اثر کاربرد بیوچار بر برخی از صفات رشدی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه کاملینا تحت سطوح مختلف شوری

حدیث زارع منش*[۱]، فرشاد صالحی[۲] و همایون چگنی [۳]

۱ و۳) گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
۲) گروه تحقیقات به-زراعی، مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان، اهواز، ایران.
نویسنده مسئول*:hadis_zaremanesh@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت:۱۴۰۳/۰۸/۰۹ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۳**

چکیده

به منظور بررسی اثر کاربرد بیوچار بر ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی کاملینا تحت تنش شوری، آزمایش فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار درگلخانه دانشگاه پیام نور لرستان طی سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ انجام شد. عامل‌های آزمایشی شامل تنش شوری در سه سطح (صفر، ۶ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر) و کاربرد بیوچار در سه سطح (صفر، ۱ و ۲ درصد وزنی خاک هر گلدان) بود. نتایج نشان داد که میانگین عملکرد دانه در تیمار شاهد برابر با ۳/۲۸ گرم در بوته بود که تحت سطوح شوری ۶ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب با ۱۶ و ۵۳ درصد کاهش به مقادیر ۲/۷۴ و ۱/۵۳ گرم بر بوته رسید. در مقابل کاربرد سطوح ۱ و ۲ درصد بیوچار به ترتیب سبب افزایش ۱۲ و ۳۸ درصدی عملکرد دانه کاملینا شد. درصد روغن کاملینا نیز تنها تحت تأثیر سطوح شوری قرار گرفت و سطوح شوری ۶ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب سبب کاهش ۶ و ۲۷ درصدی محتوی روغن دانه شدند. میانگین هدایت روزنه‌ای در شرایط کاربرد سطوح ۶ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب به مقادیر ۵۲/۷ و ۳۶/۹ میلی‌مول بر متر مربع در ثانیه رسید. در مقابل، کاربرد سطوح ۱ و ۲ درصد بیوچار، هدایت روزنه‌ای را به ترتیب ۱۰ و ۲۵ درصد افزایش داد. محتوی پتاسیم تحت سطوح ۶ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۱۴ و ۳۵ درصد کاهش یافت اما محتوی سدیم تحت شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر افزایش ۱۳۵ درصدی را نشان داد. در مقابل کاربرد بیوچار سبب شد که محتوی پتاسیم افزایش و سدیم کاهش یابد. به گونه‌ای که بیشترین محتوی پتاسیم مربوط به تیمار ۲ درصد وزنی بیوچار (۴۱/۹ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) بود. کمترین محتوی سدیم نیز مربوط به تیمار ۲ درصد وزنی بیوچار (۱۰ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) بود.

واژه‌های کلیدی: کاملینا، اسمولیت‌ها، تنش‌های غیر زیستی و عملکرد دانه.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

مقدمه

کاملینا با نام علمی *Camelina sativa* L. از خانواده براسیکاسه است که قادر است در شرایط مختلف آب و هوایی و خاک رشد نماید و در مقایسه با سایر دانه‌های روغنی مرسوم مانند کلزا، سویا و آفتابگردان نیاز کمتری به آب، کود و آفت‌کش‌ها دارد و می‌تواند در زمین‌های حاشیه‌ای رشد نماید (محمدی نژاد و همکاران، ۱۳۹۷؛ Li and Sun, 2015). تحقیقات مختلف حاکی از کارآمد بودن این گیاه در طیف وسیعی از شوری آب و خاک است (Patade *et al*., 2016). در این راستا، غلامیان و همکاران (۱۳۹۶) در بررسی عملکرد کاملینا تحت رژیم‌های مختلف شوری آب در شرایط گلخانه گزارش دادند که افزایش سطح شوری از ۰/۶ دسی زیمنس بر متر به ۳، ۶، ۹ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب سبب کاهش عملکرد دانه به مقدار ۱۲، ۴۸، ۷۱ و ۸۲ درصدی نسبت به نمونه ۰/۶ دسی زیمنس بر متر گردید. در همین زمینه Russo و Reggiani (۲۰۱۵) در بررسی سطوح مختلف شوری (صفر، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) روی جوانه‌زنی گیاه کاملینا گزارش دادند که محتوای قندها و اسیدهای آمینه با افزایش غلظت نمک تا ۷۵ میلی‌مولار افزایش یافت و سپس در غلظت‌های بالاتر کلرید سدیم، سطح آن کاهش یافت و این میزان کاهش در قندهای محلول بیشتر بود. محققین در خصوص اثر تنش شوری صفر تا ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بر گیاه کلزا و کاملینا عنوان نمودند که تنش شوری منجر به کاهش محتوای نسبی آب شد و با افزایش شوری درصد محتوای نسبی آب در برگ کاهش معنی‌داری در هر دو گیاه نشان داد (اخوان هزاوه و همکاران، ۱۳۹۷). تغییر در محتوای یون‌های سدیم، پتاسیم و نسبت آن‌ها در گیاهان تحت تنش شوری به وسیله محققان زیادی مورد بررسی قرار گرفته است. تجمع کلر در برگ در حقیقت ملاکی برای توانایی ریشه است و گیاهانی که انباشتگی کلر بالایی در برگ‌ها را دارند به عنوان گونه حساس معرفی می‌شوند (Acosta-Motos *et al*., 2017). اخوان هزاوه و همکاران (۱۳۹۷) در بررسی اثرتنش شوری بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه کلزا و کاملینا گزارش دادند با افزایش تنش شوری انباشتگی کلر در برگ افزایش نشان داد. بیشترین میزان انباشتگی کلر در برگ کلزا در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد که نسبت به شاهد حدود ۱۲/۶۴ برابر افزایش غلظت نشان داد. در حالی که این میزان در کاملینا حدود ۷/۶۱ برابر افزایش یافت. در واقع نتایج محققان نشان می‌دهد که علی‌رغم تحمل نسبی گیاه کاملینا در برابر سطوح پایین تنش شوری، این گیاه نیز تحت اثر درجات مختلف شوری منابع آب و خاک قرار می‌گیرد. طی سال‌های اخیر، استفاده از تنظیم‌کننده‌های ارگانیک خاک به عنوان یک رویکرد امیدوارکننده‌تر و پایدارتر برای افزایش حاصلخیزی خاک‌های متأثر از شوری، که در نهایت سبب بهبود عملکرد محصول می‌گردد، مورد توجه قرار گرفته است (Kul *et al*., 2021). یکی از اصلاح کننده‌هایی که جهت افزایش نگهداشت آب در خاک استفاده می‌شود، بیوچار یا زغال زیستی است (Li *et al*., 2018؛ سبحانی و همکاران، ۱۴۰۱).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

