



به‌زرعی کشاورزی

دوره ۲۳ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۴۰۰

صفحه‌های ۳۰۶-۲۹۱

مقاله پژوهشی:

بررسی تأثیر سدیم نیتروپروساید بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد دانه کلزا در رژیم‌های مختلف آبیاری

مهدیه شیخعلیان^۱، یوسف سهرابی^{۲*}، فرزاد حسین پناهی^۳، امیرحسین شیرانی‌راد^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران.

۲. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران.

۳. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران.

۴. استاد، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۱۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۲۲

چکیده

به‌منظور بررسی اثر برهم‌کنش سدیم نیتروپروساید و تنش خشکی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و رابطه آن با عملکرد و اجزای عملکرد دانه کلزا آزمایشی طی دو سال زراعی (۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵) در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش عبارت بودند از سه تیمار آبیاری شامل آبیاری کامل (شاهد)، قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین‌دهی و قطع آبیاری از مرحله شروع پرشدن دانه و چهار تیمار محلول‌پاشی سدیم‌نیتروپروساید با غلظت‌های صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار. نتایج نشان داد قطع آبیاری باعث کاهش معنی‌دار مقادیر صفات مورد مطالعه شد. محلول‌پاشی سدیم‌نیتروپروساید مقادیر رنگیزه‌های فتوسنتزی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه در شرایط تنش و عدم تنش خشکی را افزایش داد. بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه به‌ترتیب در تیمارهای محلول‌پاشی گیاه با ۳۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و آبیاری کامل (۵۱۲۹ کیلوگرم در هکتار) و تیمار عدم محلول‌پاشی و قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین‌دهی (۳۳۹۶ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. آزمایش، بیان‌گر آن بود که مصرف سدیم نیتروپروساید می‌تواند اثرات مثبتی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه کلزا در شرایط تنش و عدم تنش خشکی داشته باشد و لذا کاربرد آن در شرایط کمبود آب می‌تواند اثرات مخرب تنش خشکی را تا حدود زیادی تعدیل نماید.

کلیدواژه‌ها: اجزای عملکرد دانه، سدیم نیتروپروساید، کاروتنوئید، کلروفیل، کلزا.

Effect of Sodium Nitroprusside on Photosynthetic Pigments and Grain Yield of Rapeseed under Different Irrigation Regimes

Mahdieh Sheikhalian¹, Yousef Sohrabi^{2*}, Farzad Hossainpanahi³, AmihossainShiraniRad⁴

1. Ph.D. Candidate, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran.

2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran.

4. Professor, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Received: March 12, 2020

Accepted: September 8, 2020

Abstract

In order to investigate the interaction between sodium nitroprusside and drought stress on photosynthetic pigments and their relationship with yield and yield components of rapeseed, an experiment has been conducted during two cropping years (2015-16 and 2016-17) at Hamedan Agricultural and Natural Resources Research Center. The experiment is carried out as a factorial in randomized complete block design with three replications. The experimental factors been irrigation levels, including full irrigation (control), irrigation termination from beginning silique stage, and irrigation termination from grain filling stage, as well as four treatments of foliar application of sodium nitroprusside with concentrations of 0, 100, 200, and 300 μM . Results show that irrigation termination has significantly reduced the amounts of studied traits, while sodium nitroprusside foliar application has increased the amounts of photosynthetic pigments, yield, and grain yield components under drought stress and non-stress conditions. The highest and the lowest grain yield are obtained in combined treatments of plant foliar application with 300 mM sodium nitroprusside and full irrigation (5129 kg/ha) and non-foliar application and irrigation interruption at the beginning silique stage (3396 kg/ha), respectively. The experiment indicates that sodium nitroprusside application can have positive effects on photosynthetic pigments, yield components, and grain yield of rapeseed under drought stress and non-stress conditions. Thus, its application can greatly mitigate the adverse effects of drought stress in water deficit conditions.

Keywords: Carotenoid, chlorophyll, rapeseed, grain yield components, sodium nitroprusside.

۱. مقدمه

فتوستتز و کاهش رشد گیاه می‌شود و پس از آن به دلیل وقوع تنش اکسیداتیو، ترکیبات مختلف گیاه از جمله رنگیزه‌های فتوستتزی، لیپیدها و پروتئین‌های غشا آسیب دیده و این امر باعث افزایش نشت الکترولیت‌ها شده و در نهایت مرگ سلول را در پی خواهد داشت (Farooq *et al.*, 2009). طی تنش خشکی به دلیل کاهش تنفس و کاهش تولید انرژی در سلول، سنتز رنگیزه‌های فتوستتزی کاهش می‌یابد و این امر همراه با تخریب رنگیزه‌ها (ناشی از تنش اکسیداتیو ایجاد شده) باعث کاهش شدید مقادیر رنگیزه‌های فتوستتزی می‌شود (Lawlor & Cornic, 2012).

یکی از راه‌هایی که به تازگی به منظور کاهش اثرات منفی تنش بر رشد و نمو گیاهان، مورد آزمایش قرار گرفته کاربرد ترکیباتی مانند سدیم نیتروپروساید است. این ترکیب یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی است که می‌تواند به عنوان واسطه در عمل تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی شرکت کند و در بسیاری از مطالعات نشان داده شده است که در انتقال پیام و پاسخ به تنش‌های زیستی و غیرزیستی نیز دخالت دارد (Leshem *et al.*, 2017; Del Rio *et al.*, 2004). سدیم نیتروپروساید می‌تواند فرایندهای مرتبط با رشدونمو را تنظیم کند (Leshem *et al.*, 2017). گزارش شده است که رشد بوته‌های آفتابگردان پیش‌تیمار شده با ۰/۵ میلی مولار سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش، نسبت به گیاهان تیمار نشده بهبود پیدا کرد و علائمی از قبیل کلروزه شدن و لکه‌های نکروزه در برگ‌ها کاهش یافت (Laspina *et al.*, 2005). هم‌چنین محتوی کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ افزایش یافت. تنش خشکی به طور معنی‌داری موجب کاهش رشد گیاهچه در برنج گردید، در حالی که تیمار گیاه با سدیم نیتروپروساید در همین شرایط موجب بهبود رشد گیاه شد (Farooq *et al.*, 2009). کاربرد خارجی سدیم نیتروپروساید توان گیاه در جذب آب در شرایط تنش خشکی را بهبود بخشید. در همین

امروزه دانه‌های روغنی به دلیل داشتن ترکیبات مهم و با ارزش که در تغذیه انسان و صنایع مختلف به طور وسیعی کاربرد دارند، در بین محصولات زراعی از اهمیت و ارزش خاصی برخوردار هستند. چربی‌ها از ارکان مهم تغذیه سالم بوده و از ۱۷ منبع اصلی گیاهی و حیوانی تأمین می‌گردند. روغن‌های نباتی تولید شده به طور عمده از محصولات سویا، آفتابگردان، کلزا، پنبه‌دانه، نخل روغنی، بادام زمینی و گلرنگ به دست می‌آید (Mohsenzadeh *et al.*, 2016). کلزای زراعی گیاهی از خانواده شب‌بو (*Brassicaceae*)، یک‌ساله، دگرگشن و یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که از دانه آن جهت تولید روغن استفاده می‌شود (Barthet, 2016). در دهه اخیر، این محصول روغنی از نظر متوسط عملکرد روغن جهانی از رتبه پنجم به رتبه سوم صعود کرده است و این امر، اهمیت تولید این محصول زراعی و لزوم مقابله با عوامل محدودکننده عملکرد در راستای بهبود عملکرد این گیاه را در مقیاس جهانی نشان می‌دهد (Barthet, 2016; Gerzhova *et al.*, 2016; Gul *et al.*, 2014). یکی از مهم‌ترین عواملی که باعث کاهش عملکرد در گیاهان زراعی می‌شود، تنش‌های محیطی می‌باشد (Galashi, 2015; Kafi & Mahdavi, 2016). این تنش‌ها می‌توانند بر رشد، متابولیسم و عملکرد گیاهان اثر منفی داشته باشند. در این میان، خشکی یکی از مشکلات عمده تولید پایدار محصولات کشاورزی به‌شمار می‌آید که بر بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه اثر منفی داشته و رشد گیاه را مختل می‌کند (Malekotti *et al.*, 2005). تنش خشکی یک تنش بسیار معمول است و تنش خشکی طولانی‌مدت بر تمام فرایندهای متابولیک گیاه اثر می‌گذارد و موجب کاهش محصول آن می‌گردد (Dolatabadian *et al.*, 2009). تنش خشکی باعث بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش

راستا برخی پژوهش‌گران در پژوهش خود گزارش کردند که کاربرد خارجی سدیم نیتروپروساید، بسته‌شدن روزنه‌ها را تحریک و سلول‌ها را در برابر تنش اکسیداتیو محافظت نمود و در واقع، محلول‌پاشی گیاه با این ترکیب، نفوذپذیری غشا، نشت الکتروولیت‌ها، تخریب کلروفیل‌ها و هم‌چنین میزان H_2O_2 موجود در برگ را کاهش داد (Neill *et al.*, 2008). با توجه به اثرات مثبت سدیم نیتروپروساید بر گیاهان زراعی در شرایط تنش خشکی و اهمیت گیاه کلزا به‌عنوان یک گیاه روغنی استراتژیک، این پژوهش با هدف بررسی میزان تأثیر سدیم نیتروپروساید در تعدیل اثرات تنش خشکی بر محتوای رنگیزه‌های فتوستتزی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه کلزا و روابط بین آن‌ها انجام شد.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌مدت دو سال زراعی (۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵)، در ایستگاه اکباتان مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان با مختصات عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۲ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه، با ارتفاع ۱۷۵۷ متر از سطح دریا به‌اجرا درآمد. در این آزمایش سه سطح آبیاری و چهار سطح محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید (جمعاً ۱۲ تیمار) به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار

گرفتند. فاکتور آبیاری شامل آبیاری کامل (شاهد)، قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه (تنش متوسط) و قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی (تنش شدید) بود. جهت انجام آبیاری از لوله‌های پلی‌اتیلن در هر تکرار استفاده شد و با استفاده از شیرهای انشعاب در هر ردیف کاشت، آبیاری کرت‌های آزمایشی کنترل و امکان اعمال تیمارهای مختلف آبیاری فراهم شد. فاکتور محلول‌پاشی با سدیم نیتروپروساید نیز در چهار غلظت صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار در نظر گرفته شد. محلول‌پاشی ماده موردنظر در دو مرحله (گلدهی و خورجین‌دهی) و با حجم محلول ۱۰۰۰ لیتر در هکتار انجام گرفت. به‌منظور جذب بهتر ماده توسط گیاه، عمل محلول‌پاشی در زمان غروب آفتاب انجام شد. سدیم نیتروپروساید از کمپانی Merck آلمان تهیه شد. قبل از شروع آزمایش از خاک محل اجرای آزمایش نمونه‌هایی از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری تهیه و نمونه مرکب جهت تجزیه به آزمایشگاه تجزیه خاک مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان ارسال شد. نتایج آزمون خاک در دو سال انجام آزمایش در جدول (۱) و اطلاعات هواشناسی در جدول (۲) ارائه شده است.

در این آزمایش از هیبرید فرانسوی (ES Neptue) استفاده شد. عملیات آماده‌سازی زمین به‌صورت معمول و شامل شخم، دیسک و تسطیح زمین، در شهریورماه انجام شد و کوددهی براساس نتایج آزمون خاک انجام گرفت.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در دو سال زراعی

عمق (cm)	هدایت الکتریکی (ds/m)	pH	کربن آلی (%)	ازت کل (%)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاس قابل جذب (ppm)	بافت خاک
سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴							
۳۰-۰	۰/۶۳	۶/۹	۰/۳۴	۰/۳۴	۵۳/۲	۲۳۷	لومی شنی
سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵							
۳۰-۰	۰/۵۹	۷/۲	۰/۳۸	۰/۳۸	۶۴/۴	۲۲۵	لومی شنی

جدول ۲. اطلاعات هواشناسی ایستگاه تحقیقات اکباتان همدان در دو سال انجام آزمایش (۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵)

سال	ماه	میانگین بارندگی (mm)	میانگین دمای کمینه (°C)	میانگین دمای بیشینه (°C)
۱۳۹۴	مهر	۱/۴	۷/۸۹	۲۶/۰۰
	آبان	۸۹/۴	۳/۲۶	۱۳/۴۲
	آذر	۱۷/۸	-۴/۰۱	۵/۹۸
	دی	۱۴	-۳/۹۱	۶/۱۶
	بهمن	۳۳/۷	-۴/۷۹	۷/۷۱
	اسفند	۸/۲	۰/۰۸	۱۴/۹۲
۱۳۹۵	فروردین	۹۶/۳	۹/۵۵	۱۹/۱۹
	اردیبهشت	۲۰/۶	۱۷/۳۹	۲۹/۳۲
	خرداد	۱۰/۸	۲۱/۱۰	۳۳/۱۳
	مهر	۰	۳/۹۳	۲۴/۵۷
	آبان	۵/۶	۲/۲۹	۱۸/۶۲
	آذر	۱۳/۳	-۵/۵۲	۹/۰۰
۱۳۹۶	دی	۱۴	-۲/۷۸	۸/۸۹
	بهمن	۶۶/۹	-۴/۲۰	۶/۸۰
	اسفند	۷۲/۳	۲/۰۰	۱۰/۲۴
	فروردین	۴۹/۴	۶/۱۰	۱۸/۱۹
	اردیبهشت	۲۲/۳	۱۱/۲۶	۲۵/۶۸
	خرداد	۰	۱۴/۹۷	۳۳/۰۶
	تیر	۱/۲	۱۸/۷۷	۳۵/۰۰

۲.۱. اندازه‌گیری محتوای کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها
 برای اندازه‌گیری محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه، دو هفته پس از انجام محلول‌پاشی، در هر کرت آزمایشی با رعایت اثر حاشیه از گیاهان نمونه برگ‌ها تهیه شد و در نیتروژن مایع، فریز شد و بلافاصله به فریزر -۴۰ درجه سانتی‌گراد انتقال داده شد و تا زمان اندازه‌گیری رنگیزه‌ها در فریزر نگهداری گردید. برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی از روش Lichtenthaler & Wellburn (1983) استفاده شد. مطابق این روش، ۰/۱ گرم نمونه برگ‌ها در ازت مایع در داخل هاون ساییده و پودر گردید. سپس در هاون چینی حاوی ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ و ۰/۰۱ گرم منیزیم کاملاً ساییده شدند و در فالدون ۱۵ میلی‌لیتر

تمامی کود پتاس (سولفات پتاسیم) و یک سوم کود نیتروژن (اوره) در زمان آماده‌سازی زمین مصرف شد. یک سوم دیگر کود نیتروژن در مرحله‌ی خروج گیاه از روزت و یک‌سوم باقی‌مانده در زمان غنچه‌دهی کامل و قبل از آغاز گلدهی به‌صورت سرک مصرف شد. هر کرت آزمایشی شامل هشت ردیف کاشت به فاصله ۳۰ سانتی‌متر و به طول شش متر در نظر گرفته شد. فاصله بوته‌ها روی خطوط کاشت ۵ سانتی‌متر بود و کاشت به‌صورت دستی انجام گرفت. آبیاری در مراحل اولیه رشد برای تمام تیمارها به‌صورت یکنواخت انجام شد و از مرحله خورجین‌دهی رژیم‌های مختلف آبیاری اعمال شد.

