بررسی اثر تنش شوری بر فتوسنتز و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان ارقام کلزا در مرحله رشد رویشی

هادی چم‌حیدر[1*] و روزبه فرهودی[2]

۱) گروه علوم خاک، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.
۲) گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

*** نویسنده مسئول: chamheidar@yahoo.com**

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۲۳ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۰۱**

چکیده

این پژوهش به‌منظور بررسی واکنش ارقام کلزا به تنش شوری در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی در چهار تکرار در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی شوشتر انجام شد. در این آزمایش واکنش چهار رقم کلزا (هایولا ۳۲۰، هایولا ۳۳۰، آپشن ۵۰۰ و ساریگل) در مرحله رشد رویشی در چهار سطح شوری صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مول NaCl بررسی شد. نتایج نشان داد بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک اندام هوایی در بالاترین سطح تنش شوری در ارقام هایولا ۳۲۰ (۲/۸ گرم) و آپشن ۵۰۰ (۱/۵ گرم) دیده شد و بوته‌های رقم ساری‌گل در این سطح شوری از بین رفتند. تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار فتوسنتز و غلظت کلروفیل a وb ارقام کلزا شد، اما بیش‌ترین میزان فتوسنتز در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مول NaCl در ارقام هایولا ۳۲۰ و هایولا ۳۳۰ (۹/۳ و ۸/۹ میکرومول دی‌اکسیدکربن در مترمربع سطح برگ در ثانیه) مشاهده شد. تنش شوری موجب کاهش فعالیت آنزیم ساکاروز سنتتاز برگ ارقام کلزا شد، در حالی‌که تخریب غشا سلولی در واکنش به تنش شوری افزایش یافت و بیش‌ترین میزان غلظت مالون‌دی‌آلدهید در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مول NaCl در رقم آپشن ۵۰۰ مشاهده شد (۰/۰۵۱ نانومول بر گرم برگ). نتایج نشان داد ارقام هایولا ۳۲۰ و هایولا ۳۳۰ در شرایط تنش شوری از پایداری غشای سلولی، فتوسنتز، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان و فعالیت آنزیم ساکاروز سنتتاز بیش‌تری در مقایسه با ارقام آپشن ۵۰۰ و ساری‌گل برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: ساکاروز سنتتاز، غشای سلولی، کلروفیل و مالون‌دی‌آلدهید.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.39.2.6]

مقدمه

با وجود پتانسیل‌های مناسب جهت کشت دانه‌های روغنی در ایران، کشور ایران هنوز یکی از عمده‌ترین واردکنندگان دانه‌های روغنی بوده و تنها حدود ۱۲ درصد نیاز کشور به روغن گیاهی از منابع داخلی تأمین می‌شود. با توجه به گسترش روزافزون جمعیت کشور، آمارها حاکی از افزایش میزان واردات روغن‌های گیاهی به ایران هستند (آمارنامه وزارت صنعت، معدن و تجارت، ۱۳۹۳). افزایش قیمت دانه‌های روغنی در بازارهای جهانی ایجاب می‌کند که تلاش‌های به‌زراعی و به‌نژادی جهت گسترش و توسعه کشت گیاهان تولید کننده دانه‌های روغنی در ایران به‌عنوان یکی از اهداف استراتژیک در جهت امنیت غذایی مورد توجه قرار گیرد. از جمله این گیاهان می‌توان به کلزا اشاره نمود که می‌تواند به‌عنوان یک گیاه اصلی تولید کننده دانه‌های روغنی مورد استفاده قرار گیرد. در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ سطح زیر کشت کلزا در ایران ۴۰ هزار هکتار و در استان خوزستان ۱۸ هزار هکتار بوده است. در این سال از اراضی زیر کشت کلزا در خوزستان ۳۵ هزار تن دانه روغنی کلزا برداشت گردید (آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۴) که بیانگر اهمیت استان خوزستان در تولید دانه روغنی کلزا است. به دلیل محدودیت زمین‌های زراعی، افزایش تولید در واحد سطح برای تولید محصولات کشاورزی از جمله کلزا الزامی است (Harwood *et al.*, 2013)، اما رشد کلزا مانند سایر گیاهان زراعی تحت تاثیر شرایط تنش محیطی از جمله شوری قرار گرفته و کاهش می‌یابد (Singh *et al.*, 2014 ; Dogan *et al.*, 2011). براساس تعریف Shannon و Grieve (۱۹۹۹) تنش شوری عبارت است از حضور بیش از اندازه نمک‌های قابل حل و عناصر معدنی در محیط رشد ریشه که منجر به کاهش توانایی گیاه در جذب آب کافی از محلول خاک می‌شود. محققان اختلال در فرایند جذب آب توسط گیاهان، تجمع املاح مضر نظیر سدیم در بافت گیاهی و عدم توازن یون‌ها در خاک و گیاه را از اثر تنش شوری بیان نمودند که منجر به کاهش جوانه‌زنی، اختلال در رشد رویشی و کاهش عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (Jakab *et al.*, 2005). در گیاهان خانواده براسیکا از جمله کلزا درجات مختلفی از تحمل تنش شوری دیده می‌شود، که این گیاهان را از بسیار حساس به شوری تا متحمل به تنش شوری طبقه‌بندی می‌نماید (Ashraf and McNielly, 2004). تنش شوری با اثر گذاری بر فرآیندهایی مانند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پایداری کلروفیل و کارایی سیستم فتوسنتزی و فعالیت آنزیم‌های حیاتی نظیر آلفا آمیلاز بر جوانه‌زنی و رشد کلزا موثر است (راحمی کاریزکی، ۱۳۹۳؛ Ashraf and Ali, 2008؛ فرهودی، ۱۳۹۱). تنش شوری با اثر منفی بر میزان کلروفیل و هدایت روزنه‌ای برگ گیاهان سبب کاهش معنی‌دار فتوسنتز می‌شود (Shirazi *et al.*, 2005; Qasim *et al.*, 2003). شوری به تغییرات کمی و کیفی در ترکیب رنگدانه‌ای برگ گیاهان منجر می‌شود که این عمل بستگی به گیاه مورد مطالعه و میزان شوری دارد. در اغلب پژوهش‌ها کاهش محتوای کلروفیل برگ و اثر آن بر فتوسنتز به هنگام شوری گزارش شده است (چاپارزاده و زرندی، ۱۳۹۰). با افزایش میزان شوری

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.39.2.6]

