

Evaluation of Potassium Nano-Fertilizer, Fulvic Acid, and Chitosan Application on Quantitative Traits of sesame (*Sesamum indicum* L.) in Different Irrigation Regimes

Amir Mizani¹, Jafar Masuod Sinaki^{2*}, Shahram Rezvan², Mohammad Abedini Esfahlani³,
Ali Damavandi²

Received: 26 June 2022 Accepted: 03 November 2022

1-Ph.D. Student, Agronomy Dept, Damghan branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran.

2- Assist. Prof., Dept. of Agriculture, Strategic Crop & Horticulture Research Center, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran.

3- Assist. Prof., Filed and Horticultural Crops Research Department, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Semnan Province (Shahrood), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahrood, Iran

*Corresponding Author Email: jmsinaki2020@gmail.com; sinaki@damghaniau.ac.ir

Abstract

Background and Objectives: The present study was conducted to evaluate the impact of potassium nano-fertilizers, fulvic acid, and chitosan on quantitative traits of sesame under different irrigation regimes.

Materials and Methods: A field experiment was conducted in Semnan Agricultural and Natural Resources Research Center as a factorial split-plot based on randomized complete block design with three replications in 2019. In this experiment irrigation regimes (full irrigation: non-stress, irrigation cut off at the beginning of seed formation inside the capsule: moderate stress and the beginning of flower structure formation: severe stress) as the main plot, and potassium nano-fertilizer (0, 1.5, and 2.5 per thousand) and foliar application of chitosan (five g.ha⁻¹) and fulvic acid (two kg.ha⁻¹) in four levels were tested as sub-plots.

Results: The application of potassium nano-fertilizer along with fulvic acid and chitosan increased the photosynthetic pigments, seed yield, and oil and protein content, which was a significant increase under severe drought stress. Application of 1.5 per thousand potassium nano-fertilizer with chitosan under non-stress conditions resulted in the highest number of capsules per plant, seed yield, biological yield, oil yield, and protein yield. The highest oil and protein content (48.79 and 25.12%, respectively) were obtained using a combination of chitosan and fulvic acid under non-stress conditions. The highest seed yield (2249.2 kg.ha⁻¹) was achieved in the application of chitosan along with 1.5 per thousand potassium nano-fertilizer under non-stress conditions. The results of regression showed that the potassium nano-fertilizer application with increasing leaf area index (almost twice as much) and total chlorophyll content leads to a reduction in drought stress intensity and tolerance increases.

Conclusion: Foliar application of chitosan and fulvic acid with potassium nano-fertilizer (1.5 per thousand) under severe drought stress (irrigation cut off at the beginning of flower structure formation) increasing the quantitative traits (including the number of capsules per plant, leaf area index, number of seeds per plant, and seed yield) of sesame plant.

Keywords: Drought, Photosynthetic Pigment, Seed Yield, Organic Fertilizers, Oil Content

ارزیابی کاربرد نانو کود پتاسیم، اسید فولویک و کیتوزان بر صفات کمی کنجد (*Sesamum indicum* L.) در رژیم‌های مختلف آبیاری

امیر میزانی^۱، جعفر مسعود سینکی^{۲*}، شهرام رضوان^۲، محمد عابدینی اسفهلانی^۳، علی دماوندی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۱۲

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دامغان، دامغان، ایران

۲- استادیار، گروه کشاورزی، مرکز تحقیقات محصولات زراعی و باغی استراتژیک، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران.

۳- استادیار بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران

*مسئول مکاتبه: Email: jmsinaki2020@gmail.com; sinaki@damghaniau.ac.ir

چکیده

اهداف: پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر نانو کود پتاسیم، فولویک اسید و کیتوزان بر صفات کمی کنجد (رقم اولتان) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری اجرا شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش مزرعه‌ای در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال ۱۳۹۹ با سه تکرار اجرا شد. در این پژوهش رژیم‌های آبیاری (آبیاری کامل: بدون تنش، قطع آبیاری در ابتدای تشکیل بذر در داخل کپسول: تنش متوسط و آغاز شکل‌گیری ساختار گل: تنش شدید) به عنوان عامل اصلی و غلظت‌های نانو کود پتاسیم (صفر، ۱/۵ و ۲/۵ در هزار) و محلول‌پاشی ترکیب کیتوزان (پنج گرم در هکتار) و فولویک اسید (دو کیلوگرم در هکتار) در چهار سطح به عنوان عوامل فرعی مورد آزمایش قرار گرفت.

یافته‌ها: کاربرد نانو کود پتاسیم به همراه فولویک اسید و کیتوزان افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، عملکرد دانه و محتوای روغن و پروتئین دانه را نشان داد که تحت تنش شدید خشکی قابل ملاحظه بود. کاربرد ۱/۵ در هزار نانو کود پتاسیم با کیتوزان تحت شرایط بدون تنش، بالاترین میانگین تعداد کپسول در بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد روغن و عملکرد پروتئین را در پی داشت. بیشترین محتوای روغن و پروتئین دانه (به ترتیب ۴۸/۷۹ و ۲۵/۱۲ درصد) در استفاده از ترکیب کیتوزان و فولویک اسید در شرایط بدون تنش به دست آمد. بیشترین عملکرد دانه (۲۲۴۹/۲ کیلوگرم در هکتار) در کاربرد کیتوزان به همراه ۱/۵ در هزار نانو کود پتاسیم تحت شرایط بدون تنش مشاهده شد. نتایج رگرسیون نشان داد، کاربرد نانوکود پتاسیم با افزایش شاخص سطح برگ (تقریباً دو برابر) و محتوای کلروفیل کل منجر به تعدیل شدت خشکی و بالا رفتن مقاومت گیاه می‌شود.

نتیجه‌گیری: محلول‌پاشی ترکیب کیتوزان و فولویک اسید به همراه نانوکود پتاسیم (۱/۵ در هزار) در شرایط خشکی شدید (قطع آبیاری در آغاز شکل‌گیری ساختار گل)، افزایش صفات کمی گیاه (از جمله تعداد کپسول در بوته، شاخص سطح برگ، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه) کنجد را در پی داشت.

واژه‌های کلیدی: خشکی، رنگیزه فتوسنتزی، عملکرد دانه، کودهای آلی، محتوای روغن

مقدمه

کنجد (*Sesamum indicum* L.) گیاهی یکساله و خودگشن که تحمل مطلوبی به خشکی داشته و به دلیل محتوای بالای روغن (۶۲-۴۵ درصد) و پروتئین (۲۵-۱۸ درصد)، کیفیت مناسب، میزان کم کلسترول و وجود برخی آنتی‌اکسیدان‌ها در روغن به‌عنوان ملکه دانه‌های روغنی شناخته می‌شود و نقش مهمی در سلامت انسان نیز دارد (خردادی ورامین و همکاران ۲۰۲۰).

تنش کمبود آب از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که به سبب محدودیت منابع آبی تولید گیاهان زارعی را تحت تأثیر قرار داده و مانع از عملکرد حداکثری می‌شود (امین‌باقری و همکاران ۲۰۲۲). زمانی که گیاهان قادر به برطرف کردن نیاز تبخیر و تعرق خود نباشند، تنش خشکی رخ خواهد داد (رئوف و همکاران ۲۰۱۶). بارندگی‌های نامنظم یا آبیاری ناکافی، شوری، خصوصیات فیزیکی خاک و دمای بالا منجر به کاهش آب در دسترس و ایجاد تنش می‌شود (امین‌باقری و همکاران ۲۰۲۲). با توجه به وجود تنش‌های محیطی میانگین عملکرد واقعی گیاهان کمتر از ۱۰ تا ۲۰ درصد عملکرد بالقوه آنهاست (کلانتری و همکاران ۲۰۲۱). بنابراین کشت گیاهان مقاوم به خشکی که تولید و عملکرد بالا با حفظ خصوصیات کیفی را دارند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. بالا بودن تحمل در برابر خشکی، از مزایای برتری کنجد بوده که قابلیت کشت آن را در مناطق نسبتاً خشک با تولید عملکرد دانه و روغن بالا امکان‌پذیر می‌سازد (کویگات و همکاران ۲۰۲۱). براساس آخرین آمارنامه جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت کنجد در کشور ۵۸۵۸۴ هکتار، با میزان تولید ۵۳۰۴۴ تن و میانگین عملکرد حدود ۱۰۳۶ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (آمارنامه جهاد کشاورزی ۲۰۲۱). خشکی یا کم‌آبیاری باعث کاهش ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ، تعداد کپسول، تعداد دانه در کپسول، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در گیاه کنجد شد و از طرف دیگر منجر به افزایش محتوای اسید آمینه پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت نظیر کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز گردید (خردادی ورامین و همکاران ۲۰۲۰)؛

مهدوی خرمی و همکاران ۲۰۲۰). علاوه بر این کم‌آبیاری منجر به کاهش محتوای کلروفیل، عملکرد دانه و محتوای روغن کنجد نیز می‌شود (ایوبی‌زاده و همکاران ۲۰۲۰). کم‌آبیاری یا خشکی از طریق تخریب کلروپلاست‌ها و کاهش محتوای کلروفیل منجر به کاهش میزان فتوسنتز می‌شود (شارما و همکاران ۲۰۲۰).

عدم تعادل در جذب مواد مغذی و برهم‌خوردن این تعادل، در اثر کاهش حلالیت و کاهش جذب، یکی از آثار منفی کم‌آبیاری یا خشکی است. تغذیه کودی گیاهان تحت چنین شرایطی با استفاده از منابع و غلظت‌های مناسب، از راهکارهای مقابله با تنش و افزایش تحمل گیاه می‌باشد (خردادی ورامین و همکاران ۲۰۲۰). پتاسیم در رشد و توسعه یاخته‌های گیاهی، آماس یاخته، باز و بسته شدن روزنه‌ها و حفظ آب در گیاه نقش داشته و از آنجا که پتاسیم به‌عنوان عنصر تنش خشکی شناخته شده است، استفاده از نانوکود پتاسیم می‌تواند گیاه را در شرایط تنش یاری کند (بهرام‌پور و همکاران ۲۰۱۹). نانو کودها با افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه از طریق کاهش سمیت خاک و کاهش مصرف کودهای شیمیایی مورد توجه پژوهشگران و کشاورزان قرار گرفته است (مهدوی-خرمی و همکاران ۲۰۱۸). پتاسیم، با افزایش رشد و بهبود صفات فیزیولوژیک منجر به بهبود عملکرد و کیفیت محصول شده و همچنین تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی از جمله خشکی را افزایش می‌دهد (برات‌زاده و بابایی‌نژاد ۲۰۱۹). افزایش عملکرد دانه ذرت (آقایی و همکاران ۲۰۲۰)، کنجد (مهدوی‌خرمی و همکاران ۲۰۲۰) و سورگوم (کاظمی و همکاران ۲۰۲۱) و افزایش محتوای روغن دانه در گیاه سویا (رستمی اجیرلو و امیری ۲۰۱۸) و کنجد (مهدوی‌خرمی و همکاران ۲۰۲۰) تحت تنش خشکی با استفاده از نانو کود پتاسیم گزارش شده است. علاوه بر این، کاربرد نانو پتاسیم افزایش معنی‌دار محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، پروتئین و قندهای محلول را در گیاه گندم در پی داشت (نیکان و همکاران ۲۰۱۴).

پایداری می‌دهد (پورمراد و همکاران ۲۰۱۸؛ ایوبی‌زاده و همکاران ۲۰۲۰). فولویک اسید در واقع ماده‌ای هیومیکی است که حاصل تجزیه بقایای موجودات زنده و بدون تأثیرات مخرب زیست محیطی است (ایوبی‌زاده و همکاران ۲۰۲۰). محلول‌پاشی فولویک اسید می‌تواند یک رویکرد سازگار با محیط زیست و مؤثر برای دستیابی به تقویت زیستی زراعی باشد (وانگ و همکاران ۲۰۲۰). مهم‌ترین اثرات بیولوژیکی فولویک اسید شامل تسهیل جذب مواد مغذی معدنی، بهبود رشد، تحریک تجمع زیست توده و مقاومت القایی گیاه در برابر تنش‌های محیطی است (علی و همکاران ۲۰۲۲). استفاده از فولویک اسید باعث افزایش پارامترهای رشد، رنگدانه‌های فتوسنتزی، فنل کل، فلاونوئید کل و آنتی‌اکسیدان‌های بومادران (بیات و همکاران ۲۰۲۱) و کنجد (ایوبی‌زاده و همکاران ۲۰۲۰) شد. با توجه مطالب ارائه شده استفاده از محرک‌های زیستی و متابولیکی مؤثر همچون کیتوزان در ترکیب با فولویک اسید و نقش آن‌ها در تحمل تنش کم‌آبیری و با توجه اهمیت نانو کود پتاسیم تحت شرایط خشکی، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر غلظت‌های مختلف نانو کود پتاسیم و محلول‌پاشی فولویک اسید و کیتوزان بر صفات کمی گیاه کنجد تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، مورد اجرا قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌منظور مطالعه اثر نانوکود پتاسیم، کیتوزان و اسید فولویک بر پارامترهای کمی گیاه کنجد (رقم اولتان) به‌صورت آزمایش مزرعه‌ای در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود، با ارتفاع ۱۱۳۰ متر از سطح دریا و طول و عرض جغرافیایی ۲۸° و ۵۳° شرقی - ۳۵° و ۳۴° شمالی، با میانگین بارندگی ۱۴۰ میلی‌متر و دمای ۱۷/۱ درجه سانتی‌گراد) در سال ۱۳۹۹ به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. رژیم‌های آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح آبیاری کامل (شاهد یا بدون تنش)، قطع

کیتوزان یک پلی‌ساکارید و به عنوان محرک طبیعی دریایی است که از محصولات جانبی صنایع شیلات و همچنین از پوست خرچنگ و میگو به صورت مایع یا پودر حاصل می‌گردد و اخیراً به‌عنوان تنظیم‌کننده یا بهبود دهنده رشد گیاه به‌خصوص در برابر تنش‌های محیطی مورد توجه واقع شده است (خردادی و رامین و همکاران ۲۰۲۰). برخی از محققان معتقدند که این ماده می‌تواند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش داده و به‌عنوان یک خنثی‌کننده رادیکال‌های آزاد اکسیژن عمل کند (زارعی و همکاران ۲۰۲۰). علاوه بر این، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مانند اسید ایندول استیک، جیبرلین و اسید آبسزیک را افزایش می‌دهد که از گیاهان در برابر استرس اکسیداتیو محافظت می‌کند و عملکرد محصول را در شرایط خشکی افزایش می‌دهد (زارعی و همکاران ۲۰۲۰؛ اختر و همکاران ۲۰۲۲). زارعی و همکاران (۲۰۲۰) و ال‌سرافی (۲۰۲۰) نشان دادند که کیتوزان رشد اندام هوایی و ریشه، رنگدانه‌های فتوسنتزی و کیفیت گیاه را در شرایط خشکی با تنظیم فعالیت‌های فنلی و آنزیمی افزایش می‌دهد.

