

## تأثیر کیتوزان و نانو کود منیزیم بر عملکرد و صفات فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های کنجد در شرایط

### تنش خشکی

جابر خردادی ورامین<sup>۱</sup>، فرزاد فنوودی<sup>۲\*</sup>، جعفر مسعود سینکی<sup>۳</sup>، شهرام رضوان<sup>۴</sup> و علی دماوندی<sup>۵</sup>

(۱) دانشجوی دکتری گروه زراعت، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران.  
 (۲، ۳، ۴ و ۵) گروه زراعت، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران.

\*نویسنده مسئول: Farzadfanoodi@yahoo.com

این مقاله مستخرج از رساله دکتری می‌باشد.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۲

### چکیده

به منظور بررسی اثر کیتوزان و کود نانو منیزیم بر عملکرد و صفات فیزیولوژیک دو رقم کنجد در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت اسپیلت فاکتوریل بر مبنای بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در منطقه ورامین استان تهران در سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ انجام شد. قطع آبیاری بر اساس مقیاس BBCH به عنوان فاکتور اصلی (آبیاری مطلوب، قطع آبیاری در مراحل ۶۵ و ۷۵) و فاکتورهای فرعی شامل ارقام اولتان و دشتستان ۲ و محلول‌پاشی نانو منیزیم ( محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی) و کیتوزان (صفر، ۴/۸ و ۶/۴ گرم بر لیتر) بودند. نتایج نشان داد که تنش خشکی، نانو کود و کیتوزان بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد و صفات فیزیولوژیک ارقام کنجد معنی‌دار بودند. بیشترین تعداد کپسول در تیمار آبیاری مطلوب با میانگین ۱۱۰/۷ عدد در بوته بود. کمترین عملکرد دانه در تیمار عدم کاربرد کیتوزان تحت شرایط تنش شدید (آبیاری تا ۶۵BBCH) مشاهده شد که در مقایسه با آبیاری مطلوب و کاربرد ۶/۴ گرم بر لیتر کیتوزان کاهش ۶۹/۸ درصدی داشت. آبیاری تا ۶۵BBCH در هر دو شرایط کودی کاربرد و عدم کاربرد نانو کود منجر به افت ۲۳/۸ و ۲۱/۹ درصدی محتوی روغن شد. تیمار آبیاری مطلوب دارای بیشترین درصد روغن ۵۰/۲۵ درصد) و عملکرد روغن (۵۷۸/۵ کیلوگرم در هکتار) بود و آبیاری تا ۶۵BBCH ۶۵ کمترین میانگین درصد روغن (۴۰/۰۵ درصد) و عملکرد روغن (۱۹۹/۰ کیلوگرم در هکتار) را داشت. ژنوتیپ دشتستان-۲ تحت شرایط آبیاری مطلوب بیشترین محتوی کلروفیل کل را داشت که در مقایسه با تنش شدید افزایش ۳۰/۴ درصدی نشان داد. در مقایسه مابین دو ژنوتیپ مورد آزمایش، دشتستان ۲ از نظر صفات عملکرد و اجزای عملکرد و میزان روغن در مقایسه با رقم اولتان از میانگین بالاتری برخوردار بود. به طور کلی نتایج نشان داد که قطع آبیاری در مرحله ۶۵BBCH منجر به کاهش عملکرد و اجزای عملکرد شد که با محلول‌پاشی نانو کود منیزیم و کیتوزان اثرات منفی ناشی از تنش تعديل شد. همچنین میزان تحمل ژنوتیپ دشتستان-۲ در مقایسه با اولتان بالاتر بود و واکنش مثبت بیشتری به کاربرد این کودها نشان داد.

**واژه‌های کلیدی:** دانه روغنی، عملکرد دانه، فعالیت آنتی اکسیدانی و کلروفیل کل.

## مقدمه

کنجد<sup>۱</sup> گیاهی یکساله با سابقه زراعی ۵۰۰۰ ساله، بهعلت دارا بودن میزان بالای روغن (۴۵ درصد)، پروتئین (۱۹ تا ۲۵ درصد) و کربوهیدرات (۱۳/۵ درصد) بهعنوان ملکه گیاهان دانه روغنی جزء منابع تغذیه‌ای مناسب محسوب می‌گردد (مفنی‌باشی نجف‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۸). روغن آن به لحاظ وفور اسیدهای چرب غیراشبع چون اسید اولئیک و خصوصاً اسید لینولئیک و همچنین مقادیر کمی اسید استریک، پالمیتیک و آراشیدیک از کیفیت بالایی برای تغذیه انسان برخوردار است (Roul *et al.*, 2017). در میان شرایط محیطی مختلف برای کشت گیاهان، آب یکی از مهم‌ترین فاکتورهای محدود کننده تولیدات گیاهی می‌باشد. پژوهشگران بیان داشتند که کمبود آب بر بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژی گیاهان تأثیرگذار است (Hasanvandi *et al.*, 2014). بنابراین کمبود منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظریه ایران ضرورت استفاده بهینه از آب برای تولید محصولات کشاورزی را نمایان می‌سازد. پژوهشگران درباره اثرات کمبود آب بیان داشتند که کاهش وزن دانه و عملکرد دانه در شرایط تنفس نسبت به آبیاری مطلوب را می‌توان به کاهش فتوسنتر و ماده‌سازی در گیاه تحت شرایط تنفس نسبت داد (محسن‌نیا و جلیلیان، ۱۳۹۱). پژوهشگران معتقدند گیاهان در شرایط خشکی از راههای مختلف از جمله بستن روزنه‌ها، تنظیم اسمزی و تجمع مواد محلول سازگار از خشکی برداری می‌کنند (Farouk and Amany, 2012). تحقیقات مختلف نشان داده است که یک ارتباط قوی بین تحمل به تنفس‌های اکسیداتیو که بهدلیل تنفس‌های محیطی ایجاد می‌شود و افزایش در غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان فتوسنتر کننده وجود دارد. همچنین شواهدی وجود دارد که تحمل گیاهان به تنفس‌های محیطی از جمله خشکی، با افزایش محتوای آنتی‌اکسیدان‌ها همبستگی مثبت و معنی‌دار دارد (Malik *et al.*, 2010). در پژوهشی پژوهشگران نشان دادند که تنفس خشکی میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز را افزایش می‌دهد و غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در شرایط تنفس دو برابر شده و لذا باعث افزایش مقاومت به تنفس‌های اکسیداتیو می‌شوند (Lascano *et al.*, 2005). گلوتاتیون می‌تواند بسیاری از اجزای سلولی از جمله گروههای لیتول پروتئین‌ها را در برابر تنفس اکسیداتیو محافظت نماید. در مطالعه‌ای دیگر تنفس خشکی باعث افزایش میزان آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز در ژنوتیپ‌های مختلف گندم گردید (Sharma and Dubey, 2005). یکی از مباحث مهم در شرایط تنفس‌های محیطی، مدیریت تغذیه گیاه می‌باشد. استفاده از نانو فناوری در تولید کودها موجب رهایش بهینه و افزایش کارایی جذب عناصر غذایی موجود در کود می‌شود که منجر به فواید اقتصادی و زیست‌محیطی قابل توجهی می‌گردد و می‌تواند گامی موثر در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار و سازگار با محیط‌زیست باشد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Morales-Diaz *et al.*, 2017).

1- *Sesamum indicum* L.