در دو رقم کلزا، مقادیر کلروفیل‌های a و b کاهش معنی‌داری یافت که میزان کاهش کلروفیل b در تمامی تیمارها بیش‌تر از کلروفیل a بود (نظربیگی و ناصری، ۱۳۹۳). آبیاری با آب شور باعث کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای، میزان کلروفیل‌های b, a و کاروتنوییدها و همچنین فتوسنتز ارقام کلزا شد (طهماسبی و همکاران، ۱۳۹۵). با افزایش شوری میزان فتوسنتز و تولید زیست‌توده کلزا کاهش یافت (Xiong and Zhu, 2002 ؛کابوسی و شامیاتی، ۱۳۹۶). از جمله واکنش‌های فیزیولوژیک به تنش شوری سنتز اسمولیت‌های سازگار نظیر کربوهیدرات‌های محلول برگ و پرولین است. این ترکیبات آلی در تنظیم اسمزی دخالت دارند و موجب حفاظت ساختمان اندامک‌های مختلف سلول از خسارت‌های اکسیداتیو می‌شود (Smirnoff, 1993). تجمع مواد محلول فعال اسمزی مانند کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه آزاد طی تنش شوری، به‌عنوان سازوکار موثر در تحمل به شوری تایید شده است. سازگاری گونه‌های گیاهی به مقادیر بالای نمک خاک که منجر به منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی محلول خاک می‌شود، با تولید و تجمع این ترکیبات در گیاهان همراه می‌شود (Popova *et al.*, 2009). بررسی رشد گیاهچه‌های کلزای تحت تنش شوری در شرایط کشت درون شیشه نشان داد که طول ریشه و اندام هوایی، وزن خشک ریشه و اندام هوایی، مقدار کلروفیل a، کلروفیل کل و کاروتنوئیدهای گیاهچه در تنش شوری کاهش معنی‌داری داشت، در حالی‌که میزان تخریب غشاهای سلولی و تجمع اسمولیت‌های سازگار نظیر قندها و پرولین در تنش شوری افزایش یافت (رضوی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲). در شرایط تنش شوری صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت، عملکرد روغن و کارآیی مصرف آب دانه کلزا به‌صورت معنی‌داری تحت تاثیر رقم قرار گرفتند (کابوسی و نودهی، ۱۳۹۵). بررسی تخریب غشاهای سلولی و تولید مالون‌دی‌آلدهید ناشی از تخریب غشاهای سلولی یکی از معیارهای بررسی واکنش گیاهان به تنش‌های محیطی از جمله شوری است که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است (Munns, 2002). تنش اکسیداتیو ناشی از تولید و افزایش گونه‌های فعال اکسیژن در محیط سلول است که منجر به تخریب و اختلال در فعالیت زیرساخت‌های سلولی نظیر دیواره سلولی، کلروپلاست و آنزیم‌های حیاتی می‌شود (Ashraf and Ali, 2008). گیاهان قادرند با تولید انواع ترکیبات آنزیمی آنتی‌اکسیدان نظیر سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز اقدام به حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن و پاکسازی محیط سلول بنمایند (Meloni *et al.*, 2003). قربانلی و همکاران (۱۳۸۵) همبستگی مثبت و معنی‌داری میان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان پراکسیداز و کاتالاز با تحمل شوری ارقام کلزا مشاهده نمودند. Ashraf و Ali (۲۰۰۸) نیز گزارش نمودند تنش شوری سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز در برگ کلزا و کاهش اثر نامطلوب تنش شوری شد. فرهودی (۱۳۹۰) گزارش نمود تنش شوری سبب کاهش وزن خشک ارقام کلزا شد، اما ارقام متحمل به تنش شوری از فعالیت بیش‌تر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در برگ‌ها برخوردار بودند که منجر به تحمل تنش شوری در این ارقام در مقایسه با ارقام

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.39.2.6]

حساس به تنش شوری کلزا شد. ارزیابی تحمل به شوری دو رقم کلزا نشان داد که تنش شوری سبب کاهش قابل توجه وزن تر و خشک گیاه، رنگدانه‌های فتوسنتزی، آنتوسیانین‌ها و افزایش مالون‌دی‌آلدهید، پراکسید هیدروژن و فنول برگ شده است (Rasheed *et al.*, 2014). این تحقیق به منظور بررسی واکنش ارقام کلزا به تنش شوری و سازوکارهای احتمالی تحمل تنش شوری در مرحله رشد رویشی ارقام کلزا انجام شد.

مواد و روش ها

این آزمایش به‌منظور بررسی اثر تنش شوری بر رشد رویشی ارقام کلزا و همچنین بررسی سازوکارهای احتمالی تحمل شوری در میان این ارقام در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. عوامل این آزمایش عبارت بودند از چهار سطح شوری محلول صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مول نمک NaCl ساخت شرکت سیگما و چهار رقم کلزا (*Brassica napus* L.) پاییزه شامل هایولا ۳۲۰، هایولا ۳۳۰، آپشن ۵۰۰ و ساری‌گل. محیط کشت گلدان‌هایی به طول و عرض ۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر بود که توسط مخلوط خاک مزرعه و کود حیوانی پوسیده به نسبت سه به یک پر شده بود. ویژگی‌های خاک در جدول ۱ قابل مشاهده است. به‌منظور بهره‌مندی از شرایط طبیعی گلدان‌ها در هوای آزاد نگهداری می‌شدند. در زمان کاشت در هر گلدان ۳۰ عدد بذر از رقم مورد نظر کشت شد و بعد از استقرار گیاهچه‌ها بوته‌های اضافی تنک شده و در هر گلدان ۱۴ گیاهچه باقی ماند. هر کرت آزمایشی از دو گلدان تشکیل شده بود. تاریخ کشت هشت آبان ۱۳۹۵ بود و به‌منظور جلوگیری از اثر بارندگی بر گیاهان در زمان بارندگی سطح گلدان با ارتفاع یک متر توسط پوشش پلاستیکی پوشانده می‌شد. به‌منظور اعمال تنش شوری، ۱۰ روز پس از کشت بذرها، اولین آبیاری با آب شور (۵۰ میلی‌مول نمک NaCl) انجام شد. در ادامه آبیاری با تیمارهای مورد نظر آغاز شد. ۳۰ روز پس از آغاز تنش شوری برداشت گیاهان جهت بررسی صفات مورد نظر انجام شد.

جدول ۱: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک خشک)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک خشک)	مواد آلی (درصد)	اسیدیته خاک	EC (دسی زیمنس بر متر)	نیتروژن خاک (درصد)	بافت
۱۸۵	۱۳/۹	۰/۲۹	۷/۳	۱/۲	۰/۶۸	لومی رسی

برای بررسی وزن خشک بوته، پنج بوته از هر گلدان کف‌بر شده و به آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت منتقل شدند. وزن خشک بر اساس وزن خشک بوته محاسبه گردید. جهت بررسی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، ابتدا پروتئین گیاهچه استخراج شد (Agrawal *et al.*, 2005). برای بررسی فعالیت آنزیم گوایکول پراکسیداز مخلوط

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.39.2.6]