استفاده از مواد آلی (هوموسی) یک استراتژی مهم برای کاهش استفاده از مواد شیمیایی کشاورزی و کودها، بهبود شرایط خاک و افزایش جذب مواد مغذی توسط گیاهان است (علی و همکاران ۲۰۲۲). نشان داده شده است که مواد هوموسی بر رشد گیاه، عملکرد، جذب مواد مغذی و دسترسی به عناصر تأثیر دارد (دینسوی و سانمز ۲۰۱۹). در اثر کاربرد مواد هوموسی انتقال مواد معدنی و سنتز پروتئین بهبود می‌یابد، فعالیت‌های آنزیمی اصلاح می‌شوند، فتوسنتز ارتقا می‌یابد، و حلالیت عناصر میکرو و ماکرو افزایش می‌یابد (ایوبی‌زاده و همکاران ۲۰۲۰؛ علی و همکاران ۲۰۲۲). هیومیک و فولویک اسید از ترکیبات آلی هوموسی می‌باشند که از لحاظ ساختار شیمیایی و همچنین اندازه مولکولی با هم تفاوت دارند. فولویک اسید میزان گروه‌های کربوکسیل و اکسیژن بیشتری در مقایسه با اسید هیومیک دارد. علاوه بر این در حلال‌های اسیدی و بازی حل شده و دارای جرم مولکولی پایین‌تری است. این نوع از کودها به عنوان کود آلی دوستدار طبیعت با عناصر کم مصرف تشکیل کمپلکس

مزرعه به صورت جوی پشته‌ای تا قبل از شروع گلدهی (قبل از BBCH ۶۰) به صورت یکنواخت انجام شد. در ادامه، به منظور اعمال تیمارهای رژیم آبیاری، قطع آبیاری در زمانی که ۵۰ درصد کرت مورد نظر در ابتدای تشکیل بذر در داخل کپسول (تنش متوسط) و یا ۵۰ درصد آغاز شکل‌گیری ساختار گل (تنش شدید) بودند، صورت گرفت. از تشنگ تبخیر کلاس A برای تعیین زمان آبیاری (۷۰ میلی‌متر تبخیر) استفاده شد (مهدوی‌خرمی و همکاران ۲۰۲۰). محلول‌پاشی کودهای نانو پتاسیم، فولویک اسید و کیتوزان در دو مرحله قبل از شروع گلدهی و یک هفته بعد از آن (به ترتیب BBCH ۵۳ و ۵۹) انجام شد.

نمونه‌گیری از برگ‌های جوان (قبل از زرد رنگ شدن برگ‌ها در BBCH ۸۰) بعد از اتمام اعمال تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی، به منظور اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک (۱۰ بوته به تصادف) صورت گرفت. صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده در این مطالعه شامل رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل‌های a، b و کل (لیچینتالر و بوشمن ۲۰۰۱)، محتوای اسید آمینه پرولین (بیتس و همکاران ۱۹۷۳)، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (بیچامپ و فردویچ ۱۹۷۱)، فعالیت آنزیم کاتالاز (چنس و ماهلی ۱۹۵۵)، فعالیت آنزیم پراکسیداز (واندل ۱۹۸۱) و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز (گونزالز و همکاران ۱۹۹۹) بودند.

برداشت و نمونه‌گیری صفات رشدی و اجزای عملکردی در آبان ماه و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (رنگ متمایل به زرد) با رعایت اثر حاشیه‌ای و به صورت تصادفی از هر کرت انجام شد. صفات مورفولوژیکی و عملکردی از قبیل ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، شاخص سطح برگ (مدل Leaf area meter, Delta-T، کشور انگلستان)، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه (ترازو با دقت ۰/۰۱) اندازه‌گیری شد (مهدوی و همکاران ۲۰۱۸). اندازه‌گیری عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در واحد یک مترمربع از هر کرت

آبیاری در BBCH ۷۰ و ۶۰ به ترتیب به عنوان تنش متوسط و شدید (آبیاری تا ابتدای تشکیل بذر در داخل کپسول و آغاز شکل‌گیری ساختار گل) مورد ارزیابی قرار گرفت. فاکتورهای فرعی در این پژوهش شامل نانو کود پتاسیم در سه غلظت صفر، ۱/۵ و ۲/۵ در هزار و محلول‌پاشی ترکیبات کیتوزان و فولویک اسید در چهار سطح، عدم محلول‌پاشی به عنوان شاهد، کیتوزان (به میزان پنج گرم در هکتار)، فولویک اسید (به میزان دو کیلوگرم در هکتار) و ترکیب ۵۰ درصد کیتوزان و اسید فولویک (به ترتیب ۲/۵ گرم در هکتار و یک کیلوگرم در هکتار) بودند (ایوبی‌زاده و همکاران ۲۰۲۰؛ زارعی و همکاران ۲۰۲۰). نانو کود پتاسیم از منبع نانو کود خضراء (دارای ۲۷ درصد پتاسیم)، فولویک اسید از منبع Fert Star Fulvabob Potassic (به ترتیب حاوی ۳۰، ۲۰ و نیتروژن محلول در آب) و کیتوزان از منبع Agro (قطر ذرات ۲۰ نانومتر) تأمین شدند.

نمونه‌گیری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک محل آزمایش قبل از اجرای آزمایش صورت گرفت و نتایج نشان داد بافت خاک لوم رسی شنی، با میزان شوری ۲/۰۳ دسی‌زیمنس بر متر و به ترتیب حاوی ۱۰۱۱، ۱۳/۸۹، ۳۲۷/۲ و ۴/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم، نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم و آهن بود. کوددهی نیتروژن (از منبع اوره در دو مرحله ابتدای کاشت و شروع گلدهی) و فسفر (از منبع فسفات پتاسیم در زمان آماده‌سازی زمین) بر مبنای ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بر مبنای آزمایش خاک انجام شد (مهدوی‌خرمی و همکاران ۲۰۱۸). عملیات آماده‌سازی زمین قبل از کشت شامل شخم پاییزه، شخم بهار و کرت‌بندی براساس نقشه طرح صورت گرفت. کاشت کنجد به صورت دستی در اواخر خرداد ماه، در کرت‌هایی به اندازه ۳×۲ متر با پنج ردیف کاشت (فاصله بین بوته‌ها روی ردیف و فاصله بین ردیف‌ها به ترتیب ۱۰ و ۵۵ سانتی‌متر) و فاصله بلوک‌ها و کرت‌های فرعی از همدیگر به ترتیب دو و یک متر انجام شد (زارعی و همکاران ۲۰۲۰؛ مهدوی‌خرمی و همکاران ۲۰۱۸). آبیاری

آزمایشی با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای پس از خشک شدن بوته‌ها (هوا خشک) انجام شد. در مرحله رسیدگی ۱۰۰ گرم بذر از هر کرت به منظور اندازه‌گیری محتوای روغن دانه برداشت و به روش استخراج گرم ASOC ((Official Method 972.28 (41.1.22) و دستگاه سوکسله (مدل ۱۳۹۰a، کشور ایران) انجام شد. اندازه‌گیری پروتئین دانه براساس روش بردافورد (۱۹۷۶) صورت گرفت. برای محاسبه عملکرد روغن و عملکرد پروتئین دانه، درصد روغن و درصد پروتئین در عملکرد دانه ضرب گردید (زارعی و همکاران ۲۰۲۰). در نهایت بعد از جمع‌آوری داده‌های آزمایش، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری Minitab (نسخه ۱۹) ارزیابی و آزمون همگنی واریانس‌ها به روش کلوموگورف- اسمیرنوف انجام شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۲) صورت گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز به روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد با استفاده از همین نرم‌افزار آماری انجام شد. ضرایب رگرسیون پارشیال در نرم‌افزار مایکروسافت اکسل بر اساس روش توصیف شده توسط آکینتونده (۲۰۱۲) محاسبه شد.

نتایج و بحث

صفات فیزیولوژیک

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر رژیم‌های آبیاری، نانو کود پتاسیم و محلول‌پاشی کیتوزان و فولویک اسید بر محتوای کلروفیل a، b و کل معنی‌دار بودند. همچنین اثر متقابل نانوکود در محلول‌پاشی نیز بر محتوای کلروفیل کل در سطح ۵ درصد معنی‌دار بدست آمد (جدول ۱). نتایج نشان داد که قطع آبیاری در مرحله آغاز شکل‌گیری ساختار گل (BBCH ۶۰ یا تنش شدید) به ترتیب منجر به کاهش ۷/۴۰، ۵۳/۷۷ و ۲۲/۵ درصدی محتوای کلروفیل a، b و کل شد. محتوای کلروفیل یکی از عوامل تعیین کننده سرعت فتوسنتز و میزان تولید ماده خشک گیاهی است و از طریق اندازه‌گیری این پارامتر می‌توان به ارزیابی قدرت منبع تحت شرایط مختلف

محیطی پرداخت (ساعدی و همکاران ۲۰۲۰). از دلایل کاهش کلروفیل تحت شرایط تنش شدید خشکی می‌توان به تشکیل آنزیم‌های پروتئینی همچون کلروفیلاز و بی-ثباتی و تخریب کمپلکس پروتئینی رنگیزه‌ها اشاره کرد (گوهری و بهرامی ۲۰۲۰). از دلایل دیگر کاهش کلروفیل تحت شرایط تنش شدید خشکی، می‌توان به استفاده از نیتروژن موجود در گیاه برای سنتز اسید آمینه پرولین اشاره کرد. با توجه به اینکه گلوتامات ترکیب اولیه پرولین و کلروفیل است، به نظر می‌رسد تحت شرایط خشکی، تحریک آنزیم لیگازگلوتامات و تبدیل گلوتامات بیشتر به پرولین اختصاص یافته و محتوای کلروفیل در گیاه تحت این شرایط افت خواهد داشت (گوهری و بهرامی ۲۰۲۰). ساعدی و همکاران (۲۰۲۰) بیان داشتند که کاهش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی در اثر خشکی به علت افزایش سنتز رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که این رادیکال‌های آزاد منجر به پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه رنگیزه‌ها می‌شوند. میزان کلروفیل a در تیمار بدون تنش (آبیاری نرمال) و تنش متوسط تفاوت معنی‌دار آماری نداشتند. به بیان بهتر، تنش متوسط منجر به افزایش محتوای کلروفیل a نیز شد (جدول ۲). به نظر می‌رسد تغییرات محتوای رطوبت نسبی برگ یکی از دلایل افزایش غلظت کلروفیل برگ در شرایط تنش متوسط باشد (مهدوی‌خرمی و همکاران ۲۰۲۰). نتایج مشابهی مبنی بر افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت شرایط تنش متوسط خشکی در گیاه کنجد توسط مهدوی‌خرمی و همکاران (۲۰۲۰) و ایوبی‌زاده و همکاران (۲۰۲۰) گزارش شده است. کاربرد نانو کود پتاسیم در هر دو غلظت ۱/۵ و ۲/۵ در هزار، افزایش معنی‌دار محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی را در پی داشت و تفاوت معنی‌دار آماری مابین این دو غلظت از نظر میانگین این فشار سلولی و بزرگ شدن سلول می‌شود (ساعدی و همکاران ۲۰۲۰). به طور کلی محلول‌پاشی ترکیبات کیتوزان و فولویک اسید افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی را نشان داد. در بین تیمارهای محلول‌پاشی استفاده از کیتوزان به تنهایی منجر به ایجاد بالاترین میانگین کلروفیل a، b و کل (به ترتیب ۱۹/۳۹، ۱۰/۶۳ و ۳۰ میکروگرم بر گرم وزن تر) شد (جدول ۲). در مقایسه

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر نانو کود پتاسیم، اسید فولویک و کیتوزان بر صفات کمی گیاه کنگد تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

میانگین مربعات (MS)									
منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	پرولین	کاتالاز	پراکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز	پلی فنل اکسیداز
بلوک	۲	۵/۶۵ ^{ns}	۱۰/۴۷ ^{ns}	۲/۶۷ ^{ns}	-/۰۰۵۶*	-/۰۰۳ ^{ns}	۵/۱۸ ^{ns}	۱/۳۲ ^{ns}	۰/۰۲۲ ^{ns}
آبیاری (I)	۲	۷۱/۲۵*	۲۱۲/۸*	۲۶۱/۶*	-/۰۲۹۶*	۹/۵۲*	۱۵۵/۶*	۱۵/۶۸*	۲/۹۸*
خطای اصلی	۴	۹/۸۵	۴/۵۹	۱/۵۳	-/۰۰۱۶	-/۰۰۱۷	۱/۷۱	۲/۳۰	-/۰۰۱۲
نانوکود (N)	۲	۵۹/۶۲*	۴۲/۶۲*	۱۹۵/۸*	-/۰۴۰۶*	۱/۶۰*	۳۶/۶۹*	۱۱/۳۶*	۱/۴۶*
محلول‌پاشی (F)	۲	۶۹/۸۹*	۷۴/۷۶*	۲۸۵/۱*	-/۰۵۲۸*	-/۰۴۶*	۵۰/۱۱*	۳/۸۹*	-/۰۰۷۵*
I × N	۴	۳/۷۶ ^{ns}	۹/۱۳ ^{ns}	۴/۳۱ ^{ns}	-/۰۰۳۴*	-/۰۴۰*	۶/۹۱*	۵/۹۶*	-/۰۲۱*
I × F	۶	۶/۰۸ ^{ns}	۷/۳۴ ^{ns}	۲/۳۶ ^{ns}	-/۰۰۳۵*	-/۰۱۲*	۱/۸۵ ^{ns}	-/۰۹۹ ^{ns}	-/۰۱۱*
N × F	۶	۱۳/۰۸ ^{ns}	۱۱/۳۲ ^{ns}	۱۸/۰۵*	-/۰۰۸۷*	-/۰۰۶ ^{ns}	۴/۴۳ ^{ns}	-/۰۸۱ ^{ns}	۱/۴۶*
I × N × F	۱۲	۳/۳۱ ^{ns}	۱/۶۸ ^{ns}	۴/۴۵ ^{ns}	-/۰۰۳۴*	-/۰۰۷ ^{ns}	۵/۱۳*	۱/۷۰ ^{ns}	-/۰۱۷*
خطا	۶۶	۸/۱۵	۵/۶۱	۷/۱۹	-/۰۰۱	-/۰۰۶	۲/۰۵	۱/۲۴	-/۰۰۱۸
ضریب تغییرات (%)	-	۱۶/۲۲	۲۵/۷۶	۱۰/۰۱	۱۳/۲۵	۱۶/۵۲	۲۲/۶۷	۱۸/۷۸	۱۱/۸۵

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد می باشد.