بیوچار به عنوان یک تنظیم‌کننده ارگانیک خاک، با تجزیه حرارتی زیست‌توده در غیاب و یا حضور محدود اکسیژن تولید می‌شود (Parkash and Singh, 2020). کاربرد بیوچار در اراضی تحت اثر شوری، خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را بهبود می‌بخشد (Akhtar *et al*., 2015). در این راستا توراج زاده و همکاران (۱۴۰۲) در بررسی اثر بیوچار و شوری آب آبیاری بر شاخص‌های عملکرد و درصد پروتئین کینوا در شرایط کم‌آبیاری گزارش دادند که استفاده از بیوچار تا سطح ۲ درصد وزنی خاک سبب بهبود شاخص سطح برگ، وزن سنبله و عملکرد دانه کینوا شد. همچنین کاربرد بیوچاردر سطوح ۲ و ۴ درصد وزنی به ترتیب ۲۳/۵ و ۱۲/۸ درصد پروتئین دانه را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند. Naveed و همکاران (۲۰۲۰) نیز در بررسی اثر کاربرد بیوچار تحت تنش شوری بر کینوا گزارش دادند که تحت تنش شوری، کاربرد بیوچار محتوی نسبی آب، شاخص پایداری غشا، نفوذپذیری نسبی غشا، محتوی پروتئین و محتوی کلروفیل را به ترتیب ۲۰، ۴۵، ۲۳، ۴۲ و ۱۵ درصد نسبت به تیمار عدم کاربرد بیوچار افزایش داد. سطح زیر کشت کاملینا در ایران ۱۳هزار هکتار است که استان لرستان با ۵۳۰۰ هکتار، رتبه اول سطح زیر کشت را در اختیار دارد. اگر چه شوری و قلیائیت از محدودیت‌های عمده خاک‌های کشاورزی استان لرستان محسوب نمی‌شود و اراضی و آب‌های شور ندارد ولی با توجه به اینکه در چند سال اخیر میزان بارندگی هر ساله کاهش یافته و با برداشت بی رویه آب از منابع آب‌های زیرزمینی و شور شدن اب چاه‌ها شوری خاک هم افزایش پیدا می‌کند و از طرفی ۱۹ هزار هکتار از اراضی کشاورزی استان در معرض تهدید کم آبی و خشکی و در نهایت شوری می‌باشد، لذا هدف از پژوهش حاضر بررسی واکنش گیاه کاملینا به سطوح شوری و همچنین اثر کاربرد بیوچار در کاهش اثرهای تنش شوری بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر با هدف بررسی اثر کاربرد بیوچار بر ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی کاملینا تحت تنش شوری، به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه دانشگاه پیام نور لرستان طی سال‌های ۰۲-۱۴۰۱ انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل تنش شوری در سه سطح (۰، ۶ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر) و کاربرد بیوچار در سه سطح (صفر، ۱ و ۲ درصد وزنی خاک هر گلدان) بود. مخلوط خاک اولیه مورد استفاده در گلدان‌های آزمایشی شامل خاک زراعی، ماسه و کود گوسفندی به ترتیب با نسبت ۲: ۱: ۰/۵، بود که بعد از مخلوط کردن کامل آن‌ها با یکدیگر مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که پیش از آزمایش، خاک گلدان‌های آزمایشی توسط قارچ‌کش بنومیل دو در هزار ضد عفونی شد. گلدان‌ها از نوع پلاستیکی ۱۰ کیلوگرمی (از جنس پلی‌اتیلن، با قطر ۳۰ و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر)، بود. ویژگی‌های خاک گلدان مورد استفاده پیش از آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. به منظور داشتن نمونه تخریبی جهت اندازه‌گیری صفات، هر سطح تیماری شامل دو گلدان بود که مجموعاً هر بلوک آزمایشی

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

متشکل از ۱۸ گلدان در سه تکرار و تراکم نهایی ۲ بوته در هر گلدان بود. عملیات کشت در اواخر آذرماه ۱۴۰۱ انجام شد. کودهای مورد استفاده در این آزمایش براساس آزمون خاک گلدان ها (جدول ۱) و دستورالعمل فنی گیاه به مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم، ۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره در مرحله‌ی پایه به خاک گلدان اضافه شد. رقم مورد استفاده کاملینا در این پژوهش، سهیل بود که در ایران توسعه یافته و در فهرست ارقام ملی ثبت (با شماره ثبت ۱۷۹۹۵) شده است. وزن هزار دانه این رقم حدود ۱ گرم، میانگین عملکرد در هکتار برابر با ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و میزان روغن ۳۰ درصد است. برداشت گیاه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک دانه (دهه اول فروردین ۱۴۰۲) انجام گرفت.

جدول ۱: تجزیه خاک مورد استفاده در آزمایش گلخانه‌ای پیش از کاربرد بیوچار

بافت خاک	pH	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	درصد ماده آلی	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتیمتر مکعب)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)	سدیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)
شنی رسی لومی	۷/۲۱	۰/۶	۱/۷۵	۱/۲۵	۵۲	۲۳۲/۴	۹۸/۹

اعمال تیمارهای آزمایشی

تنش شوری

تا مرحله چهار برگی تمامی تیمارها با آب لوله‌کشی شهری، آبیاری شدند و تیمارهای شوری از مرحله چهار برگی به بعد به صورت پلکانی با استفاده از نمک (منبع کلرید سدیم) اعمال گردید. جهت اعمال شوری موردنظر، آبیاری با آب شور حاصل از نمک کلرید سدیم (NaCl) هر سه روز یکبار انجام شد. به منظور جلوگیری از شوک ناگهانی ناشی از تنش شوری آب آبیاری، تیمار شوری به صورت تدیجی و پلکانی تا سطح شوری مورد نظر اعمال شد. آبشویی گلدان‌ها به منظور جلوگیری از تجمع نمک هر دو هفته یکبار با همان غلظت آب شور در هر تیمار انجام شد.

تیمار بیوچار

در این آزمایش، بیوچار از کاه و کلش و بقایای گندم به دست آمد. به این ترتیب که کاه و کلش باقیمانده از برداشت محصول گندم در منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری و پس از بسته‌بندی به آزمایشگاه منتقل شد. سپس بقایای گندم در کوره الکتریکی (برند آذر کوره مدل F3L1720) با دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس و در شرایط بدون اکسیژن طی فرآیند پیرولیز به مدت ۱۴ ساعت سوزانده شده و پس از سرد شدن کوره، بیوچار از آن خارج شد (نیک روش و همکاران، ۱۳۹۷). سپس بیوچار حاصل به قطعات بسیار کوچک خرد شد و با عبور از الک ذرات بین ۲-۱میلی‌متر با اندازه یکسان آماده شدند. نتایج حاصل از تجزیه بیوچار نیز شامل پی‌اچ: ۸/۹، هدایت الکتریکی: ۷/۲ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر، ظرفیت تبادل کاتیونی:

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

/۱۵ میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خاک خشک، جرم مخصوص ظاهری: ۰/۴۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب، درصد کربن آلی ۳/۵۱ درصد و درصد ماده آلی: ۶/۱ درصد بود.

اندازه‌گیری صفات آزمایشی

صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی

شاخص سبزینگی

شاخص سبزینگی یا عدد اسپد آخرین برگ توسعه یافته ساقه اصلی چند بوته برآورد شده و میانگین آن به صورت قرائت عدد کلروفیل متر با دستگاه SPAD مدل (Minolta 502) ثبت گردید.