واکنش شامل بافر فسفات ۱۰میلی‌مولار، هشت میلی‌مولار گویاکول، ۲/۷۵ میلی‌مولار پراکسید هیدروژن و ۵۰ میکرولیتر محلول پروتئینی استخراج شده در ابتدای آزمایش بود. پس از اضافه کردن پراکسید هیدروژن بلافاصله افزایش جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر به مدت ۶۰ ثانیه قرائت شد. برای بررسی فعالیت آنزیم کاتالاز نیز ۵۰ میکرومول از محلول پروتئینی استخراج شده از گیاهچه به ۱۰۰ میلی‌مول بافر فسفات اضافه و سپس۳۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن نیز به مخلوط افزوده شد. در نهایت این مخلوط در کووت اسپکتروفتومتر ریخته شد و در طول موج ۲۴۰ نانومتر فعالیت آنزیمی بر اساس تغییرات جذب در ۶۰ ثانیه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین قرائت شد (Chance and Maehly, 1995). جهت بررسی فعالیت آنزیم گلاتیتیون رودوکتاز، ۸۰۰ میکرولیتر از محلول یک میلی‌مولار بافر فسفات با ۱۰ میلی‌مول گلاتیتیون، سه میلی‌مول کلرید منیزیم، یک و ۵۰ میکرولیتر محلول پروتئینی NADPH میلی‌مول استخراج شده از گیاهچه ترکیب و میزان جذب در طول موج ۳۴۰ نانومتر به مدت شش دقیقه و هر ۳۰ ثانیه یک‌بار بررسی شد (Oracz *et al.*, 2007). به‌منظور تعیین غلظت مالون‌دی‌آلدهید در برگ، ابتدا نیم گرم برگ تازه را در محلول ۲۰ درصد تیوکلرواستیک اسید که حاوی ۰/۵ درصد تیو باربیتوریک اسید بود، کاملا پودر کرده و آنگاه این مخلوط به مدت ۲۵ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد در حمام بن ماری حرارت داده شد. سپس این مخلوط را در حمام یخ سرد کرده و غلظت مالون‌دی‌آلدهید در طول موج ۵۳۲ نانومتر اندازه‌گیری شد (Valentovic *et al.*, 2006). به‌منظور بررسی غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ ابتدا ۰/۱ گرم برگ خشک آسیاب شده در یک لوله آزمایش ریخته شد و ۱۵ میلی‌لیتر الکل اتانول ۸۰ درصد در حال جوشیدن به آن اضافه شد. بعد از حدود ۲۰ ثانیه نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. بعد از این مدت محلول روشناور جدا شده و در یک لوله آزمایش دیگر ریخته شد. این عمل دو مرتبه تکرار شد. جهت تبخیر الکل اتانول نمونه‌ها به آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. در ادامه ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر به لوله‌های آزمایش اضافه شد. جهت حذف رسوبات اضافی مانند تانن‌ها ۴/۷ میلی‌لیتر هیدروکسید باریم ۰/۳ بدون تنش و سه دقیقه بعد پنج میلی‌لیتر سولفات روی ۵ درصد اضافه شد و به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. بعد از این مدت دو میلی‌لیتر عصاره روشناور جدا شد و به همراه یک میلی‌لیتر محلول فنول ۵ درصد به یک لوله آزمایش دیگر منتقل شده و به شدت تکان داده شد. سپس پنج میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۸ درصد به داخل هر لوله آزمایش اضافه شد. بعد از ۴۵ دقیقه و با تثبیت رنگ قهوه‌ای در نمونه‌ها میزان جذب با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۸۵ نانومتر قرائت شد. جهت قرائت ابتدا محلول‌های استاندارد صفر، ۱۰ الی ۱۰۰ ppm گلوکز ساخته شد و منحنی استاندارد رسم گردید. با استفاده از منحنی استاندارد و اعداد قرائت شده مقدار کربوهیدرات‌های محلول محاسبه شد (Dubois *et al.*, 1956). برای تعیین غلظت مجموع کلروفیل a و b برگ ابتدا نیم گرم برگ تازه با ده میلی‌لیتر محلول استون ۸۰ درصد کوبیده و

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.39.2.6]

له شد. سپس نمونه‌ها توسط کاغذ صافی صاف شدند و حجم آن توسط استون به ۵۰ میلی‌لیتر رسید. محلول حاصله توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. به این منظور ابتدا دستگاه با استون کالیبره شده و میزان جذب محلول در طول موج ۶۶۳ (کلروفیل a) و طول موج ۶۴۵ (کلروفیل b) بررسی شد. بر اساس اعداد خوانده شده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر غلظت مجموع کلروفیل بر اساس میکروگرم بر وزن تر برگ بیان شد (Gunes *et al.*, 2007). جهت اندازه‌گیری میزان فتوسنتز از دستگاه تحلیل‌گر گاز مادون قرمز (Model: LCA4) استفاده شد. نمونه‌گیری‌ها بین ساعت ۱۲ تا یک بعدازظهر انجام شد. برای ثبت میزان فتوسنتز (میکرومول دی‌اکسید کربن بر مترمربع در ثانیه) قسمتی از یک برگ بالغ در اتاقک شیشه‌ای انبرک دستگاه قرار گرفت و پس از ۶۰ ثانیه داده مربوطه ثبت شد. فعالیت آنزیم ساکاروز سنتتاز به‌روش Counce و Gravois (۲۰۰۶) بررسی شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به‌روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد آماری با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تمام صفات مورد بررسی ارقام کلزا تحت تاثیر شوری، رقم و برهم‌کنش شوری و رقم قرار گرفت (جدول ۲). اثر تنش شوری، رقم و برهم‌کنش شوری و رقم بر تمام صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.

وزن خشک اندام هوایی

نتایج نشان داد در تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری میان ارقام مورد بررسی از نظر وزن خشک اندام هوایی مشاهده نشد. در سطح شوری ۵۰ میلی مول NaCl نیز وزن خشک اندام هوایی ارقام هایولا ۳۲۰، هایولا ۳۳۰ و آپشن ۵۰۰ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر و شرایط شاهد نداشتند، اما وزن خشک رقم ساری‌گل کاهش معنی‌داری را در مقایسه با سایر ارقام نشان داد. در سطح شوری ۱۰۰ میلی مول NaCl ارقام هایولا ۳۲۰ و هایولا ۳۳۰ بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی (به‌ترتیب ۳/۵ و ۳/۴ گرم) را داشتند (جدول ۳). در بالاترین سطح تنش شوری نیز کم‌ترین و بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی ارقام کلزا در مقایسه با شاهد به ترتیب در ارقام هایولا ۳۲۰ (۲/۸ گرم) و آپشن ۵۰۰ (۱/۵ گرم) دیده شد و بوته‌های رقم ساری‌گل در این سطح شوری از بین رفتند. تنش شوری با اثرگذاری منفی بر فرآیندهای فیزیولوژیک ارقام کلزا موجب کاهش وزن خشک ارقام کلزا شد (کابوسی و شامیاتی، ۱۳۹۶). Ashraf و Ali (۲۰۰۸) مشاهده نمودند تنش شوری سبب کاهش رشد و تجمع ماده خشک در بوته کلزا می‌شود. کاهش آب قابل دسترس گیاه در کنار افزایش شدید تجمع سدیم در برگ کلزا و اثر منفی آن بر فتوسنتز دلیل این واکنش بود. Munns و James (۲۰۰۳) نیز با مطالعه واکنش ارقام گندم دوروم و فرهودی (۱۳۹۰) با بررسی واکنش کلزا به تنش شوری بررسی وزن خشک بوته و زیست‌توده را یکی از صفات

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.39.2.6]

اصلی قابل بررسی و قابل اطمینان جهت بررسی واکنش گیاهان به تنش شوری بیان نمودند.

