اثر محلول‌پاشی نانو کلات آهن و اسید فولیک بر عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیک ارقام کنجد در شرایط تنش خشکی

نیکی ایوبی‌زاده[۱]، قنبر لایی[۲*]، مجید امینی دهقی[۳]، جعفر مسعود سینکی[۴] و شهرام رضوان[۵]

۱) دانشجوی دکتری گروه زراعت، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران.
۲، ۴ و ۵) استادیار گروه کشاورزی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران.
۳) دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: g.laei@damghaniau.ac.ir

این مقاله مستخرج از رساله دکتری می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۶

چکیده

تنش خشکی و کود آهن نقش مهمی در تعیین عملکرد دانه و کیفیت محصولات دانه روغنی ایفا می‌کنند. به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی نانو کلات آهن و اسید فولیک بر برخی صفات کمی و کیفی دو رقم کنجد در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شاهد تهران در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. عامل اصلی آزمایش شامل: تنش خشکی در سه سطح (آبیاری کامل (شاهد)، آبیاری تا ۵۰ درصد دانه‌بندی و آبیاری تا ۵۰ درصد گل‌دهی) بود. عوامل فرعی شامل محلول‌پاشی در چهار سطح (عدم محلول‌پاشی به عنوان شاهد، نانو کلات آهن، اسید فولیک و ترکیب نانو کلات آهن و اسید فولیک) و همچنین دو رقم دشتستان و هلیل بودند. نتایج نشان داد که اثر تنش خشکی، محلول‌پاشی و رقم بر صفات عملکرد دانه، درصد و عملکرد پروتئین، عملکرد روغن، میزان کلروفیل‌های **a**، **b** و کل و میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. قطع آبیاری در ۵۰ درصد گل‌دهی کم‌ترین عملکرد دانه، عملکرد پروتئین، درصد و عملکرد روغن را داشت. در بین ترکیبات محلول‌پاشی نیز، کاربرد تلفیقی نانو کلات آهن همراه با اسید فولیک از نظر صفات عملکرد دانه، درصد و عملکرد پروتئین، درصد و عملکرد روغن، کلروفیل کل، کلروفیل **b** دارای میانگین بالاتری در مقایسه با بقیه تیمارها بود. در اکثر صفات مورد بررسی رقم هلیل در مقایسه با رقم دشتستان دارای برتری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بود. بیش‌ترین عملکرد دانه و عملکرد روغن در کاربرد تلفیقی نانو کلات آهن با اسید فولیک در رقم هلیل (به‌ترتیب با میانگین ۲۵۰۷/۲ و ۱۱۵۱/۴ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. قطع آبیاری در ۵۰ درصد گل‌دهی در شرایط عدم محلول-پاشی موجب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز (بالای ۸۰ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد شد.

واژه‌های کلیدی: پروتئین دانه، رنگیزه‌های فتوسنتزی و روغن دانه.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.5.1]

مقدمه

کنجد با نام علمی *Sesamum indicum* L. یکی از قدیمی‌ترین و پرطرفدارترین دانه‌های روغنی شناخته شده دنیاست و براساس آمارنامه جهاد کشاورزی سطح زیر کشت آن در کشور روبه افزایش است (سطح زیر کشت آن ۴۲۵۰۳ هکتار). گونه *Sesamum* از خانواده *Pedaliaceae* می‌باشد که داری ۶۰ گونه می‌باشد (Hassan, 2012). در میان گیاهان دانه روغنی، کنجد دارای بالاترین میزان روغن و پروتئین دانه می‌باشد (Wei *et al*., 2015)، به عبارت دیگر بذر این گیاه علاوه بر درصد بالای روغن (بیش از ۴۵ درصد)، یک منبع غنی پروتئین (۱۹ تا ۲۵ درصد) نیز محسوب می‌شود (Gharby *et al*., 2017). کیفیت و کمیت روغن کنجد به فاکتورهای اکولوژیک، ژنتیک و فیزیولوژیک (به عنوان مثال به‌ترتیب آب و هوا، رقم و رسیدگی گیاه) بستگی دارد (Rehman *et al*., 2007). اسیدهای چرب غیراشباعی همچون لینولئیک و اولئیک در بذر این گیاه وجود دارد که اصلی‌ترین عامل در تعیین کیفیت روغن می‌باشند (Uzun *et al*., 2008). به طور کلی، کنجد در مناطق خشک و نیمه خشک با حداقل بارندگی که توزیع آن بیش‌تر در مراحل زایشی باشد، رشد مطلوبی دارد (قلی‌نژاد و درویش‌زاده، ۱۳۹۴). در سال‌های اخیر ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با هدف افزایش تولید پروتئین و روغن جایگزین ژنوتیپ‌های قدیمی شده است (Thornton *et al*., 2014). تنش‌های شدید رطوبتی در مراحل رشد زایشی گیاه ویژگی‌های کیفی این گیاه را کاهش می‌دهد (Jiang *et al*., 2009). به هر حال با انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب در شرایط تنش، خطرات ناشی از آب و هوا به حداقل خواهد رسید (Motzo *et al*., 2007). در همین راستا، در مطالعه‌ای گزارش شد که تنش خشکی یکی از اصلی‌ترین فاکتورهای اثرگذار بر ترکیبات بذر، میزان پروتئین، عملکرد دانه و در نهایت کیفیت دانه کنجد می‌باشد (Thornton *et al*., 2014). سعیدی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی، عملکرد دانه کنجد کاهش می‌یابد، همچنین این پژوهشگران اثر رقم بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد را در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گزارش کردند. در پژوهشی گزارش شد که قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه کلزا باعث تغییر میزان کلروفیل برگ شد، به‌طوری که بیش‌ترین میزان کلروفیل در آبیاری کامل و کم‌ترین مقدار آن در قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی بود (مقدم و همکاران، ۱۳۹۰). بسیاری از پژوهشگران بیان داشتند که تنش خشکی اثر نامطلوبی بر رشد و نمو کنجد از طریق کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌گذارد (Mensah *et al*., 2006). گزارش شد که کاهش پتانسیل اسمزی در نتیجه تنش خشکی منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در گیاه کنجد شد (Pires *et al*., 2017). در شرایط تنش خشکی، دسترسی به عناصر غذایی یکی از مهم‌ترین فاکتورهای اثرگذار در رشد و توسعه گیاه می‌باشد. یکی از راهکارهای حل این مشکل، استفاده از منابع کودی است که اولاً جذب بیش‌تری داشته باشد و ثانیاً، باعث کاهش مصرف کود و کاهش هزینه‌ها تولید شود (ملکی‌فراهانی و عقیقی شاهوردی،

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.5.1]

۱۳۹۴). نانو کودها با کنترل دقیق آزادسازی عناصر غذایی، ضمن کاهش میزان مصرف کود، می‌تواند در دستیابی به کشاورزی پایدار و سازگار با محیط زیست مؤثر باشد (ملکی‌فراهانی و عقیقی شاهوردی، ۱۳۹۴). حسنی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کردند که اثر کود آهن بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد در شرایط تنش خشکی معنی‌دار بود و بیش-ترین عملکرد دانه در استفاده از محلول‌پاشی آهن به میزان سه در هزار به‌دست آمد. اثر نانو کلات آهن بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه و میزان روغن دانه کنجد رقم داراب ۱۴، معنی‌دار گزارش شد (بقری و همکاران، ۱۳۹۳). امیری‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که محلول‌پاشی آهن باعث افزایش میزان پروتئین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (از جمله کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز) در گیاه زیره سبز شد. اسید هیومیک همراه با اسید فولیک دو ترکیب اصلی از مواد هیومیکی (هیومین) است که به طور طبیعی از تجزیه زیستی موجودات زنده و گیاهان تشکیل و تقریباً ۵۰ درصد منابع کربن کره زمین را به خود اختصاص می‌دهند (Miao *et al*., 2018). اسید فولیک فعال‌ترین ترکیب هیومیک بوده و باعث حل شدن مواد معدنی در آب شده و به راحتی عناصر غذایی را از طریق یک کمپلکس به گیاه منتقل می‌نماید. اسید فولیک می‌تواند ویتامین‌ها، ایزوآنزیم‌ها، هورمون‌ها و آنتی بیوتیک‌های طبیعی را در خود حل نموده و از این طریق باعث بهبود رشد و نمو گیاه شود (سماوات و ملکوتی، ۱۳۸۴). امیری و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که اثر کاربرد کودهای آلی اسید هیومیک و اسید فولیک بر عملکرد اقتصادی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، درصد روغن و پروتئین دانه معنی‌دار بود و باعث افزایش میانگین این صفات در گیاه گاو زبان شد. با توجه به معضل کم‌آبی به خصوص در کشور ما، کشت و کار گیاهانی که بتواند در چنین شرایط محیطی (گرم و خشک) عملکرد مطلوبی تولید کند، ضروری است. از طرف دیگر، کنجد گیاهی متحمل به کم‌آبی و دارای روغن مطلوب از نظر خوراکی است که گرایش روزافزون به مصرف آن در جامعه به وجود آمده است. بنابراین هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر محلول‌پاشی ترکیبات مختلف از نانو کلات آهن و اسید فولیک بر عملکرد دانه کنجد و برخی صفات فیزیولوژیک و کیفی (همچون میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، درصد روغن و پروتئین دانه و همچنین کیفیت اسیدهای چرب مهم) در ارقام دشتستان و هلیل در شرایط قطع آبیاری در مراحل مختلف رشدی بود.

