Effects of drought and salt stresses on growth, stomatal conductance, leaf water and osmotic potentials of melon genotypes (*Cucumis melo* L.). Africian Journal of Agricultural Research. 7(5): 775-781.

Luyckx, M., Hausman, J.F. Lutts, S. and Guerriero, G. 2017. Silicon and plants: Current knowledge and technological perspectives. Frontiers in Plant Sciences 8: 411.

Ma, D., Sun, D., Wang, C., Ding, H., Qin, H., Hou, J., Huang, X., Xie, Y. and Guo, H. 2017. Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. Frontiers in Plant Science 8:1–12.

Maghsoudi, K., Emam, Y., Ashraf, M. and Arvin, M.J. 2019. Alleviation of field water stress in wheat cultivars by using silicon and salicylic acid applied separately or in combination. Crop and Pasture Science 70(1):36-43.

Mitani, N., Chiba, Y., Yamaji, N. and Ma, J.F., 2009. Identification and characterization of maize and barley Lsi2-like silicon efflux transporters reveals a distinct silicon uptake system from that in rice. The Plant Cell. 21: 2133-2142.

Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science 7: 405-410.

Moller, M., Jensen, P. E. and Hansson, A. 2007. Oxidative modifications to cellular components in plants. Annual Review of Plant Biology. 58:459-481.

Monica, R.C. and Cremonini, R. 2009. Nanoparticles and higher plants. Caryologia. International Journal of Cytology, Cytosystematics and Cytogenetics. 62(2): 161-165.

Niu, L., and Liao, W. 2016. Hydrogen peroxide signaling in plant development and abiotic responses: crosstalk with nitric oxide and calcium. Frontiers in Plant Science. 7: 230.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

Rastogi, A., Tripathi, D.K., Yadav, S., Chauhan, D.K., Živčák, M., Ghorbanpour, M. and Brestic, M. 2019. Application of silicon nanoparticles in agriculture. Biotechnology. 9: 90.

Raza, M.A.S., Zulfqar, B., Iqbal,R., Muzamil, M.N., Aslam, M.U., Muhammad, F., Amin, J., Aslam, H.M.U., Ibrahim, M.A., Uzair,M. and Habib-ur-Rahman,M. 2023. Morpho-physiological and biochemical response of wheat to various treatments of silicon nano-particles under drought stress conditions. Scientifc Reports 13:1-13.

Ruiz-Lozano, J. M., del Carmen Peralvarez, M., Aroca, . and Azcon, R. 2011. The application of a treated sugar beet waste residue to soil modifies the responses of mycorrhizal and non mycorrhizal lettuce plants to drought stress. Plant and Soil. 346: 153-166.

Stewart, R. C. and Beweley, J. D. 1980. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. Plant Physiology. 65: 245-248.

Sudhakar, C., Lakshmi, A. and Giridara Kumar, S. 2001. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. Plant Science. 167: 613-619.

Talaat, N.B. and B.T. Shawky. 2014. Protective effects of Arbuscular mycorrhizal fungi on wheat (*Triticum aestivum* L.) plants exposed to salinity. Environmental and Experimental Botany. 98: 20-31.

Wagner, G.J. 1979. Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars free amino acids, and anthocyanins in protoplast. Plant Physiol. 64: 1. 88-93.

Yan, G., Nikolic, M., Ye, M., Xiao, Z. and Liang, Y. 2018. Silicon acquisition and accumulation in plant and its significance for agriculture. Journal of Integrative Agriculture. 17 (10): 2138-2150.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

Effects of mycorrhiza and nanoparticles iron and silicon on some physiological and biochemical traits of rye (*Secale cereal* L.) under withholding irrigation conditions

F. basiri rad[1], R. Seyed Sharifi[2*], Kh. Payandeh[3] and S. Mohammadi Kale Sarlou[4]

1, 2 & 4) Department of Plant Production and Genetics, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

3) Department of Soil Science, Ahvaz Branch Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

[*]Corresponding author: raouf_ssharifi@yahoo.com

This article is an excerpt from a master's thesis.

Received date: 2023.04.29 **Accepted date: 2023.08.16**

Abstract

Water limitation is one of the most important abiotic stresses that can decrease growth and yield of rye (*Secale cereal* L.). Several strategies have been suggested in order to improve yield of rye under water limitation conditiond, among them application of mycorrhiza, nanoparticles of iron and silicon play a key role in yield improvement. In this regard, in order to study the effects of mycorrhiza, nanoparticles of iron and silicon on some physiological and biochemical traits of rye (*Secale cereal* L.) under withholding irrigation conditions, an experimental as factorial was conducted based on randomized complete block design with three replications in research greenhouse of Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili during 2022. Experimental factors were included irrigation in three levels (full irrigation as control, withholding irrigation at 50% of heading and booting stages), mycorrhiza application at two levels (no application as control, application of mycorrhiza), nano iron-silicon oxide foliar application at four levels (foliar application with water as control, nano iron oxide foliar application, nano silicon, both application nano iron-silicon oxide). The results showed that withholding irrigation decreased relative water content and stomatal conductance in all of sampling stages, but application of nanoparticles and mycorrhiza were able to compensate of part of this reduction. Also, both application nanoparticle and mycorrhiza under withholding irrigation at booting stage decreased malondialdehyde and hydrogen peroxide contents (58.87 and 36.04% respectively) in comparison with no application of nanoparticle and mycorrhiza in the same irrigation level. But, it increased the activity of catalase, peroxidase and polyphenol oxidase enzymes (34.67, 32.14 and 32.18% respectively), proline and soluble sugars contents (38.01 and 28.33% respectively) in comparison with no application of mycorrhiza and nano iron-silicon oxide in the same irrigation level. Maximum of grain yield (2.76 g.per plant) was obtained at both application nanoparticle and mycorrhiza in full irrigation, which increased grain yield of 45.2% in comparison with no application of mycorrhiza and nano iron-silicon oxide under withholding irrigation at booting stages. Based on the results of this study, it can be suggested that under withholding irrigation conditions, application of nanoparticles and mycorrhiza can increase grain yield of rye by improving the physiological and biochemical traits.

Key words: Hydrogen peroxide, Proline, Soluble sugars and Stomatal conductance.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]