جدول ۲: تجزیه واریانس میانگین مربعات اثر تنش شوری بر خصوصیات فیزیولوژیک ارقام کلزا

منبع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی	فتوسنتز	غلظت کلروفیل a	غلظت کلروفیل b	فعالیت آنزیم ساکاروز سنتتاز	غلظت مالون دی آلدهید برگ	فعالیت آنزیم گلوتاتیون رودوکتاز	فعالیت آنزیم کاتالاز	فعالیت آنزیم پراکسیداز
تکرار	۳	۵۵۸/۱ ns	۱۲۱/۱*	۱/۲ ns	۰/۸۱ ns	۲۱/۶ **	۰/۰۰۰۰۱**	۰/۳ ns	۰/۴ ns	۲۱/۴ ns
رقم	۳	۷۵۲۲/۲**	۵۸۷/۶**	۱۱/۲ **	۳/۵ **	۵۱/۴ **	۰/۰۰۰۱۱ **	۳/۹ *	۴/۲ **	۶۷/۲ **
شوری	۳	۶۴۵/۸**	۴۹۸/۲**	۹/۵ **	۵/۹ **	۳۸/۷ **	۰/۰۰۰۱۶**	۵/۴ *	۴/۸ **	۳۸/۱ **
رقم * شوری	۹	۶۱۱۸/۱**	۵۵۱/۲**	۵/۳ **	۲/۷ **	۴۵/۱ **	۰/۰۰۰۱۲**	۳/۵ **	۳/۲ **	۴۰/۵ **
خطای آزمایش	۴۵	۱۰۰۵/۲	۱۱۸/۲	۱/۹	۰/۸۹	۱۴/۳	۰/۰۰۱	۰/۹	۱/۱	۲۱/۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۳/۲	۱/۲	۱/۲۸	۱/۰۲	۱/۳۵	۳/۱۶	۳/۱	۱۰/۱	۵/۲

*، **: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد و ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

جدول ۳: مقایسه میانگین اثر رقم و شوری بر وزن خشک و فتوسنتز ارقام کلزا

رقم	سطوح شوری (میلی مول NaCl)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	فتوسنتز (میکرومول دی اکسید کربن در سانتی‌متر مربع سطح برگ در ثانیه)	غلظت کلروفیل a (میلی گرم بر گرم وزن تر)	غلظت کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر)	فعالیت آنزیم ساکاروز سنتتاز (نانومول بر میلی گرم پروتیین در دقیقه)
هایولا ۳۲۰	صفر	۴/۷ a	۱۱/۵ a	۲/۲۱ a	۱/۸۸ a	۱۰/۴ a
هایولا ۳۳۰		۴/۵ a	۱۰/۸ a	۲/۱۴ a	۱/۷۹ a	۱۰/۰ a
آپشن ۵۰۰		۴/۷ a	۱۱/۳ a	۲/۲۲ a	۱/۹۰ a	۹/۷ a
ساری‌گل		۴/۶ a	۱۲/۲ a	۲/۱۵ a	۱/۸۷ a	۱۰/۳ a
هایولا ۳۲۰	۵۰	۴/۶ a	۱۱/۷ a	۲/۱۹ a	۱/۷۰ a	۹/۵ a
هایولا ۳۳۰		۴/۶ a	۱۰/۵ a	۲/۱۷ a	۱/۸۱ a	۹/۹ a
آپشن ۵۰۰		۳/۵ ab	۸/۴ b	۱/۴۱ b	۱/۰ b	۷/۰ b
ساری‌گل		۳/۱ b	۸/۶ b	۱/۳۸ b	۰/۹۹ b	۷/۳ b
هایولا ۳۲۰	۱۰۰	۳/۵ ab	۹/۳ b	۱/۳۹ b	۱/۰۱ b	۸/۳ ab
هایولا ۳۳۰		۳/۴ ab	۸/۹ b	۱/۳۵ b	۱/۰۶ b	۷/۳ b
آپشن ۵۰۰		۲/۵ c	۷/۱ c	۰/۸۸ cd	۰/۸۰ c	۵/۳ c
ساری‌گل		۲/۱ c	۴/۷ e	۰/۷۷ d	۰/۶۸ d	۴/۱ de
هایولا ۳۲۰	۱۵۰	۲/۸ b	۷/۴ c	۱/۱۲ c	۱/۰۲ b	۶/۵ bc
هایولا ۳۳۰		۲/۰ c	۶/۱ d	۰/۷۱ de	۰/۸۵ c	۴/۷ d
آپشن ۵۰۰		۱/۵ d	۴/۲ e	۰/۵۶ e	۰/۶۴ d	۳/۴ e
ساری‌گل		----	----	----	----	----

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند، دارای تفاوت آماری در سطح پنج درصد نمی‌باشند.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.39.2.6]

Sharifi و همکاران (۲۰۰۶) با مطالعه واکنش سویا به تنش شوری، عوامل مختلفی چون کاهش فتوسنتز، تخریب غشاهای سلولی، کاهش آب قابل دسترس گیاه و تجمع یون سدیم در برگ را از عوامل اصلی کاهش وزن گیاهچه سویا بیان نمودند. در پژوهش حاضر نیز ارقام هایولا ۳۳۰ و هایولا ۳۲۰ در شرایط تنش شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مول NaCl از فتوسنتز، غلظت کلروفیل و فعالیت آنزیم ساکاروز سنتتاز بیش‌تری در مقایسه با سایر ارقام برخوردار بودند، در حالی‌که میزان تخریب غشای سلولی این ارقام در مقایسه با ارقام ساری‌گل و آپشن ۵۰۰ کم‌تر بود. مجموع این عوامل سبب گردید که ارقام هایولا ۳۳۰ و هایولا ۳۲۰ از وزن خشک اندام هوایی بیش‌تری برخوردار باشند.

غلظت کلروفیل برگ و میزان فتوسنتز

بررسی غلظت کلروفیل a و کلروفیل b برگ ارقام کلزا نشان داد تنش شوری ۵۰ میلی‌مول NaCl سبب کاهش معنی‌دار غلظت کلروفیل a و b در برگ ارقام ساری‌گل و آپشن ۵۰۰ شد. تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مول NaCl نیز سبب کاهش معنی‌دار غلظت کلروفیل a و b در گیاهچه تمامی ارقام کلزا مورد بررسی در مقایسه با شاهد شد. در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مول NaCl کم‌ترین غلظت کلروفیل a در ارقام هایولا ۳۳۰ و آپشن ۵۰۰ به میزان ۰/۷۱ و ۰/۵۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر دیده شد، درحالی‌که بیش‌ترین غلظت کلروفیل a در این سطح شوری در رقم هایولا ۳۲۰ به میزان ۱/۱۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مشاهده شد. بررسی غلظت کلروفیل b نیز نشان داد در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مول NaCl ارقام هایولا ۳۲۰ و هایولا ۳۳۰ بیش‌ترین غلظت کلروفیل b را داشتند (۱/۰۱ و ۱/۰۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر). در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مول NaCl بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت کلروفیل b در ارقام هایولا ۳۲۰ و آپشن ۵۰۰ به میزان ۱/۰۲ و ۰/۶۴ میلی‌گرم بر وزن تر مشاهده شد (جدول ۳). عموآقایی و قربان‌نژاد (۱۳۹۳) با بررسی اثر تنش شوری بر ارقام کلزا دریافتند که افزایش سطح شوری موجب کاهش وزن تر و خشک ساقه و ریشه، محتوای کلروفیل و وزن گیاهچه ارقام کلزا شد. ایشان بیان نمودند محتوای کلروفیل بالاتر به‌عنوان بخشی از سازوکار مقاومت در برابر شوری در ارقام متحمل کلزا درنظر گرفته شود. آذری و همکاران (۱۳۹۱) نیز با مطالعه واکنش ارقام مختلف کلزا به تنش شوری مشاهده نمودند، تنش شوری باعث کاهش میزان کلروفیل‌های a و b برگ تحت تاثیر تجمع یون سدیم در برگ شد. تنش شوری ۵۰ میلی‌مول NaCl، فتوسنتز ارقام آپشن ۵۰۰ و ساری‌گل را در مقایسه با شرایط نرمال کاهش داد (۸/۴ و ۸/۶ میکرومول دی‌اکسیدکربن در مترمربع سطح برگ در ثانیه). تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مول NaCl سبب کاهش معنی‌دار فتوسنتز در برگ کلیه ارقام کلزا در مقایسه با شاهد شد. کم‌ترین میزان فتوسنتز در رقم ساری‌گل (۴/۷ میکرومول دی‌اکسیدکربن در مترمربع سطح برگ در ثانیه) و بیش‌ترین میزان فتوسنتز در ارقام هایولا ۳۲۰ و هایولا ۳۳۰ (۹/۳ و ۸/۹ میکرومول دی‌اکسیدکربن در مترمربع سطح برگ در ثانیه) شد. در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مول NaCl، کم‌ترین و بیش‌ترین میزان فتوسنتز برگ در ارقام آپشن