مواد و روش ها

این پژوهش به‌صورت آزمایش اسپلیت‌پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شاهد تهران (عرض جغرافیایی ۳۴′ ۳۵° و طول جغرافیایی۳۴′ ۵۱°) در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ به‌صورت کشت دوم بعد از برداشت گندم اجرا شد. عامل اصلی آزمایش شامل سطوح مختلف آبیاری در سه سطح، آبیاری کامل (به عنوان شاهد)، آبیاری تا ۵۰ درصد دانه‌بندی و آبیاری تا ۵۰ درصد گل‌دهی بود. عوامل فرعی شامل، محلول‌پاشی در چهار

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.20084403.1397.10.40.5.1]

سطح، نانو کلات آهن، اسید فولیک، ترکیب نانو کلات آهن و اسید فولیک و عدم محلول‌پاشی به عنوان شاهد و همچنین دو رقم دشتستان و هلیل بودند. قبل از کشت، خاک محل آزمایش مورد تجزیه قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.

بافت خاک	اسیدیته	شوری (دسی زیمنس بر متر)	کربن آلی (درصد)	نیتروژن کل (میلی گرم بر کیلوگرم)	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم)	آهن (میلی گرم بر کیلوگرم)
لوم رسی شنی	۸/۱۰	۲	۱/۱۱	۱۱۰۰	۷/۴	۳۸۳/۶	۵/۷

ابعاد هر کرت آزمایشی ۲ × ۳ متر و شامل پنج ردیف کشت بود. فاصله بین بلوک‌ها و کرت اصلی دو متر، فاصله کرت-های فرعی یک متر، فاصله بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر، فاصله بین ردیف‌ها از هم ۵۵ سانتی‌متر بود. کشت به‌صورت دستی و در اواخر خرداد ماه صورت گرفت و اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت به صورت جوی و پشته‌ای انجام شد. تا قبل از گل‌دهی، آبیاری مزرعه به صورت یک دست (تعیین زمان آبیاری با استفاده از تشتک تبخیر کلاس A در ۷۰ میلی-متر تبخیر و تعرق گیاه) انجام شد (مهدوی خرمی و همکاران، ۱۳۹۶) و برای اعمال تیمار آبیاری، قطع آبیاری در زمانی که ۵۰ درصد کرت مورد نظر در مرحله گل‌دهی و یا ۵۰ درصد دانه‌بندی بودند، صورت گرفت. برای محلول پاشی از ترکیب نانو کلات آهن از کود شیمیایی با نام تجاری نانو کلات آهن خضراء (Nano Chelated Iron 9 %) به میزان ۱۰ کیلوگرم در هکتار و اسید فولیک از کود شیمیایی با نام تجاری Fert Star Fulvabon Potassic (حاوی ۴۵ درصد اسید فولیک، ۱۵ درصد اسید هیومیک و ۱۵ درصد پتاسیم محلول) به میزان دو کیلوگرم در هکتار و به روش محلول‌پاشی در طی دو مرحله شروع گل‌دهی و شروع دانه‌بندی (براساس توصیه شرکت سازنده) استفاده شد. نمونه‌گیری برای اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک، یک هفته بعد از محلول‌پاشی دوم از برگ‌های جوان و توسعه یافته صورت گرفت و بعد از قرار دادن در داخل ازت مایع به فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد برای اندازه‌گیری‌های بعدی منتقل شد. اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی با استفاده از روش Arnon (۱۹۴۹) صورت گرفت. بر طبق این روش، ۰/۲۵ گرم برگ گیاه مورد نظر در هاون چینی حاوی پنج میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد کاملاً هموژنیزه شد. بعد از سانتریفیوژ نمونه‌ها میزان جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۶۶۳/۲، ۶۴۶/۸ و ۴۷۰ قرائت شد. با استفاده از روابط زیر میزان کلروفیل a (رابطه ۱)، کلروفیل b (رابطه ۲) و کلروفیل کل (رابطه ۳) و نیز میزان کاروتنوئید (رابطه ۴) محاسبه شد (Aghighi Shahverdi *et al*., 2017).

رابطه ۱: $Chl\ a = (12.25 \times A663.2 - 2.79 \times A646.8)$

رابطه ۲: $Chl\ b = (21.50 \times A646.8 - 5.1 \times A663.2)$

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.5.1]

رابطه ۳: $$\text{Total Chl} = (7.15 \times A663.2 + 18.71 \times A646.8)$$

رابطه ۴: $$\text{Cartetenoeids} = (1000 \times A470 - 1.82 \times \text{Chl a} - 85.02 \times \text{Chl b})/198$$

به‌منظور اندازه‌گیری محتوی پروتئین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، عصاره‌گیری با استفاده از دو میلی‌لیتر از ترکیب Tris و Polyvinylpyrrolidone و ۰/۵ گرم نمونه گیاهی صورت گرفت (Aghighi Shahverdi *et al*., 2017). برای تعیین مقدار کل پروتئین برگ از روش Bradford (۱۹۷۶) استفاده شد. برای اندازه‌گیری غلظت پروتئین، ۲۰ میلی-لیتر عصاره استخراج شده را در ۸۰ میکرولیتر بافر استخراج رقیق کرده و پنج میلی‌لیتر معرف کوماکسی بریانت بلو تازه به آن افزوده و دو دقیقه به‌هم زده شد و پس از پنج دقیقه، میزان جذب آن در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت شد و با استفاده منحنی استاندارد تهیه شده با سرم آلبومین گاوی میزان پروتئین در نمونه محاسبه شد. برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز از روش Mac-Adam و همکاران (۱۹۹۲) استفاده شد. در این روش، ۳۳ میکرولیتر از عصاره استخراج را با یک میلی‌لیتر از محلول پراکسیداز، که شامل ۱۳ میلی‌مولار گوایکول، پنج میلی‌مولار پراکسید هیدروژن و ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات‌پتاسیم (pH=۷) بود، مخلوط کرده و جذب آن به مدت یک دقیقه با فواصل ۱۵ ثانیه در طول موج ۴۷۰ نانومتر خوانده شد. برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز از روش Dhindsa و همکاران (۱۹۸۱) استفاده شد. بر اساس این روش ۵۰ میکرولیتر از عصاره استخراج با یک میلی‌لیتر محلول اندازه‌گیری کاتالاز، که شامل ۵۰ میلی‌مول بافر فسفات-پتاسیم (pH=۷) و ۱۵ میلی‌مول پراکسید هیدروژن بود مخلوط شد. سپس جذب آن در ۲۴۰ نانومتر به مدت یک دقیقه با دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت شد. سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز براساس روش Beauchamp and Fridvich (۱۹۷۵) انجام شد. محلول واکنش در حجم نهایی یک میلی‌لیتر برای اندازه‌گیری فعالیت این آنزیم شامل ۸۳۵ میکرولیتر بافرفسفات سدیم ۵۰ میلی‌مولار، ۶۶ میکرولیتر نیتروبلوتترازولیوم ۰/۷۵ میلی‌مولار، ۶۶ میکرولیتر ریبوفلاوین و ۳۳ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. تغییرات جذب محلول واکنش نسبت به تیمار شاهد در طول موج ۵۶۰ نانومتر اندازه-گیری شد و فعالیت آن براساس واحد بر میلی‌گرم پروتئین بیان شد (Aghighi Shahverdi *et al*., 2017). در اوایل آبان ماه (بعد از رسیدگی فیزیولوژیکی) نمونه‌گیری از هر واحد آزمایشی با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای انجام و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. برای تعیین میزان روغن دانه از روش استخراج گرم (41.1.22) 972.28 ASOC Officinal Method و از دستگاه سوکسله و برای تعیین میزان پروتئین دانه از روش Bradford (۱۹۷۶) استفاده شد. عملکرد پروتئین و عملکرد روغن نیز با استفاده از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد پروتئین و درصد روغن دانه محاسبه شد. در نهایت تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS ورژن ۹/۲ و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.20084403.1397.10.40.5.1]