واریانس‌ها، تجزیه مرکب داده‌ها برای دو سال انجام گرفت. به منظور تجزیه آماری داده‌ها و مقایسات میانگین از نرم‌افزارهای آماری SAS (9.1) و MSTATC (1.1) استفاده شد. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel (2010) انجام شد.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. رنگی‌های فتوستتزی

۳.۱.۱. محتوای کلروفیل a و b

نتایج تجزیه مرکب داده‌های دو سال نشان داد که اثرات اصلی سال، آبیاری و محلول‌پاشی محتوی کلروفیل a را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد (جدول ۳). محتوای کلروفیل b، به‌جز اثر متقابل سه‌گانه سال × آبیاری × محلول‌پاشی، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سایر منابع تغییر قرار گرفت. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × محلول‌پاشی نشان داد در شرایط کاربرد یا عدم کاربرد سدیم نیتروپروساید، قطع آبیاری و کاهش دسترسی گیاه به آب باعث کاهش محتوای کلروفیل‌های a و b شد و در شرایطی که گیاه زودتر با تنش مواجه شد، تأثیر تنش بر مقادیر کلروفیل برگ محسوس‌تر بود (جدول ۴). نتایج نشان داد محتوای کلروفیل‌های a و b با افزایش غلظت محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید در سطوح مختلف آبیاری افزایش پیدا کرد. به‌عبارت دیگر، در هر یک از سطوح آبیاری استفاده بیش‌تر از سدیم نیتروپروساید باعث افزایش در محتوای کلروفیل‌های a و b برگ گردید (جدول ۴).

هم‌چنین نتایج بیان‌گر آن است که بیش‌ترین محتوای کلروفیل‌های a و b در محلول‌پاشی با غلظت ۳۰۰ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید حاصل گردید و کم‌ترین مقدار نیز در تمامی سطوح آبیاری در شرایط عدم کاربرد سدیم‌نیتروپروساید به‌دست آمد (جدول ۴).

ریخته شد و به‌مدت ۱۰ دقیقه با دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردیدند. سپس محلول رویی جمع‌آوری‌شده و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر UV-2100 (مدل s2100 suv NEW JERSEY کشور آمریکا) میزان جذب آن‌ها در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر قرائت شد.

با استفاده از روابط زیر میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها محاسبه شد و برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بیان شد. میزان کلروفیل کل از مجموع غلظت کلروفیل‌های a و b به‌دست آمد.

رابطه (۱) $Chl_a =$

$$12.7 (A_{663}) - 2.69 (A_{645}) \times (V/(1000 \times W))$$

رابطه (۲) $Chl_b =$

$$22.9 (A_{645}) - 4.68 (A_{663}) \times (V/(1000 \times W))$$

رابطه (۳) $Car =$

$$7.6(A_{480}) - 1.49(A_{510}) \times (V/(1000 \times W))$$

که در این روابط V حجم عصاره مصرف‌شده، W وزن نمونه و Chl_b ، Chl_a و Car به‌ترتیب غلظت کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها برحسب (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) می‌باشد.

۳.۲. اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد دانه

در پایان فصل رشد، با در نظر گرفتن اثر حاشیه سطحی معادل دو متر مربع از هر کرت برداشت شد و عملکرد و اجزای عملکرد دانه (تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه) تعیین شد.

۳.۲. محاسبات آماری

پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها تجزیه واریانس داده‌ها برای دو سال انجام آزمایش به‌طور مجزا انجام گرفت. در ادامه، آزمون یکنواختی واریانس خطا برای دو سال انجام آزمایش صورت گرفت و پس از اطمینان از یکنواختی

جدول ۳. تجزيه مرکب محتوای رنگيزه‌های فتوسنتزی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه کلزا تحت تیمارهای مختلف آبیاری و

محلول پاشی سدیم نیتروپروساید در دو سال آزمایش

میانگین مربعات								درجه آزادی	منابع تغییر
عملکرد دانه	تعداد دانه در خورجین	وزن هزارانه	تعداد خورجین در بوته	کاروتنوئیدها	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a		
۳۴۷۵۸۷۳**	۲۶/۱۶*	۲/۶۵*	۱۳۴۴/۴**	۰/۱۶۴**	۴/۳۹**	۰/۷۱۲**	۰/۲۲۱**	۱	سال
۱۶۶۷۱۷	۴/۸۳	۰/۲۴	۲۱/۷	۰/۰۱۹	۰/۶۴۵	۰/۰۸۲	۰/۱۱۹	۴	تکرار (سال)
۴۳۸۹۶۸۰**	۱/۹۷ns	۰/۱۹ ns	۶۹۸/۹**	۰/۰۴۶**	۱/۰۷۸**	۰/۱۷۲**	۰/۰۸۰**	۳	محلول پاشی
۱۰۱۹۱ns	۳/۵۶ns	۰/۲۶ns	۳۰/۳ns	۰/۰۰۴**	۰/۰۴۰**	۰/۰۰۳**	۰/۰۱۳ns	۳	سال × محلول پاشی
۲۸۹۵۰۳۲**	۰/۳۵ns	۰/۸۲**	۶۹۶/۱**	۰/۰۳۹**	۱/۶۲۸**	۰/۲۷۱**	۰/۴۴۵**	۲	آبیاری
۴۳۰۹۷ns	۰/۲۶ns	۰/۲۱ns	۹/۹ns	۰/۰۰۰۴**	۰/۰۸۹**	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۲ns	۲	سال × آبیاری
۵۰۹۸۱۸*	۰/۵۸ns	۰/۰۵ns	۶۳/۴*	۰/۰۰۲**	۰/۰۹۲**	۰/۰۱۶**	۰/۰۲۲ns	۶	آبیاری × محلول پاشی
۳۰۷۰۹ ns	۳/۸۷ns	۰/۰۴ns	۱/۶ns	۰/۰۰۱**	۰/۰۲۲**	۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۴ns	۶	سال × آبیاری × محلول پاشی
۲۰۶۶۹۶	۵/۰۷	۰/۱۵	۲۷/۳	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۶	۰/۰۱۵	۴۴	خطا
۱۰/۴۱	۷/۶۹	۹/۷۱	۷/۹۹	۳/۴۱	۴/۴۹	۴/۳۵	۹/۵۷		ضریب تغییرات (%)

ns و ** به ترتیب عدم معنی دار، معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل محلول پاشی سدیم نیتروپروساید و آبیاری بر مقادیر کلروفیل a و b، تعداد خورجین در بوته و

عملکرد دانه کلزا

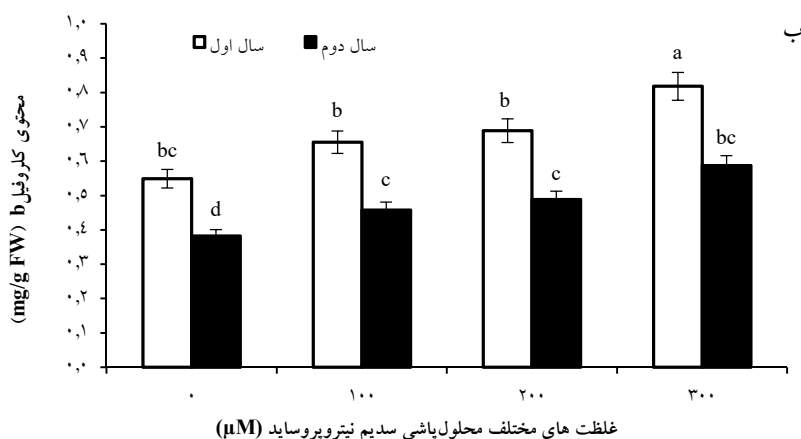
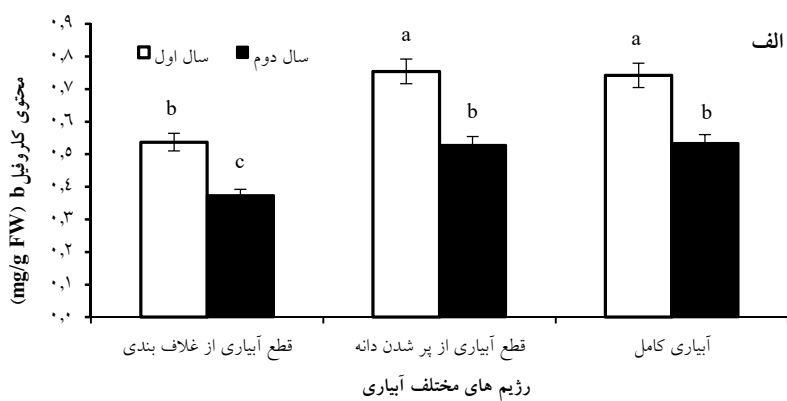
عملکرد دانه (Kg/ha)	تعداد خورجین در بوته	کلروفیل b (mg/g Fw)	کلروفیل a (mg/g Fw)	آبیاری	محلول پاشی
۳۳۹۶/۰ g	۴۹/۹۵f	۰/۳۷۱i	۱/۰۲۷ g	قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین دهی	بدون محلول پاشی
۳۷۵۱/۹fg	۵۸/۳۰de	۰/۴۷۶g	۱/۲۵۷cde	قطع آبیاری از مرحله شروع پر شدن دانه	آبیاری کامل
۴۳۳۲/۹cde	۶۶/۰۱bc	۰/۵۵۰f	۱/۳۲۳be	قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین دهی	محلول پاشی ۱۰۰ میکرومولار
۳۶۱۲/۰fg	۵۵/۴۱ef	۰/۴۴۰h	۱/۱۰۲fg	قطع آبیاری از مرحله شروع پر شدن دانه	آبیاری کامل
۴۰۴۲/۷ef	۶۲/۷۰cd	۰/۵۷۲f	۱/۳۲۷be	قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین دهی	محلول پاشی ۲۰۰ میکرومولار
۴۵۹۹/۹bcd	۶۹/۷۳ab	۰/۶۶۰d	۱/۳۲۴be	قطع آبیاری از مرحله شروع پر شدن دانه	آبیاری کامل
۴۱۰۷/۵def	۶۲/۹۰cd	۰/۴۶۲gh	۱/۲۱۳def	قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین دهی	محلول پاشی ۳۰۰ میکرومولار
۵۰۱۴/۵ab	۷۲/۰۸ab	۰/۶۹۳ c	۱/۴۰۶ab	قطع آبیاری از مرحله شروع پر شدن دانه	آبیاری کامل
۴۸۲۱/۳abc	۷۲/۶۰a	۰/۶۱۰ e	۱/۳۵۷bcd	قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین دهی	محلول پاشی ۳۰۰ میکرومولار
۴۷۷۵/۸abc	۷۰/۱۱ab	۰/۵۵۰f	۱/۱۹۵ef	قطع آبیاری از مرحله شروع پر شدن دانه	آبیاری کامل
۴۹۸۸/۰ab	۷۲/۵۱a	۰/۷۳۴b	۱/۳۷۳abc	قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین دهی	آبیاری کامل
۵۱۲۹/۰a	۷۲/۷۵a	۰/۸۲۵a	۱/۵۱۶a	قطع آبیاری از مرحله شروع پر شدن دانه	آبیاری کامل