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.39.2.6]

۵۰۰ و هایولا ۳۲۰ به‌میزان ۷/۴ و ۴/۲ میکرومول دی‌اکسیدکربن در مترمربع سطح برگ در ثانیه مشاهده شد (جدول ۳). کاهش غلظت کلروفیل و تبادلات گازی برگ تحت تاثیر تخریب غشاهای سلولی و تجمع یون‌های مضر در شرایط تنش شوری موجب کاهش فتوسنتز کلزا (فرهودی، ۱۳۹۰) و گندم (Shirazi *et al.*, 2005) شد. نتایج مطالعات بایبوردی و همکاران (۱۳۸۹) نشان داد که در ارقام پاییزه کلزا همراه با افزایش شوری، میزان فتوسنتز همگام با کاهش کلروفیل کل و a و b کاهش یافت که با تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. در پژوهش حاضر ارقام هایولا ۳۲۰ و هایولا ۳۳۰ در شرایط تنش شوری از غلظت کلروفیل a و b بیش‌تری برخوردار بودند که منجر به حفظ پایداری فتوسنتز و وزن خشک بیش‌تر اندام هوایی در شرایط تنش شوری در مقایسه با ارقام آپشن ۵۰۰ و ساری‌گل شد.

فعالیت آنزیم ساکاروز سنتتاز

تنش شوری ۵۰ میلی‌مول NaCl فعالیت آنزیم ساکاروز سنتتاز را در ارقام آپشن ۵۰۰ و ساری‌گل در مقایسه با شاهد کاهش داد. در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مول NaCl ارقام هایولا ۳۳۰ و هایولا ۳۲۰ بیش‌ترین فعالیت آنزیم ساکاروز سنتتاز را به خود اختصاص می‌دادند (۷/۳ و ۸/۳ نانومول بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه)، درحالی‌که رقم ساری‌گل کم‌ترین فعالیت آنزیم ساکاروز سنتتاز را در این سطح شوری به خود اختصاص داد (۴/۱ نانومول بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه). در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مول NaCl، نیز بیش‌ترین و کم‌ترین فعالیت آنزیم ساکاروز سنتتاز در ارقام هایولا ۳۲۰ و آپشن ۵۰۰ مشاهده شد (به ترتیب ۶/۵ و ۳/۴ نانومول بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) (جدول ۳). تنش شوری با اثر منفی بر فعالیت آنزیم‌های حیاتی نظیر آلفا آمیلاز و ساکاروز سنتتاز موجب اختلال در جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گیاهان خانواده براسیکا شد (Ashraf and McNielly, 2004). کاهش فعالیت آنزیم ساکاروز سنتتاز و توانایی فتوسنتز برگ لوبیا تحت تاثیر تخریب غشاهای سلولی برگ در شرایط تنش شوری موجب کاهش رشد گیاهچه لوبیا شد (Cavalanti *et al.*, 2007). تنش شوری بر فعالیت فتوسیستم‌های ۱ و ۲، آنزیم‌های مسیر ساخت ساکاروز و متابولیسم کربوهیدرات‌ها در برگ پنبه اثر منفی داشت که منجر به کاهش تبدیل گلوکز به ساکاروز و اختلال در رشد برگ گیاهچه پنبه گردید (Peng *et al.*, 2016). آنزیم ساکاروز سنتتاز وظیفه تبدیل گلوکز به ساکاروز را بر عهده دارد و ساکاروز نیز به مصارف مختلفی چون رشد سلول‌ها و ذخیره‌سازی مواد غذایی در سلول‌ها می‌رسد. حفظ فعالیت این آنزیم در شرایط تنش شوری کمک می‌کند که مواد فتوسنتزی تولید شده صرف رشد گیاه و افزایش سطح برگ گردند. در پژوهش حاضر نیز ارقام هایولا ۳۲۰ و هایولا ۳۳۰ در شرایط تنش شوری از فعالیت بیش‌تر این آنزیم و میزان فتوسنتز بیش‌تر در مقایسه با دو رقم دیگر برخوردار بودند که در نهایت منجر به بیش‌تر بودن وزن خشک اندام هوایی کلزا در ارقام هایولا ۳۳۰ و هایولا ۳۲۰ تحت شرایط تنش شوری در مقایسه با ارقام آپشن و ساری‌گل شد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.39.2.6]

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

نتایج نشان داد تنش شوری ۵۰ میلی‌مول NaCl سبب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم پراکسیداز در تمام ارقام به جز ساری‌گل شد (جدول ۴). سطوح تنش شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مول NaCl سبب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم پراکسیداز در تمامی ارقام کلزا در مقایسه با شاهد شد که این افزایش در ارقام هایولا ۳۲۰ و هایولا ۳۳۰ بیش از ارقام دیگر بود. پراکسیداز مجموعه‌ای از آنزیم‌های چرخه آسکوربات- گلوتاتیون رودوکتاز هستند که قادرند با حذف آب اکسیژنه آن را به آب تبدیل کنند. بسیاری از محققان فعالیت این آنزیم‌ها را به‌عنوان یک عامل کلیدی جهت حفاظت گیاهان در مقابل تنش‌های محیطی عنوان نموده‌اند (Meloni *et al.*, 2003). پژوهشگران گزارش نمودند تنش شوری سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز در برگ کلزا و کاهش اثرات نامطلوب تنش شوری شد (Ashraf and Ali, 2008). Meloni و همکاران (۲۰۰۳) نیز با مطالعه پنبه در شرایط تنش شوری مشاهده نمودند که افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت تاثیر تنش شوری منجر به کاهش تخریب غشاهای سلولی و آسیب دیدگی گیاهچه پنبه شد. در آزمایش حاضر رقم هایولا ۳۲۰ در بالاترین سطح تنش شوری بیش‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز و کم‌ترین میزان تخریب غشا سلولی را داشت (جدول ۴). Sariam و همکاران (۲۰۰۲) گزارش نمودند که افزایش تنش شوری در محیط رشد ارقام گندم منجر به افزایش تخریب غشاهای سلولی شد، در حالی‌که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز و پراکسیداز نقش به‌سزایی در کاهش فعالیت رادیکال‌های آزاد اکسیژن ناشی از تنش شوری در برگ گیاهان زراعی دارد (Bandegolu *et al.*, 2004 ؛ Agrawal *et al.*, 2005). بررسی فعالیت آنزیم کاتالاز نشان داد تنش شوری در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مول NaCl فعالیت آنزیم کاتالاز در ارقام هایولا ۳۲۰ و هایولا ۳۳۰ به ۴/۷ و ۵/۲ میلی‌گرم جذب در دقیقه افزایش یافت. برتری فعالیت آنزیم کاتالاز در ارقام هایولا ۳۲۰ و هایولا ۳۳۰ در مقایسه با رقم آپشن ۵۰۰ در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مول NaCl نیز مشاهده شد (جدول ۴). حبیب اللهی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش نمودند فعالیت آنزیم کاتالاز در تحمل شوری ارقام برنج نقش مثبتی داشت. Sreenivasulu و همکاران (۲۰۰۰) واکنش گیاهچه‌های ارزن دم روباهی به تنش شوری را بررسی نمودند. ایشان همبستگی مثبت و معنی‌داری میان سلامت غشا سلولی و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در ارزن تحت تاثیر تنش شوری مشاهده نمودند. نتایج نشان داد تنش شوری ۵۰ میلی‌مول NaCl سبب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم گلوتاتیون رودوکتاز برگ ارقام کلزا در مقایسه با شاهد شد. در سطح تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مول NaCl، فعالیت آنزیم گلوتاتیون رودوکتاز در ارقام هایولا ۳۲۰ و هایولا ۳۳۰ در مقایسه با سطح شوری ۵۰ میلی‌مول NaCl به ۴/۹ و ۴/۷ نانومول NADPH بر میلی‌گرم پروتئین بر دقیقه افزایش یافت، اما فعالیت این آنزیم در ارقام آپشن ۵۰۰ و ساری‌گل در مقایسه با شوری ۵۰ میلی‌مول NaCl تغییر نیافت. در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مول NaCl