نتایج و بحث

عملکرد دانه

عملکرد دانه در اثر خشکی و همچنین برهم‌کنش محلول‌پاشی در رقم، تغییر معنی‌دار نشان داد (جدول ۱). قطع آبیاری در ۵۰ درصد گل‌دهی کم‌ترین عملکرد دانه را داشت و باعث افت ۳۲/۸۴ درصدی در میانگین این صفت در مقایسه با تیمار شاهد (آبیاری کامل) شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین بین سطوح مختلف تنش خشکی نشان داد بین تیمارهای شاهد و قطع آبیاری در ۵۰ درصد دانه‌بندی تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. در مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی در رقم، بیش‌ترین عملکرد دانه در کاربرد تلفیق نانو کلات آهن + اسید فولیک در رقم هلیل (با میانگین ۲۵۰۷/۲ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد و کم‌ترین میانگین در عدم محلول‌پاشی در رقم دشتستان بود (شکل ۱). همبستگی ساده بین صفات نشان داد که عملکرد دانه به عنوان جزء اقتصادی گیاه با صفات درصد و عملکرد روغن، عملکرد پروتئین، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید همبستگی مثبت و با فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز همبستگی منفی و معنی‌دار نشان داد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که اسیدهای آلی و نانو کلات آهن از طریق بهبود ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیک گیاه از جمله افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی (Natesan *et al*., 2007) شرایط مساعدی را برای رشد مطلوب‌تر گیاه فراهم کردند، لذا افزایش عملکرد دانه در شرایط کاربرد این کودها منطقی به نظر می‌رسد. در پژوهشی بر روی گیاه سویا، محلول‌پاشی اسید هیومیک باعث بهبود اجزای عملکرد و عملکرد دانه شد (El-Baz *et al*., 2012). پژوهشگران گزارش کردند که بروز تنش خشکی در کنجد در طول مدت گل‌دهی موجب کاهش رشد کپسول‌ها، تعداد آن‌ها و در نتیجه عملکرد دانه می‌شود (Kassab *et al*., 2005). در پژوهشی اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه ارقام مختلف کنجد معنی‌دار گزارش شد و تنش خشکی در مرحله گل‌دهی باعث افت محسوس عملکرد در این گیاه شد (دانایی و رفیع، ۱۳۹۶). حذف آبیاری در مراحل گل‌دهی و دانه‌بندی احتمالاً به دلیل کاهش تعداد کپسول و ریزش‌ها و همچنین کاهش میزان سنتز مواد فتوسنتزی و انتقال آن‌ها به دانه، باعث کاهش اجزای عملکرد و در نهایت کاهش عملکرد دانه می‌شود. در پژوهشی اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه کنجد معنی‌دار گزارش شد و تنش شدید باعث افت عملکرد دانه در این گیاه شد که نتایج حاصل از پژوهش حاضر را تائید می‌نماید (Dahanayake *et al*., 2015). از دلایل مهم کاهش عملکرد و اجزای عملکرد در زمان تنش خشکی می‌تواند به کاهش میزان مواد فتوسنتزی صادر شده از برگ در اثر کاهش میزان رنگدانه‌ها اشاره کرد، زیرا انتقال شیره از آوند آبکش وابسته به پتانسیل فشار است که در طی تنش کم‌آبی پتانسیل آب در آوند آبکش کاهش یافته و این افت از انتقال مواد فتوسنتزی و در نهایت از مقدار آسیمیلات ذخیره‌ای می‌کاهد (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۲).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.5.1]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.5.1] [Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

جدول ۱: تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی نانو کلات آهن و اسید فولیک بر عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیک ارقام کنجد در شرایط تنش خشکی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)										
		عملکرد دانه	درصد پروتئین	عملکرد پروتئین	درصد روغن	عملکرد روغن	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	فعالیت کاتالاز	فعالیت پراکسیداز	فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز
بلوک	۲	۱۵۷۹۹۶ ns	۱/۴۸ ns	۱۱۴۹۱/۲ ns	۸/۶۲ ns	۶۲۳۸۴/۴*	۱/۶۱ ns	۰/۴۵ ns	۲/۲۰ ns	۱/۹۳*	۰/۰۰۰۷ ns	۰/۰۰۷ ns	۰/۰۰۹ ns
تنش خشکی	۲	۳۵۸۶۹۴۰**	۵۵/۴**	۷۵۴۱۸/۱**	۱۲۶/۴**	۱۰۱۹۲۴۵/۱**	۶۰/۷**	۱۳/۹**	۱۱۱/۶**	۲۶/۶**	۱/۴۴**	۰/۱۸**	۱/۹۱**
خطای اصلی	۴	۱۰۱۵۶۱	۲/۴۳	۹۷۳۰	۱۳/۵۵	۳۴۵۴۱/۱	۰/۷۵	۱/۰۲	۱/۷۹	۰/۰۷	۰/۰۰۰۸	۰/۰۹	۰/۰۰۵
محلول‌پاشی	۳	۱۹۹۹۲۸۲**	۱۷/۱**	۱۲۸۲۹۳/۶**	۸۱/۲**	۶۳۵۵۷۲/۶**	۳۹/۳**	۲۵/۸**	۱۲۱/۷**	۰/۱۳ ns	۰/۱۲**	۰/۱۰*	۰/۱۱**
رقم	۱	۲۹۴۵۳۲۳**	۲۸/۸**	۲۱۸۵۰۹/۵**	۴۵/۵*	۴۱۶۶۰۰/۱**	۳۲/۵**	۱۷/۹**	۹۸/۹**	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۰۰۵ ns	۰/۰۱۰ ns	۰/۲۰**
تنش× محلول‌پاشی	۸	۸۳۴۰۶ ns	۰/۹۳ ns	۵۲۳۰/۰ ns	۲/۷۶ ns	۲۵۹۷۷/۸ ns	۵/۸۱**	۴/۰۶**	۱۳/۴**	۰/۵۴ ns	۰/۰۳۶**	۰/۲۱**	۰/۰۰۹ ns
رقم× تنش	۲	۱۱۵۴۰ ns	۴/۳۵ ns	۱۱۷۰/۶ ns	۲/۳۷ ns	۲۹۶۸/۷ ns	۹/۸۱**	۴/۴۱*	۱۱/۵**	۱/۴۲*	۰/۰۰۰۵ ns	۰/۰۱۹ ns	۰/۰۰۹ ns
محلول‌پاشی× رقم	۳	۲۷۰۳۵۳**	۴/۹۹ ns	۶۹۰۵/۲ ns	۳/۰۱ ns	۵۴۷۵۷/۱*	۰/۳۰ ns	۳/۶۴*	۴/۲۱ ns	۰/۳۰ ns	۰/۰۰۰۳ ns	۰/۰۲۹ ns	۰/۰۵**
تنش× محلول‌پاشی× رقم	۶	۱۰۰۳۷۳ ns	۱/۵۵ ns	۳۵۶۸/۲ ns	۷/۷۳ ns	۳۳۶۸۰/۹ ns	۰/۵۶ ns	۳/۰۴*	۳/۴۰ ns	۱/۶۳**	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۰۸ ns	۰/۰۱ ns
خطای آزمایشی	۴	۵۷۱۲۰	۳/۰۴	۳۶۱۵/۵	۱۰/۱۵	۱۸۴۵۶	۱/۲۳	۱/۱۴	۱/۹۴	۰/۴۱	۰/۰۰۱	۰/۰۲۵	۰/۰۱
ضریب تغییرات (٪)	_	۲۷/۷۴	۸/۱۶	۱۴/۲۶	۶/۹۳	۱۴/۸۸	۱۰/۷۲	۱۸/۳۱	۸/۶۱	۱۳/۴۴	۱۱/۱۲	۲۱/۰۱	۱۱/۷۵

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

به‌طور کلی نتایج نشان داد که عملکرد رقم هلیل در سطوح مختلف محلول‌پاشی بیش‌تر از رقم دشتستان بود. گزارش شده است که عملکرد ارقام مختلف کنجد تفاوت معنی‌داری دارند که نتایج حاصل از این پژوهش را تائید می‌کنند (دانایی و رفیع، ۱۳۹۶).

پروتئین دانه

نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که اثر تنش خشکی، محلول‌پاشی و رقم بر درصد و عملکرد پروتئین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۱). در مقایسه میانگین اثر تنش خشکی، بیش‌ترین درصد پروتئین در قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی (۲۲/۸۹ درصد) بود، ولی عملکرد پروتئین در سطوح آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله دانه-بندی بالاترین مقدار بود. در بین سطوح مختلف تیمارهای محلول‌پاشی نیز، بیش‌ترین درصد پروتئین در کاربرد تلفیق نانو کلات آهن در اسید فولیک مشاهده شد که در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی) باعث افزایش ۱۰/۶۶ درصدی میانگین این صفت شد. نتایج مقایسه میانگین عملکرد پروتئین نشان داد که محلول‌پاشی با ترکیبات نانو کلات آهن، اسید فولیک و تلفیق این دو دارای بالاترین عملکرد پروتئین دانه بود و شاهد دارای کم‌ترین میانگین این صفت بود (۳۰۶/۹ کیلوگرم در هکتار). در مقایسه بین دو رقم نیز، رقم هلیل از نظر درصد و عملکرد پروتئین برتری معنی‌داری نسبت به رقم دشتستان داشت (جدول ۲).