ادامه جدول ۱-

میانگین مربعات (MS)											
منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد شاخه جانبی	شاخ ص سطح برگ	تعداد کپسول	تعداد دانه در کپسول	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه	عملکرد بیولوژیک	عملکرد درصد روغن	عملکرد درصد پروتئین
بلوک	۲	۰/۵۲ ^{ns}	۲/۹*	-/۰۴۴ ^{ns}	۴۰/۸۶ ^{ns}	۱۰/۰۶ ^{ns}	۱۱/۴۷ ^{ns}	-/۰۰۴ ^{ns}	۷/۳۴ ^{ns}	۳۴/۸۴ ^{ns}	۶/۵۹ ^{ns}
آبیاری (I)	۲	۸۰/۸۵*	۲/۵*	۱۰۰*	۳۱۷/۷*	۲۸۳/۶*	۹۸۵/۲*	-/۰۴۰*	۱۹۱/۳*	۲۹۱۸/۱*	۸۱/۵*
خطای اصلی	۴	۱۳۱/۴	۹	۲	۷	۲۴/۶۶	۶۳/۱۰	-/۰۴۹	۵۶/۳	۳۳۸/۳	۴
نانوکود (N)	۲	۸۰/۶*	۶/۵*	-/۰۵۵*	۷۲/۶*	۴۲/۵*	۴۹/۶*	۳/۰۹*	۱۱۷/۶*	۱۴۱/۹*	۲۶/۵*
محلول-پاشی (F)	۲	۵۰/۲*	۳/۸*	۱/۲۴*	۷۹/۴*	۳۷/۳*	۵۰/۲*	۳۲۷*	۱۱۶/۷*	۴۱۷/۰*	۳۶/۱*
I × N	۴	۱۷۲/۵*	۲/۶*	-/۰۵۲*	۱۴۹/۱ ^{ns}	۱۴۱/۳ ^{ns}	۷۳/۹ ^{ns}	-/۰۰۵ ^{ns}	۱۲۳/۷ ^{ns}	۲۴۷/۶ ^{ns}	۳۰/۳ ^{ns}
I × F	۶	۱۵۶/۳*	۱/۴*	-/۰۲۲ ^{ns}	۳۷/۴۵ ^{ns}	۱۵۴/۶*	۵۶/۴ ^{ns}	-/۰۰۵ ^{ns}	۱۳۵/۲ ^{ns}	۲۵/۸ ^{ns}	۲۴/۳ ^{ns}
N × F	۶	۱۷۴/۳*	۲/۹*	-/۰۴۳*	۳۲۴/۴*	۵۷/۵ ^{ns}	۹۹/۳*	-/۰۰۵ ^{ns}	۱۵۸/۲۲ ^{ns}	۱۳۰/۶۸ ^{ns}	۳۷/۴۱*
I × N × F	۱۲	۷۸/۶۵ ^{ns}	۱/۳*	-/۰۱۹ ^{ns}	۳۱/۵*	۱۱۵/۳ ^{ns}	۷۳/۳ ^{ns}	-/۰۰۷ ^{ns}	۱۵۷/۳*	۴۵۰/۷*	۳۵/۶۰*
خطا	۶۶	۷۰/۹	۸	-/۰۵۶	۱۱۸/۶	۶۹/۳۴	۴۳/۱	-/۰۰۸	۷۶/۵۴	۲۲۰/۶	۱۷/۲۲
ضریب تغییرات (%)	-	۸/۶۴	۱۰/۲۹	۱۸/۹۹	۲۶/۸۷	۲۴/۵۶	۱۸/۱	۱۷/۳۸	۲۴/۶۱	۱۶/۷۸	۲۵/۱۵

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر رژیم‌های آبیاری، نانو کود پتاسیم و محلول‌پاشی ترکیبات کیتوزان و اسید فولیک بر برخی صفات فیزیولوژیک و عملکردی گیاه کنجد

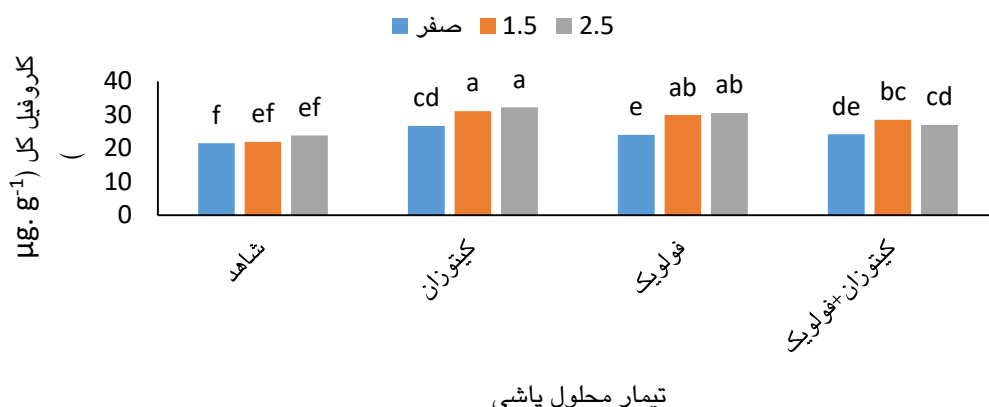
فاکتورهای آزمایش	کلروفیل a ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)	کلروفیل b ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)	کلروفیل کل ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)	دیسموتاز (U.mg (protein ⁻¹)	سوپر اکسید تعداد دانه در کپسول	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه (g)	رژیم‌های آبیاری	
								آبیاری نرمال (شاهد)	آبیاری تا BBCH ۷۰ (تنش متوسط)
آبیاری تا BBCH ۶۰ (تنش شدید)	۱۶/۲±۲/۸ b	۷/۸۱±۲/۷۴ b	۲۴/۰±۴/۰ c	۶/۵۶±۴/۷۱ a	۳۰/۶±۹/۱۴ b	۱۰۶۸/۱±۴۷۲/۰ b	۲/۳۶±۰/۷۸ b	۱۹/۰±۳/۶۴ a	۷/۷۸±۲/۷۷ b
آبیاری نرمال (شاهد)	۱۷/۴±۳/۱۶ ab	۱۲/۰۱±۲/۲ a	۲۹/۴±۴/۲ a	۵/۲۵±۱/۲ b	۳۵/۸±۱۱/۰۴ a	۱۸۷۰/۰±۸۸۷/۴ a	۲/۹۸±۱/۰۴ a	۱۷/۴±۳/۱۶ ab	۱۲/۰۱±۲/۲ a
آبیاری تا BBCH ۷۰ (تنش متوسط)	۱۹/۰±۳/۶۴ a	۷/۷۸±۲/۷۷ b	۲۶/۸±۴/۵ b	۵/۹۸±۱/۲ ab	۳۵/۱±۹/۰۴ a	۱۲۶۶/۵±۵۶۷/۱ b	۲/۹۵±۱/۰۶ a	۱۹/۰±۳/۶۴ a	۷/۷۸±۲/۷۷ b
آبیاری تا BBCH ۶۰ (تنش شدید)	۱۶/۲±۲/۸ b	۷/۸۱±۲/۷۴ b	۲۴/۰±۴/۰ c	۶/۵۶±۴/۷۱ a	۳۰/۶±۹/۱۴ b	۱۰۶۸/۱±۴۷۲/۰ b	۲/۳۶±۰/۷۸ b	۱۶/۲±۲/۸ b	۷/۸۱±۲/۷۴ b
نانوکود پتاسیم (در هزار)									
عدم کاربرد (شاهد)	۱۶/۱۷±۳/۴۱ b	۷/۹۵±۳/۴۷ b	۲۴/۱۲±۳/۹ b	۵/۴۱±۱/۴۶ b	۲۹/۸±۱۰/۸ b	۱۱۱۳/۵±۶۸۷/۴ b	۲/۴۶±۰/۸۶ b	۱۶/۱۷±۳/۴۱ b	۷/۹۵±۳/۴۷ b
۱/۵	۱۷/۹۴±۲/۹۱ a	۹/۹۳±۳/۲۲ a	۲۷/۸۷±۴/۶ a	۶/۵۳±۱/۴ a	۳۵/۹±۸/۷ a	۱۶۴۰/۹±۷۹۶/۷ a	۲/۱۱±۱/۱۸ a	۱۷/۹۴±۲/۹۱ a	۹/۹۳±۳/۲۲ a
۲/۵	۱۸/۶۷±۳/۴۱ a	۹/۷۲±۳/۵۶ a	۲۸/۳۹±۴/۶ a	۵/۸۵±۱/۱۸ b	۳۵/۸±۹/۲ a	۱۴۵۰/۳±۶۶۰/۹ a	۲/۷۲±۰/۸۴ ab	۱۸/۶۷±۳/۴۱ a	۹/۷۲±۳/۵۶ a
محلول‌پاشی									
عدم کاربرد (شاهد)	۱۵/۵۱±۲/۷۵ c	۶/۸۹±۲/۴ c	۲۲/۳±۳/۳۵ d	۵/۹۲±۱/۷ ab	۲۹/۷±۸/۲ c	۹۷۵/۵±۴۷۲/۴ c	۲/۲۹±۰/۸۸ b	۱۵/۵۱±۲/۷۵ c	۶/۸۹±۲/۴ c
کیتوزان	۱۹/۳۹±۲/۸۲ a	۱۰/۶۳±۳/۷ a	۳۰/۰±۴/۳۵ a	۵/۴۷±۱/۱ b	۳۴/۹±۱۰/۰ ab	۱۵۲۶/۸±۸۴۷/۱ ab	۲/۸۴±۱/۰۸ a	۱۹/۳۹±۲/۸۲ a	۱۰/۶۳±۳/۷ a
اسید فولیک	۱۸/۰۲±۳/۳۵ ab	۱۰/۱۵±۳/۹ ab	۲۸/۱±۴/۲۱ b	۶/۴±۱/۵ a	۳۲/۴±۹/۸ bc	۱۳۸۰/۱±۵۹۸/۶ b	۲/۸۱±۰/۹۵ a	۱۸/۰۲±۳/۳۵ ab	۱۰/۱۵±۳/۹ ab
کیتوزان ± فولیک	۱۷/۴۶±۲/۵۴ b	۹/۱۳±۵/۶۲ b	۲۶/۵±۳/۶۶ c	۵/۹۳±۱/۱ ab	۳۸/۴±۱۰/۰ a	۱۷۲۳/۸±۸۱۴/۸ a	۲/۱۱±۰/۹۶ a	۱۷/۴۶±۲/۵۴ b	۹/۱۳±۵/۶۲ b

میانگین‌های (mean ± StD) دارای حروف مشابه در هر ستون، از نظر آزمون مقایسه میانگین LSD در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

ترکیب در افزایش بیوسنتز اکسین اشاره کرد (زارعی و همکاران، ۲۰۲۰).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر رژیم آبیاری، نانو کود و محلول‌پاشی و اثر متقابل این سه بر محتوای پرولین معنی‌دار بودند (جدول ۱). نتایج نشان داد که تنش شدید ناشی از قطع آبیاری منجر به افزایش معنی‌دار میانگین پرولین شد. به طوری که بیشترین محتوای پرولین مربوط به استفاده از ترکیب ۵۰ درصدی کیتوزان و فولیک اسید به همراه ۱/۵ در هزار نانو کود پتاسیم تحت شرایط تنش شدید خشکی با میانگین ۱/۱۹ میکرومول بر گرم وزن تر بود که در مقایسه با شرایط نرمال افزایش نزدیک به سه برابری داشت. علاوه بر این، هر چهار تیمار محلول‌پاشی در سطح ۱/۵ در هزار نانو کود پتاسیم تحت تنش شدید خشکی بالاترین محتوای پرولین را نشان دادند. کمترین میانگین پرولین در عدم استفاده از نانو کود پتاسیم، کیتوزان و فولیک اسید تحت شرایط بدون تنش با میانگین ۰/۴۱ میکرومول بر گرم وزن تر مشاهده شد (جدول ۳). افزایش غلظت اسید آمینه

میانگین اثر متقابل نانو کود و محلول‌پاشی، بیشترین محتوای کلروفیل کل مربوط به استفاده از ۱/۵ و ۲/۵ در هزار نانو کود به همراه کیتوزان (به ترتیب با میانگین ۳۱/۱۴ و ۳۲/۲۱ میکروگرم بر گرم وزن تر) بود که در مقایسه با شاهد به ترتیب افزایش ۴۴/۹۷ و ۴۹/۹ درصدی داشتند. کمترین میانگین نیز در عدم استفاده از نانو کود پتاسیم، فولیک اسید و کیتوزان با میانگین ۲۱/۴۸ میکروگرم بر گرم وزن تر مشاهده شد (شکل ۱). در راستای نتایج به دست آمده گوهری و بهرامی (۲۰۲۰) بیان داشتند که کیتوزان با افزایش محتوای کلروفیل‌های a، b و کل و همچنین حفظ پایداری رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت شرایط تنش‌های محیطی از جمله خشکی و شوری، فعال نمودن تعدادی از آنزیم‌ها نظیر فیتواکسین‌ها و کیتینازها، مقاومت گیاه تحت شرایط تنش‌های محیطی را بالا برده و اثرات منفی ناشی از صدمات آنها را کاهش می‌دهد. از دلایل چگونگی تأثیر کیتوزان برای پارامترهای مختلف گیاهی می‌توان به وجود عنصر نیتروژن در ساختار این پلیمر زیستی، همچنین نقش این



شکل ۱- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری نانو کود پتاسیم و محلول پاشی ترکیبات کیتوزان و فولویک اسید برای محتوای کلروفیل کل کنبجده

خشکی شد. همراستا با این نتایج گزارش شد که محلول پاشی کیتوزان باعث کاهش اثرات منفی تنش خشکی و افزایش میزان پرولین در گیاه کنبجده گردید (خردادی و رامین و همکاران ۲۰۲۰).

میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت نظیر کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و پلی فنل اکسیداز تحت تیمارهای رژیم آبیاری، نانو کود پتاسیم و محلول پاشی کیتوزان و فولویک اسید تفاوت معنی دار نشان دادند. علاوه بر این اثر متقابل رژیم آبیاری، نانو کود و محلول پاشی بر فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی دار بود. همچنین اثر متقابل رژیم آبیاری در نانو کود بر فعالیت کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز و اثر متقابل رژیم آبیاری در محلول پاشی بر فعالیت آنزیم کاتالاز معنی دار بدست آمدند (جدول ۱). استفاده از نانو کود پتاسیم تحت شرایط تنش شدید منجر به افزایش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز شد به طوری که بیشترین فعالیت این آنزیم مربوط به استفاده از ۱/۵ و ۲/۵ در هزار نانو کود تحت تنش شدید خشکی (به ترتیب با میانگین ۴/۸۱ و ۴/۴۳ واحد آنزیم بر میلی گرم پروتئین در دقیقه) بود که افزایش بیش از دو برابری در مقایسه با تیمار شاهد نشان دادند. کمترین فعالیت آنزیم کاتالاز نیز در تیمار بدون تنش در سطح صفر و ۲/۵ در هزار نانو کود پتاسیم

پرولین تحت شرایط تنش‌های محیطی از جمله خشکی، نوعی سازگاری برای غلبه به تنش محسوب می‌شود (ساعدی و همکاران ۲۰۲۰). با توجه به ترکیب اولیه مشترک برای سنتز کلروفیل و پرولین، و همچنین اثرات مثبت کیتوزان در جلوگیری از کاهش محتوای کلروفیل و نیز وجود عنصر نیتروژن در ساختار این ماده، به نظر می‌رسد که کاربرد کیتوزان کمبود نیتروژن حاصل از بیوسنتز پرولین تحت شرایط خشکی را برای گیاه جبران می‌نماید (گوهری و بهرامی ۲۰۲۰). این اسید آمینه عملکردهای متفاوتی تحت شرایط تنش ایفا می‌کند که از آن جمله می‌توان به تعادل اسمزی، حفاظت از ساختار پروتئین و غشاء سلول، تثبیت ساختارهای درون سلولی و حذف رادیکال‌های آزاد اشاره کرد (ساعدی و همکاران ۲۰۲۰). کاربرد نانو کود پتاسیم منجر به افزایش سنتز پرولین شد. در این راستا، به نظر می‌رسد پتاسیم به عنوان یک عنصر راه‌انداز برای فعالیت بسیاری از آنزیم‌های دخیل در سنتز پرولین باشد (مهدوی خرمی و همکاران ۲۰۲۰). نتایج مشابهی مبنی بر افزایش سنتز پرولین تحت شرایط خشکی شدید و کاربرد نانو کود پتاسیم توسط ساعدی و همکاران (۲۰۲۰) و مهدوی خرمی و همکاران (۲۰۲۰) گزارش شده است. از طرف دیگر، کیتوزان با افزایش محتوای اسید آمینه پرولین منجر به ایجاد مقاومت و کمتر شدن آسیب‌های ناشی از

نانو کود پتاسیم بدون تیمار محلول‌پاشی (عدم استفاده از کیتوزان و فولویک اسید) تحت تنش شدید خشکی منجر به ایجاد بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (۱۲/۵۴) واحد آنزیم بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) شد که افزایش ۴۳/۷ درصدی در مقایسه با تیمار شاهد داشت. البته استفاده از ۲/۵ در هزار نانو کود پتاسیم در همین سطح تیماری و همچنین استفاده از فولویک اسید به همراه ۱/۵ در هزار نانو کود در سطح تنش شدید خشکی نیز دارای بیشترین فعالیت این آنزیم بودند.

مشاهده شد (جدول ۴). تحت شرایط تنش شدید خشکی، عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی فولویک اسید منجر به افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شد که این افزایش در مقایسه با شاهد بیش از سه برابر بود (جدول ۵). تغییرات فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان نظیر کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز برای حفاظت گیاه در تقابل با تنش‌های محیطی لازم و ضروری است (ایوبی‌زاده و همکاران ۲۰۲۰).