باعث افزایش رشد در گیاهان می‌گردد (Singh *et al.*, 2015). کیتوزان ( $C_{11}H_{17}O_7N_2$ ) یک پلی‌ساقارید پلی‌کاتیونی، به عنوان دومین فراوان‌ترین پلیمر بر روی زمین شناخته می‌شود که از دیواره سلولی برخی قارچ‌ها، حشرات و همچنین برخی جلبک‌ها تولید می‌گردد. این ماده متعلق به خانواده کربوهیدرات‌ها یکی از بهترین موادی است که می‌تواند رشد گیاهان را بهبود بخشد (Sheikha and AL-Malki, 2011). کیتوزان به‌دلیل افزایش هدایت روزنده‌ای و کاهش مقدار تعرق باعث افزایش مقدار فتوسنتز شده و می‌تواند بر ارتفاع گیاهان، ریشه‌ها و مقدار زیست توده گیاهی تاثیر گذارد (Boonlertnirun *et al.*, 2017). کنجد به‌خوبی در تناوب با محصولاتی مانند گندم، ذرت، سورگوم، پنبه، یونجه، سویا و بسیاری از سبزیجات قرار می‌گیرد. به‌همین دلیل و با توجه به نیاز روزافزون به استفاده از منابع دانه‌های روغنی با کیفیت، و نیاز کشور به افزایش روزافزون این محصول، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی نانوکود منیزیم و محرك رشد کیتوزان بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد، میزان روغن دانه و برخی صفات فیزیولوژیک دو رقم کنجد اولتان و دشتستان ۲ انجام شد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی در جنوب شهرستان ورامین در سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش خشکی (بر اساس مقیاس BBCH به عنوان عامل اصلی، آبیاری مطلوب ( $I_1$ )، قطع آبیاری در مرحله BBCH ۶۵ (مرحله گلدھی) ( $I_2$ ) و قطع آبیاری در مرحله BBCH ۷۵ (رسیدگی کپسول‌ها) ( $I_3$ ) و ژنتیپ‌های کنجد در دو سطح شامل اولتان و دشتستان-۲، محلول-پاشی نانو کود منیزیم در دو سطح شامل عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی نانو منیزیم (۲ گرم در لیتر) و محلول‌پاشی کیتوزان در سه سطح شامل  $۰$ ،  $۴/۸$  و  $۶/۴$  گرم بر لیتر به عنوان عوامل فرعی بودند. BBCH مقیاسی است که به عنوان یک منبع برای گزارش‌دهی و آنالیز سیستم‌های IT در داده‌های رشته کشاورزی به کار می‌رود. مراحل فنولوژی گیاهان بر طبق کدهای BBCH در زمان خاص خود تعریف می‌شود. مراحل رشد فنولوژیکی گیاه کنجد با استفاده از معیار کددھی BBCH را شرح داده و به این نتیجه رسیدند که این نوع سیستم قادر به پاسخ به پرسش‌های بسیاری در مورد اثر عوامل مختلف در رشد است (Attibayeba *et al.*, 2010). قبل از کاشت، جهت تعیین وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک محل آزمایش نمونه‌گیری ترکیبی انجام و یک نمونه به آزمایشگاه خاک آزما نگین واقع در شهرستان ورامین منتقل گردید. طبق نتایج آزمون خاک، خاک مزرعه دارای بافت لومی و اسیدیته آن برابر  $۷/۶۸$  بوده است (جدول ۱). هر کرت شامل چهار ردیف کشت به طول چهار متر بود. فاصله بین ردیف  $۵$  سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف کشت  $۱$  سانتی‌متر لحاظ شد. بین کرت‌های اصلی  $۱/۵$  متر و بین تکرارها سه متر فاصله منظور گردید.

عملیات تهیه زمین در بهار ۱۳۹۶ انجام گرفت. بذر کنجد در دو رقم اولتان و دشتستان-۲ به صورت کشت دستی در عمق یک سانتی‌متر در تاریخ بیستم خرداد ماه صورت گرفت. مراحل کوددهی کرت‌های آزمایشی بر اساس سطوح تعیین شده، پس از انجام آزمون خاک بر مبنای ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره، پتابسیم از منبع فسفات پتابسیم و فسفر از منبع سوپر فسفات انجام شد (Mahdavi *et al.*, 2018). آبیاری کرت‌ها به صورت جوی و پشت‌های و تعیین زمان آبیاری با استفاده از تشتک تبخیر کلاس A (در ۷۰ میلی‌متر تبخیر و تعرق گیاه) صورت گرفت (Mahdavi *et al.*, 2018).

#### جدول ۱: نتایج آزمون خاک محل آزمایش

اسیدیتۀ آبیاری	هدایت الکتریکی	کربن آلی	کل مواد خنشی شده	فسفر (درصد)	نیتروژن (درصد)	پتابسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	رس	سیلت	شن	عمق بافت	(سانتی‌متر)
	(دسمی زیمنس بر متر)										
	۷/۶۸	۲/۳۸	۰/۵۵	۲۰/۵۸	۰/۰۵	۱۲	۳۸۴/۲	۱۹	۴۶	۳۵	لوم

با توجه به اثرات منفی سطوح بالای کیتوزان، محلول‌پاشی کیتوزان سطح اول در طی یک مرحله (BBCH ۶۵) اما محلول‌پاشی کیتوزان سطح دوم در طی دو مرحله (BBCH ۷۵ و ۶۵) صورت گرفت. محلول‌پاشی با استفاده از سم‌پاش دستی (۱۰ لیتری) بر مبنای یک لیتر برای هر کرت آزمایشی (به‌طوری که برگ‌های گیاه کاملاً خیس شدند) اعمال گردید. با توجه به اندازه کرت‌های آزمایشی، میزان مصرف نانو کود منیزیم ۲/۵ کیلوگرم در هکتار و کیتوزان شش و هشت کیلوگرم در هکتار به ترتیب برای سطوح ۴/۸ و ۶/۴ گرم بر لیتر محاسبه شد. بعد از اعمال تیمارهای تنفس خشکی و آخرین محلول‌پاشی نمونه‌گیری از برگ‌های جوان به‌منظور اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی صورت گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری کلروفیل کل از روش Arnon (۱۹۴۹)، پرولین از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳)، پلی فنل اکسیداز از روش Gonzalez (۱۹۷۷) آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز از روش Cano (۱۹۹۹) آنزیم گلوبولین از روش Schaadle و Basham (۱۹۷۷) استفاده شد. بعد از رسیدگی فیزیولوژیک و بعد از حذف اثرات حاشیه‌ای از هر کرت تعداد ده بوته به‌تصادف انتخاب و صفات عملکردی اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه و بیولوژیک، بوته‌های موجود در یک مترمربع از هر کرت برداشت و بعد از خشک کردن در فضای آزاد، عملکرد دانه و بیوماس خشک به ازای واحد سطح محاسبه شد. درصد روغن دانه به روش پیشنهادی AOAC اندازه‌گیری و در نهایت بعد از ضرب در عملکرد دانه، عملکرد روغن نیز محاسبه گردید (AOAC, 1984). نرمال-سازی داده‌های به‌دست آمده با استفاده از آزمون‌های ShapiroWilk و Kolmogorov-Smirnov و تجزیه واریانس آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ انجام شد. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

### تعداد دانه در کپسول

تیمار آبیاری مطلوب بالاترین تعداد دانه در کپسول (۹۸/۴ عدد) را داشت و آبیاری تا BBCH ۶۵ کمترین میانگین این صفت (۶۵/۲ عدد) را داشت. کاربرد نانو کود منیزیم باعث افزایش ۷/۶۹ درصدی میانگین این صفت در مقایسه با تیمار شاهد گردید. در مقایسه میانگین اثر کیتوزان، کاربرد ۴/۸ و ۶/۴ گرم بر لیتر از این ترکیب باعث ایجاد بیشترین تعداد دانه در کپسول (به ترتیب با میانگین ۸۴ و ۸۴/۴ عدد) گردید و کمترین میانگین در تیمار عدم کاربرد این تیمار بود. در مقایسه بین ژنوتیپ‌ها نیز، ژنوتیپ دشتستان-۲ دارای تعداد دانه در کپسول بیشتری در مقایسه با ژنوتیپ اولتان بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل تنفس خشکی در کیتوزان نشان داد که بیشترین تعداد دانه در کپسول در ترکیب تیماری کاربرد ۴/۸ و ۶/۴ گرم بر لیتر کیتوزان تحت شرایط آبیاری مطلوب به ترتیب با میانگین ۱۰۰/۹ و ۱۰۰/۸ عدد بود و کمترین میانگین در تیمار عدم کاربرد کیتوزان در سطح تنفس شدید (آبیاری تا BBCH ۶۵) با میانگین ۵۷ عدد به دست آمد (داده‌ها ارائه نشده است). کاهش جریان فرآورده‌های فتوسنترزی به تخمه‌های لقاح یافته در اواخر مرحله گلدهی که از نظر نیاز آبی بحرانی می‌باشد، باعث سقط جنبه‌ها و افت تعداد دانه در کپسول می‌گردد (Koutroubas *et al.*, 2004). به نظر می‌رسد بروز تنفس از طریق کاهش سطح برگ و ریزش آن‌ها منجر به کاهش منبع فتوسنترزی گیاه و افت فعالیت آنزیم‌های مؤثر بر این فرآیند می‌شود. همچنین طی مرحله گلدهی و گردهافشانی کمبود آب باعث خشک شدن دانه گردد (Pouresmaiel *et al.*, 2013) و کلاله مادگی شده و این مسئله سبب اختلال در گردهافشانی توسط حشرات می‌گردد (علت افزایش تعداد دانه با مصرف منیزیم احتمالاً به دلیل فراهم شدن رشد سریع و تولید منابع فراوان برای فتوسنترز و ماده-سازی بیشتر، منجر به افزایش رشد و تولید تعداد دانه در بوته بالاتر می‌شود (محسن‌نیا و جلیلیان، ۱۳۹۱).