جدول ۲: مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی با ترکیبات نانو کلات آهن و اسید فولیک، تنش خشکی و رقم بر صفات عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیک کنجد

سطوح تیماری	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	درصد پروتئین	عملکرد پروتئین (کیلوگرم در هکتار)	درصد روغن	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)	فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (واحد آنزیم بر میلی‌گرم پروتئین)
تنش خشکی						
بدون تنش	۲۳۰۲/۳ a	۱۹/۸۵ c	۴۶۲/۱ a	۴۵/۷۶ ab	۱۰۶۰/۶ a	۰/۶۵ c
تنش شدید	۱۵۴۶/۰ b	۲۲/۸۹ a	۳۵۷/۵ b	۴۳/۷۱ b	۶۷۷/۳ b	۰ /۷۷ b
تنش ملایم	۲۰۶۳/۱ a	۲۱/۴۱ b	۴۴۴/۸ a	۴۸/۲۹ a	۱۰۰۰/۱ a	۱/۱۹ a
محلول‌پاشی						
شاهد	۱۵۱۰/۴ b	۲۰/۱ b	۳۰۶/۹ b	۴۳/۸ b	۶۶۴/۰ c	-
نانوکلات	۲۱۸۱/۸ a	۲۱/۳ ab	۴۶۰/۳ a	۴۸/۵ a	۱۰۶۲/۹ a	-
اسید فولیک	۱۹۴۳/۴ a	۲۱/۴ ab	۴۱۵/۲ a	۴۴/۶ b	۸۷۰/۵ b	-
نانوکلات×اسید فولیک	۲۲۴۶/۴ a	۲۲/۵ a	۵۰۳/۴ a	۴۶/۷ ab	۱۰۵۳/۱ a	-
ارقام کنجد						
دشتستان	۱۷۶۸/۲ b	۲۰/۷ b	۳۶۶/۴ b	۴۶/۷۲ a	۸۳۶/۶ b	-
هلیل	۲۱۷۲/۷ a	۲۲/۰ a	۴۷۶/۶ a	۴۵/۱۳ b	۹۸۸/۷ a	-

بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن حروف غیر مشابه در هر ستون، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد دارند.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.5.1]

تنش خشکی باعث تغییر در محتوی کلروفیل و صدمه به ساختارهای فتوسنتزی و در نتیجه کاهش عملکرد تولیدی می‌شود و از آن‌جایی که عملکرد پروتئین تابع عملکرد دانه است، کاهش عملکرد پروتئین در نتیجه تنش خشکی با توجه به کاهش عملکرد دانه قابل پیش‌بینی است. امیری‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که محلول‌پاشی آهن اثر مثبت و فزاینده‌ای بر مقدار پروتئین داشت و بیش‌ترین پروتئین از کاربرد تلفیقی عناصر آهن و روی حاصل شد. در پژوهش حاضر کاربرد تلفیقی نانو کلات آهن و اسید فولیک مؤثرترین ترکیب برای محلول‌پاشی بود. محققان بیان داشتند که ترکیب عنصر آهن با روی و برخی دیگر از عناصر ریزمغذی باعث افزایش سنتز پروتئین محلول و افزایش فتوسنتز در تغییر و تبدیل کربن فتوسنتزی می‌شود (Trunctunk and Turanctunk, 2006).

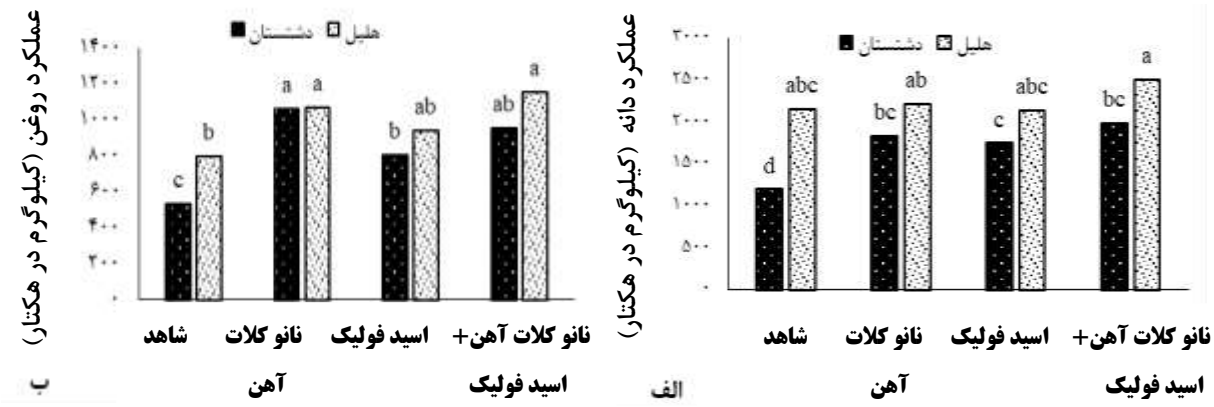
روغن دانه

اثر تنش خشکی، محلول‌پاشی و رقم بر درصد و عملکرد روغن دانه معنی‌دار بودند. همچنین برهم‌کنش محلول‌پاشی در رقم بر عملکرد روغن معنی‌دار بود (جدول ۱). قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی باعث تولید بیش‌ترین درصد روغن (۴۸/۲۹ درصد) در مقایسه با سایر سطوح تیمار خشکی شد، ولی بیش‌ترین عملکرد روغن در سطوح آبیاری کامل و آبیاری تا مرحله دانه‌بندی (به ترتیب ۱۰۶۰/۶ و ۱۰۰۰/۱ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (جدول ۲). کاربرد نانو کلات آهن باعث ایجاد بیش‌ترین درصد روغن دانه شد، از طرف دیگر بیش‌ترین عملکرد روغن در کاربرد نانو کلات آهن به تنهایی و در ترکیب با اسید فولیک مشاهده شد (جدول ۲). در بین ارقام نیز، رقم دشتستان بیش‌ترین درصد روغن (۴۶/۷۲ درصد) و رقم هلیل بیش‌ترین عملکرد روغن (۹۸۸/۷ کیلوگرم در هکتار) را داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش محلول‌پاشی در رقم نشان داد که بیش‌ترین عملکرد روغن دانه در کاربرد نانو کلات آهن در هر دو رقم و کاربرد تلفیق نانو کلات آهن در اسید فولیک در رقم هلیل مشاهده شد. کم‌ترین میانگین عملکرد روغن نیز در عدم محلول‌پاشی در رقم دشتستان بود (شکل ۱). Masoud Sinaki و همکاران (۲۰۰۷) کاهش محتوی روغن دانه را در اثر تنش خشکی گزارش نموده‌اند. محققان گزارش کردند که یکی از دلایل کاهش عملکرد روغن و دانه در شرایط تنش کم‌آبی، کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی و همچنین کاهش سطح برگ می‌باشد (رشدی، ۱۳۹۱). پژوهشگران گزارش کردند که تنش اسمزی در مرحله گل‌دهی باعث کاهش محتوی روغن دانه می‌شود (کلانتر احمدی و همکاران، ۱۳۹۵). تنش خشکی در مرحله گل‌دهی با کاهش ظرفیت دانه در جذب مواد پرورده و تبدیل آن‌ها به روغن، بیش‌ترین اثر منفی را بر میزان روغن دانه دارد (کلانتراحمدی و همکاران، ۱۳۹۵). تنش خشکی در مرحله گل‌دهی، به علت اثر سوء آن بر تخریب فرآیندهای متابولیک دانه، اختلال در انتقال مواد پرورده به دانه‌ها و احتمالاً تولید ترکیبات ثانویه نامطلوب در تولید روغن می‌باشد (کلانتر احمدی و همکاران، ۱۳۹۵). نتایج

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.20084403.1397.10.40.5.1]

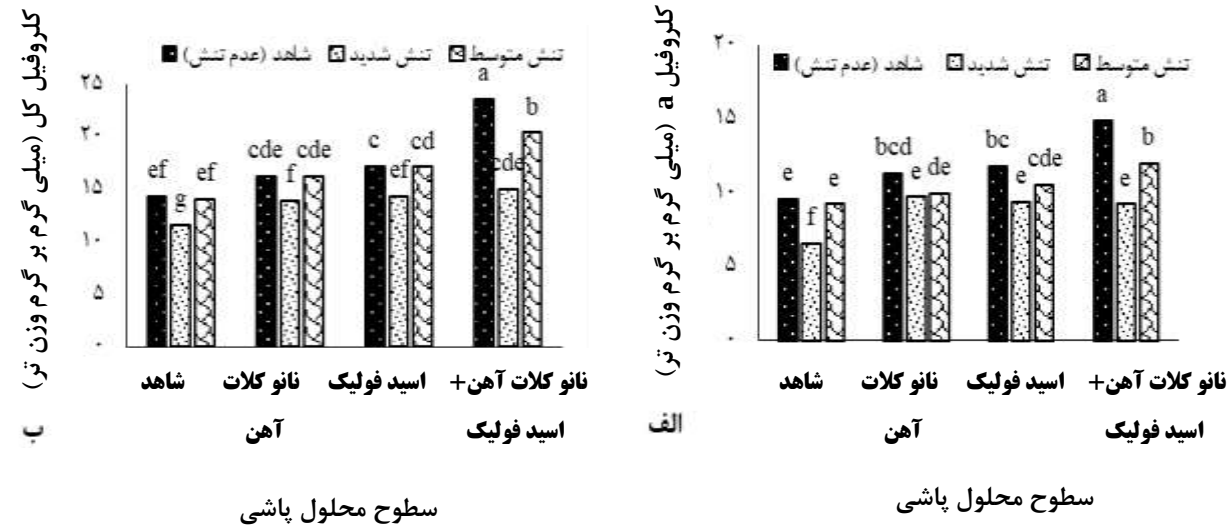
بقری و همکاران (۱۳۹۳) نیز حاکی از افزایش درصد روغن کنجد در اثر استفاده از کود نانو بود. همچنین نتایج صفاری (۱۳۸۴) نیز نشان دهنده اثر مثبت دسترسی به عناصر کم مصرف با درصد روغن بود.