براساس یافته‌های پژوهش حاضر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز از ۲/۰۴ تا ۱۲/۵۴ واحد آنزیم بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه ثبت شد. استفاده از ۱/۵ در هزار

جدول ۳- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری رژیم آبیاری، نانو کود پتاسیم و محلول‌پاشی کیتوزان و اسید فولویک برای صفات کمی کنجد

رژیم آبیاری	نانو کود	مطلوب- پاشی	پروپین (μmol.g ⁻¹ FW)	پراکسیداز U.mg protein ⁻¹ . (min)	پلی فنل اکسیداز U.mg protein ⁻¹ . (min)	تعداد شاخه جانبی در بوته	تعداد کپسول در بوته	عملکرد دانه (kg.ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک (kg.ha ⁻¹)	عملکرد روغن (kg.ha ⁻¹)	عملکرد پروتئین (kg.ha ⁻¹)
۱/۵	شاهد	کیتوزان (CH)	۰/۴۱±۰/۳۲ k	۷/۰±۰/۷۱ g-k	۱/۲۶±۰/۱۳ e-j	۲/۷±۱/۳ q	۴۰/۷±۱۵/۵ c-j	۲۶۸/۳۱±۲۹۲/۲۳ hij	۳۴۱۲/۰۹±۳۹۴/۱۱ j-m	۱۵۴/۱۹±۱۰۶/۱۱ klm	۸۴/۳۶±۱۰/۲۴ g-j
		فولویک (FO)	۰/۸۶±۰/۰۶ c-i	۲/۲۴±۰/۱۲ no	۰/۹۱±۰/۰۴ k	۴/۷±۱ opp	۴۵/۳±۱۰ c-g	۵۸۵/۴۳±۱۱۶/۵۹ f-j	۶۲۶۲/۱۶±۳۳۵۴/۰۶ b-j	۲۲۶/۲۶±۵۹/۴۷ g-m	۱۴۶/۲۸±۲۴/۲ e-j
		CH+FO	۰/۸±۰/۱۷ hij	۴/۲۴±۱/۲۴ l-o	۰/۹۶±۰/۱۴ jk	۸/۲±۱ eff	۴۱/۷±۱/۶ c-i	۱۲۲۷/۵۷±۱۶۵/۷۴ hij	۵۹۵۹/۱۵±۲۰۰۶/۳۸ d-l	۱۶۸/۵۹±۵۵/۰۶ j-m	۸۴/۸۶±۲۵/۹۵ g-j
		شاهد	۰/۸۱±۰/۰۷ e-i	۲/۴۱±۰/۱۲ no	۱/۰±۰/۰۹ jk	۶/۵±۱ j-m	۵۴۴/۶ bc	۱۲۲۷/۰۷±۱۰/۵۲ bc	۵۷۲۵/۱۴±۱۸۴۹/۶ e-l	۶۰۰۲/۷±۱۳۲/۳۹ bcd	۲۲۲/۲۷±۱۷/۹۲ bc
۲/۵	شاهد	کیتوزان (CH)	۰/۹۶±۰/۰۵ b-h	۵/۴۱±۰/۴۱ j-n	۱/۰±۰/۰۶ jk	۶/۳±۱ j-n	۵۲/۳±۱۰/۶ bcd	۵۲۱/۴±۱۳/۷۲ f-j	۳۶۶۸/۰۹±۲۱۱۶/۵۸ j-m	۲۴۱/۱۶±۴۱/۷۷ f-m	۱۱۹/۲۸±۲۷/۷۱ e-j
		فولویک (FO)	۰/۹۱±۰/۱۴ b-j	۶/۹۶±۱/۰۷ g-k	۱/۰±۰/۰۸ jk	۵/۸±۱ lmn	۴۶±۱۰/۸ b-f	۷۳۹/۷۷±۴۷/۱۴ d-j	۹۶۰/۲/۲۴±۲۴۲/۲۷ a	۳۹۱/۱۱±۱۸/۷۹ d-h	۱۷۰/۳۷±۲۸/۱۶ d-h
		CH+FO	۰/۹۵±۰/۰۸ b-h	۴/۵±۰/۴۴ k-o	۱/۱±۰/۰۹ fj	۱۱/۵±۰/۵ d	۶۴±۱۳/۱ ab	۱۵۹/۷/۲±۲۶/۰/۳۶ b	۹۳۷/۲۳±۲۹۰۴/۳۸ abc	۷۷۲/۲۴±۱۸۵/۰۶ b	۳۹۹/۲۵±۱۱/۷ b
		شاهد	۰/۸۵±۰/۰۸ jk	۴/۶۴±۰/۶۲ j-o	۰/۱۶±۰/۰۶ l	۸/۷±۱/۳ e	۲۴/۷±۱۲/۷ d-j	۳۸۹۰/۹±۱۷/۵۴ hij	۵۸۲۷/۱۵±۲۱۱۱/۲۸ e-l	۱۸۹/۵۲±۱۶/۷۵ h-m	۸۸/۲۵±۳۷/۵۵ g-j
۱/۵	شاهد	کیتوزان (CH)	۰/۹±۰/۱۸ b-j	۲/۷±۰/۴۷ mno	۰/۹۸±۰/۰۶ jk	۸/۷±۰/۸ e	۳۲/۷±۵/۷ e-j	۴۹۲/۰/۲±۲۷/۲۷ f-j	۷۲۶۴/۱۸±۲۲۶/۱۳ a-h	۲۲۲/۲±۱۰/۵۲ g-m	۱۲۸/۶۲±۲۶/۴۸ e-j
		فولویک (FO)	۰/۸۹±۰/۰۷ b-j	۲/۴۸±۰/۴۲ no	۱/۱۴±۰/۱۷ fj	۱۲/۷±۱/۳ bc	۷۵/۳±۱/۷۲ a	۱۰۹۵/۱۶±۱۵۰/۵۵ cd	۷۷۲/۱/۹±۱۷۵۲/۴۲ a-g	۶۱۷/۸۲±۹/۵۶ bc	۲۵۸/۰۸±۲۷/۲۷ cd
		CH+FO	۰/۹۳±۰/۰۸ b-j	۳/۷۷±۱/۲۱ mno	۰/۹۸±۰/۰۷ jk	۷±۱/۳ h-k	۵۰/۷±۴/۹ b-e	۱۰۷۴/۲۹±۲۱/۲ cde	۹۳۹۲/۲۳±۳۳۵/۵ abc	۵۴۵/۵۷±۱۴۹/۱۳ cde	۲۷۰/۴۷±۶۵/۳۴ cd
		شاهد	۰/۱۳±۰/۰۱ l	۱۰/۴۴±۱/۸۲ abc	۱/۲۷±۰/۱۲ d-j	۸/۵±۰/۵ ef	۳۷/۳±۸/۱ ghi	۲۶۸/۳۵±۱۸۴/۳۶ ij	۳۰۱/۲/۰۸±۹۷/۲/۵ lm	۹۷/۲۵±۵/۶۴ lm	۵۵/۸۵±۳/۰۲ ij
۲/۵	شاهد	کیتوزان (CH)	۰/۹۷±۰/۰۶ b-h	۶/۵۸±۰/۳ h-l	۱±۰/۰۲ jk	۲/۷±۱/۶ q	۳۲/۲±۳/۲ f-j	۲۴۲/۰۲±۱۷/۶۶ ij	۸۹۶۰/۲۲±۱۶۰۶/۱ a-d	۱۱۴/۵۷±۱۷/۹۵ lm	۶۲/۷۲±۱۶/۴۷ hij
		فولویک (FO)	۰/۹۱±۰/۱۲ b-j	۷/۶۵±۰/۰۳ d-j	۰/۹۸±۰/۰۶ jk	۷±۱/۳ h-k	۲۹/۷±۷ f-j	۴۲۴/۵۷±۲۶۴/۲۳ f-j	۶۲۰/۸/۱۶±۲۴۱۵/۲۹ d-k	۱۹۸/۶۹±۱۱/۰۶ g-m	۹۲/۶۸±۴۵/۴۴ g-j
		CH+FO	۰/۹۵±۰/۰۷ b-h	۶/۶±۰/۳۱ h-l	۱/۰±۰/۰۸ jk	۱۰/۷±۱/۳ d	۳۹/۷±۱۵/۳ c-j	۴۴۴/۹۶±۱۰۷/۵۶ fj	۸۰۱۴/۲±۲۹۰۵/۸۴ a-f	۲۰۱/۴±۳۵/۳۲ g-m	۱۰۵/۱۷±۲۲/۹۲ fj
		شاهد	۰/۹۸±۰/۰۶ b-g	۷/۷۶±۰/۸۶ d-j	۱/۰۹±۰/۱۴ h-k	۵/۷±۱/۶ mno	۲۷/۳±۱۴/۶ ghi	۳۷۸/۸±۳۶۰/۲۹ hij	۵۶۱۷/۱۴±۱۷۷/۲۱ e-l	۱۸۲/۷±۱۳۵/۷۴ h-m	۸۰/۵۲±۶/۰۸ g-j
۱/۵	شاهد	کیتوزان (CH)	۱/۰±۰/۰۸ ab	۷/۲±۰/۲۷ fj	۱/۱±۰/۰۴ g-k	۲/۷±۱/۳ q	۲۸±۴/۶ c-j	۸۹۷/۰/۶±۳۵/۱/۴ c-g	۷۹۴۲/۲±۴۴۵/۷۵ a-f	۴۱۱/۱۸±۱۲۱/۸۴ c-g	۲۲۲/۱۲±۷/۰۹ cde
		فولویک (FO)	۱±۰/۰۳ a-f	۸/۶۲±۱/۵۵ c-h	۱/۰۹±۰/۱۹ h-k	۶/۲±۰/۸ k-n	۴۷/۷±۱۲/۱ b-f	۸۰۴/۶۲±۱۸/۱/۵۵ d-h	۸۱۰/۰/۲±۱۲۷/۰/۵ a-f	۳۸۹/۷۵±۱۶۱/۵۵ d-j	۱۸۴/۲۵±۸۶/۱۱ d-g
		CH+FO	۱/۰±۰/۰۷ abc	۷/۸۸±۰/۳۴ c-j	۱/۱۳±۰/۰۵ fj	۶/۳±۰/۸ j-n	۳۴/۳±۴/۹ d-j	۷۳۵/۷۴±۱۳۵/۹۴ d-j	۸۶۴۷/۲۲±۲۳۱/۶/۲۱ a-e	۳۷۷/۵۸±۴۱/۲۸ e-j	۱۷۱/۴۶±۲۷/۳۳ d-h
		شاهد	۰/۷۳±۰/۱۴ ij	۹/۹۲±۱/۶ a-e	۰/۲۲±۰/۰۵ l	۴/۲±۱/۲ q	۳۱±۱۴ fj	۳۸۶/۷۶±۲۵۸/۷۷ hij	۴۲۶۸/۱۱±۲۸۲/۰/۵ h-m	۱۷۲/۹±۱۰/۲/۹۱ j-m	۷۶/۲۳±۲/۲۱ g-j
۲/۵	کیتوزان (CH)	۱/۰±۰/۱۳ abc	۶/۵۸±۰/۲۱ h-l	۰/۹۵±۰/۰۲ jk	۸/۵±۰/۵ ef	۴۲/۳±۲۷/۵ c-j	۹۰۲/۸۷±۵۶۲/۵۴ c-f	۵۱۰۴/۱۲±۱۲۸۴/۵۴ f-m	۴۴۶/۴۴±۲۱۸/۴۹ c-f	۲۱۲/۷۸±۱۱۰/۴۲ def	

آبیاری رژیم (بدون تنش) / آبیاری تا ابتدای تشکیل بذر در داخل کپسول (تنش متوسط)

۱۳۸/۶۶±۱۳/۹۳ e-j	۳۰۷/۵۲±۸۱/۲۹ f-l	۳۷۷/۱۸±۷۶/۰۳ a-h	۶۱۰/۵۹±۱۸۶/۰۶ e-j	۳۸±۷/۶ c-i	۱۶±۱/۳ a	۱/۰۹±۰/۱۵ g-k	۷/۱۸±۱/۱۵ f-j	۰/۹۷±۰/۰۷ b-h	فولویک (FO)
۱۶۹/۹۱±۱۱/۸۷ d-h	۳۳۹/۲۲±۳۸/۰۲ e-k	۷۶۴۳/۱۹±۱۱۹۷/۴۲ a-g	۷۳۶/۹۵±۱۱۴/۷۳ d-i	۳۹/۷±۸/۴ c-i	۱۲/۸±۱ b	۱±۰/۰۴ j-k	۷/۰۴±۷/۶۲ o	۱/۰۷±۰/۰۳ a-b	CH+FO
۲۵/۶۹±۱۰/۵۷ j	۶۱۸/۴±۲۰/۰۲ m	۲۲۴۸/۰۶±۲۱۳/۰۲ m	۱۹۰/۲۱±۱۳/۹۲ j	۲۵/۷±۷/۶ i	۴/۲±۰/۸ q	۷/۹±۰/۲۵ a	۹/۹±۰/۸۲ a-d	۰/۷۹±۰/۰۸ g-j	شاهد
۵۲/۴۶±۹/۷۴ j	۱۱۳/۴۶±۱۸/۰۱ l-m	۳۱۸۷/۰۸±۱۳۷۹/۴۱ klm	۳۸۴/۵۶±۵۰/۱۹ j	۳۷/۳±۳/۸ ghi	۶±۰/۵ k-m	۱/۲±۰/۱۴ c-h	۶/۵±۰/۱۸ h-l	۱/۰۲±۰/۰۷ a-e	کیتوزان (CH)
۳۱/۲۲±۱۸/۵۹ j	۶۹/۹۷±۳/۰۸۴ m	۵۹۲۹/۱۵±۳۳۰۶/۴۸ d-l	۲۸۶/۹۵±۱۳۸/۴۹ j	۳۰/۳±۴/۶ f-i	۵/۳±۱ nop	۱/۴۷±۰/۲۸ b-e	۷/۹±۰/۱۹ c-i	۰/۹۶±۰/۰۹ b-h	فولویک (FO)
۴۹/۵۲±۲۳/۱۵ j	۹۸/۹±۳۵/۱۳ l-m	۵۲۶۸/۱۳±۲۰۱۶/۱۶ f-m	۲۸۲/۱۵±۱۴۵/۲۷ j	۳۹±۱۹/۷ c-i	۷/۳±۱/۳ g-j	۱/۵±۰/۱۷ bc	۶/۳۱±۰/۲۶ h-m	۱/۰۱±۰/۰۹ a-e	CH+FO
۲۹/۹۶±۱۴/۵۹ j	۹۷/۰۴±۴۹/۳۲ l-m	۲۴۹۶/۰۶±۳۵/۵۲ m	۲۵۹/۶۵±۱۲۳/۹۸ j	۲۶/۷±۸/۵ hi	۶/۵±۱/۳ i-m	۱/۵±۰/۱۵ bcd	۱۶/۵±۱/۳۴ a	۱/۰۳±۰/۱۱ a-d	شاهد
۷۳/۴۴±۴۴/۴۹ g-j	۱۵۷/۷۴±۱۷/۰۷ klm	۶۲۳۶/۱۶±۱۸۷۵/۱۶ c-j	۴۱۷/۲۶±۳۶/۸۲ g-j	۴۷/۷±۱۷/۲ b-f	۷/۷±۱/۵ e-h	۱/۴۴±۰/۲۱ b-e	۹/۸۱±۰/۸۴ b-f	۱/۰۶±۰/۱۴ abc	کیتوزان (CH)
۹۶/۷۴±۴۷/۶۵ g-j	۳۴/۳۳±۱۳/۲۳ f-m	۶۳۳۰/۱۶±۱۳۲/۲۶ c-j	۶۳۳/۷۳±۳۶/۹۱ d-j	۳۷/۷±۱۱/۷ c-i	۴/۵±۱/۸ pq	۱/۵±۰/۱۳ b	۱۱/۳۴±۲/۱۸ ab	۱/۰۹±۰/۰۶ ab	فولویک (FO)
۱۱۱/۶۴±۲۵/۹۷ e-j	۲۰۷/۳۳±۵۱/۰۴ g-m	۷۳۶۵/۱۸±۳۴۴۴/۴۳ a-h	۵۷۱/۸۳±۱۷۴/۴۳ f-j	۴۰±۷/۹ c-i	۶/۸±۱ h-l	۱/۴۹±۰/۰۵ b-e	۹/۳۸±۰/۳۹ b-g	۱/۱۹±۰/۰۲ a	CH+FO
۲۷/۸۲±۱۳/۸۹ j	۶۶/۹±۳۸/۰۲ m	۳۱۷۳/۰۸±۰۹۷/۴ klm	۱۷۵/۷۱±۹۵/۶ j	۲۶±۷/۲ hi	۷/۵±۱ f-i	۰/۳۶±۰/۰۲ l	۱۰/۲۹±۰/۳۶ a-d	۰/۸۳±۰/۰۹ d-j	شاهد
۸۹/۱۸±۳۲/۴۹ g-j	۱۷۶/۹±۵۱/۶۱ h-m	۶۹۱۷/۱۱±۲۵۷۲/۴۱ a-i	۴۵۰/۳۴±۱۸۰/۵۴ f-j	۴۴±۸/۷ c-h	۴/۵±۰/۵ pq	۱/۳۲±۰/۱۷ c-g	۶/۶±۰/۳۸ h-l	۰/۹±۰/۰۱ b-g	کیتوزان (CH)
۹۷/۰۵±۳۳/۴۷ g-j	۱۹۶/۴۶±۳۶/۸۶ g-m	۳۹۱۳/۱±۱۱۹۹/۴۵ j-m	۴۷۲/۱۴±۱۴۸۷/۲۳ j	۳۷/۳±۷/۱ c-i	۶/۵±۱ i-m	۱/۳۴±۰/۰۷ b-f	۷/۷±۰/۲۹ d-i	۰/۹±۰/۰۱۷ a-f	فولویک (FO)
۹۸/۴۷±۸/۷۷ g-j	۲۲۵/۷۶±۴۷/۱۴ g-m	۴۷۹۷/۱۲±۵۴۰/۹۵ g-m	۵۶۵/۶۸±۱۴۱/۱۹ f-j	۳۳/۷±۷/۶ e-j	۸/۷±۰/۸ e	۱/۵±۰/۲۱ bc	۷/۳۲±۰/۲۵ e-j	۱/۰۱±۰/۰۵ a-e	CH+FO