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد فاقد تفاوت معنی دار می‌باشند.

بررسی تأثیر سدیم نیتروپروساید بر رنگیزه‌های فتوستتزی و عملکرد دانه کلزا در رژیم‌های مختلف آبیاری

در گیاهان بدون محلول‌پاشی و آبیاری کامل در یک گروه آماری قرار گرفتند. در هر دو سال انجام آزمایش محتوی کلروفیل b در گیاهان تحت آبیاری کامل و قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه (تنش متوسط) بیش‌تر از مقادیر این صفت در گیاهان تحت تیمار قطع آبیاری از مرحله شروع غلاف‌بندی بود (شکل ۱-الف). به‌عبارت دیگر، در هر دو سال انجام آزمایش با کاهش بیش‌تر دسترسی گیاه به آب، محتوی کلروفیل b در برگ کلزا کاهش پیدا کرد که این امر نشان‌دهنده اثر مخرب تنش خشکی بر کلروفیل b می‌باشد که به‌عنوان یک کلروفیل محافظت‌کننده در سلول‌های مزوفیل برگ نقش ایفا می‌کند.

دامنه تغییرات کلروفیل a بین ۱/۰۳۷ و ۱/۰۵۱۶ میلی‌گرم در گرم بافت تر و دامنه تغییرات کلروفیل b بین ۰/۸۲۵ الی ۰/۳۷۱ میلی‌گرم در گرم بافت تر بود (جدول ۴). براساس نتایج جدول (۳)، درصد افزایش محتوای کلروفیل‌های a و b در مصرف ۳۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید نسبت به عدم کاربرد آن به‌طور متوسط در تمام سطوح آبیاری به‌ترتیب برابر ۱۱/۴۶ و ۳۳/۸۵ درصد بود. کاربرد ۳۰۰ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید توانست محتوی کلروفیل‌های a و b گیاه کلزا را به‌طور قابل‌توجهی بهبود بخشد، به‌طوری‌که محتوی کلروفیل در گیاهان تحت تنش قطع آبیاری در مرحله شروع خورجین‌دهی با مقادیر کلروفیل



شکل ۱. اثر تیمارهای مختلف آبیاری (الف) غلظت‌های مختلف محلول‌پاشی سدیم‌نیتروپروساید (ب) بر محتوی کلروفیل b برگ کلزا در دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ در شرایط آب و هوایی همدان

براساس نتايج شكل (۱-ب) محتوي كلروفيل b با افزايش ميزان كاربرد سدِيم نيتروپروسايد افزايش پيدا كرد به طوري كه در هر دو سال انجام آزمايش بيش ترين محتوي كلروفيل b در تيمار كاربرد ۳۰۰ ميكرومولار به دست آمد و كم ترين محتوي كلروفيل b در تيمار عدم كاربرد سدِيم نيتروپروسايد حاصل شد (شكل ۱).

۲.۱.۳. كلروفيل كل و كاروتنوئيدها

كلروفيل كل و كاروتنوئيدها به طور معني داري تحت تاثير اثرات ساده و متقابل قرار گرفتند (جدول ۳). براساس نتايج مقايسه ميانگين اثر سه گانه سال × محلول پاشي × آبياري (جدول ۵)، در هر دو سال انجام آزمايش قطع آبياري در گياه كلزا باعث كاهش محتوي كلروفيل و كاروتنوئيد گياه شد، اگرچه اين كاهش در تيمار قطع آبياري از مرحله شروع خورجين دهی بيش تر بود. كاربرد سدِيم نيتروپروسايد در شرايط تنش و عدم تنش كمبود آب باعث افزايش محتوي كلروفيل كل و كاروتنوئيدها گرديد. با افزايش غلظت سدِيم نيتروپروسايد محتوي رنگيزه های فتوستتزی، كلروفيل كل و كاروتنوئيدها در هر دو سال انجام آزمايش در تمامی سطوح آبياري افزايش پيدا كرد. در واقع می توان اظهار داشت در هر دو سال انجام آزمايش، افزايش كاربرد سدِيم نيتروپروسايد به مقدار ۲۰۰ و ۳۰۰ ميكرومولار باعث افزايش محتوي كلروفيل كل و كاروتنوئيد برگ كلزا شد، كه اين امر در تمام سطوح آبياري صادق بود (جدول ۵). بنا بر این، در هر دو سال انجام آزمايش، بيش ترين محتوي كلروفيل كل و كاروتنوئيدها در هنگام محلول پاشي گياه با غلظت ۳۰۰ ميكرومولار سدِيم نيتروپروسايد حاصل گرديد و كم ترين محتوي كلروفيل كل و كاروتنوئيدها در تمامی سطوح آبياري در تيمار عدم كاربرد سدِيم نيتروپروسايد به دست آمد (جدول ۵).

به طوري كه، در جدول (۴) ملاحظه می شود در هر دو سال انجام آزمايش محلول پاشي گياه با ۳۰۰ ميكرومولار سدِيم نيتروپروسايد باعث افزايش قابل توجه محتوي رنگيزه های فتوستتزی كلروفيل كل و كاروتنوئيد در گياه كلزا گرديد و اين افزايش به اندازه ای بود كه محتوي اين رنگيزه ها در گياهان تحت شرايط قطع آبياري از مرحله شروع خورجين دهی با مقادير اين صفات در گياهان بدون محلول پاشي كه در طول فصل رشد به طور كامل آبياري شده بودند، به لحاظ آماری در يك گروه قرار گرفتند. دامنه تغييرات كلروفيل كل در تمام تيمارهای آزمايش بين ۰/۷۱۷ الي ۲/۰۸۴ ميلي گرم در گرم بافت تر و دامنه تغييرات كاروتنوئيدها در دو سال آزمايش و سطوح مختلف آبياري و محلول پاشي بين ۰/۱۴۲ و ۰/۴۵۶ ميلي گرم در گرم بافت تر بود. به طور كلي براساس نتايج مقايسه ميانگين، محتوي كلروفيل كل و كاروتنوئيد كلزا در سال اول آزمايش بيش تر از سال دوم آزمايش بود (جدول ۵).