### تعداد کپسول

تعداد کپسول در بوته یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد است که بیشترین سهم را در میزان عملکرد گیاه ایفا می‌کند. بیشترین تعداد کپسول در تیمار آبیاری مطلوب با میانگین ۱۱۰/۷ عدد در بوته بود و کمترین میانگین در آبیاری تا BBCH ۶۵ مشاهده شد. کاربرد نانو کود منیزیم منجر به افزایش میانگین تعداد کپسول در بوته شد بهطوری کاربرد این نانو کود بیشترین و عدم کاربرد نانو کود کمترین تعداد کپسول در بوته را داشت. در مقایسه میانگین اثر کیتوزان، بیشترین میانگین این صفت در کاربرد ۴/۸ و ۶/۴ گرم بر لیتر با میانگین ۱۰۱/۲ و ۱۰۲/۰ عدد در بوته به دست آمد و کمترین میانگین در تیمار عدم کاربرد مشاهده شد. در بین ژنوتیپ‌های مورد آزمایش، دشتستان-۲ دارای تعداد کپسول در بوته بیشتری از ژنوتیپ اولتان بود (جدول ۲). تنفس خشکی در مرحله گلدهی با ریزش تعداد کپسول‌های تشکیل شده و عدم

تشکیل آن‌ها، باعث کاهش تعداد کپسول در بوته می‌گردد (Jain *et al.*, 2010). Mandal (۲۰۱۰) گزارش کرد که تنفس‌های زیستی در مراحل زایشی منجر به عدم تشکیل گل، کاهش تعداد کپسول و شکل‌گیری کپسول‌های نابارور می‌گردد. در بررسی توسط آئین (۱۳۹۲) بر روی اثرات کم‌آبیاری بر گیاه کنجد نتایج نشان داده شد که، تنفس کم‌آبی باعث کاهش تعداد کپسول در بوته شد. علت افزایش تعداد کپسول تحت شرایط کاربرد نانو کود، احتمالاً به دلیل فراهم شدن رشد سریع و تولید منابع فراوان برای فتوسنتر و ماده سازی بیشتر از طریق کاربرد کودهای نانو، منجر به افزایش رشد و تولید تعداد کپسول در بوته بالاتر می‌شود. منیزیم بخشی از کلروفیل بوده و با توجه به نقش آن در فتوسنتر، استفاده از این عنصر باعث افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد می‌گردد. این عنصر از عناصر ضروری برای رشد گیاهان است که در شرایط کمبود آن، تعداد رنگدانه‌های فتوسنتر کننده و مقدار کلروفیل برگ‌ها کاهش می‌یابد که در این صورت به علت کاهش مواد فتوسنتری قابل دسترس، کاهش تعداد کپسول در بوته دور از انتظار نیست. کاهش اثرات منفی تنفس خشکی و جلوگیری از کاهش تعداد غلاف در سویا توسط الیسیتور کیتوزان گزارش گردید (Javan *et al.*, 2013).

### وزن هزار دانه

در مقایسه میانگین اثر متقابل تنفس خشکی در نانو کود منیزیم، بیشترین وزن هزار دانه در ترکیب تیماری کاربرد نانو کود منیزیم تحت شرایط آبیاری مطلوب با میانگین  $3/34$  گرم به دست آمد و کمترین میانگین در عدم کاربرد نانو کود تحت شرایط تنفس خشکی شدید (آبیاری تا ۶۵BBCH) با میانگین  $2/55$  گرم مشاهده شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که کاهش وزن هزار دانه به علت کاهش مواد غذایی باشد که این کاهش می‌تواند به علت کاهش ارتفاع و رشد رویشی و در نهایت کاهش سهم مواد فتوسنتری گیاه و کم شدن سهم دانه در دریافت کربوهیدرات باشد. همچنین ممکن است کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنفس خشکی به علت کاهش دوره پر شدن دانه و پیری زودرس گیاه باشد. در همین راستا پژوهشگران به کاهش وزن هزار دانه با اعمال تنفس رطوبتی در گیاه آفتتابگردان، گلنگ و سویا اذعان داشتند که با نتایج ما در مطالعه حاضر مطابقت دارد (Jain *et al.*, 2010). منیزیم عنصری مهم در متابولیسم گیاهی بوده و کلارای گیاه را در کربن‌گیری بالا می‌برد و افزایش وزن هزار دانه، دال بر افزایش میزان مواد آلی ساخته شده توسط گیاه می‌باشد. Azizi و همکاران (۲۰۱۱) افزایش وزن هزار دانه را با کاربرد سولفات منیزیم را گزارش نمودند. محققین افزایش وزن هزار دانه را با محلول پاشی کیتوزان بر روی گیاهان کنجد اعلام کردند (Alavi Asl *et al.*, 2016).

### عملکرد دانه

بیشترین میانگین عملکرد دانه در کاربرد نانو کود منیزیم تحت شرایط آبیاری مطلوب با میانگین  $1293/9$  کیلوگرم در هکتار مشاهده شد و کمترین میانگین در تیمار عدم کاربرد نانو کود در تنفس شدید خشکی (آبیاری تا ۶۵ BBCH) با

میانگین ۴۶۷/۹ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۳). در مقایسه میانگین تنش خشکی در کیتوzan، بیشترین میانگین این صفت در ترکیب تیماری کاربرد ۶/۴ گرم بر لیتر کیتوzan تحت شرایط آبیاری مطلوب (عدم تنش) با میانگین ۱۲۹۵/۵ کیلوگرم در هکتار بود و کمترین میانگین در تیمار عدم کاربرد کیتوzan تحت شرایط تنش شدید خشکی (آبیاری تا BBCH ۶۵) با میانگین ۴۱۵/۷ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۴). در مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی در ژنوتیپ، بیشترین میانگین این صفت در آبیاری مطلوب در ژنوتیپ دشتستان-۲ با میانگین ۱۱۸۸ کیلوگرم در هکتار بود و کمترین میانگین در تنش خشکی شدید (آبیاری تا BBCH ۶۵) در ژنوتیپ اولتان با میانگین ۴۶۹/۸ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۵). در مقایسه میانگین اثر متقابل نانو کود منیزیم در کیتوzan، بیشترین میانگین این صفت در ترکیب تیماری کاربرد نانو کود منیزیم به همراه ۶/۴ گرم بر لیتر کیتوzan با میانگین ۱۰۰۷/۲ کیلوگرم در هکتار بود و کمترین میانگین این صفت در عدم کاربرد نانو کود منیزیم و کیتوzan با میانگین ۵۹۷/۴ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. تنش خشکی با اختلال در عمل روزنه‌ها و سیستم فتوسنتزی، تخریب پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، کاهش سطح برگ و ریزش گل و میوه موجب کاهش عملکرد گیاهان می‌شود (Doupis *et al.*, 2013). در شرایط تنش شدید (قطع آبیاری در مرحله گلدهی) کاهش عملکرد دانه در هر بوته به علت کاهش مواد غذایی می‌باشد، که این کاهش می‌تواند به علت کاهش ارتفاع، رشد رویشی و در نهایت کاهش سهم فتوسنتزی گیاه و کم شدن سهم دانه در دریافت کربوهیدرات باشد. چنانچه در زمان عبور از فاز رویشی به زایشی، گیاه با محدودیت آبی مواجه شود این موضوع باعث کاهش فتوسنتز شده و با توجه به این که در آن زمان تعداد دانه و وزن دانه در حال شکل‌گیری است، این عمل باعث تسریع پیری و کاهش دوره پر شدن دانه‌ها و وزن دانه‌ها می‌گردد که در نهایت عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Zarei *et al.*, 2018). کاربرد کود سولفات منیزیم بر عملکرد و اجزای عملکرد عدس در شرایط اقلیمی خرمآباد نشان داد که سولفات منیزیم باعث افزایش عملکرد دانه گردید.