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.39.2.6]

نیز رقم هایولا ۳۲۰ بیش‌ترین فعالیت آنزیم گلوتاتیون رودوکتاز به میزان ۵/۵ نانومول NADPH بر میلی‌گرم پروتئین بر دقیقه را به خود اختصاص داد که بیانگر تفاوت معنی‌دار در فعالیت این آنزیم آنتی‌اکسیدان در میان ارقام کلزا مورد بررسی است. تحقیقات نشان داد فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و اسکوربات پراکسیداز در هر دو بخش ساقه و ریشه ارقام کلزا تحت تاثیر تنش شوری قرار گرفت و افزایش یافت، زیرا این آنزیم‌ها در کاهش اثرات منفی ناشی از تنش شوری موثر هستند (حیدری و همکاران، ۱۳۸۹).

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر رقم و شوری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ارقام کلزا

رقم	سطوح شوری (میلی مول NaCl)	غلظت مالون دی آلدهید (نانو مول بر گرم برگ تر)	فعالیت گلوتاتیون رودوکتاز (نانومولNADPH برمیلی گرم پروتئین بردقیقه)	فعالیت آنزیم پراکسیداز (میلی گرم جذب در دقیقه)	فعالیت آنزیم کاتالاز (میلی گرم جذب در دقیقه)
هایولا ۳۲۰	صفر	۰/۰۰۱۲ e	۱/۶ d	۳/۳ f	۱/۷ e
هایولا ۳۳۰		۰/۰۰۱۸ e	۱/۸ d	۳/۷ f	۱/۳ e
آپشن ۵۰۰		۰/۰۰۱۳ e	۱/۸ d	۳/۲ f	۱/۵ e
ساری‌گل		۰/۰۰۱۵ e	۱/۳ e	۳/۵ f	۱/۶ e
هایولا ۳۲۰	۵۰	۰/۰۰۱۷ e	۳/۳ c	۶/۴ e	۲/۳ d
هایولا ۳۳۰		۰/۰۰۱۹ e	۳/۵ c	۶/۲ e	۲/۵ d
آپشن ۵۰۰		۰/۰۱۶ d	۳/۸ c	۷/۳ e	۲/۶ d
ساری‌گل		۰/۰۳۷ b	۳/۲ cd	۴/۱ f	۲/۳ d
هایولا ۳۲۰	۱۰۰	۰/۰۱۵ d	۴/۷ b	۱۷/۲ a	۴/۷ a
هایولا ۳۳۰		۰/۰۱۷ d	۴/۹ b	۱۴/۲ b	۵/۲ a
آپشن ۵۰۰		۰/۰۳۱ c	۳/۸ c	۱۲/۰ c	۳/۷ b
ساری‌گل		۰/۰۴۳ b	۳/۸ c	۹/۴ d	۲/۹ bc
هایولا ۳۲۰	۱۵۰	۰/۰۳۲ c	۵/۵ a	۱۶/۷ a	۵/۱ a
هایولا ۳۳۰		۰/۰۴۴ b	۴/۵۰ b	۱۲/۹ c	۴/۹ a
آپشن ۵۰۰		۰/۰۵۱ a	۴/۱ bc	۷/۴ e	۳/۱ c
ساری‌گل		----	----	----	----

اثر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و گلوتاتیون رودوکتاز در برگ کلزا تحت تاثیر تنش شوری موجب حفاظت از فرآیندهای فیزیولوژیک کلزا در مقابل تنش شوری شد (بابیوردی و همکاران، ۱۳۸۹). پژوهش حاضر نشان داد افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهچه کلزا منجر به کاهش تخریب غشا سلولی کاهش اثرات منفی رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌گردد، زیرا ارقام هایولا ۳۳۰ و هایولا ۳۲۰ در سطوح شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مول NaCl از فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بیش‌تری برخوردار بودند که منجر به افزایش پایداری غشا سلولی گیاهچه این ارقام در مقایسه با ارقام آپشن ۵۰۰ و ساری‌گل شد. بین پایداری غشا سلولی و افزایش پایداری کلروفیل و شرایط فتوسنتزی کلزا در شرایط تنش شوری همبستگی مثبت و معنی داری دیده می شود (Ashraf and Ali, 2008) که در نهایت منجر به بهبود تولید وزن خشک و سطح برگ در مقایسه با گیاهانی می‌گردد که میزان تخریب غشا سلولی در آنها بالاست.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.39.2.6]