شکل ۱: مقایسه میانگین برهم‌کنش محلول‌پاشی در رقم بر عملکرد دانه (الف) و عملکرد روغن (ب) دانه کنجد

رنگیزه‌های فتوسنتزی

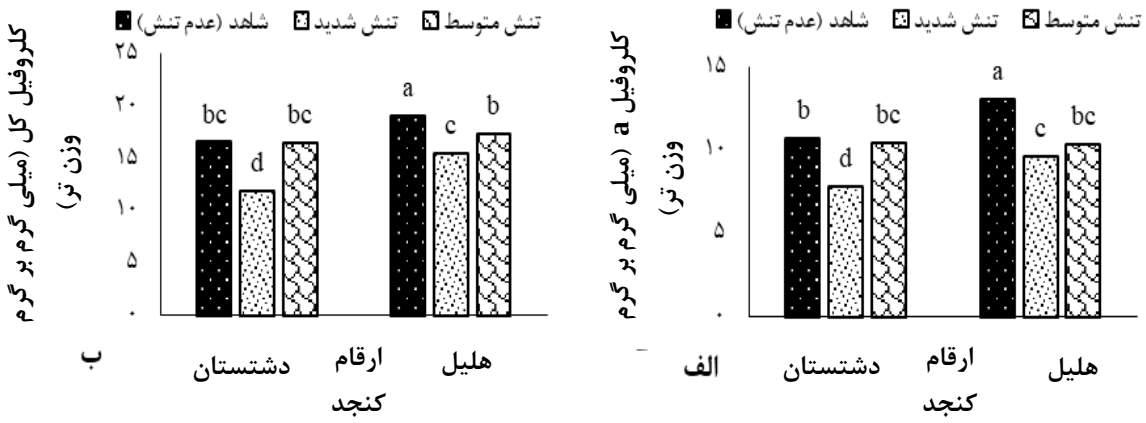
اثر تنش خشکی، محلول‌پاشی و رقم بر میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل معنی‌دار بودند، همچنین برهمکنش تنش خشکی در محلول‌پاشی، رقم در تنش خشکی و محلول‌پاشی در رقم بر میزان صفات ذکر شده معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۱).



شکل ۲: مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی در محلول‌پاشی بر میزان کلروفیل a (الف) و کلروفیل کل (ب) برگ کنجد

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.5.1]

بیش‌ترین مقدار کلروفیل a و کل در برهم‌کنش تنش خشکی در محلول‌پاشی در ترکیب تیماری کاربرد تلفیقی نانو کلات آهن در اسید فولیک در آبیاری کامل (شاهد) به ترتیب با میانگین ۱۴/۹۳ و ۲۳/۵۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مشاهده شد که در مقایسه با تیمار شاهد افزایش ۳۵/۹۰ و ۳۹/۲۶ درصدی نشان داد (شکل ۲). مقایسه میانگین اثر تنش خشکی در رقم نشان داد که بیش‌ترین میزان کلروفیل a و کلروفیل کل (به‌ترتیب ۱۳/۰۶ و ۱۹ /۰۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار آبیاری کامل و رقم هلیل مشاهده شد (شکل ۳). برهم‌کنش سه‌گانه بر میزان کلروفیل b معنی‌دار بود، به‌طوری که بیش‌ترین میزان این صفت در تیمار آبیاری کامل در کاربرد تلفیقی نانو کلات آهن و اسید فولیک در رقم هلیل با میانگین ۹/۳۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مشاهده شد که در مقایسه با تیمار شاهد افزایش ۴۲/۸۷ درصدی داشت. نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش سه‌گانه بر میزان کارتنوئید معنی‌دار بود، به‌طوری که بیش‌ترین مقدار این صفت در کاربرد نانو کلات آهن در سطح آبیاری کامل و در رقم هلیل با میانگین ۶/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود (شکل ۴).

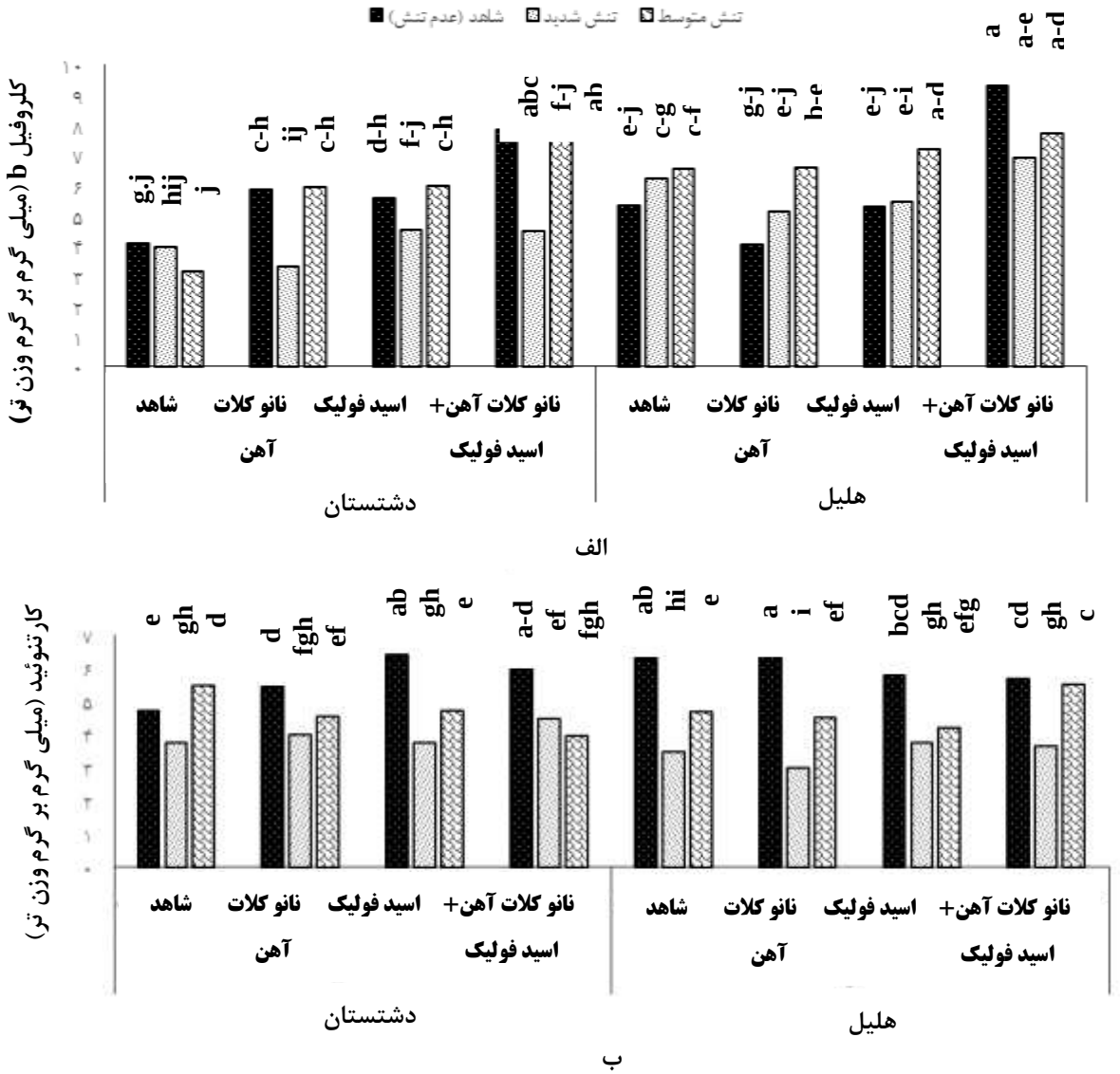


شکل ۳: مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی در رقم بر میزان کلروفیل a (الف) و کلروفیل کل (ب) برگ کنجد

محققان گزارش کردند که میزان کلروفیل برگ در اثر تنش رطوبتی کاهش می‌یابد، لذا کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش می‌تواند یک عامل محدود کننده غیر روزنه‌ای به حساب آید که در نهایت منجر به کاهش عملکرد تولیدی خواهد شد (مقدم و همکاران، ۱۳۹۰). در این بررسی در اثر تنش خشکی، میزان کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید به شدت کاهش یافت. کاهش میزان کلروفیل می‌تواند به‌واسطه کاهش سنتز کلروفیل و همچنین ناشی از تخریب آن باشد. تخریب مولکولی کلروفیل به علت جدا شدن زنجیره فیتولی از حلقه پورفیرین در اثر رادیکال‌های آزاد اکسیژن و یا آنزیم کلروفیلاز صورت می‌گیرد (Parvaiz and Satyawati, 2008). به نظر می‌رسد افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز در واکنش به تنش خشکی منجر به کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی شده و از طرف دیگر هورمون‌های بازدارنده رشد از قبیل هورمون اسید

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.5.1]

آبسیزیک و اتیلن که در شرایط تنش افزایش می‌یابند، در افزایش فعالیت این آنزیم نقش داشته و موجب تخریب بیش‌تر کلروفیل شده است (فتحی و همکاران، ۱۳۹۶).