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ

به‌منظور اندازه‌گیری درصد محتوای نسبی آب برگ به روش Ritchie و همکاران (۱۹۹۰) از آخرین برگ توسعه یافته (برگ رفرنس) تمامی تیمارهای آزمایشی نمونه‌برداری انجام گرفت

هدایت روزنه‌ای

در مرحله‌ی گلدهی، هدایت روزنه‌ای توسط دستگاه پرومتر (Prometer, Decagon devic) اندازه‌گیری و به صورت میلی‌مول بر متر مربع بر ثانیه گزارش شد.

محتوی کربوهیدرات محلول

به منظور اندازه‌گیری محتوی کربوهیدرات محلول برگ، در مرحله گلدهی، نمونه‌برداری از برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته گیاه کاملینا انجام گرفت. بدین منظور از هر تیمار چند نمونه برگی برداشته و به سرعت در نیتروژن مایع قرار گرفتند. سپس نمونه‌های جمع‌آوری شده جهت اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیولوژیک در فریزر ۸۰- درجه سانتیگراد نگهداری شدند. در انتها اندازه‌گیری کربوهیدرات محلول با استفاده از روش فنول سولفوریک اسید Dubois و همکاران (۱۹۵۶) و استاندارد گلوکز انجام شد.

صفات رشدی و عملکردی

در انتهای آزمایش، به منظور بررسی صفات مورفولوژیک گیاه کاملینا تحت سطوح تیماری، چهار بوته از هر تیمار در هر تکرار انتخاب و اندازه‌گیری ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش میلی‌متری انجام شد. شمارش تعداد برگ در بوته در مرحله خورجین‌دهی انجام گرفت. به منظور بررسی صفات ماده خشک در بوته، میانگین عملکرد دانه در بوته، تعداد دانه در خورجینک و وزن هزار دانه کاملینا تحت سطوح تیماری، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک تمامی بوته‌های واحدهای

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

آزمایشی از سطح خاک گلدان کف‌بر و به تفکیک هر تیمار به طور جداگانه درون پاکت قرار داده شدند. تعداد دانه در خورجینک از شمارش دانه‌های موجود در ۱۰ خورجینک هر بوته برآورد و به صورت میانگین گزارش شد. در ادامه نمونه‌های تهیه شده به آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد (به مدت ۴۸ ساعت) منتقل گردیدند و میانگین وزن خشک و وزن دانه در هر بوته محاسبه شد. جهت تعیین وزن هزار دانه، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک دانه سه نمونه بذر ۵۰۰ عددی جدا و به وسیله ترازوی حساس دیجیتال با دقت یک‌هزارم (AND مدلGF600) توزین گردید و وزن هزار دانه به دست آمد.

محتوی سدیم، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم

نمونه‌های برگ تازه به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و توسط آسیاب پودر گردیدند. غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم به روش Hamada و EL-enany (۱۹۹۴) و با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (مارک JENWAY، ساخت کشور انگلستان) انجام گرفت.

نسبت پتاسیم به سدیم نیز از تقسیم میانگین محتوی پتاسیم بر میانگین محتوی سدیم بخش هوایی گیاه محاسبه شد.

آنالیز داده‌ها

در نهایت جهت تجزیه واریانس داده‌ها، از نرم‌افزار آماری SAS 9.4 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص سبزینگی

براساس نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی، شاخص سبزینگی به طور معنی‌داری در سطح یک درصد تحت اثر اثرهای اصلی شوریی و بیوچار قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرهای اصلی شوری نشان داد که شاخص سبزینگی در شرایط شاهد برابر با ۳۸/۷ بود که تحت سطوح ۶ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب با ۱۹ و ۳۶ درصد کاهش به مقادیر ۳۱/۳ و ۲۴/۹ رسید و از این نظر با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری داشتند (جدول ۳). مقایسه میانگین شاخص سبزینگی تحت سطوح کاربرد بیوچار نشان داد که میانگین این صفت در شرایط عدم کاربرد بیوچار برابر با ۲۷/۳ بود که تحت سطوح ۱ و ۲ درصد وزنی بیوچار به ترتیب با ۱۸ و ۳۰ درصد افزایش به مقادیر ۳۲/۲ و ۳۴/۵ رسید و از این نظر با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری داشتند (جدول ۳). در این راستا گزارش شده است که کاهش شاخص سبزینگی برگ ممکن است به علت تجزیه شدن کلروفیل b تحت تنش شوری باشد (Ashraf and Harris, 2013). پدیده‌های کاهش پتانسیل آب در سلول تحت تنش شوری باعث بسته‌شدن روزنه، افزایش یون کلر، کاهش منیزیم و مهار جذب دی‌اکسید

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

کربن شده که تأثیر بسیار منفی بر فتوسنتز دارد و باعث کاهش شاخص سبزینگی می‌گردد (Acosta-Motos *et al.*, 2017). کاهش کلروفیل و شاخص سبزینگی توسط سایر محققان نیز گزارش شده است. در این راستا، ملازم (۱۳۹۷) کاهش شاخص سبزینگی را در ارقام مختلف ذرت تحت تنش شوری گزارش داد و علت آن را به تخریب کلروفیل و رنگدانه‌های فتوسنتزی توسط تنش شوری از طریق سمیت یونی و ایجاد محدودیت رطوبت در دسترس نسبت داد.

هدایت روزنه‌ای

اثرهای اصلی عوامل آزمایشی در سطح یک درصد اثر معنی‌داری بر هدایت روزنه‌ای داشتند (جدول ۲). بررسی روند تغییرات هدایت روزنه‌ای تحت سطوح شوری نشان داد که میانگین این صفت در شرایط شاهد برابر با ۵۹ میلی‌مول بر متر مربع در ثانیه بود که در شرایط کاربرد سطوح ۶ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۱۱ و ۳۷ درصد کاهش یافت (جدول ۳). در بین سطوح بیوچار نیز مشاهده شد که میانگین هدایت روزنه‌ای در شرایط عدم کاربرد بیوچار برابر با ۴۴/۳ میلی‌مول بر متر مربع در ثانیه بود که تحت سطوح کاربرد ۱ و ۲ درصد وزنی بیوچار با ۱۰ و ۲۵ درصد افزایش یافت (جدول ۳). از دلایل کاهش در هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش شوری می‌توان به وجود سیگنال‌هایی از طریق ریشه گیاهان تحت تنش مانند تولید آبسیزیک اسید در ریشه و انتقال آن به شاخه‌ها، تجمع کربوهیدرات‌ها پتاسیم، کلسیم و کلر در سلول‌های نگهبان روزنه نسبت داد (سوری و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین با توجه به اینکه افزایش شوری و تدام آن در طول دوره‌ی رشد، گیاه علاوه بر تنش شوری ایجاد شده در معرض خشکی ناشی از شوری خاک نیز قرار می‌گیرد، برای استفاده بهینه از مقدار آب محدود در دسترس، با کاهش هدایت روزنه‌ای از طریق بستن روزنه‌های خود از هدر رفتن آن جلوگیری کرده و این موضوع سبب کاهش فتوسنتز از طریق کاهش ورود دی اکسید کربن به فضای زیر روزنه‌ای می‌شود (James et al., 2008). این نتایج با یافته‌های فخری و همکاران (۱۳۹۵) که کاهش هدایت روزنه‌ای ارقام گندم تحت تنش شوری گزارش دادند مطابق داشت. در مقابل کاربرد بیوچار در شرایط شور می‌تواند با تعدیل ویژگی‌های خاک و ایجاد محیط مناسب‌تر برای رشد ریشه، به حفظ رطوبت در دسترس گیاه و در نتیجه بهبود تبادلات گازی و نهایتاً رشد رویشی گیاه کمک کند (Lehmann and Joseph, 2024).