غلظت مالون‌دی‌آلدهید برگ

بررسی تغییرات غلظت مالون‌دی‌آلدهید برگ ارقام کلزا نشان داد که در سطح شاهد تفاوت معنی‌داری میان ارقام کلزا از نظر غلظت مالون‌دی‌آلدهید برگ وجود نداشت. در سطح شوری ۵۰ میلی‌مول NaCl تفاوت معنی‌داری میان غلظت مالون‌دی‌آلدهید بافت برگ ارقام هایولا ۳۳۰ و هایولا ۳۲۰ با شرایط شاهد وجود نداشت، در حالی‌که غلظت این ترکیب در ارقام آپشن ۵۰۰ و ساری‌گل به‌ترتیب به ۰/۰۱۶ نانومول بر گرم برگ و ۰/۰۳۷ نانومول بر گرم برگ افزایش یافت (جدول ۴). در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مول NaCl کم‌ترین غلظت مالون‌دی‌آلدهید برگ در رقم هایولا ۳۲۰ به میزان ۰/۰۳۲ نانومول بر گرم برگ مشاهده شد، درحالی‌که رقم آپشن ۵۰۰ بیش‌ترین غلظت مالون‌دی‌آلدهید برگ به میزان ۰/۰۵۱ نانومول بر گرم برگ را به خود اختصاص داد. افزایش غلظت مالون‌دی‌آلدهید بیانگر تخریب غشا سلولی بوده و به‌عنوان یک معیار از میزان حساسیت گیاهان به تنش‌های محیطی بررسی می‌شود (Munns, 2003). محققین بررسی میزان تخریب غشا سلولی و غلظت مالون‌دی‌آلدهید برگ را به‌عنوان یک شاخص مناسب برای بررسی واکنش ارقام کلزا به تنش شوری بیان نمودند (Ashraf and Ali, 2008). Gunes و همکاران (۲۰۰۷) مشاهده نمودند تنش شوری موجب افزایش معنی‌دار غلظت مالون دی‌آلدهید برگ ذرت گردید. در آزمایش حاضر ارقام آپشن ۵۰۰ و ساری‌گل که بیش‌ترین غلظت مالون‌دی‌آلدهید و تخریب غشا سلولی را در سطوح شوری بالا داشتند، کم‌ترین وزن خشک گیاهچه و فتوسنتز را در این سطوح شوری به خود اختصاص دادند (جدول ۳) که نشانگر اثر منفی تنش شوری بر غشا سلولی و اختلال در رشد کلزا است. Bandeoglu و همکاران (۲۰۰۴) افزایش غلظت مالون‌دی‌آلدهید برگ تحت تاثیر تنش شوری را در گیاهچه‌های برنج گزارش نمودند. ایشان بیان نمودند که تخریب غشاهای سلولی تحت تاثیر تنش شوری و تولید مالون‌دی‌آلدهید برگ که ناشی از تخریب و تجزیه چربی‌های غشا سلولی است می‌تواند به‌عنوان یک معیار مناسب برای بررسی واکنش گیاه برنج به تنش شوری بررسی شود. عموآقایی و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی اثر تنش شوری بر ارقام کلزا دریافتند که افزایش سطح شوری موجب تخریب غشا سلولی و افزایش نشت‌پذیری غشا سلولی ارقام کلزا شد. ایشان تجمع یون‌های مضر در برگ کلزا را عامل اصلی نشت‌پذیری و تخریب غشا سلولی کلزا عنوان نمودند. در پژوهش حاضر ارقام ساری‌گل و آپشن ۵۰۰ در شرایط تنش شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مول NaCl بیش‌ترین میزان تخریب غشا سلولی و افزایش غلظت مالون‌دی‌آلدهید را داشتند که ناشی از کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در این ارقام در مقایسه با ارقام هایولا ۳۲۰ و هایولا ۳۳۰ بود. تخریب غشا سلولی منجر به کاهش فتوسنتز، کاهش غلظت کلروفیل و در نهایت کاهش وزن خشک اندام هوایی گیاه کلزا شد که در این تحقیق اثرات آن کاملا بارز است.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.39.2.6]

نتیجه‌گیری

حضور گونه‌های فعال اکسیژن در محیط سلولی، سبب تخریب غشاهای سلولی و کاهش فعالیت آنزیم‌های حیاتی می‌شود. نتایج آزمایش حاضر نشان داد که افزایش سطح تنش شوری سبب تخریب غشاهای سلولی و افزایش غلظت مالون‌دی‌آلدهید برگ شد که شدت تخریب غشا سلولی در رقم آپشن ۵۰۰ بیش از سه رقم دیگر بود. همچنین نتایج نشان داد که در بالاترین سطح تنش شوری رقم هایولا ۳۲۰ که کم‌ترین نشت‌پذیری غشا سلولی و غلظت مالون‌دی‌آلدهید برگ را داشت، بیش‌ترین وزن خشک گیاهچه، فتوسنتز و میزان کلروفیل برگ را به خود اختصاص داد. این موضوع بیانگر رابطه منفی میان افزایش غلظت مالون‌دی‌آلدهید برگ ناشی از تنش شوری با رشد گیاه است. تنش شوری موجب تشدید فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برگ ارقام کلزا شد که بیانگر بروز تنش اکسیداتیو ناشی از تنش شوری است. در تمام سطوح شوری، ارقام هایولا ۳۲۰ و هایولا۳۳۰ دارای فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بیش‌تری در مقایسه با رقم آپشن ۵۰۰ بودند که موجب تحمل شوری در ارقام هایولا ۳۲۰ و هایولا۳۳۰ شد. با توجه به نتایج می‌توان گفت رقم هایولا ۳۲۰ و پس از آن رقم هایولا ۳۳۰ در مقایسه با سایر ارقام مورد مطالعه تحمل نسبی به تنش شوری دارند، زیرا وزن خشک گیاه این ارقام در تمام سطوح شوری و از جمله بالاترین سطح شوری در مقایسه با شاهد کم‌تر از سایر ارقام کاهش یافت و فرآیندهای فیزیولوژیک این ارقام نظیر پایداری غشا سلولی، فتوسنتز و فعالیت آنزیم ساکاروز سنتتاز کم‌تر تحت تاثیر شوری قرار گرفت.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی است که با حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر انجام شد که بدینوسیله از این حوزه تشکر می‌گردد.

منابع

آذری، آ.، مدرس‌ثانوی، س.ع.م.، عسکری، ح.، قناتی، ف.، ناجی، ا.م. و علیزاده، ب. ۱۳۹۱. اثر تنش شوری بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک دو گونه کلزا و شلغم روغنی. مجله علوم زراعی ایران. ۲: ۱۳۵-۱۲۱.

آمارنامه وزارت صنعت، معدن و تجارت. ۱۳۹۳. وزارت بازرگانی، تهران. ایران.

آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی. ۱۳۹۴. وزارت جهاد کشاورزی. تهران. ایران.

بایبوردی، ا.، سیدطباطبایی، س.ج. و احمداف، ع. ۱۳۸۹. تاثیر تنش شوری ناشی از کلرور سدیم بر خصوصیات فیزیولوژیکی، کمیت و کیفیت ارقام پاییزه کلزا. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲: ۳۴۶-۳۳۴.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.39.2.6]

زرندی، ل. و چاپارزاده، ن. ۱۳۹۰. اثر شوری بر محوای رنگداه‌ای و رشد دو رقم کلزا (*Brassica napus*). زیست‌شناسی گیاهی ایران. ۹(۳): ۲۶-۱۳.

حبیب اللهی، ن.، مهدیه، م. و امیرجانی، م. ۱۳۹۱. اثر تنش شوری بر رشد، پرولین، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کارآیی فتوسیستم II در ارقام حساس و مقاوم برنج. زیست‌شناسی گیاهی. ۱۳: ۹۶-۸۵.

حیدری، م.، مصری، ف. و کیخا، ز. ۱۳۸۹. اثر تنش شوری بر متابولیسم اسیدهای نوکلئیک، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، فلورسانس کلروفیل و تنظیم کننده‌های اسمزی پنج رقم کلزا. ۳: ۵۰۲-۴۹۱.

راحمی کاریزکی، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی مقاومت به سطوح شوری ارقام کلزا در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه. نشریه تحقیقات بذر. ۴(۱۲): ۹-۱.

رضوی‌زاده، ر.، کاظم‌زاده، م و انتشاری، ش. ۱۳۹۲. اثر پاکلوبوترازول بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاهچه‌های کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط تنش شوری. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی – دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۹(۵): ۴۸-۳۵.

طهماسبی، ف.، حسیبی، پ. و مسکرباشی، م. ۱۳۹۵. بررسی اثر سطوح مختلف شوری بر برخی خصوصیات فتوسنتزی ارقام کلزا (*Brassica napus* L.). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱(۱۴): ۱۵۳-۱۴۴.