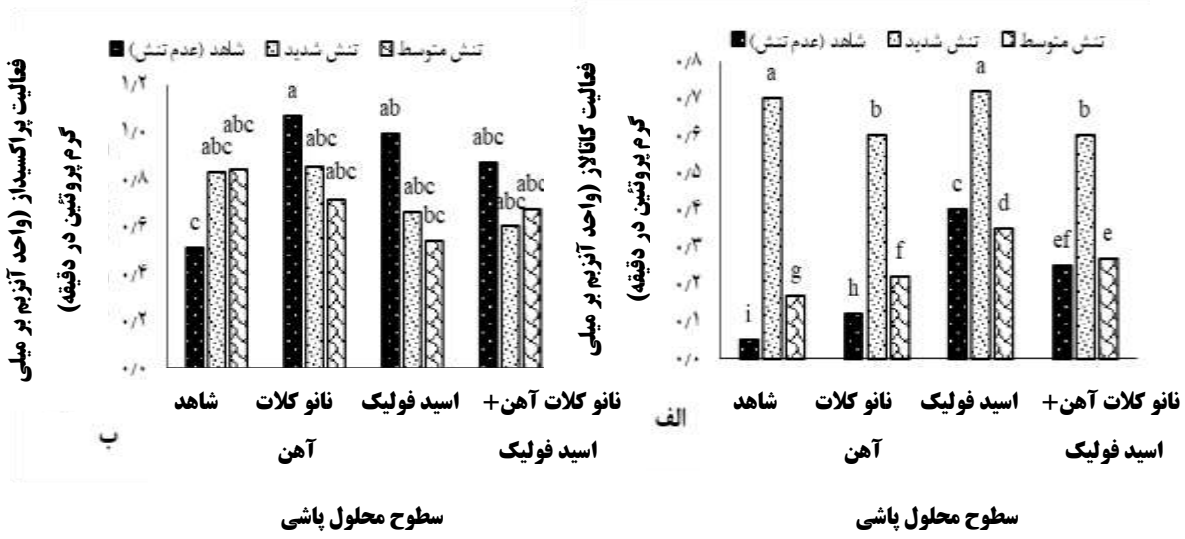
شکل ۴: مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه تنش خشکی در محلول‌پاشی در رقم بر میزان کلروفیل b (الف) و کارتنوئید (ب) برگ کنجد

نکته قابل توجه اینکه در شرایط تنش، میزان رنگیزه کمکی (کلروفیل b) در مقایسه با رنگیزه اصلی (کلروفیل a) کاهش کم‌تری داشت. نقش تنش ایجاد اختلال در تعادل بین تولید و حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن است و القاء تنش اکسیداتیو، موجب خسارت به پروتئین‌ها، چربی‌های غشاء و سایر اجزای سلولی شده و از این طریق موجب کاهش فتوسنتز و رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه می‌شود (امیری‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴ ؛ Hirayama *et al.*, 2006).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.5.1]

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

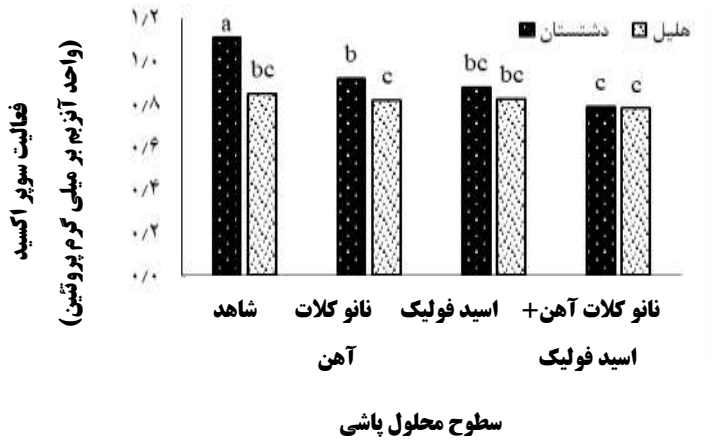
اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POX) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD) معنی‌دار بودند. همچنین برهم‌کنش تنش خشکی در محلول‌پاشی بر فعالیت CAT و POX و برهم‌کنش محلول پاشی در رقم بر فعالیت SOD معنی‌دار بودند (جدول ۱). بیش‌ترین فعالیت آنزیم SOD در قطع آبیاری در مرحله دانه بندی مشاهده شد و کم‌ترین مقدار آن در تیمار آبیاری کامل بود (جدول ۲). در مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی در محلول‌پاشی، بیش‌ترین فعالیت آنزیم CAT در عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی اسید فولیک در قطع آبیاری در ۵۰ درصد گل‌دهی به‌دست آمد و کم‌ترین فعالیت این آنزیم در عدم محلول‌پاشی در آبیاری کامل مشاهده شد (شکل ۵). میزان فعالیت آنزیم POX نیز در برهم‌کنش تنش خشکی در محلول‌پاشی تغییر معنی‌دار نشان داد، به‌طوری که بیش‌ترین فعالیت این آنزیم در تیمار آبیاری کامل و محلول‌پاشی نانو کلات آهن (با میانگین فعالیت ۱/۰۷ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) مشاهده شد که در مقایسه با تیمار شاهد افزایش فعالیت ۵۲/۳۳ درصدی داشت (شکل ۶). بر طبق پژوهش‌های قبلی، ایزوآنزیم‌های پراکسیداز در برگ گیاهان دانه روغنی در محلول غذایی فاقد آهن در فرآیند خنثی‌سازی پراکسید هیدروژن کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان بیان نمود که در گیاهان، پراکسیداز یکی از آنزیم‌های خنثی کننده است که حاوی آهن می‌باشد (فتحی امیرخیز و همکاران، ۱۳۹۰).



شکل ۵: مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی در محلول‌پاشی بر میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (الف) و پراکسیداز (ب)

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.20084403.1397.10.40.5.1]



شکل ۶: مقایسه میانگین برهم‌کنش محلول‌پاشی در رقم بر میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

به نظر می‌رسد به دلیل محلول‌پاشی نانو کلات آهن در پژوهش حاضر، اثر محلول‌پاشی بر اثر تنش خشکی غالب شده و اثر آن را تعدیل نموده است و به همین دلیل میزان فعالیت این آنزیم در آبیاری کامل بالاتر از سطوح دیگر بود. در مقایسه میانگین برهم‌کنش محلول‌پاشی در رقم بر میزان فعالیت SOD، بیش‌ترین میانگین این صفت در عدم محلول‌پاشی در رقم دشتستان بود و کم‌ترین میانگین در کاربرد تلفیقی نانو کلات آهن و اسید فولیک در هر دو رقم مشاهده شد (شکل ۶).

پاسخ آنتی‌اکسیدانی، فرآیندی مهم برای حفاظت گیاهان در مقابل آسیب‌های اکسیداتیوی است که در اثر طیف وسیعی از تنش‌های محیطی همچون خشکی و شوری ایجاد می‌شود (Mittler *et al*., 2004). آزاد قوجه بیگلو و همکاران (۱۳۹۶) گزارش نمودند که در اثر تنش خشکی افزایش فعالیت آنزیم‌های CAT، POX و آسکوربات پراکسیداز در ارقام مختلف بابونه مشاهده شد که نتایج حاصل از پژوهش حاضر را تائید می‌نماید. با افزایش تنش خشکی پس از ۲۴ ساعت، فعالیت آنزیم‌های CAT و SOD در گیاه افزایش می‌یابد. افزایش فعالیت این دو آنزیم در تیمار تنش به دلیل اثر مهم آن‌ها در مقابله با رادیکال‌های آزاد اکسیژن ایجاد شده در اثر تنش خشکی است، بنابراین این آنزیم‌ها یکی از اجزای مهم سازوکار دفاعی گیاه در نظر گرفته می‌شوند (Nayyar and Gupta, 2006). این آنزیم واکنش‌های زنجیره‌ای رادیکال‌های آزاد را متوقف و با حذف پراکسید هیدروژن از گیاهان در برابر تنش اکسیداتیو محافظت می‌کند (Rukmini *et al*., 2004). آهن یکی از عناصر مهم در واکنش‌های اکسایش – کاهش، در گیاهان است. نقش این عنصر در تثبیت نیتروژن و فعالیت برخی آنزیم‌ها نظیر CAT، POX و سیتوکروم اکسیداز به خوبی مورد بررسی قرار گرفته است (Ghorbani *et al*., 2007). در پژوهشی مصرف ریز مغذی آهن موجب افزایش ۵۱ و ۴۲ درصدی فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز و CAT شد (عسکری و همکاران، ۱۳۹۳). امیری‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴) بیان داشتند که محلول‌پاشی ترکیبات آهن باعث افزایش فعالیت آنزیم-های CAT، POX و SOD شد که مطابق با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد. فتحی‌امیرخیز و همکاران (۱۳۹۰) بیان داشتند

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.5.1]

که آنزیم‌های CAT، POX و آسکوربات پراکسیداز حاوی عنصر آهن هستند و فعالیت آن‌ها به شدت به کاربرد آهن واکنش نشان داد.