محتوی رطوبت نسبی برگ

بررسی نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی گویای اثرپذیری این صفت تنها از تنش شوری بود (جدول ۲). بر این اساس مشاهده شد که میانگین محتوی رطوبت نسبی برگ در شرایط شاهد برابر با ۹۰/۳ درصد بود که تحت شوری ۶ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب با ۷ و ۲۳ درصد کاهش به مقادیر ۸۴/۳ و ۶۹/۶ درصد رسید (جدول ۳). این نتایج با یافته‌های فرسرایی و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت داشت که کاهش محتوی آب نسبی گیاه را تحت تنش شوری گزارش

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

دادند و بیان کردند که با افزایش سطح شوری جذب آب توسط برگ‌ها کاهش می‌یابد و از سوی دیگر این کاهش سبب می‌شود تا گیاه نتواند محتوای آب برگ خود را حفظ کند و از این رو با گذشت زمان محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد. در واقع محتوی رطوبت نسبی برگ، شاخصی کلیدی برای ارزیابی وضعیت آبی گیاه است. کاهش آن در شرایط شور، نشان‌دهنده اختلال در جذب و حفظ آب توسط گیاه است. در واقع تنش شوری باعث ایجاد پتانسیل اسمزی منفی در محیط ریشه می‌شود که مانع جذب مؤثر آب توسط گیاه شده و در نتیجه محتوای رطوبت نسبی برگ کاهش می‌یابد (Zörb *et al*., 2019).

محتوی کربوهیدرات محلول

نتایج مقایسه میانگین صفات آزمایشی نشان داد که محتوی کربوهیدرات محلول برگ در تیمار شاهد برابر با ۵۱/۲ میلی‌گرم در گرم وزن خشک بود که به طور معنی‌داری پایین‌تر از سطوح شوری مورد استفاده بود. در مقابل بین سطوح تیماری ۶ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر (به ترتیب ۷۱/۲ و ۷۷/۶ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). در بین سطوح بیوچار نیز مشاهده شد که بیشترین میانگین این صفت مربوط به تیمار عدم کاربرد بیوچار (۷۰/۶ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) بود که تحت سطوح ۱ و ۲ درصد وزنی بیوچار به ترتیب به مقادیر ۶۶/۸ و ۶۲/۶ میلی‌گرم در گرم وزن خشک کاهش یافت (جدول ۳). نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های نباتی و همکاران (۱۴۰۲) مبنی بر کاهش محتوی کربوهیدرات محلول تحت تنش شوری مطابقت داشت. مطالعات مختلف نشان داده است که تنش شوری، سبب کاهش محتوای کربوهیدرات‌های محلول در بخش هوایی گیاهان زراعی می‌شود (Al Abdallah *et al*., 2016). یکی از علت‌های این کاهش، افزایش تولید رادیکال‌های آزاد در شرایط تنش شوری، تبدیل کربوهیدرات‌های درشت مولکول به قندهای ساده محلول که می‌تواند پروتئین‌ها را از آسیب ناشی از تنش محافظت کند است (Bohnert and shen, 1999). از طرفی دیگر، در سلول‌های گیاهی برای حفظ تورژسانس سلول و جلوگیری از پلاسمولیز تحت تنش شوری، مولکول‌های درشت مانند نشاسته به قندهای ساده مانند گلوکز تبدیل می‌شوند. این اتفاق سبب منفی‌تر شدن پتانسیل آب سلولی و کمک به حفظ تعادل اسمزی می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد که در شرایط شور، گیاهان اغلب با افزایش تولید و تجمع کربوهیدرات‌های محلول (مانند گلوکز، فروکتوز و ساکارز)، به تنظیم اسمزی می‌پردازند تا حفظ تورژسانس سلولی را ممکن سازند (Parihar *et al*., 2015). بیوچار از طریق کاهش شدت تنش اسمزی، افزایش فعالیت فتوسنتزی و بهبود تغذیه گیاه، می‌تواند بر سطح کربوهیدرات‌های محلول اثرگذار باشد. در برخی موارد، بیوچار با کاهش نیاز به تجمع بیش‌ازحد ترکیبات سازگار مانند قندها، سطح این ترکیبات را تنظیم کرده و از آسیب ناشی از اختلال متابولیکی جلوگیری می‌کند (Shahzadi *et al*., 2024 ؛ Imran *et al*., 2022).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

محتوی پتاسیم و سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم

براساس نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی میانگین محتوی پتاسیم و سدیم به طور معنی‌داری تحت اثر اثرهای اصلی شوری و بیوچار قرار گرفتند (جدول ۲). مقایسه میانگین محتوی پتاسیم تحت سطوح شوری نشان داد که محتوی پتاسیم در شرایط شاهد برابر با ۴۴/۶ میلی‌گرم در گرم وزن خشک بود که تحت سطوح ۶ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب با ۱۴ و ۳۵ درصد کاهش به مقادیر ۳۸/۴ و ۲۸/۸ میلی‌گرم در گرم وزن خشک رسید و از این نظر با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری داشتند (جدول ۳). در بین سطوح بیوچار نیز مشاهده شد که تیمار ۰ و ۱ درصد وزنی بیوچار اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشت اما تیمار ۲ درصد وزنی بیوچار با ۲۴ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد به میانگین ۴۱/۹ میلی‌گرم در گرم وزن خشک رسید که با دو سطح تیماری دیگر اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۳). در مقابل از نظر محتوی سدیم مشاهده شد که با افزایش سطوح شوری، محتوی سدیم افزایش یافت. به گونه‌ای که از ۷/۳ میلی‌گرم در گرم وزن خشک در شرایط شاهد به ۱۷/۲ میلی‌گرم در گرم وزن خشک تحت شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر رسید که افزایش ۱۳۵ درصدی را نشان داد. در بین سطوح بیوچار نیز مشاهده شد که بین سطوح ۰ و ۱ درصد وزنی بیوچار اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت و میانگین بالاتری نسبت به تیمار ۲ درصد وزنی بیوچار (۱۰ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین نسبت پتاسیم به سدیم نشان داد که با افزایش سطوح شوری نسبت پتاسیم به سدیم کاهش یافت. به گونه‌ای که بیشترین میانگین این صفت مربوط به تیمار شاهد (۶/۲) و کمترین آن مربوط به تیمار شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر (۱/۸) بود و از این نظر با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری داشتند. در مقابل استفاده از بیوچار سبب افزایش نسبت پتاسیم به سدیم شد، به گونه‌ای که کمترین میانگین این نسبت مربوط به تیمار ۰ درصد وزنی بیوچار (۳/۳) و بیشترین آن مربوط به تیمار ۲ درصد وزنی بیوچار (۴/۶) بود (جدول ۳). تنش شوری با افزایش غلظت یون‌های سدیم و کلر در محیط ریشه، منجر به تجمع بیش از حد سدیم در بافت‌های گیاهی می‌شود. سدیم وارد سلول‌ها شده و جایگزین پتاسیم در سایت‌های آنزیمی و ساختارهای متابولیکی می‌شود، که عملکردهای طبیعی سلول مانند فتوسنتز، تنظیم اسمزی، و متابولیسم آنزیمی را مختل می‌کند (Munns and Gilliham, 2015؛ Parihar *et al*., 2015). در مقابل، نتایج تحقیقات نشان داده است که کاربرد بیوچار ممکن است توانایی کاهش تنش شوری از سه طریق شامل اتصال موقت سدیم به محل سایت‌های تبادلی خود و در نتیجه کاهش جذب سدیم، افزایش غلظت پتاسیم در محلول خاک و در نتیجه حفظ تعادل یونی سدیم به پتاسیم برای کاهش جذب سدیم و یا افزایش رطوبت خاک که ممکن است موجب رقت محلول خاک شود که در نهایت ممکن است باعث جذب سدیم شود (Akhtar *et al*., 2015؛ Yang *et al*., 2020).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) کاربرد سطوح شوری و بیوچار بر صفات اندازه‌گیری شده کاملینا