براساس نظر پژوهش گران تنش خشكي با اثرات مخرب خود ابتدا بر فرايندهای فيزيولوژيك گياهان اثر می گذارد و سپس باعث كاهش رشد و عمل كرد گياهان زراعی می شود (Leshem et al., 2017). در گزارش های پيشين علت اصلي كاهش رنگيزه های فتوستتزی طی تنش های محيطی دو عامل معرفي شده است، عامل اول كه مهم تر نیز می باشد تخریب ساختار رنگيزه های فتوستتزی به وسيله گونه های اكسيژن فعال (ROS) است و عامل دوم عدم سنتز رنگيزه های فتوستتزی در شرايط تنش های محيطی می باشد كه باعث كاهش محتوي رنگيزه های فتوستتزی می شود (Leshem et al., 2017). در ارتباط با تاثير مثبت سدِيم نيتروپروسايد بر بهبود محتوي رنگيزه های فتوستتزی می توان اظهار داشت سدِيم نيتروپروسايد يك تركيب رهاكننده اكسيد نيتريك است، اكسيد نيتريك خود يك گونه فعال نيتروژن است كه

خشک اندام‌های هوایی و ریشه شد. در بین غلظت‌های مختلف کاربرد سدیم نیتروپروساید، مصرف ۲۵ میکرومولار از این ماده مقادیر پرولین، کلروفیل‌های a و b، قندهای محلول، آنتوسیانین، فلاونوئیدها، فنول کل و عملکرد کلزا را تحت تنش خشکی افزایش داد. در پژوهش حاضر نیز تنش خشکی باعث کاهش محتوی رنگیزه‌های فتوستتزی گیاه کلزا شد و محلول‌پاشی گیاه با سدیم نیتروپروساید اثرات مخرب تنش خشکی بر کاهش محتوی کلروفیل گیاه را تعدیل نمود (جدول‌های ۳ و ۴).

۲.۳. عملکرد و اجزای عملکرد دانه

۱.۲.۳. تعداد خورجین در بوته

براساس نتایج تجزیه مرکب داده‌ها، اثر سال، محلول‌پاشی، آبیاری و اثر متقابل محلول‌پاشی و آبیاری بر تعداد خورجین در بوته معنی‌دار بود.

براساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × محلول‌پاشی (جدول ۴) با بروز تنش خشکی و افزایش شدت آن تعداد خورجین در بوته در تمام سطوح محلول‌پاشی کاهش پیدا کرد. به بیان دیگر، در تمام سطوح محلول‌پاشی بیش‌ترین تعداد خورجین در بوته به تیمار آبیاری کامل تعلق داشت و کم‌ترین تعداد خورجین در بوته در تیمار قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین‌دهی به دست آمد.

هم‌چنین نتایج نشان داد با کاربرد سدیم نیتروپروساید و افزایش غلظت محلول‌پاشی این ماده روی گیاه در تمام سطوح آبیاری تعداد خورجین در بوته کلزا افزایش پیدا کرد، به طوری که در سطوح ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید تعداد خورجین در بوته در تیمارهای آبیاری کامل و قطع آبیاری از شروع پرشدن دانه اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و حتی محلول‌پاشی گیاه با غلظت ۳۰۰ میکرومولار این ماده در هر دو تیمار قطع

می‌تواند به‌عنوان یک عامل آنتی‌اکسیدان، گونه‌های اکسیژن فعال را جمع‌آوری کند و از بین ببرد (Asadi Sanam *et al.*, 2014). رادیکال‌های آزاد اکسیژن در شرایط تنش سبب شکستن رنگیزه‌ها و پروتئین‌های دستگاه فتوستتزی می‌شوند و احتمالاً نیتریک اکسید با اثر ربایندگی گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش، موجب بهبود محتوای کلروفیل در گیاه می‌شود (Laspina *et al.*, 2005). در پژوهشی مشخص شد که پیش‌تیمار گیاه با غلظت‌های ۱۰۰ میکرومولار یا کمتر سدیم نیتروپروساید می‌تواند از طریق تداخل با گونه‌های اکسیژن فعال یا القای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نقش حفاظتی در برابر خشکی داشته باشد (Nasibi & Kalantari, 2010).

هم‌چنین بررسی تأثیر محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید بر رنگیزه‌های فتوستتزی نشان داد که محلول‌پاشی با هر دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید محتوای کلروفیل a و b را افزایش داد (Arab *et al.*, 2015). در مطالعه‌ای دیگر، پژوهش‌گران پی بردند که کاربرد مقدار ۰/۱ میلی‌مول سدیم نیتروپروساید، پیری برگ‌های گوجه‌فرنگی را با جلوگیری از تخریب کلروفیل و پروتئین‌های محلول به‌ویژه، روبیسکو به تأخیر انداخت (Shehab *et al.*, 2010). کاربرد سدیم نیتروپروساید با رهاسازی نیتریک اکسید در گیاه باعث افزایش فعالیت H^+ -ATPase غشا می‌شود و از این طریق جذب یون‌های معدنی توسط ریشه و در نتیجه تغذیه گیاه را بهبود می‌بخشد (Palmgren & Harper, 1999) و این امر می‌تواند در بهبود سنتز رنگیزه‌های فتوستتزی در گیاه مؤثر باشد. در مطالعه‌ای اثر سدیم نیتروپروساید بر برخی عوامل فیزیولوژیکی گیاه کلزا تحت شرایط تنش خشکی مورد بررسی قرار گرفت (Nikravesht *et al.*, 2016)، این پژوهش نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش محتوی کلروفیل a و b، محتوی نسبی آب برگ، کاهش وزن

آبياري، باعث افزايش چشم‌گير تعداد خورجين در بوته در مقايسه با تيمار آبياري كامل در شرايط عدم محلول‌پاشي گياه با سدیم نیتروپروپوسايد شد. در تيمارهاي بدون محلول‌پاشي و محلول‌پاشي ۱۰۰ ميكرومولار، بين سطوح قطع آبياري از شروع خورجين‌دهي، قطع آبياري از شروع پرشدن دانه و

آبياري كامل از نظر تعداد خورجين در بوته تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۵). مطالعات حاکی از آن است که تعداد خورجين در بوته مهم‌ترين جزو عملکرد دانه در گياهان دارای خورجين می‌باشد و اصلی‌ترين نقش را در تغييرات عملکرد دانه دارد (Zinali et al., 2015).

جدول ۵. مقايسه ميانگين اثر متقابل سال × محلول‌پاشي × آبياري بر محتوی کلروفیل کل و کاروتنوئید برگ کلزا