جدول ۳: همبستگی ساده بین صفات عملکرد دانه و سایر صفات کیفی و فیزیولوژیک ارقام کنجد

	عملکرد دانه	درصد روغن	عملکرد روغن	درصد پروتئین	عملکرد پروتئین	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	CAT	POX
درصد روغن	۰/۳۶*										
عملکرد روغن	۰/۹۶**	۰/۵۷**									
درصد پروتئین	۰/۰۰۲	-۰/۰۴	-۰/۰۱								
عملکرد پروتئین	۰/۹۳**	۰/۳۲*	۰/۸۹**	۰/۳۵*							
کلروفیل a	۰/۶۷**	۰/۱۹	۰/۶۲**	-۰/۰۰۴	۰/۶۳**						
کلروفیل b	۰/۵۰**	۰/۲۴	۰/۵۰**	۰/۰۷	۰/۵۰**	۰/۴۷**					
کلروفیل کل	۰/۶۹**	۰/۲۵	۰/۶۶**	۰/۰۳	۰/۶۶**	۰/۸۹**	۰/۸۱**				
کارتنوئید	۰/۳۸*	۰/۰۴	۰/۳۴*	-۰/۳۰*	۰/۲۶	۰/۵۲**	-۰/۱۰	۰/۲۸			
CAT	-۰/۵۰**	-۰/۳۸*	-۰/۵۲**	۰/۴۱**	-۰/۳۴*	-۰/۳۹*	-۰/۱۶	-۰/۳۳*	-۰/۶۲**		
POX	۰/۱۵	۰/۳۰	۰/۱۵	-۰/۱۹	۰/۰۶	۰/۱۵	-۰/۱۲	۰/۰۳	۰/۲۵	-۰/۰۲	
SOD	-۰/۷۲**	-۰/۳۲*	-۰/۷۰**	۰/۰۹	-۰/۶۵**	-۰/۶۶**	-۰/۳۹*	-۰/۶۳**	-۰/۶۴**	۰/۷۷**	-۰/۰۵

* و ** : به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و اعداد بدون علامت غیرمعنی‌دار می‌باشد.
CAT: فعالیت آنزیم کاتالاز، POX: فعالیت آنزیم پراکسیداز، SOD: فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

بنابراین می‌توان بیان نمود که در گیاهان، مهم‌ترین آنزیم‌های خنثی کننده پراکسید هیدروژن (CAT، POX و آسکوربات پراکسیداز) آنزیم‌های حاوی عنصر آهن هستند. نتایج جدول همبستگی ساده بین صفات نشان داد که همبستگی منفی بین فعالیت آنزیم CAT و SOD با عملکرد دانه وجود دارد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه درصد بالایی از مواد فتوسنتزی را مصرف کرده و سهم مواد فتوسنتزی در بخش اقتصادی گیاه کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که قطع آبیاری در ۵۰ درصد گل‌دهی (معادل تنش خشکی شدید) باعث کاهش معنادار برخی صفات فیزیولوژیک از جمله رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل) شد که نتیجه نهایی آن کاهش عملکرد دانه شد. از طرف دیگر محلول‌پاشی تلفیقی نانو کلات آهن و اسید فولیک باعث بهبود صفات کمی (عملکرد دانه) و کیفی (رنگیزه‌های فتوسنتزی، مقدار روغن و پروتئین دانه و فعالیت آنتی‌اکسیدانی) شد که این امر در شرایط تنش موجب تعدیل اثر منفی ناشی از تنش خشکی شد. در اکثر صفات مورد مطالعه رقم هلیل دارای برتری معنی‌دار در مقایسه با رقم دشتستان بود. نتایج حاصل حاکی از این مطلب بود که کشت دوم کنجد (به ویژه رقم هلیل)

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.5.1]

عملکرد دانه و روغن مطلوبی در شرایط محلول‌پاشی با ترکیبات نانو کلات آهن و اسید فولیک در منطقه جنوب تهران داشت.

منابع

امیری، م. ب.، رضوانی‌مقدم، پ. و جهان، م. ۱۳۹۶. اثرات اسیدهای آلی، میکروریزا و ریزوباکترها بر عملکرد و برخی خصوصیات فیتوشیمیایی گاوزبان ایرانی در نظام‌های زراعی کم‌نهاده، نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۷ (۱):۶۱-۴۵.

امیری‌نژاد، م.، اکبری، غ. ع.، باقی‌زاده، ا.، شهبازی، م. و نعیمی، م. ۱۳۹۴. اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی آهن و روی بر برخی صفات بیوشیمیایی گیاه دارویی زیره سبز، به‌زراعی کشاورزی. ۱۷ (۴):۸۶۶-۸۵۵.

آزاد قوجه‌بیگلو، ح.، فاخری، ب.، مهدی‌نژاد، ن. و پرمون، ق. ۱۳۹۶. اثر محلول‌پاشی نانو کلات آهن بر فعالیت-های آنتی‌اکسیدانی و عملکرد گل ژنوتیپ‌های بابونه تحت تنش خشکی، به زراعی کشاورزی. ۱۹ (۲):۲۷۱-۲۵۷.

بقری، م.، شمسی، ح. مروتی، ا. ۱۳۹۳. اثر نانو کلات آهن بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد داراب ۱۴. اکوفیزیولوژی گیاهی. (۱۸):۷۹-۶۹.

حسنی، م.، حیدری، م. و برزگری، م. ۱۳۹۱. بررسی اثر کود آهن و گوگرد بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد در شرایط تنش خشکی در گتوند، فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۶ (۴):۴۲-۳۳.

دانایی، ا. خ. و رفیع، م. ر. ۱۳۹۶. اثر تنش خشکی بر صفات زراعی ژنوتیپ‌های کنجد در منطقه بهبهان، به‌زراعی نهال و بذر. ۳۲ (۲): ۱۳۸-۱۱۳.

رشدی، م. ۱۳۹۱. تأثیر کم آبیاری بر خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه ارقام آفتابگردان روغنی، فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۴ (۴):۳۶-۲۳.

رضوانی‌مقدم، پ.، امیری، م. ب. و سیدی، س. م. ۱۳۹۳. اثر مصرف کودهای آلی و زیستی بر عملکرد، میزان روغن و ترکیب اسیدهای چرب روغن کنجد، علوم زراعی ایران. ۱۶ (۳):۲۲۱-۲۰۹.

سماوات، س. و ملکوتی، م. ۱۳۸۴. لزوم استفاده از اسیدهای آلی برای افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات کشاورزی، نشریه فنی تحقیقات خاک و آب. ۶۳ (۴):۱۳-۱.

صفاری، ح. ۱۳۸۴. بررسی تأثیر روش و میزان مصرف بهینه کودهای ریز مغذی حاوی آهن و روی بر عملکرد کمی و کیفی و ردصد روغن کلزا. مجموعه مقالات سمینار علمی و کاربردی صنعت روغن نباتات ایران. تهران. ص ۹۸.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.5.1]

طباطبایی، س.، شاکری، ا. و شاهدی، م. ۱۳۹۲. بررسی تغییرات عملکرد و اجزای عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های جو در شرایط تنش آبیاری، فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۸ (۵):۱۱۴-۱۰۱.

عسکری، م.، امیرجانی، م. و صابری، ط. ۱۳۹۳. بررسی اثرات نانو کود آهن بر رشد برگ، مقدار کربوهیدرات و آنتی‌اکسیدان‌های پریوش، فرآیند و کارکرد گیاهی. ۷ (۳): ۵۵-۴۳.

فتحی، ع.، برادران فیروزآبادی، م.، عامریان، م. ر. و قلی‌پور، م. ۱۳۹۶. اثر سدیم نیتروپروساید و کربنات کلسیم بر برخی صفات فیزیولوژیکی کنجد در شرایط تنش شوری، فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۳۵ (۹):۲۰-۵.

فتحی‌امیرخیز، ک.، امینی‌دهقی، م.، مدرس‌ثانوی، س. ع. م.، رضازاده، ع. و حشمتی، س. ۱۳۹۰. اثر مصرف آهن بر فعالیت آنزیمی، عملکرد دانه و میزان روغن دانه گلرنگ در شرایط کمبود آب، مجله علوم زراعی ایران. ۱۳ (۳):۴۶۵-۴۵۲.

قلی‌نژاد، ا. و درویش‌زاده، ر. ۱۳۹۴. اثر قارچ میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد توده‌های محلی کنجد (*Sesamum indicum* L.) در سطوح مختلف آبیاری. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۵ (۱): ۱۳۵-۱۱۹.