	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد برگ	دانه در خورجینک	وزن هزاردانه	عملکرد زیست‌توده	عملکرد دانه	محتوی روغن دانه	شاخص سبزینگی	هدایت روزنه‌ای	محتوای رطوبت نسبی برگ	محتوی کربوهیدرات محلول	محتوی پتاسیم	محتوی سدیم	نسبت پتاسیم به سدیم
تکرار	۲	۳۸	۰/۰۱۷	۱۱/۹۲	۰/۰۰۵	۱/۵۴	۰/۰۲۹	۳/۴۲	۴/۸۴	۱۱/۷	۷۱	۲۷	۱۶/۶	۱/۶۰	۰/۳۶
شوری	۲	۸۴۲**	۱۰۸**	۴۲/۸**	۰/۳۳**	۱۴/۴۵**	۷/۱۹**	۲۱۵**	۴۲۵**	۱۱۶۱**	۱۰۲۷**	۱۷۰۴**	۵۶۹**	۲۲۴**	۴۳**
بیوچار	۲	۱۴۸ ns	۲۸/۶*	۸/۲۶*	۰/۰۸**	۱/۳۵*	۱/۵۸**	۱/۶۹	۱۴۸**	۲۸۴**	۹۵ ns	۱۴۲*	۱۵۷**	۲۶**	۴/۲۹*
شوری × بیوچار	۴	۵۰ ns	۸/۰۶ ns	۰/۹۳ ns	۰/۰۲ ns	۰/۵۰ ns	۰/۲۵*	۰/۲۷	۱۰/۹ ns	۱۸/۳ ns	۱۱/۵ ns	۴۰ ns	۴۳/۸ ns	۹/۶ ns	۰/۹۰ ns
خطا	۱۶	۴۰/۹	۴/۶۶	۱/۵۹	۰/۰۱۱	۰/۲۴	۰/۰۶	۱۲/۸	۶/۹	۱۷/۰۳	۳۹/۶	۵۰	۱۶/۷	۳/۹	۰/۸۹
ضریب تغییرات (٪)		۸/۱۶	۱۱/۶۱	۱۰/۱۴	۹/۴۲	۷/۰۹	۹/۹۳	۱۱/۵۷	۸/۳۵	۸/۳۳	۷/۷۲	۱۰/۶۸	۱۰/۹۶	۱۶/۶	۲۴/۴

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

جدول ۳:مقایسه میانگین اثرهای اصلی شوری و بیوچار بر صفات اندازه‌گیری شده کاملینا

		ارتفاع بوته (سانتیمتر)	تعداد برگ	تعداد دانه در خورجینک	وزن هزاردانه (گرم)	عملکرد زیست‌توده (گرم در بوته)	عملکرد دانه (گرم در بوته)	محتوی روغن دانه (درصد)	شاخص سبزینگی	هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول بر متر مربع در ثانیه)	محتوای رطوبت نسبی برگ (درصد)	کربوهیدرات محلول (میلی گرم در گرم وزن خشک)	پتاسیم (میلی گرم در گرم وزن خشک)	سدیم (میلی گرم در گرم وزن خشک)	نسبت پتاسیم به سدیم
سطوح شوری (میلی‌مولار سدیم کلرید)	۰	۸۶/۴a	۲۲/۴a	۱۴/۵a	۱/۲۹a	۸/۲a	۳/۲۸a	۳۴/۷ a	۳۸/۷a	۵۹a	۹۰/۳a	۵۱/۲b	۴۴/۶a	۷/۳c	۶/۲a
	۶	۸۱a	۱۷/۷b	۱۲/۷b	۱/۲a	۶/۹b	۲/۷۴b	۳۲/۸ a	۳۱/۳b	۵۲/۷b	۸۴/۳a	۷۱/۲a	۳۸/۴b	۱۱b	۳/۷b
	۱۲	۶۷/۶b	۱۵/۷b	۱۰/۱c	۰/۹۲b	۵/۷c	۱/۵۳c	۲۵/۵ b	۲۴/۹c	۳۶/۹c	۶۹/۶b	۷۷/۶a	۲۸/۸c	۱۷/۲a	۱/۸c
سطوح بیوچار (درصد وزنی خاک هر گلدان)	۰	۷۴/۷b	۱۶/۸b	۱۱/۶b	۱/۰۴b	۶/۶b	۲/۱۶c	۳۰/۶ a	۲۷/۳c	۴۴/۳c	۷۸/۳a	۷۰/۶a	۳۳/۸b	۱۳/۳a	۳/۳b
	۱	۷۷/۵ab	۱۸/۷ab	۱۲/۳ab	۱/۱۳ab	۶/۸۸ab	۲/۴۲b	۳۱ a	۳۲/۲b	۴۸/۸b	۸۱/۱a	۶۶/۸ab	۳۶/۲b	۱۲/۳a	۳/۷ab
	۲	۸۲/۷a	۲۰/۳a	۱۳/۵a	۱/۲۳a	۷/۳۷a	۲/۹۸a	۳۱/۴ a	۳۵/۴a	۵۵/۵a	۸۴/۸a	۶۲/۶b	۴۱/۹a	۱۰b	۴/۶a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون ازنظر آماری براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.