### عملکرد بیولوژیک

بالاترین عملکرد بیولوژیک در آبیاری مطلوب با میانگین ۷۲۹۲/۳ کیلوگرم در هکتار بود که در مقایسه با تنش شدید افزایش ۵۲/۰۴ درصدی نشان داد. در مقایسه میانگین اثر نانو کود منیزیم، کاربرد نانو کود باعث افزایش ۱۱/۷۹ درصدی میانگین این صفت در مقایسه با تیمار عدم کاربرد گردید. کاربرد ۶/۴ گرم بر لیتر کیتوzan باعث ایجاد بیشترین عملکرد بیولوژیک شد و کمترین میانگین این صفت در تیمار عدم کاربرد کیتوzan (۴۱۵۰/۴ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (جدول ۲). در مقایسه میانگین اثر تنش خشکی در نانو کود منیزیم، بیشترین عملکرد بیولوژیک در کاربرد نانو کود منیزیم تحت شرایط آبیاری مطلوب (۷۷۳۲/۲ کیلوگرم در هکتار) بود و کمترین میانگین این صفت در تنش شدید تحت شرایط کاربرد و عدم کاربرد نانو کود به دست آمد (جدول ۳). عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر شرایط آب و هوایی، خاک و گیاه قرار

گرفته و تنفس خشکی به طور مستقیم و غیرمستقیم (کاهش سطح برگ، کاهش آماس، بسته شدن روزنه‌ها)، باعث کاهش تولید ماده خشک گیاه می‌گردد (Jiriaie *et al.*, 2009). کاهش مواد ذخیره‌ای فتوسنترزی در ساقه و کاهش سطح فتوسنترز کنندۀ برگ‌ها منجر به کاهش اندازه مخزن گردید و سبب کاهش عملکرد دانه شد، این دو مولفه منجر به کاهش عملکرد بیولوژیک کنجد شد. کاهش عملکرد بیولوژیک در شرایط تنفس خشکی در گیاه کنجد گزارش شده است (Mathobo and Steyn, 2017). اعمال تیمارهای محلول‌پاشی منیزیم موجب افزایش عملکرد بیولوژیک گردید، دلیل این امر وجود منیزیم در ساختار کلروفیل به عنوان رنگیزه اصلی فتوسنترزی و در نهایت افزایش عملکرد بیولوژیک است. در آزمایشی اثر محلول‌پاشی سولفات منیزیم بر اجزای عملکرد عدس گزارش شد که منیزیم باعث افزایش عملکرد بیولوژیک گردید (Azizi *et al.*, 2011).

### درصد و عملکرد روغن

تیمار آبیاری مطلوب دارای بیشترین درصد روغن (۵۰/۲۵ درصد) و عملکرد روغن (۵۷۸/۵ کیلوگرم در هکتار) بود و آبیاری تا ۶۵BBCH کمترین میانگین درصد روغن (۴۰/۵ درصد) و عملکرد روغن (۱۹۹/۰ کیلوگرم در هکتار) را داشت. کاربرد نانو کود منیزیم و همچنین ۶/۴ گرم بر لیتر کیتوزان دارای بیشترین درصد و عملکرد روغن بود و عدم کاربرد این دو ترکیب (تیمار شاهد) کمترین میانگین این صفت را نشان داد. ژنوتیپ دشتستان-۲ دارای بیشترین درصد و عملکرد روغن در مقایسه با ژنوتیپ اولتان را داشت (جدول ۲). بیشترین عملکرد روغن در کاربرد نانو کود منیزیم تحت شرایط آبیاری مطلوب (۶۸۷/۴ کیلوگرم در هکتار) بود و کمترین میانگین در تیمار عدم کاربرد نانو کود تحت شرایط شدید (۱۸۲/۹ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (جدول ۳). در مقایسه میانگین اثر متقابل تنفس خشکی در کیتوزان، کاربرد ۶/۴ گرم بر لیتر کیتوزان تحت شرایط آبیاری مطلوب (۶۸۵ کیلوگرم در هکتار) بود و کمترین میانگین در تیمار عدم کاربرد کیتوزان تحت شرایط آبیاری تا ۶۵BBCH (۱۵۸/۱ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (جدول ۴). در مقایسه میانگین اثر تنفس خشکی در ژنوتیپ، بیشترین عملکرد روغن دانه در دشتستان-۲ در آبیاری مطلوب و کمترین میانگین در آبیاری تا ۶۵BBCH در ژنوتیپ مشاهده شد (جدول ۵). کاهش درصد روغن در اثر تنفس خشکی می‌تواند به علت اختلال در فرآیندهای متابولیکی بذر و آسیب به انتقال آسیمیلات‌ها به دانه باشد. پژوهشگران دلایل کاهش درصد روغن دانه در اثر تنفس خشکی را کاهش فتوسنترز جاری و طول دوره پر شدن دانه ذکر نمودند (Bellaloui *et al.*, 2011). عملکرد روغن متأثر از تغییرات عملکرد دانه و میزان روغن است و بر اساس تحقیق یداللهی ده‌چشمی و همکاران (۱۳۹۲) عملکرد روغن ارقام، نسبت به درصد روغن دانه بیشتر تحت تأثیر عملکرد دانه قرار گرفت. طبق پژوهش‌های Jouyban و همکاران (۲۰۱۶) افزایش فواصل آبیاری بر درصد و عملکرد روغن گیاه کنجد معنی‌دار گردید.

جدول ۲: مقایسه میانگین اثر تنفس خشکی، کاربرد نانو کود منیزیم و کیتوزان بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک دو رقم کنجد

سطح تنفس خشکی کپسول	تعداد دانه در کپسول	در بوته	دانه (گرم)	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	درصد روغن	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)	کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم)	پرولین (میلی گرم بر گرم)	گلوتاتیون ردوکتاز ( واحد آنزیم بر میلی گرم گرم پروتئین)	پلی فنل اکسیداز
نانو کود منیزیم											
آبیاری مطلوب	۹۸/۴ <sup>a</sup>	۱۱۰/۷ <sup>a</sup>	۲/۲۰ <sup>a</sup>	۷۲۹۲/۳ <sup>a</sup>	۵۰/۲۵ <sup>a</sup>	۲۷/۴۶ <sup>a</sup>	۰/۹۷ <sup>c</sup>	۰/۰۲۷ <sup>b</sup>	۰/۳۵۱ <sup>b</sup>	( واحد آنزیم بر میلی گرم گرم پروتئین)	پلی فنل اکسیداز
آبیاری تا ۶۵BBCH	۶۵/۲ <sup>c</sup>	۸۴/۴ <sup>c</sup>	۲/۶۰ <sup>c</sup>	۳۴۹۷/۲ <sup>c</sup>	۴۰/۰۵ <sup>b</sup>	۲۱/۰۵ <sup>b</sup>	۱/۵۴ <sup>a</sup>	۰/۰۵۰ <sup>a</sup>	۰/۴۴۴ <sup>a</sup>	( واحد آنزیم بر میلی گرم گرم پروتئین)	گلوتاتیون ردوکتاز
آبیاری تا ۷۵BBCH	۷۸/۵ <sup>b</sup>	۹۷/۰ <sup>b</sup>	۲/۷۸ <sup>b</sup>	۴۸۶۴/۴ <sup>b</sup>	۴۲/۸۱ <sup>b</sup>	۲۷/۲۳ <sup>a</sup>	۱/۴۲ <sup>b</sup>	۰/۰۴۶ <sup>a</sup>	۰/۳۹۷ <sup>ab</sup>	( واحد آنزیم بر میلی گرم گرم پروتئین)	کلروفیل کل
عدم کاربرد	۷۶/۸۸ <sup>b</sup>	۹۴/۵۱ <sup>b</sup>	۲/۷۷ <sup>b</sup>	۴۸۹۰/۹ <sup>b</sup>	۴۲/۸۲ <sup>b</sup>	۲۴/۷۹ <sup>a</sup>	۱/۲۷ <sup>b</sup>	۰/۰۲۷ <sup>b</sup>	۰/۴۱۰ <sup>a</sup>	( واحد آنزیم بر میلی گرم گرم پروتئین)	پلی فنل اکسیداز
کاربرد (۲ گرم بر لیتر)	۸۳/۲۹ <sup>a</sup>	۱۰۰/۳۵ <sup>a</sup>	۲/۹۵ <sup>a</sup>	۵۵۴۵/۱ <sup>a</sup>	۴۵/۹۲ <sup>a</sup>	۲۵/۷۱ <sup>a</sup>	۱/۳۴ <sup>a</sup>	۰/۰۴۶ <sup>a</sup>	۰/۳۸۵ <sup>a</sup>	( واحد آنزیم بر میلی گرم گرم پروتئین)	گلوتاتیون ردوکتاز
کیتوزان											
عدم کاربرد	۷۱/۷ <sup>b</sup>	۸۸/۹ <sup>b</sup>	۲/۷۵ <sup>c</sup>	۴۱۵۰/۴ <sup>c</sup>	۴۲/۳۶ <sup>c</sup>	۲۴/۷۲ <sup>b</sup>	۱/۲۷ <sup>b</sup>	۰/۰۲۱ <sup>b</sup>	۰/۳۱۸ <sup>b</sup>	( واحد آنزیم بر میلی گرم گرم پروتئین)	کلروفیل کل
گرم بر لیتر ۴/۸	۸۴/۰ <sup>a</sup>	۱۰۱/۱۲ <sup>a</sup>	۲/۸۶ <sup>b</sup>	۵۱۹۷/۶ <sup>b</sup>	۴۴/۴۸ <sup>b</sup>	۲۶/۳۴ <sup>a</sup>	۱/۳۶ <sup>a</sup>	۰/۰۲۵ <sup>b</sup>	۰/۳۵۰ <sup>b</sup>	( واحد آنزیم بر میلی گرم گرم پروتئین)	گلوتاتیون ردوکتاز
گرم بر لیتر ۶/۴	۸۴/۴ <sup>a</sup>	۱۰۲/۰ <sup>a</sup>	۲/۹۷ <sup>a</sup>	۶۰۰۶/۰ <sup>a</sup>	۴۶/۲۷ <sup>a</sup>	۲۴/۶۸ <sup>b</sup>	۱/۲۹ <sup>b</sup>	۰/۰۷۸ <sup>a</sup>	۰/۵۲۵ <sup>a</sup>	( واحد آنزیم بر میلی گرم گرم پروتئین)	پلی فنل اکسیداز
زنوتیپ											
اولتان	۷۵/۶ <sup>b</sup>	۹۲/۶ <sup>b</sup>	۲/۸۵ <sup>a</sup>	۴۴۴۸/۴ <sup>b</sup>	۴۳/۸۲ <sup>b</sup>	۲۴/۹۹ <sup>a</sup>	۱/۳۹ <sup>a</sup>	۰/۰۴۱ <sup>a</sup>	۰/۴۰۶ <sup>a</sup>	( واحد آنزیم بر میلی گرم گرم پروتئین)	کلروفیل کل
دشتستان ۲	۸۴/۵ <sup>a</sup>	۱۰۲/۰ <sup>a</sup>	۲/۸۷ <sup>a</sup>	۵۹۸۷/۶ <sup>a</sup>	۴۴/۹۲ <sup>a</sup>	۲۵/۵۱ <sup>a</sup>	۱/۲۳ <sup>b</sup>	۰/۰۴۲ <sup>a</sup>	۰/۳۸۹ <sup>a</sup>	( واحد آنزیم بر میلی گرم گرم پروتئین)	گلوتاتیون ردوکتاز