کلانتراحمدی، س. ا.، عبادی، ع.، دانشیان، ج.، سیادت، س. ع. و جهانبخش، س. ۱۳۹۵. اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی تنظیم کننده‌های رشد بر محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد دانه کلزا رقم هایولا ۴۰۱، مجله علوم زراعی ایران. ۱۸ (۳): ۲۱۷-۱۹۶.

مقدم، ا.، شیرانی‌راد، ا. ح.، خورگامی، ع. و رفیعی، م. ۱۳۹۰. بررسی اثرات تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد دانه و میزان کلروفیل برگ‌ها در چهار رقم کلزای بهاره در شرایط آب و هوایی خرم‌آباد، فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۹ (۳):۱۲۱-۱۰۷.

مقدم، ا.، محمودی سورستانی، م.، فرخیان فیرزوی، ا.، رمضانی، ز. و اسکندری، ف. ۱۳۹۴. تأثیر محلول‌پاشی کلات آهن و نانو کلات آهن بر صفات مورفولوژیکی و میزان اسانس ریحان مقدس، به‌زراعی کشاورزی. ۱۷ (۳):۶۰۶-۵۹۵.

ملکی‌فراهانی، س. و عقیقی شاهوردی، م. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر کاربرد نانو کود آهن در مقایسه با کلات آن بر عملکرد کمی و کیفی زعفران زراعی، به زراعی کشاورزی. ۱۷ (۱): ۱۶۸-۱۵۵.

مهدوی خرمی، ا.، مسعود سینکی، ج.، امینی دهقی، م.، رضوان بیدختی، ش. و دشتبان، ع. ۱۳۹۶. تأثیر کاربرد کودهای نانو، شیمیایی، زیستی و تنش خشکی آخر فصل بر صفات رویشی عملکرد کنجد (*Sesamum indicum* L.). پژوهش‌های به زراعی. ۹ (۲):۲۱۳-۱۹۸.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.5.1]

Aghighi Shahverdi, M., Omidi, H. and Tabatabaei, S. J. 2017. Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) responses to NaCl stress: Growth, photosynthetic pigments, diterpene glycosides and ion content in root and shoot. Journal of Saudi Society of Agricultural Sciences. https://doi.org/10.1016/j.jssas. 2017.12.001

Ali-Reza, M., Feng, L. Y., Manaf, A., Wasaya, A., Ansar, M., Hussain, A., Bin-Khalid, M. H., Iqbal, N., Xi, Z. J., Chen, Y. K., Chen, J. X., Yang, F. and Yang, W. 2018. Sulphur application increases seed yield and oil content in sesame seeds under rain fed conditions. Field Crops Research, 218:51-58.

Arnon, D. 1949. Copper enzymes isolated chloroplasts, polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology. 24: 1- 15.

Beauchamp, C. and Fridovich, I. 1971. Superoxide dismutase: Improved assay and an assay applicable to acrylamide gels. Analytical Biochemistry. 44: 276-287.

Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Annual Review of Biochemistry.72:248-254.

Dahanayake, N., Alawathugoda, C. J. and Ranawake, A. L. 2015. Effect of water stress on yield and some yield components of three selected oil crops; groundnut, sunflower and sesame. International Journal of Scientific and Research Publications. 5(2):1-5.

Dhindsa, R. H., Plumb-Dhindsa, R. and Thorpe, T. A. 1981. Leaf senescence correlated with increased level of membrane permeability, lipid peroxidation and decreased level of SOD and CAT. Journal of Experimental Botany, 32: 93-101.

El-Baz, S. M., Abbas, E. E. and Mostafa, R. A. I. A. 2012. Effect of sowing dates and humic acid on productivity and infection with rot diseases of some soybean cultivars cultivated in new reclaimed soil. International Journal of Agricultural Research, 7: 345-357.

Gharby, S., Harhar, H., BOuzobaa, Z., Asdadi, A., El-Yadini, A. and Charrouf, Z. 2017. Chemical characterization and oxidative stability of seeds and oil of sesame grown in Morocco. Journal of Saudi Society of Agricultural Sciences. 16:105-111.

Ghorbani Javid, M., Moradi, F., Akbari G. H. and Allahdadi, I. 2007. Some metabolite role in osmotic regulation mechanism of medic *Medicago laciniata* (L.) Mill under drought stress. Iranian Journal of Crop Science, 8: 90-105.

Hassan Manal A. M. 2012. Studies on Egyptian sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) and its products 1-physicochemical analysis and phenolic acids of roasted Egyptian sesame seeds. World Journal of Dairy Food Science, 7 (2):195–201.

Hirayama, M., Wada, Y. and Nemot, H. 2006. Estimation of drought tolerance based on leaf temperature in upland rice breeding. Breeding Science, 56: 47-54.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.5.1]

Jiang, D., Yue, H., Wollenweber, B., Tan, W., MU, H., BO, Y., Dai, T., Jing, Q. and Cao, W. 2009. Effects of post-anthesis drought and waterlogging on accumulation of high–molecular–weight glutenin subunits and glutenin macropolymers content in wheat grain. Journal of Agronomy Crop Sciences, 195: 89–97.

Kassab, O., Noemani, E. and El-Zeiny, A. H. 2005. Influence of some irrigation system and water regimes on growth and yield of sesame plant. Journal of Agronomy, 4: 220-224.

Mac-Adam, J. W., Nelson, R. and Sharp, E. 1992. Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue. Plant Physiology, 99:872-878.

Masoud Sinaki, S., Majidi Heravan, E., Shirani Red, H., Noormohammadi, G. and Zarei, Gh. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola. American Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science, 2 (4): 417-422.

Mensah, J. K., Obadoni, B. O., Eruotor, P. and Onome-Trieguna, F. 2006. Simulated flooding and drought effects on germination, growth and yield parameters of sesame. African Journal Biotechnology, 13: 1249-1253.

Miao, Z. H., Li, K., Liu, P. Y., Li, Z., Yang, H., Zhao, Q., Chang, M., Yang, Q., Zhen, L. and Xu, C. Y. 2018. Natural humic-acid based photother anostic agent. Advanced Healthcare Materials. DOI: 10.1002/adhm.201701202.

Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M. and Vanbreusegem, F. 2004. Reactive oxygen network of plants. Trends Plant Science, 9: 490-498.

Mohamadipoor, R., Sedaghathoor, S. and Mahboub-Khomami, A. 2013. Effect of application of iron fertilizers in two methods 'foliar and soil application' on growth characteristics of *Spathiphyllum illusion*. European Journal of Experimental Biology, 3: 232-240.

Motzo, R., Fois, S. and Giunta, F. 2007. Protein content and gluten quality of durum wheat (*Triticum turgidum* subsp. durum) as affected by sowing date. Journal of Science and Food Agriculture, 87:1480–1488.

Natesan, R., Kandasamy, S., Thiyageshwari, S. and Boopathy, P. M. 2007. Influence of lignite humic acid on the micronutrient availability and yield of black gram in an Alfisol. Scientific World Journal, 7: 1198-1206.

Nayyar, H. and Gupta, D. 2006. Differential sensitivity of C_3 and C_4 plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants. Environmental and Experimental Botany, 58: 106-113.

Parvaiz, A. and Satyawati, S. 2008. Salt stress and phyto-biochemical of plants. Plant soil Environment, 54:89-99.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.5.1]

Pires, R. M. O., Àvila, M. A. B., Leite, D.G., Santos, H. O., Souza, G. A., Von Pinho, E.V.R. 2017. Physiological and enzymatic alterations in sesame seeds submitted to different osmotic potentials. Genetics and Molecular Research, 16 (3):1-16.

Rahman, M. S., Hossain, M. A., Ahmed, G. M. and Uddin, M. M. 2007. Studies on the characterization, lipids and glyceride compositions of Sesame (*Sesamum indicum* linn.) seed oil. Bangladesh Journal of Science and Industrial Research, 42: 67–74.

Rukmini, M. S., Benedicta, D. S. and Vivan. D. S. 2004. Superoxide dismutase and catalase activities and their correlation with malondialdehyde in schizophrenic patients. Indian Journal of Clinical Biochemistery, 1919:114-118.

Thornton, P. K., Ericksen, P. J., Herrero, M. and Challinor, A. J., 2014. Climate variability and vulnerability to climate change: a review. Global Change Biology, 20: 3313–3328.

Trunctunk, R. and Trunkturk, M. 2006. Effects of different phosphorous levels on the yield and quality components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Agriculture Biological Science, 2(6): 336-340.

Uzun, B., Arslan, C. and Furat, S. 2008. Variation in fatty acid compositions, oil content and oil yield in a germplasm collection of sesame (*Sesamum indicum* L.). Journal of the American Oil Chemists' Society, 85: 1135–1142.

Wei, X., Liu, K., Zhang, Y., Feng, Q., Wang, L., Zhao, Y., LI, D., Zhao, Q., Zhu, X. and Zhu, X., 2015. Genetic discovery for oil production and quality in sesame. Nature Communications, 6:1-8.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.5.1]