.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

طی مطالعه‌ای، Huang و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که با افزایش غلظت شوری، محتوای سدیم در اندام هوایی کاملینا به طور معنی‌داری افزایش یافته و به‌طور هم‌زمان، میزان پتاسیم کاهش یافت. این تغییرات به‌وضوح نشان‌دهنده‌ی اختلال در تعادل یونی و اسمزی گیاه است. همچنین نسبت سدیم به پتاسیم در شرایط شور بدون تیمار کاهش یافته، که این امر با کاهش توانایی گیاه در حفظ عملکردهای متابولیکی همراه بود. از سوی دیگر، استفاده از تیمارهای کمکی نظیر پرایمینگ بذر با عصاره سورگوم باعث تعدیل این اثر شد. یافته‌های Heydarian و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان داد که تنش شوری باعث بیان بیش‌تر ژن‌های مرتبط با حمل و تنظیم یون سدیم در ریشه‌های کاملینا شد، که خود نشانه‌ای از واکنش دفاعی گیاه در برابر سمیت یونی ناشی از شوری است. طی پژوهشی روی گندم کاربرد بیوچار در خاک شور باعث شد غلظت سدیم در برگ‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافته و غلظت پتاسیم افزایش یابد. این امر موجب افزایش نسبت K^+/Na شد که یکی از شاخص‌های تحمل به شوری محسوب می‌شود (Shahzadi *et al*., 2024). در آزمایش دیگری روی برنج، کاربرد ۴/۵ درصد بیوچار در خاک شور-قلیایی باعث شد غلظت سدیم در برگ‌ها کاهش یافته و پتاسیم افزایش یابد. همچنین فعالیت آنزیم‌های مرتبط با سنتز نشاسته بهبود و عملکرد دانه افزایش یافت (Che *et al*., 2024).

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی حاکی از اثرپذیری ارتفاع بوته از اثر اصلی تنش شوری در سطح یک درصد بود (جدول ۲). براین اساس مشاهده شد که بیشترین میانگین ارتفاع بوته مربوط به تیمار شاهد با ۸۶/۴ سانتی‌متر بود که تحت شوری ۶ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب با ۶ و ۲۲ درصد کاهش به مقادیر ۸۱ و ۶۷/۶ سانتی‌متر رسید (جدول ۳). در این رابطه باید ذکر کرد که ارتفاع بوته یکی از شاخص‌های مهم رشد رویشی است که تحت اثر مستقیم تنش‌های محیطی از جمله شوری قرار می‌گیرد. شوری خاک از طریق کاهش پتانسیل آب در ناحیه ریشه، اختلال در تعادل یونی، و القای استرس اکسیداتیو، فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه را مختل می‌کند و در نتیجه سبب کاهش رشد طولی ساقه می‌شود (Munns and Gilliham, 2015). در گیاهان حساس، این کاهش می‌تواند ناشی از مهار تقسیم سلولی در مریستم رأسی و اختلال در جذب آب و عناصر غذایی کلیدی مانند پتاسیم، کلسیم و نیترات باشد. در مورد کاملینا، نتایج مطالعه های Moralesو همکاران (۲۰۱۷) نشان می‌دهد که افزایش شوری محیط رشد از صفر تا ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید موجب کاهش معنی‌دار در ارتفاع بوته کاملینا می‌شود. این کاهش، تا بیش از ۳۰ درصد نسبت به شاهد گزارش شده است که نشان‌دهنده حساسیت نسبی این گونه به تنش شوری در مراحل اولیه رشد است.

تعداد برگ

کاربرد سطوح شوری و بیوچار به ترتیب در سطوح یک و پنج درصد اثر معنی‌داری بر تعداد برگ در بوته کاملینا

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

داشتند (جدول ۲). بررسی تغییرات مقایسه میانگین تعداد برگ تحت سطوح شوری نشان داد که میانگین تعداد برگ کاملینا در شرایط شاهد برابر با ۲۲/۴ برگ بود که تحت شوری به طور معنی‌داری کاهش یافت. به گونه‌ای که تحت شوری ۶ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۲۱ و ۳۰ درصد کاهش یافت که البته از این نظر بین سطوح ۶ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). در مقابل کاربرد بیوچار توانست تا حدی اثرهای تنش شوری را کاهش دهد. به گونه‌ای که تعداد برگ در شرایط عدم کاربرد بیوچار برابر با ۱۶/۸ برگ بود که تحت سطوح ۱ درصد و ۲ درصد به ترتیب با ۱۱ و ۲۱ درصد افزایش به مقادیر ۱۸/۷ و ۲۰/۳ برگ در بوته رسید (جدول ۳). کاهش تعداد برگ در اثر شوری به دلیل اثرهای تنش اسمزی، اختلال در تعادل تغذیه‌ای، کاهش تقسیم و تمایز سلولی در مریستم‌های رأسی و پیری زودرس برگ‌ها گزارش شده است. در شرایط شور، به دلیل محدودیت جذب آب و تجمع یون‌های سمی نظیر سدیم و کلر، رشد بافت‌های جدید مختل شده و کاهش تعداد برگ به عنوان یکی از علائم قابل مشاهده، بروز می‌کند (Munns and Gilliham, 2015؛ Parihar *et al*., 2015). بیوچار با نقش حفاظتی خود از طریق بهبود محیط ریشه و کاهش جذب یون‌های مضر، می‌تواند به افزایش پایداری فیزیولوژیک گیاه کمک کرده و تولید برگ را حفظ یا حتی افزایش دهد (Akhtar *et al*., 2015).

تعداد دانه در خورجینک

نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی نشان داد که اثرهای اصلی شوری و بیوچار به ترتیب در سطوح یک و پنج درصد اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در خورجینک داشتند (جدول ۲). بیشترین تعداد دانه در خورجینک در شرایط عدم شوری (۱۴/۵ دانه) به دست آمد که اختلاف آماری معنی‌داری با سایر سطوح تیماری داشت. در مقابل کمترین میانگین این صفت (۱۰/۱ دانه در خورجینک) نیز مربوط به تیمار شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر بود که ۳۰ درصد کاهش را نسبت به تیمار شاهد نشان داد (جدول ۳). در بین سطوح بیوچار نیز مشاهده شد که میانگین این صفت در تیمار عدم کاربرد برابر با ۱۱/۶ دانه در خورجینک بود که تحت سطوح ۶ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر با ۶ و ۱۶ درصد افزایش به مقادیر ۱۲/۳ و ۱۳/۵ دانه در خورجینک رسید (جدول ۳).