در هر ردیف میانگین‌های دارای حروف مشابه، از نظر آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت غیرمعنی دار دارند.

جدول ۳: مقایسه میانگین اثر متقابل تنفس خشکی در نانو کود منیزیوم بر برخی صفات کمی و کیفی کنجد

تنفس خشکی	منیزیوم	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)	پرولین (میلی‌مول بر گرم وزن تر)
عدم کاربرد	آبیاری مطلوب	۲/۰۵ <sup>b</sup>	۹۷۸/۸ <sup>b</sup>	۶۸۵۲/۱ <sup>b</sup>	۴۶۹/۵ <sup>b</sup>
کاربرد	آبیاری تا	۳/۳۴ <sup>a</sup>	۱۲۹۳/۹ <sup>a</sup>	۷۷۲۲/۲ <sup>a</sup>	۶۸۷/۴ <sup>a</sup>
عدم کاربرد	آبیاری تا	۲/۵۵ <sup>c</sup>	۴۶۷/۹ <sup>f</sup>	۳۳۷۸/۹ <sup>c</sup>	۱۸۲/۹ <sup>f</sup>
کاربرد	۶۵BBCH	۲/۶۵ <sup>de</sup>	۵۱۹/۵ <sup>e</sup>	۳۶۱۵/۶ <sup>c</sup>	۲۱۵/۰ <sup>c</sup>
عدم کاربرد	آبیاری تا	۲/۷۲ <sup>d</sup>	۶۵۲/۲ <sup>d</sup>	۴۴۱/۳ <sup>d</sup>	۲۷۴/۵ <sup>d</sup>
کاربرد	۷۵BBCH	۲/۸۵ <sup>c</sup>	۸۱۶/۲ <sup>c</sup>	۵۲۸۷/۶ <sup>c</sup>	۳۵۸/۴ <sup>c</sup>

در هر ردیف میانگین‌های دارای حروف مشابه، از نظر آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت غیرمعنی دار دارند.

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر متقابل تنفس خشکی در کیتوزان بر برخی صفات کمی و کیفی کنجد

تنفس خشکی	کیتوزان (گرم بر لیتر)	کیتوزان (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)	پلی فل اکسیداز گلوتاتیون ردوکتاز
پلی فل اکسیداز گلوتاتیون ردوکتاز	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	پلی فل اکسیداز گلوتاتیون ردوکتاز
عدم کاربرد	۹۷۳/۹ <sup>c</sup>	۶۶۵۰/۲ <sup>c</sup>	۴۷۲/۰ <sup>c</sup>	۰/۰۱۶ <sup>c</sup>	۰/۳۴۲ <sup>d</sup>	۰/۰۱۶ <sup>c</sup>
آبیاری مطلوب	۴/۸	۱۱۳۹/۷ <sup>b</sup>	۷۸۴۳/۵ <sup>a</sup>	۰/۰۳۷ <sup>c</sup>	۰/۲۶۲ <sup>e</sup>	۰/۰۳۷ <sup>c</sup>
۶/۴	۱۲۹۵/۵ <sup>a</sup>	۷۳۸۲/۳ <sup>b</sup>	۶۸۵/۰ <sup>a</sup>	۰/۰۳ <sup>cd</sup>	۰/۴۴۹ <sup>bc</sup>	۰/۰۳ <sup>cd</sup>
عدم کاربرد	۴/۱	۴۱۵/۸ <sup>i</sup>	۲۴۷۵/۳ <sup>h</sup>	۰/۰۲۱ <sup>de</sup>	۰/۲۷۰ <sup>e</sup>	۰/۰۲۱ <sup>de</sup>
آبیاری تا	۶/۴	۴۹۲/۲ <sup>h</sup>	۴۲۹۱/۷ <sup>f</sup>	۰/۰۲ <sup>e</sup>	۰/۴۳۸ <sup>c</sup>	۰/۰۲ <sup>e</sup>
۶/۴	۵۷۳/۲ <sup>g</sup>	۳۷۲۴/۷ <sup>g</sup>	۲۴۱/۳ <sup>f</sup>	۰/۱۱ <sup>a</sup>	۰/۶۲۳ <sup>a</sup>	۰/۱۱ <sup>a</sup>
عدم کاربرد	۶/۴	۶۱۴/۵ <sup>f</sup>	۳۳۲۵/۸ <sup>g</sup>	۰/۰۲۵ <sup>de</sup>	۰/۳۴ <sup>d</sup>	۰/۰۲۵ <sup>de</sup>
آبیاری تا	۴/۸	۷۴۲/۴ <sup>c</sup>	۵۸۸۲/۸ <sup>d</sup>	۰/۰۱۸ <sup>c</sup>	۰/۳۵ <sup>d</sup>	۰/۰۱۸ <sup>c</sup>
۶/۴	۸۴۵/۷ <sup>d</sup>	۵۳۸۴/۷ <sup>c</sup>	۳۷۵/۳ <sup>d</sup>	۰/۰۹۴ <sup>b</sup>	۰/۵۰۲ <sup>b</sup>	۰/۰۹۴ <sup>b</sup>

در هر ردیف میانگین‌های دارای حروف مشابه، از نظر آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت غیرمعنی دار دارند.