عموآقایی، ر. و قربان‌نژاد، ه. ۱۳۹۳. بررسی اثر شوری بر رشد گیاهچه، میزان کلروفیل، محتوای نسبی آب و پایداری غشا در دو رقم کلزا. مجله پژوهش‌های گیاهی. ۲: ۲۶۸-۲۵۶.

فرهودی، ر. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر تنش شوری بر رشد رویشی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و غلظت مالون‌دی‌آلدهید برگ ارقام کلزا. پژوهش‌های زراعی ایران. ۱: ۱۳۰-۱۲۳.

فرهودی، ر. ۱۳۹۱. اثر تنش شوری بر فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز، نشت‌پذیری غشا سلولی و رشد گیاهچه ارقام کلزا. فرآیند و کارکرد گیاهی. ۱: ۲۵-۱۴.

قربانلی، م.، ساطعی، آ. و مقیسه، آ. ۱۳۸۲. تاثیر مقادیر متفاوت شوری بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و نیترات ردکتاز در ریشه و برگ‌های ارقام کلزا. مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی. ۵۸: ۴۳-۳۹.

کابوسی،ک. و شامیاتی، م. ۱۳۹۶. اثر تنش شوری بر خصوصیات رویشی و عملکرد کمی و کیفی ارقام مختلف کلزا. نشریه تنش های محیطی در علوم زراعی.۱۰: ۳۴۳-۳۳۱.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.39.2.6]

کابوسی، ک. و نودهی، آ. ۱۳۹۵. اثر سطوح تنش شوری بر صفات کمی و کیفی ارقام مختلف کلزا در شرایط کاربرد ورمی‌کمپوست. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۳: ۱۵۱-۱۳۳.

نظربیگی، ا. و ناصری، ر. ۱۳۹۳. اثر جیبرلیک اسید و سالیسیلیک اسید تحت تنش شوری بر جذب یونی و ویژگی‌های برگی دو رقم کلزا. نشریه اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱(۲۹): ۱۶-۱.

Agrawal, S., Sairam, R. K., Srivasta, G. C., Tyagi, A. and Meena, R. C. 2005. Role of ABA, salicylic acid, calcium and hydrogen peroxide on antioxidant enzymes induction in wheat seedling. Plant Science. 169: 559-570.

Ashraf, M. and Ali, Q. 2008. Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). Environmental and Experimental Botany. 63: 266–273.

Ashraf, M. and McNeilly, T. 2004. Salinity tolerance in Brassica oilseeds. Critical Review of Plant Science. 23(2): 157-174.

Bandeoglu, E., Eyidogan, F., Yucel, M. and Oktem, H. A. 2004. Antioxidant response of shoots and roots of lentil to NaCl Salinity stress. Plant Growth Regulation. 42: 69-77.

Cavalanti, F. R., Limaو J. P. M. S., Silvaو S. L. F., Viegas, R. A. and Silveiraو J. A. G. 2007. Roots and leaves display contrasting oxidative response during salt stress and recovery in cowpea. Journal of Plant Physiology. 164: 591-600.

Chance, B. and Maehly, A. C. 1995. Assay of catalase and peroxidases. Methods of Enzymology. 11: 764-775.

Counce, P. A., Gravois, K. A. 2006. Sucrose synthase activity as a potential indicator of high rice grain yield. Crop Science. 46:1501-1508.

Dogan, E., Copur, O., Kahraman, A., Kirnak, H. and Guldur, M. E. 2011. Supplemental irrigation effect on canola yield components under semiarid climatic conditions. Agric Water Manage. 98: 1403–1408.

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

Gunes, A., Inal, A., Alpuslan, M., Fraslan, F., Guneri, E. and Cicek, N. 2007. Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize grown under salinity. Journal of Plant Physiology. 164: 728-736.

Harwood, J. L., Ramli, U. S., Tang, M., Quant, P. A., Weselake, R. J. and Fawcett, T. 2013. Regulation and enhancement of lipid accumulation in oil crops: the use of metabolic control analysis for informed genetic manipulation. Europian Journal of Lipid Science and Technology. 115: 1239–46.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.39.2.6]

Jakab, G., Ton, J., Flors, V., Zimmerli, L., Metraux, J. P. and Mauch-Mani, B. 2005. Enhancing Arabidopsis salt and drought stress tolerance by chemical priming for its ABA Response. Plant Physiology. 139: 267-274.

Meloni, D. A, Oliva, M. A., Martinez, C. A. and Cambraia, J. 2003. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. Brazilian Journal of Plant Physiology. 15(2): 12-21.

Munns, R. and James, R. A. 2003. Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. Plant and Soil. 253: 201-218.

Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment 25: 239-250.

Oracz, K., Bailly, C., Gniazdowska, A., Côme, D., Corbineau, D. and Bogatek, R. 2007. Induction of oxidative stress by sunflower phytotoxins in germinating mustard seeds. Journal of chemical ecology. 33: 251-264.

Peng, J., Liu, J., Sui, N., Zhou, Z., and Meng, Y. 2016. Effects of soil salinity on sucrose metabolism in cotton leaves. Plos One. 11(5): 825-831.

Popova, L. P., Maslenkova, L. T., Yordanova, R. Y., Ivanova, A. P., Krantev, A. P., Szalai, G., and Janda T. 2009. Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings. Plant Physiology and Biochemistry. 47: 224-231.

Qasim, M., Ashraf, M., Jamil, M. A., Ashraf, M. Y., Rehman, S. and Rha, E. S. 2003. Water relations and gas exchange properties in some elite canola (*Brassica napus L.*) lines under salt stress. Annual Application of Biology. 142: 307-316.

Rasheed, R., Ashraf, M., Sumaira, P., Iqbal, M. and Iqbal, H. 2014. Effect of salt stress on different growth and biochemical attributes in two canola (*Brassica napus L.*) cultivars. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 45: 669-679.

Sariam, R. K., Rao, K. V. and Srivastava, G. C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Science. 163: 1037-1046.

Shannon, M. C. and Grieve, C. M. 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. Scientia Horticulture. 78: 5-8.

Sharifi, M., Ghorbanli, M. and Ebrahimzadeh, H. 2006. Improved growth of salinity-stressed soybean after inoculation with salt pre-treated mycorrhizal fungi. Journal of Plant Physiology. 9: 1144-1151.

Shirazi, M. U., Ashraf, M.Y., Khan, M. A and Nagvi, M. H. 2005. Potassium induced salinity tolerance in wheat. Int .J.Environ .Sci.Tech. 2: 233-236.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.39.2.6]

Singh, J., Sharma, P. C., Sharma, S. K. and Rai, M. 2014. Assessing the effect of salinity on the oil quality parameters of Indian mustard (*Brassica juncea* L. Czern & Coss) using Fourier Transform Near-Infrared Reflectance (FT-NIR) spectroscopy. Grasas Aceites. 65: 1–8.

Smirnoff, N. 1993. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. New Phytologist. 1: 27-58.

Sreenivasulu, N., Grimm, B., Wobns, U. and Weschke, W. 2000. Diffrentl response of antioxidant compounds to salinity stress in salt-tolerant and salt-sensetive seedling of foxtail millet. Physiology Plantarum. 109: 435-442.

Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovi, L. and Gasparikora, O. 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, memberane stability and water relation in two maize. Plant Soil Enviroment. 52(4): 186-191.

Xiong, L. and Zhu, J. K. 2002. Molecular and genetic aspects of plant responses to osmotic stress. Plant Cell Environ. 25(2): 131-139.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.39.2.6]