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایش حاکی از اثرپذیری صفت وزن هزار دانه از اثرهای اصلی شوری و بیوچار در سطح یک درصد بود (جدول ۲). تحت شرایط شوری مشاهده شد که سطوح تیماری شاهد و ۶ دسی زیمنس بر متر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در مقابل تحت تیمار ۱۲ دسی زیمنس بر متر میانگین این صفت نسبت به تیمار شاهد، ۲۸ درصد کاهش یافت (جدول ۳). در شرایط کاربرد بیوچار نیز مشاهده شد که تحت تیمار عدم کاربرد، میانگین

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

وزن هزار دانه برابر با ۱/۰۴ گرم بود که تحت سطوح ۱ و ۲ درصد وزنی بیوچار به ترتیب با ۹ و ۱۸ درصد افزایش به ۱/۱۳ و ۱/۲۳ گرم رسید که البته از این نظر بین سطوح شاهد و ۱ درصد وزنی بیوچار و همچنین بین سطوح ۱ و ۲ درصد وزنی بیوچار اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). کاهش وزن هزار دانه کاملینا تحت سطوح شوری را می‌توان یکی از نتایج مستقیم اختلال در انتقال مواد فتوسنتزی در شرایط شوری دانست (Elhakem, 2020). بیوچار از طریق بهبود وضعیت تغذیه‌ای، کاهش سمیت یونی و حفظ متابولیسم طبیعی در مراحل پرشدن دانه، نقش کلیدی در کاهش آثار منفی شوری ایفا می‌کند (Parkash and Singh, 2020). بنابراین، بیوچار را می‌توان یک ابزار مدیریت تنش مؤثر برای حفظ کیفیت و کمیت دانه معرفی کرد.

عملکرد ماده خشک (زیست‌توده)

نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی حاکی از اثرپذیری صفت وزن ماده خشک از اثرهای اصلی شوری و بیوچار به ترتیب در سطح یک و پنج درصد بود (جدول ۲). بررسی تغییرات مقایسه میانگین صفات آزمایشی نشان داد که میانگین وزن ماده خشک کاملینا در شرایط شاهد برابر با ۸/۲ گرم در بوته بود که تحت سطوح ۶ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۱۶ و ۳۱ درصد کاهش یافت و از این نظر بین سطوح تیمار اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۳). بررسی مقایسه میانگین کاربرد بیوچار نیز نشان داد که تحت تیمار شاهد میانگین وزن ماده خشک برابر با ۶/۶ گرم در بوته بود که تحت تیمار کاربرد ۱ درصد وزنی بیوچار به میانگین ۶/۸۸ گرم در بوته رسید اما از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در مقابل بیشترین میانگین این صفت در شرایط کاربرد ۲ درصد وزنی بیوچار (۷/۳۷ گرم در بوته) به دست آمد (جدول ۳). در این راستا باید ذکر نمود که تنش شوری از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که با کاهش جذب آب، اختلال در تغذیه معدنی و افزایش استرس اکسیداتیو، موجب کاهش تولید ماده خشک می‌شود (Deinlein *et al*., 2014). در بسیاری از گیاهان زراعی از جمله کاملینا، افزایش شوری محیط باعث کاهش رشد اندام‌های هوایی و زیرزمینی شده و در نتیجه منجر به کاهش عملکرد زیست‌توده می‌شود (Morales *et al*., 2017). بیوچار با بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک (افزایش ظرفیت نگهداری آب، کاهش تراکم ظاهری) و بهبود تعادل تغذیه‌ای (افزایش جذب پتاسیم، کلسیم و منیزیم)، می‌تواند از اثرهای منفی شوری بر تولید زیست‌توده جلوگیری کند (Ali *et al*., 2017). همچنین، بیوچار به‌دلیل افزایش میکروبیوم خاک و فعالیت آنزیم‌های خاک، توانایی گیاه را در مقابله با تنش‌های محیطی افزایش می‌دهد.

عملکرد دانه

براساس نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی مشاهده شد که اثرهای اصلی عوامل آزمایشی در سطح یک درصد و

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

برهمکنش آن‌ها در سطح پنج درصد اثر معنی‌داری بر صفت عملکرد دانه داشتند (جدول ۲). بررسی مقایسه میانگین برهمکنش صفات آزمایشی نشان داد که بیشترین میانگین عملکرد دانه مربوط به سطوح تیماری کاربرد ۱ و ۲ درصد وزنی بیوچار تحت تیمار بدون شوری (به ترتیب ۳/۴ و ۳/۵ گرم بر بوته) و تیمار کاربرد ۲ درصد وزنی بیوچار تحت شوری (۳/۱ گرم بر بوته) بود که با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند اما نسبت به سایر سطوح تیماری برتری معنی‌داری داشتند (شکل ۱). در مقابل کمترین میانگین عملکرد دانه مربوط به تیمار ۰ و ۱ درصد وزنی بیوچار در شرایط شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر (به ترتیب ۱ و ۱/۲ گرم بر بوته) بود که با سایر سطوح تیماری اختلاف معنی‌داری داشتند (شکل ۱).

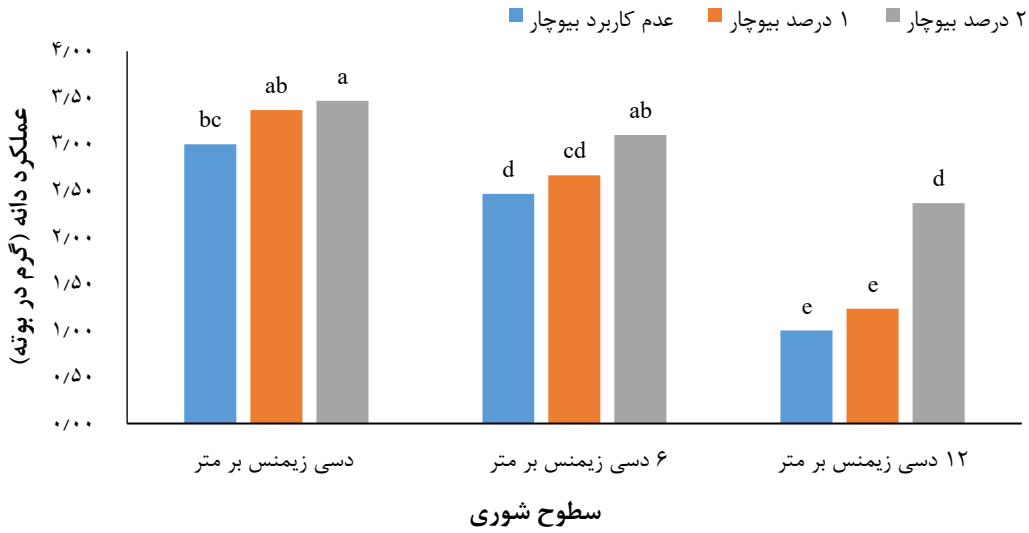
عملکرد دانه یکی از مهم‌ترین شاخص‌های اقتصادی در گیاهان زراعی است که تحت تنش شوری به‌طور جدی کاهش می‌یابد. شوری از طریق کاهش فتوسنتز، اختلال در جذب عناصر غذایی، کاهش رشد زایشی و افزایش ریزش گل و دانه، موجب کاهش عملکرد می‌شود (Munns and Gilliham, 2015). همانطور که نتایج این پژوهش نشان داد که تنش شوری باعث کاهش تعداد برگ، دانه در خورجینک و وزن هزار دانه شد که مجموعاً منجر به کاهش عملکرد نهایی می‌شود. این نتایج با یافته‌های محمدی و سیدشریفی (۱۴۰۳) مبنی بر کاهش عملکرد دانه جو تحت تنش شوری مطابقت داشت. در این شرایط، یکی از مکانیسم‌های اصلی بیوچار در کاهش اثرهای شوری، بهبود ظرفیت نگهداری آب و افزایش تبادل کاتیونی (CEC) خاک است. این ویژگی باعث می‌شود که گیاه بتواند در محیط شور، آب و عناصر غذایی را مؤثرتر جذب کرده و رشد بهتری داشته باشد. همچنین، بیوچار با جذب یون‌های سمی نظیر سدیم و کلر، دسترسی این یون‌ها را به ناحیه ریشه کاهش داده و در نتیجه از آسیب به سلول‌های گیاهی جلوگیری می‌کند (Akhtar *et al*., 2015؛ Dahlawi *et al*., 2018).