جدول ۵: مقایسه میانگین اثر متقابل تنفس خشکی در ژنتیک بر برخی صفات کمی و کیفی کنجد

تنفس خشکی	ژنتیک	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)	کلروفیل کل (میکروگرم بر گرم وزن تر)	پرولین (میلی‌مول بر گرم وزن تر)
آبیاری مطلوب	اولتان	۱۰۸۴/۷ <sup>b</sup>	۵۴۰/۱ <sup>b</sup>	۲۶/۲ <sup>b</sup>	۰/۹۹ <sup>c</sup>
دشتستان ۲	اولتان	۱۱۸۸/۰ <sup>a</sup>	۶۱۶/۸ <sup>a</sup>	۲۸/۷ <sup>a</sup>	۰/۹۴ <sup>c</sup>
۶/۵BBCH	اولتان	۴۶۹/۸ <sup>f</sup>	۱۸۹/۱ <sup>f</sup>	۲۱/۱ <sup>c</sup>	۱/۶۶ <sup>a</sup>
دشتستان ۲	اولتان	۵۱۷/۶ <sup>e</sup>	۲۰۸/۸ <sup>e</sup>	۲۰/۹ <sup>c</sup>	۱/۴۱ <sup>c</sup>
۷/۵BBCH	اولتان	۶۹۰/۶ <sup>d</sup>	۲۹۴/۴ <sup>d</sup>	۲۷/۵ <sup>ab</sup>	۱/۵۱ <sup>b</sup>
دشتستان ۲	اولتان	۷۷۷/۷ <sup>c</sup>	۳۳۸/۵ <sup>c</sup>	۲۶/۹ <sup>b</sup>	۱/۳۲ <sup>d</sup>

در هر ردیف میانگین‌های دارای حروف مشابه، از نظر آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت غیرمعنی دار دارند.

## کلروفیل کل

بیشترین محتوی کلروفیل کل در آبیاری مطلوب و آبیاری تا ۷۵BBCH به ترتیب با میانگین ۲۷/۴۶ و ۲۷/۲۳ میلی- گرم بر گرم وزن تر به دست آمد و کمترین میانگین در تنفس شدید خشکی بود که در مقایسه با تیمار شاهد کاهش ۲۱/۷ درصدی نشان داد. کاربرد ۴/۸ گرم بر لیتر کیتوزان باعث ایجاد بالاترین محتوی کلروفیل کل (۲۶/۳۴ میلی گرم بر گرم وزن تر) در مقایسه با دو سطح دیگر شد (جدول ۲). در مقایسه میانگین اثر تنفس خشکی در ژنتیپ، بیشترین میانگین این صفت در ژنتیپ دشتستان-۲ تحت شرایط آبیاری مطلوب به دست آمد و کمترین میانگین در تنفس شدید خشکی در هر دو ژنتیپ مشاهده شد که در مقایسه با تیمار شاهد کاهش ۱۹/۲۲ و ۲۷/۰۷ درصدی داشتند (جدول ۵). در مقایسه میانگین نانو کود در ژنتیپ نیز، بیشترین میانگین این صفت در کاربرد و عدم کاربرد نانو کود در ژنتیپ دشتستان-۲ و در شرایط کاربرد نانو کود در دشتستان-۲ مشاهده شد. تخریب مولکول کلروفیل یکی از صدمات اکسیداتیو مهم در شرایط تنفس است. منیزیم در ساختمان رنگدانه‌های گیاهی (کلروفیل) شرکت دارد و انرژی نور را جمع‌آوری کرده و آن را به شکلی تغییر می‌دهد که بتواند در فتوسنتر مورد استفاده قرار گیرد. در این رابطه کاهش غلظت کلروفیل کل در گونه‌های مختلف گیاهی در شرایط کمبود منیزیم توسط سایر پژوهشگران گزارش شده است (Ceppi *et al.*, 2012).

## محتوی پرولین

در مقایسه میانگین اثر متقابل تنفس خشکی در نانو کود، بیشترین محتوی پرولین در تیمار عدم کاربرد نانو کود منیزیم تحت شرایط تنفس شدید با میانگین ۱/۶ میکرومول بر گرم وزن تر بود و کمترین میانگین در تیمار عدم کاربرد نانو کود منیزیم تحت شرایط آبیاری مطلوب به دست آمد (جدول ۳). آبیاری تا ۶۵BBCH در ژنتیپ اولتان دارای بیشترین محتوی پرولین با میانگین ۱/۶۶ میکرومول بر گرم وزن تر بود و کمترین میانگین این صفت در تیمار آبیاری مطلوب در هر دو ژنتیپ دشتستان-۲ و اولتان مشاهده شد (جدول ۵). به نظر می‌رسد تنفس خشکی و کاهش آب در بافت‌های گیاهی سبب کاهش رشد، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتر، تحت تأثیر قرار گرفتن تنفس، تخریب پروتئین‌ها، آنزیمهای و تجمع پرولین می‌شود (Tayebi *et al.*, 2012). افزایش مقدار پرولین به علت نقش این ماده در تنظیم و حفاظت اسمزی می‌باشد. رقم دشتستان-۲ از میزان پرولین بیشتری نسبت به رقم اولتان در شرایط تنفس برخوردار بود که این تفاوت در میزان پرولین بین دو رقم نشان دهنده پاسخ‌های متفاوت نسبت به تنفس خشکی است. نتایج مشابهی در خصوص اثر کمبود آب در کنجد (Dossa *et al.*, 2017) نشان داد که تنفس خشکی باعث افزایش محتوای پرولین گردید. کیتوزان به عنوان تنظیم کننده کلیدی پاسخ‌های گیاه به تنفس‌های محیطی می‌باشد (Naderi *et al.*, 2014). کیتوزان با افزایش میزان پرولین در اندام‌های گیاهی باعث ایجاد مقاومت و کمتر شدن آسیبهای ناشی از تنفس‌ها می‌شود. به تازگی گزارش

شده است که محلول پاشی کیتوزان باعث کاهش اثرات منفی تنفس خشکی و افزایش میزان پرولین در گیاه آویشن دنایی (EmamiBistgani et al., 2017) (*Thymus daenensis* Celak. subsp. *daenensis*)

### فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز

کاربرد نانو کود منیزیم و همچنین  $6/4$  گرم بر لیتر کیتوزان نیز باعث ایجاد بالاترین فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز شد (جدول ۲). در مقایسه میانگین اثر تنفس خشکی در کیتوزان، بیشترین فعالیت این آنزیم، در کاربرد  $6/4$  گرم بر لیتر کیتوزان تحت شرایط آبیاری تا ۶۵BBCH با میانگین  $11/0$  واحد آنزیم بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بود که در مقایسه با تیمار شاهد افزایش  $85/45$  درصدی داشت. کمترین میانگین این صفت در تیمار عدم کاربرد کیتوزان تحت شرایط آبیاری مطلوب و کاربرد  $4/8$  گرم بر لیتر کیتوزان تحت شرایط تنفس متوسط و شدید خشکی مشاهده شد (جدول ۴). در مقایسه میانگین نانو کود منیزیم در ژنوتیپ، عدم کاربرد نانو کود منیزیم در ژنوتیپ اولتان با میانگین  $43/0$  واحد آنزیم در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه منجر به ایجاد بالاترین فعالیت این آنزیم شد. تنفس خشکی باعث کاهش جذب عناصر ضروری و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن می‌گردد، در نتیجه باعث تخریب اکسیداتیو DNA، پروتئین و لیپیدها شده و منجر به کاهش رشد می‌شود (Yazdanpanah et al., 2011). همچنین تنفس آبی باعث تغییرات فیزیولوژیک، بیوشیمیابی و مولکولی زیادی می‌شود که بر رشد و نمو گیاه اثر می‌گذارد (Farouk and Amany, 2012). در اثر کمبود عنصر منیزیم غلظت  $H_2O_2$  بیشتر از تیمار با میزان متوسط و زیاد منیزیم در گیاه جو بود و در واقع افزایش GR و APX در غلظت‌های بالاتر منیزیم باعث حذف  $H_2O_2$  گردید (Trankner et al., 2016). میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز گیاه‌چه برنج در شرایط کمبود منیزیم از تیمار شاهد بیشتر بود (Chou et al., 2010).