سال	محلول‌پاشي	آبياري	کاروتنوئیدها (mg/g. Fw)	کلروفیل کل (mg/g. Fw)
اول	بدون محلول‌پاشي	قطع آبياري در مرحله شروع خورجين‌دهي	۰/۲۰۳۱	۰/۹۵۹۱
		قطع آبياري در مرحله شروع پرشدن دانه	۰/۲۶۴fg	۱/۳۵۵gh
		آبياري كامل	۰/۳۰۴e	۱/۵۶۵d
	محلول‌پاشي ۱۰۰	قطع آبياري در مرحله شروع خورجين‌دهي	۰/۲۴۳hi	۱/۲۶۱hi
		قطع آبياري در مرحله شروع پرشدن دانه	۰/۳۱۶e	۱/۶۲۷d
		آبياري كامل	۰/۳۶۵c	۱/۸۷۷c
	محلول‌پاشي ۲۰۰	قطع آبياري در مرحله شروع خورجين‌دهي	۰/۲۵۶gh	۱/۴۰۲fg
		قطع آبياري در مرحله شروع پرشدن دانه	۰/۳۰۴e	۲/۰۸۴b
		عدم قطع آبياري	۰/۳۳۳d	۱/۸۰۶c
	محلول‌پاشي ۳۰۰	قطع آبياري در مرحله شروع خورجين‌دهي	۰/۳۸۴b	۱/۵۶۵de
		قطع آبياري در مرحله شروع پرشدن دانه	۰/۴۵۶a	۱/۳۷۰a
		آبياري كامل	۰/۳۹۴b	۲/۰۲۱b
دوم	بدون محلول‌پاشي	قطع آبياري در مرحله شروع خورجين‌دهي	۰/۱۴۲n	۰/۷۱۷m
		قطع آبياري در مرحله شروع پرشدن دانه	۰/۱۸۴m	۰/۹۱۹۱
		آبياري كامل	۰/۲۱۳kl	۱/۱۱۴jk
	محلول‌پاشي ۱۰۰	قطع آبياري در مرحله شروع خورجين‌دهي	۰/۱۷۰m	۰/۸۹۴۱
		قطع آبياري در مرحله شروع پرشدن دانه	۰/۲۲۱jk	۱/۱۳۹ij
		آبياري كامل	۰/۲۵۵fg	۱/۳۱۴gh
	محلول‌پاشي ۲۰۰	قطع آبياري در مرحله شروع خورجين‌دهي	۰/۱۷۹m	۰/۹۹۳kl
		قطع آبياري در مرحله شروع پرشدن دانه	۰/۲۶۹fg	۱/۲۶۵hi
		آبياري كامل	۰/۲۳۵ij	۱/۴۵۹ef
	محلول‌پاشي ۳۰۰	قطع آبياري در مرحله شروع خورجين‌دهي	۰/۲۱۳kl	۱/۰۹۰jk
		قطع آبياري در مرحله شروع پرشدن دانه	۰/۳۱۹de	۱/۶۴۳d
		آبياري كامل	۰/۲۷۶fg	۱/۴۱۴fg

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSD فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

۲.۲.۳. وزن هزاردانه

در مورد وزن هزاردانه، اثرات اصلی سال و آبیاری معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر وزن هزاردانه کلزا نشان داد قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین‌دهی و شروع پرشدن دانه باعث کاهش معنی‌دار وزن هزاردانه کلزا نسبت به حالت آبیاری کامل گردید و به عبارت دیگر، وقوع تنش خشکی اثر مستقیم بر وزن هزاردانه کلزا داشت (جدول ۶).

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر وزن هزاردانه کلزا

آبیاری	وزن هزاردانه (g)
قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین‌دهی	۳/۸۷b
قطع آبیاری از مرحله شروع پر شدن دانه	۳/۹۶b
آبیاری کامل	۴/۲۳a

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

۳.۲.۳. تعداد دانه در خورجین

در مورد تعداد دانه در خورجین تنها اثر سال معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج این آزمایش نشان داد هیچ‌کدام از فاکتورهای مورد بررسی در این آزمایش به جز فاکتور سال اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در خورجین کلزا نداشت. به این معنی که یا این صفت کاملاً تابع خصوصیات ژنتیکی گیاه می‌باشد و یا این‌که آغازه‌ها یا پرایموردیاهای تعداد دانه در خورجین قبل از اعمال تیمارها تعیین شده بود و تحت تأثیر تیمارهای اعمال‌شده قرار نگرفت (جدول ۴). در پژوهشی دیگر نیز کاربرد سدیم نیتروپروساید سبب بهبود اجزای عملکرد دانه (تعداد دانه در بلال و وزن هزاردانه) در ذرت تحت تنش خشکی شد (Hao et al., 2008). از طرف دیگر، پژوهش‌گران در گیاه نخود گزارش کردند کاربرد

سدیم نیتروپروساید باعث بهبود اجزای عملکرد و عملکرد دانه نخود شد (Ganjewala et al., 2008).

۴.۲.۳. عملکرد دانه

بر اساس نتایج تجزیه مرکب داده‌ها، اثر سال، محلول‌پاشی، آبیاری و اثر متقابل محلول‌پاشی و آبیاری بر عملکرد دانه کلزا معنی‌دار بود. نتایج آزمایش نشان داد که وقوع تنش خشکی در مرحله رشد زایشی به‌ویژه در شرایط قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین‌دهی باعث کاهش چشمگیر عملکرد دانه گیاه کلزا شد (جدول ۴).

کاربرد سدیم نیتروپروساید باعث افزایش عملکرد دانه کلزا در تمامی سطوح آبیاری شد، به‌گونه‌ای که در سطوح مختلف آبیاری، بیش‌ترین عملکرد دانه در کاربرد ۳۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید حاصل شد. نتایج جدول (۴) نشان داد در شرایط عدم کاربرد سدیم نیتروپروساید و هم‌چنین در کاربرد ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید، به لحاظ عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آبیاری کامل با قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین‌دهی و شروع پرشدن دانه وجود داشت. با کاربرد ۲۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید بین عملکرد دانه کلزا در شرایط آبیاری کامل با گیاهان تحت تیمار قطع آبیاری از مرحله شروع پرشدن دانه‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، اما بین تیمارهای آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله شروع خورجین‌دهی تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۴). در شرایط کاربرد ۳۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید به لحاظ عملکرد دانه بین سطوح مختلف آبیاری تفاوت معنی‌داری ملاحظه نشد. به عبارت بهتر، کاربرد سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش خشکی باعث کاهش اثر تنش شد و با افزایش کاربرد آن تعدیل اثر تنش به‌طور محسوس‌تری ظاهر شد به‌طوری‌که در محلول‌پاشی گیاه با غلظت ۳۰۰ میکرومولار

افزايش عملكرد دانه گندم تحت تنش اسمزي (Lei et al., 2007) و تحت تنش خشكي (Sheokand et al., 2010)، در نخودفرنگي تحت تنش شوري (Tian & Lei, 2007)، در نخود تحت تنش كادميوم (Kumari et al., 2010) و در برنج تحت تنش خشكي (Farooq et al., 2009) نيز گزارش شده است. عملكرد دانه مهم ترين صفت در گياهان زراعي دانه اي مي باشد كه تمام تلاش هاي پژوهش گران كشاورزي در راستاي افزايش آن با در نظر گرفتن مسائل زيست محيطي مي باشد (Galashi, 2015).

۳.۳. همبستگي صفات

عملكرد دانه بيش ترين همبستگي را با صفات تعداد خورجين در بوته، كلروفيل b و كلروفيل كل داشت كه به ترتيب برابر ۰/۷۸، ۰/۶۶ و ۰/۶۵ بود. كم ترين همبستگي عملكرد دانه (۰/۴۸)، با وزن هزاردانه مشاهده شد. كم بودن همبستگي عملكرد دانه با وزن هزاردانه به احتمال زياد به دليل افزايش تعداد خورجين در بوته مي باشد كه باعث شده رابطه عملكرد دانه با وزن هزاردانه کاهش يابد (جدول ۷). در بين صفات مختلف اندازه گيري شده بيش ترين همبستگي، بين كلروفيل كل و كلروفيل b وجود داشت كه برابر ۰/۹۷ بود، كم ترين همبستگي نيز بين وزن هزاردانه و محتوای کاروتنوئید گیاه مشاهده شد (جدول ۷).

در شكل (۲) رابطه رگرسيوني بين عملكرد دانه كلزا و صفاتي كه بيش ترين همبستگي را با عملكرد دانه داشتند (جدول ۷) آورده شده است. شكل مذکور نشان مي دهد بين عملكرد دانه با تعداد خورجين در بوته، محتوای كلروفيل b و كلروفيل كل رابطه خطي، مستقيم و معني داری وجود داشت. نتايج آزمایش بيانگر آن است كه به ازاي افزايش يك خورجين در بوته ۶/۶۸ كيلوگرم در هكتار به عملكرد دانه كلزا اضافه خواهد شد. هم چنين نتايج نشان مي دهد افزايش كلروفيل b و كلروفيل كل به مقدار يك ميلي گرم در گرم

سدیم نیتروپروساید بين تيمارهاي تنش و عدم تنش خشكي تفاوت چشم گيري ملاحظه نشد.