میانگین‌های (mean ± Std) دارای حروف مشابه در هر ستون، از نظر آزمون مقایسه میانگین LSD در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

آغاز شکل‌گیری ساختار گل (تنش شدید)

۱/۵

۲/۵

داشت. به طوری که بیشترین فعالیت این آنزیم در عدم استفاده از نانو کود و عدم محلول‌پاشی تحت شرایط تنش شدید خشکی (۲/۹۹) واحد آنزیم بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) به دست آمد. کمترین فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز نیز در استفاده از کیتوزان و عدم استفاده از نانوکود پتاسیم تحت شرایط بدون تنش (۰/۹۱) واحد آنزیم بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) مشاهده شد. البته استفاده از ۱/۵ در هزار نانوکود پتاسیم به همراه کیتوزان و فولویک اسید تحت شرایط بدون تنش نیز دارای کمترین فعالیت این آنزیم بودند (جدول ۳). خردادی و رامین و همکاران (۲۰۲۰) بیان داشتند که سلول‌های گیاهی دارای یکسری سازوکارهای دفاعی می‌باشند که از تولید انواع گونه‌های فعال اکسیژن ممانعت کرده و یا با احیای کامل از اثرات مضر آن‌ها پیشگیری نمایند. از مهم‌ترین این سازوکارها می‌توان به چرخه آسکوربات-گلوتاتیون، چرخه مهلر، چرخه گزانتوفیل، مسیر تنفس نوری و سازوکارهای ترمیمی اشاره نمود. در این آزمایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت در اثر خشکی شدید افزایش معنی‌داری داشتند. آنزیم پلی فنل اکسیداز، ترکیب آنزیم مونوفنول اکسیداز و آنزیم کاتکول اکسیداز است که تقریباً در همه بافت‌های گیاه وجود دارد. اهمیت پلی فنل اکسیداز به دلیل

کمترین فعالیت آنزیم پراکسیداز مربوط به استفاده از ترکیب کیتوزان و فولویک اسید به همراه ۲/۵ در هزار نانو کود پتاسیم تحت تنش متوسط خشکی بود (جدول ۳). تنش ناشی از کم‌آبیاری منجر به افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز شد. همچنین استفاده از ۱/۵ در هزار نانو کود بیشترین فعالیت این آنزیم (۶/۵۳) واحد آنزیم بر میلی‌گرم پروتئین) را نشان داد (جدول ۲). در مقایسه میانگین اثر متقابل، استفاده از ۱/۵ و ۲/۵ در هزار نانو کود پتاسیم تحت شرایط تنش شدید خشکی منجر به ایجاد بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (به- ترتیب ۷/۳۲ و ۶/۵۳) واحد آنزیم بر میلی‌گرم پروتئین) شد که در مقایسه با تیمار شاهد افزایش ۵۲/۸ و ۳۶/۳ درصدی داشتند. کمترین فعالیت نیز در عدم استفاده از نانو کود تحت تنش شدید خشکی و استفاده از ۲/۵ در هزار نانو کود تحت تنش متوسط خشکی به دست آمد (جدول ۴).

نتایج نشان داد که اثر متقابل رژیم آبیاری، نانو کود و محلول‌پاشی بر میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند (جدول ۱). نتایج حاکی از، اثر تعدیلی نانوکود پتاسیم و محلول‌پاشی کیتوزان و فولویک اسید در فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز

جدول ۴- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری رژیم آبیاری و نانو کود پتاسیم برای برخی صفات کمی کنجد

درصد پروتئین	شاخص سطح برگ	ارتفاع بوته (cm)	سوپراکسید دیسموتاز (U.mg protein ⁻¹)	کاتالاز (U.mg protein ⁻¹ .min)	نانو کود پتاسیم	رژیم‌های آبیاری
۲۴/۰±۲/۱۱ ab	۴/۳۱±۱/۲۲ bc	۹۵/۹±۱۲/۳ cd	۴/۷۹±۰/۸۷ e	۰/۵۱±۰/۱۵ d	صفر	بدون تنش
۲۳/۶±۲/۲ abc	۶/۱۱±۲/۱۵ a	۱۱۱/۰±۱۴/۲ a	۷/۰۲±۰/۸۹ ab	۱/۹۴±۰/۷۸ c	۱/۵	
۲۴/۵±۱/۷ a	۶/۱±۳/۵۱ a	۹۵/۶±۷/۵۴ cd	۶/۱۴±۰/۹۴ bcd	۰/۵۹±۰/۱۹ d	۲/۵	تنش متوسط
۲۲/۶±۱/۷۲ cd	۵/۲۱±۱/۶۳ ab	۹۸/۱±۵/۹۷ bc	۵/۶۱±۱/۶۹ de	۲/۳۱±۰/۵۳ bc	صفر	
۲۳/۰±۱/۸ bcd	۵/۰۷±۱/۵۲ ab	۱۰۲/۹±۸/۱۷ b	۵/۲۴±۰/۹۶ de	۲/۷۱±۰/۳۱ bc	۱/۵	تنش شدید
۲۲/۱۷±۲/۱۹ d	۴/۶۵±۲/۰۵ abc	۱۰۱/۳±۹/۹۲ bc	۴/۸۹±۰/۷۶ e	۲/۲۶±۰/۴۵ bc	۲/۵	
۱۵/۳۹±۳/۴۷ f	۲/۵۹±۱/۲۶ d	۹۰/۶±۹/۷۵ d	۵/۸۴±۱/۵۹ cd	۲/۹۶±۱/۲۵ b	صفر	
۱۶/۰۱±۳/۶۷ f	۳/۴۲±۲/۱۷ cd	۹۶/۵±۱۱/۵۲ bcd	۷/۳۲±۱/۳۳ a	۴/۸۱±۲/۱۹ a	۱/۵	
۱۸/۰۴±۲/۲۷ e	۴/۹۶±۲/۵۶ ab	۹۰/۶±۶/۵۱ cd	۶/۵۳±۱/۱۵ abc	۴/۴۳±۱/۶۴ a	۲/۵	

میانگین‌های (mean ± StD) دارای حروف مشابه در هر ستون، از نظر آزمون مقایسه میانگین LSD در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول ۵- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری رژیم آبیاری و محلول‌پاشی کیتوزان و فولویک اسید برای برخی صفات کمی کنجد

درصد پروتئین	درصد روغن	تعداد دانه در کیسول	ارتفاع بوته (cm)	کاتالاز	محلول-پاشی	رژیم‌های آبیاری
۲۲/۹±۱/۳۸ bc	۴۴/۵۱±۲/۹۳ cde	۲۸/۰۷±۷/۴۸ cd	۹۱±۹/۵۳ ef	۱/۴±۱/۲۴ ef	شاهد	بدون تنش
۲۵/۱±۰/۹۱ a	۴۲/۵۸±۵/۷ de	۳۹/۳۳±۱۰/۰۲ ab	۱۰۶/۴۴±۱۲/۷۲ ab	۰/۷۸±۰/۵۳ f	کیتوزان (CH)	
۲۳/۱۱±۲/۱ bc	۵۱/۵۷±۶/۴۹ a	۳۲/۸۹±۸/۰۷ bcd	۱۰۷/۵۶±۹/۱۸ a	۰/۷۶±۰/۳۶ f	فولویک (FO)	تنش متوسط
۲۵/۱۲±۰/۶۱ a	۴۸/۷۹±۵/۰۱ ab	۴۴/۴۸±۱۰/۴۳ a	۹۸/۵۶±۱۶/۲۱ b-e	۱/۱۱±۰/۷۷ f	CH±FO	
۲۰/۹۷±۱/۷ d	۴۲/۴۱±۶/۲۹ ef	۳۴/۱۹±۸/۳۴ bcd	۹۷/۲۲±۷/۱۲ cde	۲/۹۳±۰/۳۹ bcd	شاهد	تنش شدید
۲۴/۱۳±۱/۱۱ ab	۴۶/۴۲±۴/۵۵ bcd	۳۷/۵۹±۱۰/۷۷ ab	۱۰۱/۸۹±۷/۲۹ abc	۲/۱۳±۰/۲۸ de	کیتوزان (CH)	
۲۱/۹۸±۱/۹۷ cd	۴۷/۷۱±۲/۹۷ bc	۳۲/۸۹±۷/۱۷ bcd	۹۹/۱۱±۸/۳ bcd	۲/۴۴±۰/۴۱ cd	فولویک (FO)	
۲۳/۳۲±۱/۰۲ bc	۴۷/۷۹±۳/۷۶ bc	۳۵/۷۸±۱۰/۳۳ bc	۱۰۵±۹/۰۷ abc	۲/۲۲±۰/۳۹ cde	CH±FO	
۱۲/۳۲±۲/۵۸ g	۳۳/۷۷±۷/۲۶ h	۲۶/۸۵±۷/۷۶ d	۸۶/۶۷±۵/۹۶ f	۴/۷۹±۱/۹۸ a	شاهد	
۱۸/۷۲±۱/۹۴ e	۳۹/۱۷±۲/۸۴ fg	۲۸/۰۴±۵/۲۹ cd	۹۲/۶۷±۸/۴۱ def	۳/۱۱±۱/۵۸ bc	کیتوزان (CH)	
۱۶/۷۷±۲/۴۴ f	۳۹/۸۱±۳/۷ fg	۳۱/۵۲±۱۳/۹ bcd	۹۳/۸۹±۱۰/۸۳ def	۴/۹۱±۱/۹۲ a	فولویک (FO)	
۱۸/۱۱±۱/۸۲ ef	۳۷/۴۳±۳/۸۳ g	۳۵/۱۱±۷ bc	۹۷/۳۳±۱۰/۷۸ def	۳/۴۷±۱/۵۴ b	CH±FO	

میانگین‌های (mean ± StD) دارای حروف مشابه در هر ستون، از نظر آزمون مقایسه میانگین LSD در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

تنش در گیاهان تولید می‌شود می‌توان نتیجه گرفت که گیاه کنجد با تولید بیشتری از این آنزیم توانسته است باعث حذف تعداد زیادی از گونه‌های فعال اکسیژن تولیدی شود (خردادی و رامین و همکاران ۲۰۲۰).

وجود همبستگی در تنظیم میزان فعالیت پلی فنل اکسیداز و سنتز فنیل پروپانویید می‌باشد (ترانتو و همکاران ۲۰۱۷). با توجه به این که آنزیم پلی فنل اکسیداز برای مقابله با اکسیژن‌های رادیکال آزاد تولیدی در شرایط

صفات رشدی و عملکردی

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر رژیم آبیاری، نانو کود و محلول‌پاشی و همچنین اثر متقابل نانو کود در محلول‌پاشی بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی و شاخص سطح برگ معنی‌دار بودند. علاوه بر این اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، محلول‌پاشی و نانو کود بر تعداد شاخه جانبی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار به‌دست آمد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که استفاده از ۱/۵ در هزار نانوکود تحت شرایط بدون تنش منجر به ایجاد بالاترین ارتفاع بوته (۱۱۱ سانتی‌متر) شد که در مقایسه با تیمار شاهد ۱۵/۷ درصد میانگین بالاتری داشت. خشکی شدید منجر به کاهش میانگین ارتفاع بوته شد به طوری که کمترین ارتفاع بوته (۹۰/۶ سانتی‌متر) در خشکی شدید و عدم استفاده از نانو کود پتاسیم به‌دست آمد. استفاده از نانو کود پتاسیم به-خصوص در سطح ۱/۵ درصد تحت شرایط خشکی شدید، افزایش معنادار میانگین این صفت را در مقایسه با تیمار عدم استفاده از نانو کود در پی داشت (جدول ۴). در مقایسه میانگین بین محلول‌پاشی و رژیم آبیاری، استفاده از فولویک اسید تحت شرایط بدون تنش منجر به ایجاد بالاترین ارتفاع بوته (۱۰۷/۵۶ سانتی‌متر) شد. علاوه بر این استفاده از کیتوزان در همین سطح تنش و تنش متوسط و همچنین استفاده از ترکیب کیتوزان و فولویک اسید در سطح تنش متوسط نیز دارای بالاترین میانگین ارتفاع بوته بودند. عدم محلول‌پاشی ترکیبات فولویک اسید و کیتوزان تحت شرایط تنش شدید خشکی نیز دارای کمترین ارتفاع بوته (۸۶/۶۷ سانتی‌متر) بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد کاهش ارتفاع بوته در نتیجه تنش شدید خشکی ناشی از کاهش محتوای کلروفیل و سطح فتوسنتز کننده (شاخص سطح برگ)، افزایش انرژی مصرفی گیاه برای جذب آب، افزایش تراکم پروتوپلاسم، تغییر در مسیرهای تنفس، فعال شدن مسیر پنتوز فسفات و/یا کاهش حجم ریشه و غیره باشد (فراکسو و همکاران ۲۰۲۰). علاوه بر این، ارتفاع بوته متأثر از خصوصیات ژنتیکی و تغییرات شرایط محیطی است و از آنجایی که افزایش اندازه سلول به خشکی بسیار حساس است، لذا به‌نظر می‌رسد کم‌آبیاری افزایش اندازه سلول را تحت

تأثیر قرار داده و از رشد طولی ساقه ممانعت به عمل می‌آورد و از این رو، ارتفاع بوته کاهش می‌یابد (ساعدی و همکاران ۲۰۲۰). پژوهشگران همراستا با نتایج پژوهش حاضر بیان داشتند که استفاده از نانو کود پتاسیم افزایش ارتفاع بوته در گیاهان کنجد (مهدوی‌خرمی و همکاران ۲۰۲۰) و نعنای فلفلی (ساعدی و همکاران ۲۰۲۰) را در پی داشت.