### فعالیت آنزیم پلی‌فلن اکسیداز

تنفس شدید خشکی منجر به ایجاد بالاترین فعالیت آنزیم پلی‌فلن اکسیداز شد و آبیاری مطلوب کمترین فعالیت این آنزیم را داشت (جدول ۲). در مقایسه میانگین اثر تنفس خشکی در کیتوزان بیشترین میانگین این آنزیم در کاربرد کیتوزان با غلظت  $6/4$  گرم بر لیتر تحت شرایط تنفس شدید خشکی مشاهده شد و کمترین میانگین در عدم کاربرد کیتوزان تحت شرایط تنفس شدید خشکی به دست آمد (جدول ۴). گیاهان برای کاستن از آسیب‌های ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال دارای سازوکارهای آنتی‌اکسیدانی هستند که شامل اجزای غیر آنزیمی مانند آسکوربات، گلوتاتیون، توکوفولها، کارتنوئیدها و فلاونوئیدها و آنزیم‌هایی مانند کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز، پلی‌فلن اکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز می‌باشند (Agarwal and Pandey, 2004). سلول‌های گیاهی دارای یکسری سازوکارهای دفاعی هستند که قادرند از تولید انواع ROS ممانعت کرده و یا با احیای کامل از اثرات مضر آن‌ها پیشگیری نمایند. از

مهمترین این سازوکارها می‌توان به چرخه آسکوربات-گلوتاتیون، چرخه مهler، چرخه گزان توفیل، مسیر تنفس نوری و سازوکارهای ترمیمی اشاره نمود. گلوتاتیون می‌تواند بسیاری از اجزای سلولی از جمله گروههای لیتول پروتئین‌ها را در برابر تنش اکسیداتیو محافظت نماید. GR نقش مهمی در فرآیند سمزدایی دارد. پژوهشگران تصور دارند که این آنزیم در ثبات بخشیدن لیپیدها در غشاهای سلول و قطع زنجیره پراکسید لیپیدها نقش دارد (Vidya Vardhini *et al.*, 2011). در این آزمایش فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز در شرایط قطع آبیاری در برگ‌های کنجد افزایش یافت، این افزایش فعالیت به دلیل احیای مجدد گلوتاتیون اکسید شده، بسیار حائز اهمیت است. در همین رابطه به گفته پژوهشگران تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز در گیاهان گوجه‌فرنگی (Murshed *et al.*, 2013) و سویا (موقوفه و همکاران، ۱۳۹۷) گردید. آنزیم پلی فنل اکسیداز، ترکیب آنزیم مونوفنول اکسیداز و آنزیم کاتکول اکسیداز است که تقریباً در همه بافت‌های گیاه وجود دارد. اهمیت PPO به دلیل وجود همبستگی در تنظیم میزان فعالیت پلی فنل اکسیداز و سنتز فنیل پروپانوئید می‌باشد (Taranto *et al.*, 2017). با توجه به این که آنزیم PPO برای مقابله با اکسیژنهای رادیکال آزاد تولیدی در شرایط تنش در گیاهان تولید می‌شود می‌توان نتیجه گرفت که گیاه کنجد با تولید بیشتری از این آنزیم توانسته است باعث حذف تعداد زیادی از ROS‌های تولیدی شود. در آزمایشی در سورگوم با شدت یافتن تنش خشکی میزان فعالیت PPO در ارقام مقاوم نسبت به حساس افزایش یافت (Vidya Vardhini *et al.*, 2011). در این مطالعه، فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در کنجد با مصرف کیتوزان افزایش یافت، به نظر می‌رسد مکانیسم خنثی‌کنندگی رادیکال‌های آزاد توسط کیتوزان به ساختار خاص آن مربوط باشد که از تعداد زیادی گروه آمین و هیدروکسیل قابل دسترس تشکیل شده که با رادیکال‌های آزاد واکنش نشان می‌دهد. در این رابطه محلول‌پاشی کیتوزان بر روی گیاه کلزا باعث افزایش فعالیت PPO گردید (Yin *et al.*, 2008).

### نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که اعمال تنش خشکی انتهایی از طریق قطع آبیاری در مراحل مختلف رشدی، اثر معنی‌داری بر صفات عملکرد و اجزای عملکردی و فیزیولوژیکی داشت. تنش خشکی شدید منجر به کاهش بسیار زیاد صفات عملکرد و اجزای عملکرد گردید ولی تنش متوسط اثر منفی زیادی نداشت. کاربرد نانو کود منیزیم به میزان دو گرم بر لیتر منجر به افزایش میانگین صفات عملکردی و اجزای عملکرد و بهبود صفات کیفی شد. بهطور کلی استفاده از این ریز مغذی به صورت نانو کود اثر مثبت بر میزان تولید هر دو رقم مورد آزمایش داشت. نتایج نشان داد که استفاده از الیسیتور کیتوزان، در مقایسه با عدم کاربرد آن مؤثرتر بود و غلظت ۶/۴ در مقایسه با غلظت ۴/۸ گرم بر لیتر در اکثر صفات نتایج مطلوبی داشت و باعث افزایش میانگین صفات رشدی، عملکردی و همچنین بهبود اکثر صفات کیفی شد. در مقایسه مابین دو ژنوتیپ مورد

آزمایش، ژنوتیپ دشتستان-۲ از نظر صفات عملکرد و اجزای عملکردی و میزان روغن در مقایسه با رقم اولتان از میانگین بالاتری برخوردار بود.

#### منابع

- آیین، ا. ۱۳۹۲. اثر حذف آبیاری در مراحل مختلف رشد بر عملکرد دانه و برخی صفات زراعی در ژنوتیپ کنجد. نشریه بهزراعی نهال و بذر. ۲۹-۶۷: ۲۹-۶۷.
- عباسی، ن.، چراغی، ج. و حاجی‌نیا، س. ۱۳۹۸. تأثیر محلول پاشی عناصر ریزمغذی آهن و روی به صورت نانو و شیمیایی بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه دو رقم گندم نان. نشریه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۴۳(۱۱): ۱۰۴-۸۵.
- محسن‌نیا، ا. و جلیلیان، ج. ۱۳۹۱. اثر تنش خشکی و منابع کودی بر عملکرد و اجزای عملکرد گلنگ. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، ۴(۳): ۲۳۵-۲۴۵.
- مقنی‌باشی نجف‌آبادی، م.، خزاعی، ح.ر.، نظامی، ا. و عشقی‌زاده، ح.ر. ۱۳۹۸. اثر سطوح مختلف آبیاری بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کنجد. نشریه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۴۱(۱۱): ۹۳-۸۱.
- موقوفه، ب.، سعیدی، م. و منصوری‌فر، س. ۱۳۹۷. واکنش فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقام مختلف سویا به تنش کم‌آبی در مراحل رشد رویشی و زایشی. نشریه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۳۷(۱۰): ۸۱-۶۵.
- یداللهی ده‌چشم، پ.، باقری، ع.ا.، امیری، ا. و اسمعیل‌زاده بهبادی، ص. ۱۳۹۳. اثر تنش خشکی و محلول-پاشی کیتوزان بر عملکرد و رنگیزه‌های فتوسنتزی در آفتابگردان. نشریه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۲۱(۶): ۸۳-۷۳.

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

**Alavie Asl, S.A., Mansourifar, S., Modaressanavi, S.A.M., Asilan, K., Tabatabaei, S.A. and Moradi Ghahridjani, 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 Science. 9(2):163-172.

**AOAC. 1984.** Official Methods of Analysis: Association of Official Analytical Chemists. Inc, USA.

- Arnon, D.I. 1949.** Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology. 24(1): 1-15.
- Attibayeba, N.M., Elie, N.J., Serina, J.G.C., Dianga, C. and Francois, M.Y. 2010.** Description of different growth stages of (*Sesamum indicum* L.) using the extended BBCH scale. Pakistan Journal of Nutrition. 9(3): 235-239.
- Azizi, K.H., Yaghobi, M., Hidary, S., Chaeichi, M.R. and Roham, R. 2011.** Effects of different methods of magnesium sulphate application on qualitative and quantitative yield of lentil (*Lens culinaris* Medik.) cultivars under Khorramabad climatic conditions of Iran. Research on Crops. 12(1): 103-111.
- Bates, L.S., Waldern, R.P. and Teave, I.D. 1973.** Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 39: 205-207.
- Bellaloui, N., Ebelhar, M.W., Gillen, A.M., Fisher, D.K., Abbas, H.K., Mengistu, A., Reddy, K.N. and Paris, R.L. 2011.** Soybean seed Protein, and fatty acids are altered by S and S+N fertilizers under irrigated and non-irrigated environments. Agricultural Science. 2(4): 465-476.
- Boonlertnirun, S., Suvannasara, R. and Boonlertnirun, K. 2017.** Effects of chitosan application before being subjected to drought on physiological changes and yield potential of rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Applied Sciences Research. 9(12):6140-6145.
- Ceppi, M.G., Oukarroum, A., Cicek, N., Strasser, R.J. and Schansker, G. 2012.** The IP amplitude of the fluorescence rise OJIP is sensitive to changes in the photosystem I content of leaves: a study on plants exposed to magnesium and sulfate deficiencies, drought stress and salt stress. Physiologia Plantarum. 144(3): 277-288.
- Chou, T.S., Chao, Y.Y., Hung, W.D., Hong, Y.C. and Kao, C.H. 2010.** Effect of magnesium deficiency on antioxidant status and cadmium toxicity in rice seedlings. Plant Physiology. 12: 117-121.
- Dossa, K., Yehouessi, L.W., Ngue, B.C.L.L., Diof, D., Liao, B., Zhang, X., Cisse, N. and Bell, J.M. 2017.** Comprehensive screening of some west and central African sesame genotypes for drought resistance probing by agronomorphological, physiological, biochemical and seed quality traits. Agronomy. 7(4): 83-89.
- Doupis, G., Bertaki, M., Psarras, G., Kasapakis, I. and Chartzoulakis, K. 2013.** Water relations, physiological behavior and antioxidant defence mechanism of olive plants subjected to different irrigation regimes. Scientia Horticulturae. 153: 150-156.
- Emami Bistgani, Z., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A., Ghasemi Pirbalouti, A. and Hashemi, M. 2017.** Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of *Thymus daenesis* Gelak. The Crop Journal.Cj-00231.