بر اساس نتايج جدول (۴)، درصد افزايش عملكرد دانه كلزا در هنگام کاربرد ۳۰۰ ميكرومولار سدیم نیتروپروساید نسبت به حالت شاهد (عدم کاربرد سدیم نیتروپروساید) براي متوسط مقادير تمام سطوح آبياري (آبياري كامل، قطع آبياري از مرحله شروع خورجين دهی و شروع پرشدن دانه) برابر ۲۳/۰۱ درصد بود. پژوهش گران بيان کرده اند کاربرد سدیم نیتروپروساید به دليل كاركردهای مطلوبی كه در گياه دارد از جمله افزايش دوام سطح برگ، افزايش حداكثر شاخص سطح برگ، باز نگه داشتن روزنه ها، حفظ رنگيزه ها و پروتئين هاي دستگاه فتوسنتزي (Laspina et al., 2005) و در نهايت بهبود فتوسنتز و ماده سازي در گياه باعث افزايش عملكرد گياهان زراعي مي شود (Sheokand et al., 2010). در همين رابطه در بررسي اثر سدیم نیتروپروساید بر رشد و عملكرد كدوی پوست كاغذي (*Cucurbita pepo* L.) تحت شرايط كم آبياري مشخص شد كه با تاخير در آبياري عملكرد کاهش يافت، اما کاربرد سدیم نیتروپروساید توانست اثرات منفي خشكي را کاهش دهد، به طوري كه بيش ترين تعداد شاخه فرعي، وزن هزاردانه، عملكرد دانه و وزن ميوه از کاربرد ۱۰۰ ميكرومولار اين تيمار حاصل شد (Yadollahi & Asgharpour, 2014).

در آزمایشی ديگر، کاربرد سدیم نیتروپروساید سبب افزايش تعداد دانه، وزن هزاردانه و در نتيجه عملكرد دانه ذرت تحت تنش خشكي شد (Hao et al., 2008). نتايج آزمایش حاضر نيز نشان داد سدیم نیتروپروساید بر توليد و حفظ رنگيزه هاي فتوسنتزي و در نتيجه، بهبود فتوسنتز در شرايط كمبود آب تأثير مثبت داشت و از اين طريق باعث افزايش تعداد خورجين در بوته به عنوان مهم ترين جزو عملكرد دانه و به تبع آن بهبود عملكرد دانه كلزا شد (جدول ۴). تأثيرات بهبود بخش کاربرد سدیم نیتروپروساید در

بررسی تأثیر سدیم نیتروپروساید بر رنگیزه‌های فتوستتزی و عملکرد دانه کلزا در رژیم‌های مختلف آبیاری

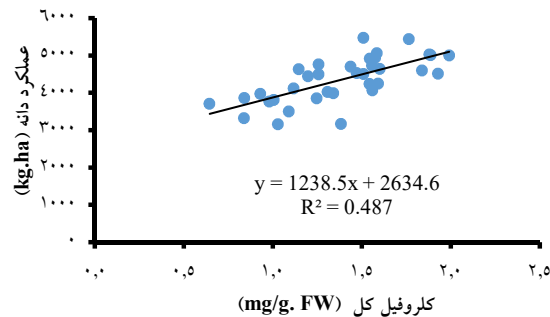
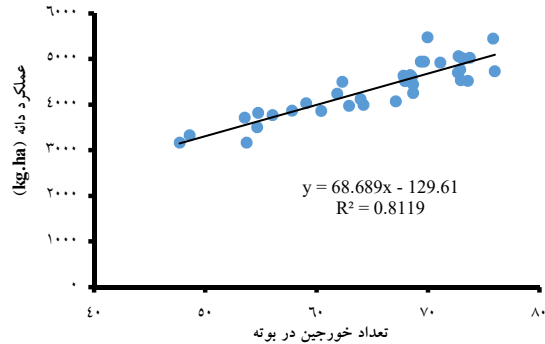
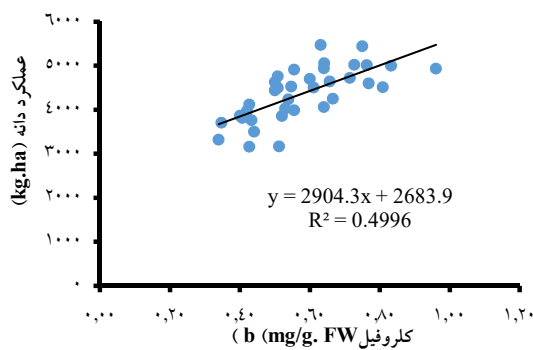
پژوهش‌گران در مطالعه‌ای گزارش کردند کاربرد سدیم نیتروپروساید به صورت محلول‌پاشی سبب افزایش حداکثر شاخص سطح برگ و هم‌چنین دوام شاخص سطح برگ نخود شد و این پژوهش‌گران افزایش دوام سطح برگ را به افزایش حفاظت از رنگیزه‌های فتوستتزی نسبت دادند که موجب افزایش کارایی مصرف آب شد.

بافت تر، عملکرد دانه را به میزان ۲۹۰۴/۳ و ۱۲۳۸/۵ کیلوگرم در هکتار افزایش خواهد داد (شکل ۲). در واقع می‌توان اظهار داشت افزایش در محتوای رنگیزه‌های فتوستتزی گیاه باعث افزایش میزان فتوستتز و تولید مواد فتوستتزی می‌شود و به دنبال آن، اجزای عملکرد دانه و در نهایت عملکرد دانه کلزا افزایش می‌یابد.

جدول ۷. ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده تحت تیمارهای آبیاری و غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید در کلزا

صفات	کلروفیل کل	کاروتنوئیدها	کلروفیل b	کلروفیل a	وزن هزار دانه	تعداد خورجین در بوته	عملکرد دانه
کلروفیل کل	۱						
کاروتنوئیدها	۰/۹۳**	۱					
کلروفیل b	۰/۹۷**	۰/۹۵**	۱				
کلروفیل a	۰/۷۴**	۰/۶۸**	۰/۷۴**	۱			
وزن هزار دانه	۰/۳۳*	ns/۰/۱۶	۰/۳۳*	۰/۳۴*	۱		
تعداد خورجین در بوته	۰/۷۲**	۰/۷۴**	۰/۷۴**	۰/۵۹**	۰/۴۴**	۱	
عملکرد دانه	۰/۶۵**	۰/۶۴**	۰/۶۶**	۰/۵۲**	۰/۴۸**	۰/۷۸**	۱

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.



شکل ۲. رابطه رگرسیونی عملکرد دانه با صفات تعداد خورجین در بوته، محتوای کلروفیل‌های b و کل در گیاه کلزا تحت تیمارهای مختلف آبیاری و غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید

مورد مطالعه بسيار بالا و معني دار بود، به صورتي كه بيش ترين همبستگي عملكرد دانه با تعداد خورجين در بوته، كلروفيل b و كلروفيل كل بود، كه به ترتيب برابر ۰/۷۸، ۰/۶۶ و ۰/۶۴ به دست آمد. رابطه رگرسيوني عملكرد دانه با محتوي رنگيزه هاي فتوستتزي و اجزاي عملكرد دانه خطي، صعودي و معني دار بود.

۵. تشكر و قدرداني

از تمامي همكاراني كه در مركز تحقيقات كشاورزي همدان و دانشكده كشاورزي دانشگاه كردستان ما را ياري كرده اند، تشكر و قدرداني مي گردد.

۶. تعارض منافع

هيچ گونه تعارض منافع توسط نويسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Arab, S., Baradaran Firouzabadi, M., & Asgharipour, M. (2015). The effect of ascorbic acid and sodium nitro prusside sprayed on photosynthetic pigments and some traits of safflower in terms of deficit irrigation. *Journal agriculture of Plant Production*, 38(4), 14-25. (In Persian)
- Asadi Sanam, S., Zavareh, M., Pirdashti, H., & Hashempour, A. (2014). The effect of sodium nitroprusside (SNP) on some biochemical properties of barley seedlings in salinity. *Journal of Plant Production Research*, 21(3), 19-32. (In Persian).
- Barthet, V. J. (2016). Canola: Overview. Reference Module in Food Science. Reviewed 8 January 2016. 5p.
- Del Rio, L.A., Corpas, F.J., & Barroso, J.B. (2004). Nitric oxide and nitric oxide synthase activity in plants. *Photochemistry*, 65, 783-792.
- Divito, G. A., & Sadras, V. O. (2014). How do phosphorus, potassium and sulphur affect plant growth and biological nitrogen fixation in crop and pasture legumes A meta-analysis. *Field Crops Research*, 156, 161-171.
- Dolatabadian, A., Modares Sanavy, A.M., & Asilan, K. (2009). Effect of ascorbic acid foliar application on yield, yield component and several morphological traits of grain corn under water deficit stress conditions. *Notulae Scientia Biologicae*, 2(3), 45-50.