استفاده از فولویک اسید به همراه ۲/۵ در هزار نانو کود پتاسیم تحت تنش متوسط خشکی منجر به ایجاد بالاترین تعداد شاخه جانبی (۱۶ عدد در بوته) شد که در مقایسه با تیمار شاهد بیش از چهار برابر بود. کمترین تعداد شاخه در بوته در تیمار شاهد (عدم استفاده از نانوکود و محلول‌پاشی تحت شرایط بدون تنش)، استفاده از کیتوزان و ۱/۵ در هزار نانوکود پتاسیم تحت شرایط تنش متوسط، عدم استفاده از محلول‌پاشی به همراه کاربرد ۲/۵ در هزار نانو کود تحت تنش متوسط و در نهایت عدم استفاده از نانو کود و محلول‌پاشی تحت تنش شدید خشکی مشاهده شد (جدول ۳). لی و همکاران (۲۰۲۲) بیان داشتند که کاربرد پتاسیم منجر به افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به سمت برگ‌ها می‌گردد و گیاهانی که کمبود پتاسیم دارند اغلب دارای نیتروژن زیاد و کمبود هیدرات‌های کربن هستند که این وضعیت تولید ریشه‌ها را کاهش داده و منجر به افت پارامترهای رشدی از جمله ارتفاع بوته و عملکرد می‌شود. این پژوهشگران دلایل این امر را به نقش عنصر پتاسیم در نقل و انتقال ریشه‌ای مربوط دانستند. شاخص سطح برگ نیز در تیمار استفاده از نانو کود پتاسیم در غلظت‌های ۱/۵ و ۲/۵ در هزار تحت شرایط بدون تنش و در سطح خشکی متوسط، همگی سطوح تیمار نانو کود دارای بیشترین میانگین شاخص سطح برگ بودند. عدم استفاده از نانو کود پتاسیم تحت شرایط خشکی شدید منجر به ایجاد کمترین شاخص سطح برگ (۲/۵۹) شد که در مقایسه با تیمار ۱/۵ و ۲/۵ در هزار نانو کود پتاسیم در همین سطح خشکی، کاهش ۲۴/۲ و ۴۷/۷ درصدی داشت (جدول ۴). به‌بیان دیگر، استفاده از نانو کود پتاسیم منجر به افزایش میانگین شاخص سطح برگ در شرایط خشکی شدید شد. استفاده از نانوکودها با توجه به آزادسازی

آهسته و پیوسته مواد مغذی خود، رهاسازی و جذب مواد غذایی قابل تنظیم خواهد بود که این موضوع باعث افزایش کارایی و بازده استفاده از نانوکودها می‌شود (ساعدی و همکاران ۲۰۲۰).

تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر رژیم آبیاری، نانو کود پتاسیم و محلول‌پاشی تفاوت معنی‌دار نشان دادند. همچنین، اثر متقابل این سه عامل بر تعداد کپسول، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار به‌دست آمد (جدول ۱). تعداد کپسول در بوته از اجزای مهم عملکرد دانه در گیاه کنجد به‌شمار می‌آید. براساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل، استفاده از کیتوزان به همراه ۱/۵ در هزار نانو کود پتاسیم و همچنین فولویک اسید به همراه ۲/۵ در هزار نانو کود پتاسیم تحت شرایط بدون تنش منجر به ایجاد بالاترین تعداد کپسول در بوته (به ترتیب با میانگین ۷۹ و ۷۵/۳ عدد در بوته) شدند که در مقایسه با شاهد نزدیک دو برابر افزایش داشتند. کاربرد نانوکود پتاسیم و محلول‌پاشی کیتوزان و فولویک اسید تحت خشکی شدید افزایش میانگین تعداد کپسول در بوته را در پی داشت. به طوری که کمترین تعداد کپسول در بوته در تیمار عدم کاربرد نانوکود پتاسیم، کیتوزان و فولویک اسید در شرایط تنش شدید خشکی با میانگین ۲۵/۷ عدد در بوته ثبت شد (جدول ۳). براساس نتیجه‌گیری پژوهشگران کاربرد نانو کود پتاسیم از طریق نقش عمومی پتاسیم در برقراری تعادل بار الکتریکی در بافت‌های گیاهی و نیز حفظ آماس سلول موجب بهبود رشد و اجزای عملکرد گیاه می‌شود (مهدوی‌خرمی و همکاران ۲۰۱۸). از نظر تعداد دانه در کپسول تفاوت معنی‌دار آماری مابین سطوح بدون تنش و تنش متوسط مشاهده نشد ولی، تنش شدید خشکی منجر به افت معنادار میانگین این صفت گردید (جدول ۲). در مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی و محلول‌پاشی، بیشترین تعداد دانه در کپسول مربوط به استفاده از ترکیب ۵۰ درصد کیتوزان و فولویک اسید تحت شرایط بدون تنش با میانگین ۴۴/۴۸ عدد بود. علاوه براین استفاده از کیتوزان تحت شرایط بدون تنش و تنش متوسط نیز دارای بالاترین میانگین این صفت بودند.

کمترین تعداد دانه در کپسول در بالاترین سطح خشکی و عدم محلول‌پاشی با میانگین ۲۶/۸۵ عدد به‌دست آمد (جدول ۵). مهدوی‌خرمی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که رژیم‌های مختلف آبیاری تأثیر معنی‌داری بر صفات رشدی و عملکردی گیاه کنجد داشتند و خشکی شدید ناشی از کم‌آبیاری منجر به کاهش و افت معنادار پارامترهای مورفولوژیک و عملکردی شد. برخلاف تعداد دانه در کپسول، تعداد دانه در بوته تحت تنش متوسط و شدید خشکی افت معنادار در مقایسه با تیمار بدون تنش نشان داد. به بیان دیگر تنش متوسط و شدید به ترتیب منجر به کاهش ۳۲/۲۷ و ۴۲/۸ درصدی میانگین این صفت در مقایسه با شاهد شدند (جدول ۲). رهبری و همکاران (۲۰۱۹ و ۲۰۲۱) گزارش کردند که به دنبال خشکی آناتومی برگ تغییر یافته و برگ‌ها کوچک‌تر و ضخیم‌تر می‌شوند و میزان فتوسنتز در برگ و کل گیاه کاهش می‌یابد که این امر به کاهش رشد گیاه و کاهش تعداد کپسول، تعداد دانه و در نهایت افت عملکرد دانه در شرایط خشکی منجر می‌گردد. از طرف دیگر، تفاوت معنادار مابین غلظت‌های ۱/۵ و ۲/۵ در هزار نانو کود پتاسیم از نظر افزایش میانگین تعداد دانه در بوته مشاهده نشد (جدول ۲). وجود پتاسیم انتقال مواد فتوسنتزی را افزایش می‌دهد و تحت شرایط کمبود پتاسیم، نیتروژن بالاتر رفته و کمبود هیدرات‌های کربن رخ می‌دهد که این شرایط تولید ریشه را کاهش داده و از این رو پارامترهای رشدی و عملکردی نیز افت خواهند داشت (ساعدی و همکاران ۲۰۲۰). در بین ترکیبات محلول‌پاشی، استفاده تلفیقی از کیتوزان و فولویک اسید منجر به ایجاد بالاترین تعداد دانه در بوته (۱۷۲۳/۸ عدد) شد که با تیمار کیتوزان در یک گروه آماری قرار داشت ولی با بقیه تفاوت معنی‌داری ایجاد کرد. عدم محلول‌پاشی نیز پایین‌ترین تعداد دانه در بوته (۹۷۵/۸ عدد) را نشان داد (جدول ۲). همراستا با یافته‌های نتایج این پژوهش بیان شد که کاربرد کیتوزان منجر به افزایش تعداد دانه در گیاهان گلرنگ (گورسوی ۲۰۲۰)، آفتابگردان (باخوم و همکاران ۲۰۲۰) و کنجد (زارعی و همکاران ۲۰۲۰) می‌گردد. از دلایل اثر مثبت کیتوزان بر پارامترهای رشدی و عملکردی می‌توان به سازگاری زیستی بالا و مقادیر

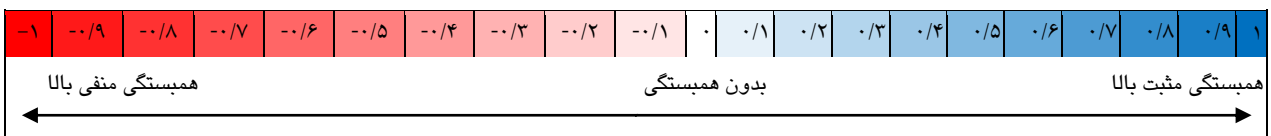
شده و عملکرد دانه کاهش می‌یابد (پورقاسمیان و همکاران ۲۰۲۰). از طرف دیگر مهدوی‌خرمی و همکاران (۲۰۱۸) بیان داشتند که کاهش صفات رشدی و مورفولوژیکی گیاه از قبیل ارتفاع بوته، شاخص برگ و غیره باعث می‌شود که گیاه توان تولید مواد فتوسنتزی بسیار پایین‌تری داشته باشد و در نهایت کم شدن سهم دانه از کربوهیدرات تولیدی را در پی دارد. نتایج یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که استفاده از ۱/۵ در هزار نانوکود پتاسیم مطلوب‌ترین غلظت برای افزایش عملکرد دانه بود. در این راستا، بیان شد که نانو کودها به دلیل خاصیت ذاتی خود یعنی رهاسازی آرام منجر به افزایش جذب عناصر توسط گیاه شده و در نهایت افزایش کارایی مصرف عناصر و در پی آن افزایش پارامترهای رشدی و عملکردی می‌شود (سعیدی و همکاران ۲۰۲۰). استفاده از نانوکود پتاسیم به همراه فولویک اسید افزایش عملکرد دانه کنبجده را در پی داشت. در این راستا، سایر پژوهشگران افزایش جذب فولویک اسید به همراه پتاسیم را گزارش کردند (ایوبی‌زاده و همکاران ۲۰۱۹). این پژوهشگران بیان داشتند مواد هوموسی (فولویک اسید) نفوذپذیری غشای سلولی را افزایش داده و ورود یون پتاسیم را نیز به داخل سلول تسهیل می‌نماید و از این طریق فشار سلولی و تقسیم سلولی را افزایش می‌دهد. علاوه بر این ورود این دو ترکیب به داخل سلول منجر به افزایش انرژی داخل سلولی و در نهایت افزایش سنتز کلروفیل و بالا رفتن میزان فتوسنتز در گیاه می‌شود (ایوبی‌زاده و همکاران ۲۰۱۹؛ یانگ و همکاران ۲۰۲۱). مهدوی‌خرمی و همکاران (۲۰۱۸) بیان داشتند که مصرف پتاسیم علاوه بر افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصول منجر به افزایش مقاومت گیاهان به خشکی می‌شود. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه نشان داد که محلول-پاشی هر سه ترکیب (کیتوزان، فولویک اسید و ترکیب کیتوزان+فولویک اسید) به همراه استفاده از ۱/۵ در هزار نانوکود پتاسیم تحت شرایط بدون تنش منجر به ایجاد بالاترین عملکرد بیولوژیک شد. البته استفاده از همین ترکیب تیماری در سطح تنش متوسط نیز نتایج مشابهی در پی داشت. عدم استفاده از نانو کود و عدم محلول-پاشی تحت تنش شدید خشکی دارای کمترین عملکرد

بالای وزن مولکولی این ماده آلی اشاره کرد (زارعی و همکاران ۲۰۲۰). تأمین نیاز گیاه از نظر مواد غذایی و فراهمی بهتر آب که منجر به افزایش تعداد دانه و تعداد کپسول در بوته شد، که از عوامل اصلی افزایش عملکرد دانه محسوب می‌شوند (رهبری و همکاران ۲۰۱۹). از نظر وزن هزار دانه، تنش شدید منجر به کاهش معنی‌دار شد در حالی که تفاوتی مابین شرایط بدون تنش و تنش متوسط مشاهده نشد (جدول ۲). پژوهشگران نتیجه‌گیری کردند که وقتی گیاهی در مرحله گلدهی تا زایشی تحت تنش خشکی قرار می‌گیرد، اقدام به کوتاه کردن چرخه زندگی خود می‌کند (برای فرار از تنش: یکی از مکانیسم‌های مقاومت) و مراحل رشدی و زایشی از جمله طول دوره پر شدن دانه کوتاه‌تر شده و در نتیجه کاهش وزن دانه اتفاق می‌افتد (کوهن و همکاران ۲۰۲۱). استفاده از ۱/۵ در هزار نانوکود پتاسیم مؤثرترین غلظت از نظر افزایش وزن هزار دانه بود که در مقایسه با تیمار عدم کاربرد ۲۶/۴ درصد افزایش را در پی داشت (جدول ۲). در بین ترکیبات محلول‌پاشی نیز تفاوت معنی‌دار مابین ترکیبات مشاهده نشد ولی در مقایسه با عدم محلول-پاشی همگی ترکیبات افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه را نشان دادند (جدول ۲).

بیشترین عملکرد دانه (۲۲۴۹/۲ کیلوگرم در هکتار) در کاربرد کیتوزان به همراه ۱/۵ در هزار نانو کود پتاسیم تحت شرایط بدون تنش به دست آمد. عدم کاربرد نانو کود پتاسیم و عدم محلول‌پاشی ترکیبات کیتوزان و فولویک اسید تحت تنش شدید خشکی منجر به ایجاد کمترین عملکرد دانه (۱۹۰/۲۷ کیلوگرم در هکتار) شد. علاوه بر این کاربرد ۲/۵ در هزار نانو کود پتاسیم به همراه عدم محلول‌پاشی تحت تنش شدید خشکی نیز دارای کمترین عملکرد دانه بود (جدول ۳). به طور کلی نتایج نشان داد که استفاده از فولویک اسید به همراه ۱/۵ در هزار نانو کود پتاسیم تحت تنش شدید خشکی از کارایی بالاتری در مقایسه با سایر ترکیبات تیماری برخوردار بود. براساس نظر پژوهشگران قطع آبیاری در مرحله گلدهی و مراحل بعد از آن باعث افت مواد غذایی از ریشه، برگ و سایر قسمت‌های گیاه به دانه می‌شود که در نهایت منجر به کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه

جدول ۶- همبستگی ساده بین صفات کمی کنگد تحت تاثیر رژیم‌های آبیاری و کاربرد غلظت‌های مختلف نانو کود پتاسیم و محلول‌پاشی کیتوزان و فولویک اسید