- Farouk, S. and Amany, A.R. 2012.** Improving growth and yield of cowpea by foliar application of biology. Egyptian Journal of Biology. 14(1): 14-26.
- Gonzalez, E.M., De Ancos, B. and Cano, M.P. 1999.** Partial characterization of polyphenol oxidase activity in raspberry fruits. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 47: 4068-4072.
- Hasanvandi, M.S., Ayneband, A., Rafiee, M., Mojadam, M. and Rasekh, A. 2014.** Effects of Supplemental Irrigation and Super absorbent polymer on yield and seed quality of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Dry-farming conditions. Bulletin of Environment, Pharmacology, and Life Sciences. 3(12): 174-185.
- Jain, S., Yue-Lioang, R., Mei-wang, L.E., Ting-Xian, Y., Xiao-Wen, Y. and Hong-Ving, Z. 2010.** Effect of drought stress on sesame growth and yield characteristics and comprehensive evaluation of drought tolerance. Chinese Journal of Oil Crops Sciences. 4: 42-48.
- Javan M, Tajbakhsh M, Abdollah Mandoulakani B. 2013.** Effect of antitranspirants application on yield and yield components in soybean (*Glycine max* L.) under limited irrigation. Journal of Applied Biological Sciences. 7(1): 70-74.
- Jiriaie, M., Sajedi, N.A., Madavi, H. and Sheikhi, M. 2009.** Effect of PGPR and water deficit on agronomical traits of wheat (cv. Shahriar). New Findings in Agriculture. 3(412): 333-343.
- Jouyban, Z., Moosavi, S.G., Seghatoleslami, M.J., Ramezani, S.H. and Ansarinia, E. 2016.** Yield and qualitative traits of sesame as affected by irrigation interval, n fertilizer and superabsorbent. Journal of Medicinal Plants and By-Products. 1: 51-57.
- Koutroubas, S.D., Papakesta, D.K. and Doitsinis, A. 2004.** Cultivar and seasonal effects on the contribution of prethesis assimilates to safflower yield. Field Crop Research. 90: 263-274.
- Lascano, H.R., Antonicelli, G.E., Luna, C.M., Melchiorre, M.N., Gomez, L.D., Racca, R.W., Trippi, V.S. and Casano, L.M. 2005.** Antioxidant system response of different wheat cultivars under drought: field and in vitro studies. Journal of Plant Biology. 28(11): 1095-1102.
- Mahdavi, A., Sinaki, J.M., Amini Dehaghi, M., Rezvan, S. and Damacandi, A. 2018.** Effect of nano, chemical, and biological fertilizers on the yield and quality of sesame seeds under different irrigation regimes. Journal of Crops Improvement. 20(1): 263-281.
- Malik, A.A., Li, W.G., Lou, L.N., Weng, J.H. and Chen, L.F. 2010.** Biochemical physiological characterization and evaluation of in vitro salt tolerance in cucumber. African Journal of Biotechnology. 9(2): 3284-3292.
- Mandal, S. 2010.** Induction of phenolics, Lignin and key defense enzymes in eggplant (*Solanum melongena* L.) roots in response to elicitors. African Journal of Biotechnology. 9(47): 8038-8047.

**Mathobo, R., and Steyn, J.M.** 2017. The effect of drought stress on yield, leaf gaseous exchange and chlorophyll fluorescence of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Agricultural water Management. 18(3): 118-125.

**Morales-Diaz, A.B., Ortega-Ortiz, H., Juarez-Morales, S., Cadenas-Pliego, G., Gonzalez-Morales, S. and Benavides-Mendoza, A.** 2017. Application of Nanoelements in plant nutrition and its impact in ecosystems. Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology. 8:1-3.

**Murshed, R., Lopez-Lauri, F. and Sallanon, H.** 2013. Effect of water stress on antioxidant systems and oxidative parameters in fruits of tomato (*Solanum lycopersicon* L. CV. Micro-tom). Physiology and Molecular Biology of Plants. 19(3): 363-378.

**Naderi, S., Fakheri, B.A. and Seraji, M.** 2014. The effect of chitosan on some physiological and biochemical characteristics of Ajowan (*Carum copticum* L.). Crop Sciences Research in the Dry Areas. 1:187-201.

**Pouresmaiel, H.A., Saberi, M.H. and Fanaei, H.R.** 2013. Evaluation of terminal drought stress tolerance of (*Sesamum indicum* L.) genotypes under the Sistan region conditions. International Journal of Science and Engineering Investigations. 2(16): 58-61.

**Roul, B., Mishra, B.K. and Prusty, N.** 2017. Natural effect of micronutrient on growth and growth parameter of sesame oilseed crop. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 6(5): 1926-1928.

**Schaedle, M. and Bassham, J.A.** 1977. Chloroplast glutathione reductase. Plant Physiology. 59(5): 1011-1012.

**Sharma, P. and Dubey, R.S.** 2005. Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. Plant growth Regulation. 46: 209-221.

**Sheikha, S.A.A.K. and Al-Malki, F.M.A.** 2011. Growth and chlorophyll response of Bean plants to the chitosan application. European Journal of Scientific Research. 50(1): 124-134.

**Singh, A., Singh, N.B., Hussain, I., Singh, H. and Singh, S.C.** 2015. Plant- nanoparticle interaction: An approach to improve agricultural practices and plant productivity. Pharmaceutical Science Invention. 4(8): 25-40.

**Taranto, F., Pasqualono, A., Mangini, G., Tripodi, P., Miazzi, M.M., Pavan, S. and Montemurro, C.** 2017. Polyphenol oxidases in crops: Biochemical, physiological and genetic aspects. International Journal of Molecular Sciences. 18(2): 377.

**Tayebi, A., Afshari, H., Farahvash, F., Sinaki, J.M. and Nezarat, S.** 2012. Effect of drought stress and different planting dates on safflower yield its components in Tabriz region. Journal of Plant Physiology. 2(3): 445-453.

- Trankner, M., Jakli, B., Tavakol, E., Geilfus, C.M., Cakmak, I., Dittert, K. and Senbayram, M. 2016.** Magnesium deficiency decrease biomass water-use efficiency and increase leaf water-use efficiency and oxidative stress in barley plants. *Journal of Plant and Soil.* 406(1-2): 409-423.
- Vidya Vardhini, B., Sujatha, S. and Seta Ram Rao, S. 2011.** Brassinosteroids: Alleviation of water stress in certain enzymes of sorghum seedlings. *Journal of Phytology.* 3(10): 38-43.
- Yazdanpanah, S., Baghizadeh, A. and Abbassi, F. 2011.** The interaction between drought stress and salicylic and ascorbic acids on some biochemical characteristics of *Satureja hortensis*. *African Journal of Agricultural Research.* 6(4): 798-807.
- Yin, H., Bai, X. and Du, Y.G. 2008.** The primary study of oligochitosan inducing resistance to *Sclerotinia sclerotiorum* on *Brassica napus*. *Journal of Biotechnology.* 136: 600-601.
- Zarei, A., Masoud Sinaki, J., Amini Dehaghi, M. and Damavandi, A. 2018.** Changes in physiological traits and fatty acid composition in Sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars under various foliar application and drought stress condition. *Applied Ecology and Environment Research.* 16(5): 6927-6944.