از سوي ديگر ماده مذكور موجب بهبود عملكرد دانه در شرايط تنش شد كه اين امر نيز به افزايش كارايي مصرف آب در جهت توليد دانه منجر گرديد (Sheokand *et al.*, 2010). کاربرد سدیم نیتروپروساید فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان و میزان آب نسبی را در برگ های گندم که در معرض تنش خشکی قرار گرفته بودند افزایش داد (Tan *et al.*, 2008)، که این امر باعث افزایش محتوای کلروفیل a نسبت به تیمارهای عدم کاربرد سدیم نیتروپروساید شد. این پژوهش گران بیان کردند اثرات مثبت سدیم نیتروپروساید در نهایت باعث افزایش عملکرد دانه گندم از طریق افزایش سبزمانی شد.

۴. نتیجه گیری

تنش خشکی بر مقادیر رنگیزه های فتوستتزي، اجزاي عملكرد و عملكرد دانه كلزا تأثیر منفي داشت، به طوري كه با بروز تنش خشكي و افزايش شدت آن صفات اندازه گيري شده به طور معني داري کاهش يافتند. از طرف ديگر، کاربرد سدیم نیتروپروساید باعث شد اثرات مخرب تنش خشکی کاهش پیدا کند. با محلول پاشی سدیم نیتروپروساید رنگیزه های فتوستتزي، اجزاي عملكرد دانه و عملكرد دانه در شرايط تنش و عدم تنش خشکی افزايش پيدا كردند. بيش ترين مقادير كلروفيل هاي a، b و كل، تعداد خورجين در بوته و عملكرد دانه در تيمار محلول پاشي ۳۰۰ ميكرومولار سدیم نیتروپروساید به دست آمد و کاربرد اين غلظت سدیم نیتروپروساید مقادير صفات ذكر شده را به طور قابل توجهي بهبود بخشيد به گونه اي كه مقادير اين صفات در گياهان تحت تنش خشكي با گياهان بدون محلول پاشي تحت شرايط آبياري كامل برابر و حتي در مورد تعداد خورجين در بوته و عملكرد دانه به طور معني داري برتري داشت. هم چنين، همبستگي بين رنگيزه هاي فتوستتزي و اجزاي عملكرد با عملكرد دانه به عنوان مهم ترين صفت

- Farooq, M., Basra, S.M.A., Wahid, A., & Rehman, H. (2009). Exogenously applied nitric oxide enhances the drought tolerance in fine grain aromatic rice (*Oryza sativa* L.) *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195, 254-261.
- Galashi, S. (2015). Effect of environmental stresses on plants (drought-salinity-heat-flood). *Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 388 p. (In Persian)
- Ganjewala, D., Boba, S., & Raghavendra, A.S. (2008). Sodium nitroprusside affects the level of anthocyanin and flavonol glycosides in pea (*Pisum sativum* L. cv. *Arkel*) leaves. *Acta Biologica. Szegediensis*, 52, 301-305.
- Gerzhova, A., Mondor, M., Benali, M., & Aider, M. (2016). Study of total dry matter and protein extraction from canola meal as affected by the pH, salt addition and use of zetapotential/turbidimetry analysis to optimize the extraction conditions. *Food Chemistry*, 201, 243-252.
- Gul, H., Ahmad, R., Hamayun, M., Sayyed, A., Qasim, M., & Shabeena, S. (2014). Growth performance of canola grown under different salinity regimes. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 8(4), 59-68.
- Hao, G.P., Xing, Y., & Zhang, J.H. (2008). Role of Nitric Oxide Dependence on Nitric Oxide Synthase-like Activity in the water stress signaling of maize seedling. *Integrative Plant Biology*, 50(4), 435-442
- Kafi, M., & Mahdavi Damghani, A. (2016). Mechanisms of plant resistance to environmental stresses. *Ferdowsi University of Mashhad Publications*, 468 p. (In Persian)
- Kumari, A., Sheokand, A., & Kumari, S. (2010). Nitric oxide induced alleviation of toxic effects of short term and long term Cd stress on growth, oxidative metabolism and Cd accumulation in Chickpea. *Brazilian Society of Plant Physiology*, 22(4), 271-284.
- Laspina, N.V., Groppa, M.D., Tomaro, M.L. and Benavides, M.P. (2005). Nitric oxide protects sunflower leaves against Cd induced oxidative stress. *Journal of Plant Sciences*, 169, 323-330.
- Lawlor, D. W., & Cornic, G. (2012). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plants, Cell and Environment*, 25, 275-294.
- Lei, Y., Yin, C., Ren, J., & Li, C. (2007). Effect of osmotic stress and sodium nitroprusside pretreatment on proline metabolism of wheat seedlings. *Biologia Plantarum*, 51(2), 386-390.
- Leshem, Y.Y., Haramaty, E., Liuz, D., Mali, K.Z., Safer, Y., & Riotman, L. (2017). Effect of stress nitric oxide: interaction between chlorophyll fluorescence, galactolipid fluidity and lipoxygenase activity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 35, 573-579.
- Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 1, 591-592.
- Malekotti, M.J., Keshavarz, P., Saadat, S., & Khulberin, b. (2005). Plant nutrition under saline conditions. *Senate Publications. Tehran*, 269 p. (In Persian)
- Mohsenzadeh, M., Samiezadeh, H., & Hasani, H. (2016). Evaluation of Glycol Peroxidase Activity in Canola Genotypes under Stress and Non-Osmotic Stress Conditions. *Iranian Crop Sciences*, 48 (1), 71-80. (In Persian)
- Nasibi, F., & Kalantari, K. M. (2010). Influence of nitric oxide in protection of tomato seedling against oxidative stress induced by osmotic stress. *Acta Physiologia Plant*, 31, 1037-1044.
- Neill, S., Barros, R., Bright, J., Desikan, R., Hancock, J., Harrisan, J., Morris, P., Ribeiro, D., & Wilson, I. (2008). Nitric oxide, stomatal closure, and abiotic stress. *Journal of Experimental Botany*, 59, 165-176.
- Nikraves, M., Khldbryn, B., Nejadattari, I., & Najafi, F. (2016). Effect of sodium nitroprusside on some physiological factors of rapeseed under drought stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 29(3), 88-102. (In Persian)
- Palmgren, M. G., & Harper, J. F. (1999) Pumping with plant P-type ATPases. *Journal of Experimental Botany*, 50, 883-893.
- Shehab, G.G., Ahmad, O.K., & EL- Beltagi, H.S. (2010). Effects of various chemical agents for alleviation of drought stress in rice plants. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*, 38(1), 130-148.
- Sheokand, S., Bhankar, V., & Sawhney, V. (2010). Ameliorative effect of exogenous nitric oxide on oxidative metabolism in NaCl treated chickpea plants. *Brazilian society of plant Physiology*, 22(2), 81-90.
- Tan, J., Zhao, H., Y. Hong, Y., Li, H., & Zhao, W. (2008). Effects of exogenous nitric oxide on photosynthesis, antioxidant capacity and proline accumulation in wheat seedling subjected to osmotic stress. *World Journal of Agricultural Sciences*, 4, 307-313.

Tian, X.R. and Lei, Y.B. (2007). Physiological Responses of wheat Seedling to Drought and UV-B Radiation. Effect of exogenous Sodium Nitroprusside Application. *Plant Physiology*, 54(5), 763-769.

Yadollahi, P., & Asgharpour, M.R. (2014). The effect of sodium nitroprusside and ascorbic acid on the growth, morphological characteristics

and performance parchment pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) under irrigated conditions. *Journal of Crop*, 6(2), 29-45. (In Persian)

Zinali, A., Kianbakht, M., Siahmargui, A., Sheikh, F., & Pouri, Gh. (2015). Influence of planting date on yield and yield components of seed and green pod of three bean cultivars in Gorgan. *Journal of Crop Production*, 8(1), 119-99. (In Persian)