	۲۰	۱۹	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱																				
۲																				۰/۲۷	۰																			
۳																				۰/۸۴	۰/۷۶	۰																		
۴																				۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۱۶	۰																	
۵																				۰/۱۹	۰/۰۲	۰/۵۲	۰/۶۵	۰																
۶																				۰/۳۹	۰/۰۳	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۴۵	۰															
۷																				۰/۵۴	۰/۵۰	۰/۳۲	۰/۵۴	۰/۳۰	۰															
۸																				۰/۱۲	۰/۳۱	۰/۳۹	۰/۱۷	۰/۳۰	۰/۱۷	۰/۳۳	۰													
۹																				۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۲۲	۰/۳۱	۰/۲۱	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۱۶	۰												
۱۰																				۰/۳۲	۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۰۷	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۱۹	۰											
۱۱																				۰/۳۵	۰/۴۹	۰/۱۲	۰/۲۹	۰/۵۲	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۵۷	۰/۵۸	۰/۳۱	۰										
۱۲																				۰/۵۴	۰/۴۱	۰/۴۴	۰/۱۱	۰/۲۶	۰/۵۴	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۳۹	۰/۵۲	۰/۰۷	۰									
۱۳																				۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۵۱	۰/۲۴	۰/۰۶	۰/۲۵	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۲۲	۰/۰۹	۰/۲۷	۰								
۱۴																				۰/۷۳	۰/۱۸۷	۰/۴۹	۰/۴۱	۰/۵۶	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۵۱	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۳۶	۰/۳۹	۰/۱۸	۰							
۱۵																				۰/۶۵	۰/۴۷	۰/۵۶	۰/۴۶	۰/۲۹	۰/۴۷	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۳۳	۰/۲۳	۰/۳۵	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۲۳	۰						
۱۶																				۰/۸۰	۰/۹۵	۰/۶۵	۰/۸۴	۰/۴۹	۰/۴۰	۰/۵۹	۰/۱۲	۰/۳۱	۰/۴۵	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۱۹	۰					
۱۷																				۰/۵۸	۰/۶۵	۰/۵۲	۰/۳۰	۰/۵۴	۰/۶۵	۰/۲۹	۰/۶۲	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۴۴	۰/۳۵	۰/۳۹	۰/۴۲	۰/۳۷	۰/۲۹	۰				
۱۸																				۰/۶۲	۰/۵۳	۰/۵۶	۰/۵۲	۰/۴۰	۰/۵۰	۰/۶۲	۰/۴۳	۰/۴۷	۰/۵۶	۰/۱۰	۰/۵۴	۰/۴۲	۰/۱۵	۰/۴۶	۰/۳۸	۰/۳۶	۰			
۱۹																				۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۹۹	۰/۸۱	۰/۹۵	۰/۶۴	۰/۸۵	۰/۵۴	۰/۴۴	۰/۵۹	۰/۱۷	۰/۲۳	۰/۴۹	۰/۲۰	۰/۱۸	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۲۱	۰		
۲۰																				۰/۵۶	۰/۷۴	۰/۶۱	۰/۵۱	۰/۴۶	۰/۵۳	۰/۴۴	۰/۴۹	۰/۶۲	۰/۲۶	۰/۵۱	۰/۵۶	۰/۴۵	۰/۷۵	۰/۶۵	۰/۱۱	۰/۶۵	۰/۵۳	۰/۵۱	۰	
۲۱																				۰/۵۹	۰/۹۹	۰/۵۶	۰/۶۰	۰/۹۹	۰/۸۰	۰/۹۴	۰/۶۴	۰/۸۴	۰/۵۱	۰/۴۰	۰/۵۹	۰/۱۸	۰/۲۸	۰/۵۲	۰/۳۲	۰/۱۵	۰/۳۸	۰/۳۶	۰/۲۴	۰



۱- کلروفیل a, ۲- کلروفیل b, ۳- کلروفیل کل, ۴- پرولین, ۵- کاتالاز, ۶- پراکسیداز, ۷- سوپراکسید دیسموتاز, ۸- پلی فنل اکسیداز, ۹- ارتفاع بوته, ۱۰- تعداد شاخه جانبی, ۱۱- شاخص سطح برگ, ۱۲- تعداد کپسول, ۱۳- تعداد دانه در کپسول, ۱۴- تعداد دانه در بوته, ۱۵- وزن هزار دانه, ۱۶- عملکرد دانه, ۱۷- عملکرد بیولوژیک, ۱۸- درصد روغن, ۱۹- عملکرد روغن, ۲۰- درصد پروتئین, ۲۱- عملکرد پروتئین

درصد روغن دانه (به ترتیب با ۵۱/۵۷ و ۴۸/۷۹ درصد) شد. برعکس عدم محلول پاشی تحت شرایط تنش شدید خشکی کاهش معنی دار میانگین این صفت را نشان داد که کمترین درصد روغن دانه با میانگین ۳۳/۷۷ درصد ثبت شد (جدول ۵). سایر پژوهشگران نتایج مشابهی مبنی بر کاهش درصد روغن دانه و عملکرد روغن گیاه کنبعد در شرایط تنش شدید خشکی را گزارش کردند و از دلایل این کاهش به اکسیداسیون برخی اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه و کاهش قابلیت تبدیل هیدرات کربن به روغن در شرایط تنش اشاره کردند (مهدوی خرمی و همکاران ۲۰۲۰). ایوبی زاده و همکاران (۲۰۲۰) بیان داشتند که خشکی در مرحله گلدهی (خشکی شدید) با کاهش ظرفیت دانه در جذب مواد پرورده و تبدیل آن به روغن، بیشترین اثر منفی را بر محتوای روغن دانه در گیاه کنبعد داشت. کاهش درصد روغن در اثر تنش آبی می تواند به علت اختلال در فرآیندهای متابولیکی بذر و آسیب به انتقال آسیمیلاتها به دانه باشد (زارعی و همکاران ۲۰۲۰). محتوای روغن دانه در گیاهان دانه روغنی بیشتر تحت کنترل عوامل ژنتیکی بوده اما عوامل محیطی از نظر به زراعی و تغذیه ای می تواند منجر به ایجاد تغییرات شود (لیبرچ و همکاران ۲۰۲۰). به نظر می رسد تغذیه گیاه با فولویک اسید و کیتوزان منجر به افزایش میزان فتوسنتز و پارامترهای رشدی گیاه شده و از این طریق درصد و عملکرد روغن دانه افزایش نشان داد. علوی اصل و همکاران (۲۰۱۶) نتیجه گیری کردند که کاربرد کیتوزان در شرایط بدون تنش و تنش متوسط خشکی عملکرد دانه و درصد و عملکرد روغن را در گیاه کنبعد افزایش داد که همراستا با یافته های پژوهش حاضر بود. خشکی منجر به کاهش و کاربرد نانو کود پتاسیم منجر به افزایش درصد پروتئین دانه شد به طوری که بیشترین درصد پروتئین (۲۳/۶ درصد) در شرایط بدون تنش و کاربرد ۲/۵ در هزار نانو کود بدست آمد و کمترین محتوای مربوط به تنش شدید و عدم کاربرد و کاربرد ۱/۵ در هزار نانو کود پتاسیم بود (جدول ۴). استفاده از کیتوزان و ترکیب فولویک اسید و کیتوزان تحت شرایط بدون تنش منجر به ایجاد بالاترین درصد پروتئین دانه با

بیولوژیک (۲۲۴۸/۰۶ کیلوگرم در هکتار) بود. البته استفاده از ۱/۵ و ۲/۵ در هزار نانو کود پتاسیم به همراه عدم محلول پاشی و تنش شدید خشکی نیز کمترین میانگین این صفت را نشان دادند (جدول ۳). با توجه به نتایج بدست آمده کنبعد به عنوان یک گیاه متحمل به خشکی شناخته شده است و چرا که تنش متوسط خشکی و شرایط بدون تنش از نظر عملکرد بیولوژیک تفاوت معنی داری نداشتند. در این راستا سایر پژوهشگران نتایج مشابهی گزارش کردند (زارعی و همکاران ۲۰۲۰). از دلایل کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک تحت تنش شدید خشکی می توان به کاهش محتوای رنگیزه های فتوسنتزی از قبیل کلروفیل a, b و کل اشاره کرد (مهدوی خرمی و همکاران ۲۰۱۸) که نتایج همبستگی داده ها نیز وجود رابطه مثبت و معنی دار مابین عملکرد دانه و بیولوژیک با محتوای رنگیزه ها را تأیید می کرد (جدول ۶). علاوه بر این، ریزش برگها منجر به کاهش شاخص سطح برگ در تیمار تنش شدید خشکی شده که جذب نور توسط گیاه را کاهش داده و به دنبال آن افت عملکرد بیولوژیک صورت می گیرد (زارعی و همکاران ۲۰۲۰). رهبری و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که خشکی ناشی از کم آبیاری میانگین صفات رشدی را کاهش داده و تولید اندام های زایشی و همچنین پر شدن دانه را تحت تأثیر قرار می دهد، لذا با افزایش رطوبت، آسیمیلاسیون کربن با سهولت بیشتری امکان پذیر بوده و سبب بهبود رشد گیاه و پر شدن دانه و در نهایت افزایش عملکرد دانه می گردد.

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر رژیم آبیاری، نانو کود پتاسیم و محلول پاشی ترکیبات کیتوزان و فولویک اسید بر درصد و عملکرد روغن و پروتئین دانه معنی دار بودند. همچنین اثر متقابل رژیم آبیاری در محلول پاشی بر درصد روغن و پروتئین و اثر متقابل سه گانه رژیم آبیاری در نانو کود در محلول پاشی بر عملکرد روغن و پروتئین معنی دار به دست آمدند (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین خشکی و محلول پاشی نشان داد که استفاده از فولویک اسید و ترکیب کیتوزان و فولویک اسید تحت شرایط بدون تنش منجر به تولید بالاترین

هزار دانه و تعداد دانه در بوته از دو جزء بسیار مهم در تعیین عملکرد دانه محسوب می‌شوند. مهدوی خرمی و همکاران (۲۰۱۸) در آزمایشی نتیجه‌گیری کردند که عملکرد دانه در گیاه کنجد با صفات رشدی، و اجزای عملکرد از جمله تعداد کپسول، تعداد دانه در کپسول و بوته و وزن هزار دانه و همچنین پارامترهای فیزیولوژیکی از جمله محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند که همراستا با یافته‌های پژوهش حاضر بود.

ضرایب رگرسیون پارشیال برای تعیین اهمیت نسبی صفات تأثیرگذار بر عملکرد دانه برآورد شد (جدول ۷). با توجه به اینکه داده‌ها قبل از تحلیل رگرسیون، استاندارد شده بودند، بنابراین ضرایب رگرسیون با یکدیگر قابل مقایسه بودند و بنابراین، ضریب بالاتر، نشان دهنده وزن بیشتر صفات مربوطه است. بر همین اساس اثر مستقیم صفات بر عملکرد دانه، تحت تأثیر غلظت‌های مختلف نانوکود پتاسیم و خشکی متفاوت بود. نکته مشترک در تمامی سطوح، اثر مستقیم با ضریب بالای تعداد دانه در کپسول بود. تحت شرایط تنش شدید خشکی و کاربرد ۱/۵ در هزار نانو کود پتاسیم، بیشترین ضریب مثبت مربوط به صفات تعداد کپسول در بوته، شاخص سطح برگ و کلروفیل کل بود در حالی که در تیمار بدون تنش فقط صفات تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول بالاترین ضریب مثبت را داشتند. نتایج نشان داد که تحت شرایط تنش شدید، صفات فیزیولوژیکی از جمله شاخص سطح برگ و محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل نقش مهمی در ایجاد تحمل به تنش دارد. به نظر می‌رسد که کاربرد نانوکود پتاسیم با افزایش شاخص سطح برگ و محتوای کلروفیل کل منجر به کاهش شدت خشکی و ایجاد تحمل می‌شود. در این راستا، تجزیه پارشیال رگرسیون در گیاه کلزا تحت شرایط خشکی و محلول-پاشی نشان داد که محلول‌پاشی ماهیت روابط حاکم بر صفات به‌ویژه در شرایط خشکی را تغییر داد و تحت شرایط تنش و محلول‌پاشی، صفات فیزیولوژیکی ضرایب مثبت و بیشتری داشتند (همتی و همکاران ۲۰۱۹). نتایج همبستگی ساده صفات نیز نشان داد که عملکرد دانه با

میانگین ۲۵/۱ و ۲۵/۱۲ درصد شدند. برعکس عدم محلول‌پاشی این ترکیبات تحت شرایط تنش شدید کاهش درصد پروتئین دانه را در پی داشت (جدول ۵). جوانمرد و همکاران (۲۰۲۱) بیان داشتند که یکی از وظایف اصلی پتاسیم در گیاه، نقش کلیدی آن در فتوسنتز می‌باشد. با افزایش مقدار این عنصر در گیاه احتمال تولید ATP افزایش یافته که سبب تسریع در انتقال مواد حاصل از فتوسنتز می‌گردد و به همین دلیل عملکرد و کیفیت محصول را می‌تواند بهبود بخشد. در مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه استفاده از ۱/۵ در هزار نانوکود پتاسیم به همراه کیتوزان تحت شرایط بدون تنش، بالاترین عملکرد روغن و عملکرد پروتئین (۱۰۳۱/۵ و ۵۵۱ کیلوگرم در هکتار) را نشان داد. از طرف دیگر عدم استفاده از نانوکود پتاسیم و عدم محلول‌پاشی کیتوزان و فولویک اسید نیز کمترین میانگین عملکرد روغن و عملکرد پروتئین (۶۹/۹۷ و ۳۱/۲۲ کیلوگرم در هکتار) را داشتند (جدول ۳).

همبستگی ساده بین صفات و ضرایب رگرسیون پارشیال

نتایج تعیین همبستگی ساده بین صفات در جدول ۶ ارائه شده است و حاکی از وجود همبستگی مثبت و منفی معنی‌دار و غیر معنی‌دار مابین صفات کمی گیاه کنجد است. عملکرد دانه به‌عنوان صفت مهم در زراعت گیاه کنجد با صفات کلروفیل b، کلروفیل کل، ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، شاخص سطح برگ، تعداد کپسول، تعداد دانه در کپسول، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، درصد روغن، عملکرد روغن، درصد پروتئین و عملکرد پروتئین همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. درصد روغن دانه با صفات فعالیت آنزیم کاتالاز، پراکسیداز و ارتفاع بوته همبستگی منفی و معنی‌دار داشت ولی با اکثر صفات رشدی و عملکردی همبستگی مثبتی نشان داد. با توجه به نتایج به دست آمده که افزایش عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال، بیشتر به دلیل تأثیر آن بر تعداد دانه و وزن هزار دانه به‌صورت مستقیم و افزایش شاخص سطح برگ به‌صورت غیرمستقیم بوده است (زارعی و همکاران ۲۰۲۰). وزن

دانه دارد (مهدوی‌خرمی و همکاران ۲۰۲۰). در مجموع می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تحت شرایط خشکی و کاربرد نانو کود پتاسیم، بیشترین صفات تأثیرگذار بر عملکرد دانه کنجد صفات محتوای کلروفیل، شاخص سطح برگ و تعداد کپسول در بوته می‌باشند.

صفات محتوای کلروفیل، شاخص سطح برگ و تعداد کپسول در بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت که در تجزیه پارشیال رگرسیون نیز این نتایج به دست آمد. در این راستا، گزارش شد که تعداد کپسول در بوته از اجزای مهم و مؤثر در عملکرد کنجد بوده و همبستگی مثبت و با ضریب همبستگی بالا با سایر اجزای عملکرد

جدول ۷- ضرایب رگرسیون پارشیال برای عملکرد دانه در مقابل برخی صفات عملکردی و فیزیولوژیکی کنجد تحت تأثیر محلول‌پاشی نانوکود پتاسیم و تنش خشکی

تنش شدید			تنش متوسط			بدون تنش (نرمال)			
NP3	NP2	NP1	NP3	NP2	NP1	NP3	NP2	NP1	
.	Intercept
۰/۰۳۰	۰/۰۲۰	۰/۰۷۰	-۰/۲۵۰	۰/۲۷۰	۰/۰۵۰	۰/۰۰۴	۰/۰۲۰	۰/۲۵۰	X۱
۰/۰۳۰	۰/۰۰۴	۰/۰۱۰	-۰/۰۸۰	-۰/۲۹۰	۰/۰۶۰	-۰/۰۵۰	۰/۲۰۰	۰/۲۹۰	X۲
۰/۳۹۰	۰/۶۹۰	۰/۰۰۶	۰/۰۶۰	۰/۰۴۰	-۰/۰۲۰	-۰/۱۳۰	۰/۰۲۰	۰/۰۱۰	X۳
۰/۳۱۰	۰/۲۳۰	۰/۰۹۰	-۰/۳۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۳۰	۰/۰۱۰	۰/۰۹۰	-۰/۱۲۰	X۴
۰/۰۱۰	-۰/۰۹۰	-۰/۰۲۰	-۰/۲۳۰	-۰/۲۴۰	۰/۱۱۰	۰/۰۰۱	-۰/۰۵۰	-۰/۳۹۰	X۵
۰/۱۶۰	۰/۰۹۰	۰/۰۲۰	-۰/۱۴۰	-۰/۱۳۰	-۰/۱۴۰	۰/۰۹۰	۰/۰۱۰	۰/۲۸۰	X۶
-۰/۳۶۰	-۰/۴۷۰	-۰/۱۴۰	۰/۰۶۰	۰/۰۱۰	۰/۱۱۰	۰/۰۱۰	-۰/۰۴۰	۰/۰۰۱	X۷
-۰/۱۹۰	-۰/۳۹۰	-۰/۱۳۰	۰/۰۱۰	-۰/۳۴۰	۰/۱۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۶۰	۰/۱۰۰	X۸
۰/۰۷۰	-۰/۳۷۰	-۰/۱۳۰	۰/۳۰۰	-۰/۲۳۰	-۰/۰۴۰	۰/۱۳۰	۰/۰۱۰	۰/۳۱۰	X۹
-۰/۳۶۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۷	-۰/۲۲۰	-۰/۴۳۰	-۰/۰۸۰	۰/۰۱۰	-۰/۱۰۰	-۰/۲۰۰	X۱۰
۰/۱۷۰	-۰/۱۷۰	۰/۰۸۰	۰/۲۹۰	۰/۲۲۰	-۰/۰۱۰	۰/۱۱۰	-۰/۰۷۰	۰/۰۱۰	X۱۱
۰/۴۰۰	۰/۶۱۰	۰/۱۵۰	۰/۱۹۰	۰/۰۰۳	۰/۰۲۰	۰/۱۷۰	۰/۰۲۰	۰/۰۵۰	X۱۲
۰/۰۰۱	۰/۶۳۰	۰/۰۱۰	۰/۸۳۰	۰/۰۱۰	۰/۲۸۰	۰/۶۱۰	۰/۹۱۰	۰/۱۹۰	X۱۳
۰/۳۱۰	۰/۹۵۰	۰/۱۲۰	۰/۶۸۰	۰/۸۱۰	۰/۲۶۰	۰/۵۸۰	۰/۶۸۰	۰/۷۷۰	X۱۴
۰/۰۱۰	۰/۰۴۱	۰/۰۰۴	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۵۱۰	۰/۰۰۱	۰/۰۲۰	X۱۵
۰/۵۶۰	-۰/۰۹۰	-۰/۱۸۰	۰/۰۲۰	-۰/۳۰۰	۰/۰۲۰	-۰/۳۰۰	۰/۰۹۰	۰/۱۱۰	X۱۶

X1: کلروفیل a, X2: کلروفیل b, X3: کلروفیل کل, X4: پرولین, X5: کاتالاز, X6: پراکسیداز, X7: سوپراکسید دیسموتاز, X8: پلی فنل اکسیداز, X9: ارتفاع بوته, X10: تعداد شاخه جانبی, X11: شاخص سطح برگ, X12: تعداد کپسول در بوته, X13: تعداد دانه در کپسول, X14: آسکوربات پراکسیداز, X15: وزن هزار دانه, X16: عملکرد بیولوژیکی. NP1, NP2 و NP3: به ترتیب صفر, ۱/۵ و ۲/۵ در هزار نانو کود پتاسیم

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان دادند که صفات مورد مطالعه کنجد تحت تأثیر کاربرد غلظت‌های مختلف نانوکود پتاسیم، اسید فولویک و کیتوزان و رژیم‌های مختلف آبیاری تفاوت معنی‌داری داشتند. به‌طور کلی خشکی شدید ناشی از قطع آبیاری در آغاز شکل‌گیری ساختار گل منجر به کاهش میانگین پارامترهای رشدی و عملکردی شد. یافته‌های پژوهش نشان داد که کاربرد نانو کود پتاسیم در کنار محلول‌پاشی ترکیبات کیتوزان و فولویک اسید با تعدیل

میزان سنتز اسید آمینه پرولین و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، پلی فنل اکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز و افزایش محتوای کلروفیل‌ها باعث تعدیل اثرات منفی ناشی از خشکی شدند. این تعدیل اثرات منفی، در افزایش پارامترهای رشدی و عملکردی دانه تحت خشکی شدید به همراه کاربرد ترکیبات در مقایسه با شرایط بدون کاربرد مشاهده شد. به‌طور کلی می‌توان استنباط و نتیجه گرفت که محلول‌پاشی ترکیب کیتوزان و فولویک اسید به همراه استفاده از نانوکود پتاسیم در

سیاسگزاری

از مدیر گروه کشاورزی و مدیریت دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان و همچنین مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود) به خاطر مساعدت برای اجرای این پژوهش کمال سپاس و تشکر را داریم.

غلظت ۱/۵ در هزار در شرایط خشکی شدید (قطع آبیاری در محله آغاز شکل‌گیری ساختار گل)، افزایش میانگین صفات عملکرد دانه و محتوای روغن گیاه کنجد را در پی خواهد داشت.

منابع مورد استفاده

- Akhtar G, Faried HN, Razzaq K, Ullah S, Wattoo FM, Shehzad MA, Sajjad Y, Ahsan M, Javed T. and Dessoky ES. 2022. Chitosan-induced physiological and biochemical regulations confer drought tolerance in pot Marigold (*Calendula officinalis* L.). *Agronomy*, 12:474.
- Akintunde A. 2012. Path analysis step by step using excel. *Journal of Technical Science and Technologies*, 1,09-15.
- Alaviasl SA, Mansourifar S, Modarres Sanavy SAM, Sadatasilan K, Tabatabaei SA. and Moradi Ghahderijani M. 2016. Effect of chitosan and zeolite on growth and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) under different irrigation conditions in Yazd. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 9:163-172. (In Persian).
- Ali EF, Al-Yasi HM, Issa AA, Hessini K. and Hassan FA. 2022. Ginger extract and fulvic acid foliar applications as novel practical approaches to improve the growth and productivity of Damask Rose. *Plants*, 11:412.
- Aqaei P, Weisany W, Diyanat M, Razmi J. and Struik PC. 2020. Response of maize (*Zea mays* L.) to potassium nano-silica application under drought stress. *Journal of Plant Nutrition*, 43:1205-1216.
- Ayoubizadeh N, Laei G, Amini Dehaghi M, Masoud Sinaki J. and Rezvan Bidokhti S. 2020. Effect of drought stress and foliar nutrition of iron nano-chelate and fulvic acid on grain yield and fatty acids composition in seed oil of two sesame cultivars. *Journal of Crops Improvement*, 22:231-243. (In Persian).
- Baghery MA, Kazemitabar SK, Dehestani A, Mehrabanjoubani P. and Najafi Zarini H. 2022. Evaluation of drought tolerance in sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes using germination traits and indices under drought conditions. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, 16:37-54. (In Persian).
- Bahrampoor M, Dehestani-Ardakani M, Shirmardi M. and Gholamnezhad J. 2019. Effect of different substrates and nano potassium fertilizer on morpho-physiological characteristics of pot Marigold (*Calendula officinalis* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 20:65-78. (In Persian).
- Bakhomou GS, Sadak MS. and Badr EAEM. 2020. Mitigation of adverse effects of salinity stress on sunflower plant (*Helianthus annuus* L.) by exogenous application of chitosan. *Bulletin of the National Research Centre*, 44:1-11.
- Barat Zadeh S. and Babaei Nejad T. 2019. Effect of potassium nano-chelate and ascorbic acid on grain yield and some qualitative characteristics of cowpea (*Vigna unguiculata* L., Kamran cultivar). *Journal of Plant Production Sciences*, 9:149-160.
- Bates LS, Waldren RP. and Teare I. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39:205-207.
- Bayat H, Shafie F, Aminifard MH. and Daghighi S. 2021. Comparative effects of humic and fulvic acids as biostimulants on growth, antioxidant activity and nutrient content of yarrow (*Achillea millefolium* L.). *Scientia Horticulturae*, 279:109912.
- Beauchamp C. and Fridovich I. 1971. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, 44:276-287.

- Bradford MM. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72:248-254.
- Chance B. and Maehly A. 1995. Assay of catalase and peroxidase. *Methods in Enzymology*, Academic Press., New York, 2: 764-775.
- Cohen I, Zandalinas SI, Huck C, Fritschi FB. and Mittler R. 2021. Meta-analysis of drought and heat stress combination impact on crop yield and yield components. *Physiologia Plantarum*, 171:66-76.
- Dinçsoy M. and Sönmez F. 2019. The effect of potassium and humic acid applications on yield and nutrient contents of wheat (*Triticum aestivum* L. var. Delfii) with same soil properties. *Journal of Plant Nutrition*, 42:2757-2772.
- El-Serafy RS. 2020. Phenotypic plasticity, biomass allocation, and biochemical analysis of cordyline seedlings in response to oligo-chitosan foliar spray. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20:1503-1514.
- Fracasso A, Telò L, Lanfranco L, Bonfante P. and Amaducci S. 2020. Physiological beneficial effect of *Rhizophagus intraradices* inoculation on tomato plant yield under water deficit conditions. *Agronomy*, 10:71.
- Ghahremani A, Akbari K, Yousefpour M. and Ardalani H. 2014. Effects of nano-potassium and nano-calcium chelated fertilizers on qualitative and quantitative characteristics of *Ocimum basilicum*. *International Journal for Pharmaceutical Research Scholars*, 3:235-241.
- Gohari G. and Bahrami MK. 2020. Effects of chitosan as growth elicitor on some growth parameters and essential oils yield of *Dracocephalum moldavica* L. under salinity condition. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 30:155-169. (In Persian).
- González EM, de Ancos B. and Cano MP. 1999. Partial characterization of polyphenol oxidase activity in raspberry fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47:4068-4072.
- Gürsoy M. 2020. Effect of chitosan pretreatment on seedling growth and antioxidant enzyme activity of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under saline conditions. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18:6589-6603.
- Hemmati M, Delkhosh B, Rad AHS. and Mohammadi GN. 2019. Effect of the application of foliar selenium on canola cultivars as influenced by different irrigation regimes. *Journal of Agricultural Sciences*, 25:309-318.
- Javanmard A, Ostadi A. and Nasiri Y. 2021. Assesment of dragon's head (*Lallemantia iberica* (MB) Fischer & Meyer) mucilage quantity and quality by application of conventional chemical and nanofertilizers. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31:149-165. (In Persian).
- Kalantari E, Armin M. and Marvi H. 2021. Effects of irrigation cut-off in different stages on yield and yield components of sesame cultivars. *Crop Science Research in Arid Regions*, 3:151-162.
- Kazemi E, Ganjali HR, Mehraban A. and Ghasemi A. 2021. Yield and biochemical properties of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) affected by nano-fertilizer under field drought stress. *Cereal Research Communications*, 1-9.
- Kouighat M, Hanine H, El Fechtali M. and Nabloussi A. 2021. First report of sesame mutants tolerant to severe drought stress during germination and early seedling growth stages. *Plants*, 10:1166.
- Khordadi Varamin J, Fanoodi F, Sinaki JM, Rezvan S. and Damavandi A. 2020. Foliar application of chitosan and nano-magnesium fertilizers influence on seed yield, oil content, photosynthetic pigments, antioxidant enzyme activities of sesame (*Sesamum indicum* L.) under water-limited conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48:2228-2243.
- Li J, Hu W, Lu Z, Meng F, Cong R, Li X, Ren T. and Lu J. 2022. Imbalance between nitrogen and potassium fertilization influences potassium deficiency symptoms in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) leaves. *The Crop Journal*, 10:565-576.

- Lichtenthaler HK. and Buschmann C. 2001. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1,F4. 3.1-F4. 3.8.
- Liersch A, Bocianowski J, Nowosad K, Mikołajczyk K, Spasibionek S, Wielebski F, Matuszczak M, Szała L, Cegielska-Taras T. and Sosnowska K. 2020. Effect of genotype× environment interaction for seed traits in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Agriculture*, 10:607.
- Mahdavi Khorami A, Masoud Sinaki J, Amini Dehaghi M, Rezvan S. and Damavandi A. 2018. Investigation of relationship between some quantitative and qualitative characteristics affecting sesame yield under nitrogen, potassium and drought stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 28:15-34. (In Persian).
- Mahdavi Khorami A, Masoud Sinaki J, Amini Dehaghi M, Rezvan S. and Damavandi A. 2020. Sesame (*Sesame indicum* L.) biochemical and physiological responses as affected by applying chemical, biological, and nano-fertilizers in field water stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 43:456-475.
- Niakan M, Tavan T. and Norinia A. 2014. Effect of nano-potassium fertilizer on growth factors, photosynthetic system and protein content in Wheat (*Triticum aestivum*, N8019). *Journal of Plant Environmental Physiology*, 14:71-61. (In Persian).
- Pourghasemian N, Moradi R, Naghizadeh M. and Landberg T. 2020. Mitigating drought stress in sesame by foliar application of salicylic acid, beeswax waste and licorice extract. *Agricultural Water Management*, 231:105997.
- Pourmorad M, Malakouti M. and Tehrani M. 2018. Study on the effect of humic acid and fulvic acid on the wheat yield and water use efficiency under drought stress. *Journal of Water and Soil*, 32:1-8.
- Rahbari A, Masoud Sinaki J, Damavandi A. and Rezvan S. 2019. Responses of castor (*Ricinus communis* L.) To foliar application of zinc nano-chelate and humic acid under limited irrigation. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29:153-171. (In Persian).
- Rahbari A, Sinaki JM, Damavandi A. and Rezvan S. 2021. Castor bean (*Ricinus communis* L.) responses to drought stress and foliar application of Zn-nano fertilizer and humic acid: grain yield, oil content, antioxidant activity, and photosynthetic pigments. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 49:12003-12003.
- Rauf S, Al-Khayri JM, Zaharieva M, Monneveux P. and Khalil F. 2016. 'Breeding strategies to enhance drought tolerance in crops.' in, *Advances in plant breeding strategies: agronomic, abiotic and biotic stress traits* (Springer).
- Rostami Ajirloo A. and Amiri E. 2018. Soybean response to different levels of nano-potassium under cutting irrigation conditions in Moghan plain. *Journal of Crops Improvement*, 20:503-516. (In Persian).
- Saedi F, Mosavi Nik SM. and Rahimian Boger AR. 2017. Effects of different fertilizers on the morphophysiological characteristics of chicory under drought stress. *Journal of Crops Improvement*, 19 : 119-132. (In Persian).
- Saedi F, Sirousmehr A. and Javadi T. 2020. Effect of nano-potassium fertilizer on some morpho-physiological characters of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 33:35-45. (In Persian).
- Sharma A, Kumar V, Shahzad B, Ramakrishnan M, Singh Sidhu GP, Bali AS, Handa N, Kapoor D, Yadav P. and Khanna K. 2020. Photosynthetic response of plants under different abiotic stresses: a review. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39 : 509-531.
- Taranto F, Pasqualone A, Mangini G, Tripodi P, Miazzi MM, Pavan S. and Montemurro C. 2017. Polyphenol oxidases in crops: Biochemical, physiological and genetic aspects. *International Journal of Molecular Sciences*, 18:377.
- Wang S, Tian X. and Liu Q. 2020. The effectiveness of foliar applications of zinc and biostimulants to increase zinc concentration and bioavailability of wheat grain. *Agronomy*, 10:178.

- Wendel A. 1981. Glutathione peroxidase.' in, *Methods in enzymology* (Elsevier).
- Yang F, Tang C. and Antonietti M. 2021. Natural and artificial humic substances to manage minerals, ions, water, and soil microorganisms. *Chemical Society Reviews*, 50:6221-6239.
- Zarei A, Masoud Sinaki J, Amini Dehaghi M. and Damavandi A. 2020. Evaluation of biochemical and agronomic traits of sesame cultivars under application of phosphorus nano-chelate and chitosan fertilizers under irrigation cut-off. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13:471-489. (In Persian)..