محتوی روغن دانه

نتایج تجزیه واریانس محتوی روغن دانه بیانگر تأثیرپذیری این صفت از اثر اصلی سطوح شوری در سطح یک درصد بود (جدول ۲). میانگین درصد روغن دانه تحت تیمار شاهد برابر با ۳۴/۷ درصد بود که تحت تیمار ۶ دسی زیمنس بر متر با ۶ درصد کاهش به میانگین ۳۲/۸ درصد رسید که البته از این نظر اختلاف معنی‌داری با یکدیکر نداشتند. در مقابل تحت شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر با ۲۷ درصد کاهش به ۲۵/۵ درصد رسید و از این نظر نسبت به سایر سطوح تیماری کمترین میانگین را داشت (جدول ۳). هم راستا با نتایج حاضر، بهادرخواه و کاظمینی (۱۳۹۳) گزارش دادند که درصد روغن دانه گلرنگ تحت تأثیر سطوح شوری قرار گرفت، به گونه‌ای که با افزایش شوری از ۰/۴ به ۵/۹، ۷/۳ و ۹/۱ دسی زیمنس بر متر، درصد روغن دانه به میزان ۱/۶، ۶/۲ و ۱۹/۹ درصد کاهش یافت. Shannon (1998) بیان کرد هزینه‌های اضافی گیاه در زمان مواجه شدن با تنش شوری، مانند هزینه تعدیل اسمزی و افزایش تخصیص مواد به ریشه از یک سو و

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

تاثیرپذیری منفی فتوسنتز از سوی دیگر، موجب کاهش ساخت مواد، به ویژه موادی مانند روغن که تولید آن‌ها انرژی بیشتری می‌طلبـد، می‌شود.



شکل ۱: مقایسه میانگین برهمکنش شوری و بیوچار از نظر صفت عملکرد دانه کاملینا. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون ازنظر آماری براساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.

نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی نتایج نشان داد که سطوح شوری ۶ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد خورجینک در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد زیست توده تک بوته شد که نهایتاً این کاهش معنی‌دار در صفات مورد بررسی منتج به کاهش عملکرد دانه شد. به گونه‌ای که شوری ۶ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر، عملکرد دانه را به ترتیب ۱۶ و ۵۳ درصد کاهش دادند. در مقابل کاربرد بیوچار به ویژه در سطح ۲ درصد وزنی هر گلدان سبب بهبود صفات مورد بررسی کاملینا شد، به گونه‌ای که تیمار ۲ درصد بیوچار سبب افزایش ۳۸ درصدی عملکرد دانه کاملینا شد.

منابع

اخوان هزاوه، ط.، پوراکبر، ل.، رحمانی، ف.، علیپور، ه. ۱۳۹۷. اثرتنش شوری و محلول‌پاشی نانواکسید روی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه کلزا و کاملینا، *مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی*. ۱۰(۴۰)، ۱۱۱-۱۲۷.

بهادرخواه, ف. و کاظمینی, س. ۱۳۹۳. اثر شوری و روش کاشت بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن دانه دو رقم گلرنگ بهاره. *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۱۲(۲)، ۲۶۴-۲۷۲.

توراج زاده، ا.، پیری، ح.، ناصرین، ا. و چاری، م. ۱۴۰۲. بررسی اثر بیوچار و شوری آب آبیاری بر شاخص‌های

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

عملکرد و درصد پروتئین کینوا در شرایط کم‌آبیاری. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۷(۴)، ۵۹۷-۶۱۰.*

سبحانی، س.، علوی فاضل، م.، اردکانی، م.، مدحج، ع.، لک، ش. ۱۴۰۱. ارزیابی تغییرات عملکرد و صفات مرفوفیزیولوژیکی گندم. در شرایط تغییر مقدار نیتروژن، بیوچار و میکوریزا. *مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی.* ۱۴(۵۳)، ۳۱-۴۸.

سوری، ن.، بخشی، د.، رضایی‌نژاد، ع. و فیضیان، م. ۱۳۹۸. اثر تنش شوری بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و پارامترهای فتوسنتزی چند ژنوتیپ تجاری انار ایرانی. *فرآیند و کارکرد گیاهی.* ۸ (۳۰) :۱۷۰-۱۵۵

غلامیان، س.، قمرنیا، ه. و کهریزی، د. ۱۳۹۶. بررسی عملکرد کاملینا تحت رژیم‌های مختلف شوری آب در شرایط گلخانه. *مدیریت آب و آبیاری،* ۷(۲)، ۳۳۳-۳۴۸.

فخری، ش.، راهنما، ا. و مسکرباشی، م. ۱۳۹۵. اثر تنش شوری بر رشد و توزیع یون‌های ویژه بافت در ارقام گندم. *نشریه علوم زراعی ایران.* ۱۸ (۴)، ۳۰۲-۳۱۸.

فرسرایی، س.، مهدی زاده، ل.، مقدم، م. و ابراهیمی، ح. ۱۳۹۸. تأثیر محلول‌پاشی پوترسین بر زیست‌توده، محتوای نسبی آب برگ و میزان عناصر معدنی ریحان تحت تنش شوری. *فرآیند و کارکرد گیاهی.* ۸ (۳۳)، ۳۹۹-۴۱۲.

قمرنیا، ه.، کهریزی، د. و رستمی احمدوندی، ح. ۱۳۹۸. کاملینا: گیاهی کم توقع و سازگار. دانشگاه رازی. کرمانشاه. ۱۲۰ص.

محمدی کله سرلو، س. و سیدشریفی، ر. ۱۴۰۳. اثر برخی تعدیل‌کننده‌های تنش و کودهای آلی بر انتقال ماده خشک و مولفه های پر شدن دانه جو تحت تنش شوری. *مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی،* ۱۶ (۶۳)، ۱۱۷-۱۳۹.

محمدی نژاد، ر.، بهرامیان، س. و کهریزی، د. ۱۳۹۷. ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، ترکیب اسیدهای چرب و پایداری اکسایشی روغن کاملینا ساتیوا. *علوم و صنایع غذایی.* ۱۵(۷۷)، ۲۶۱-۲۶۹.

ملازم، د. ۱۳۹۷. بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های تحمل به تنش شوری در ژنوتیپ‌های ذرت. *مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی،* ۱۰ (۳۹)، ۹۳-۱۱۱.

نباتی، ج.، رمضان نژاد، ر. و نظامی، ا. ۱۴۰۲. بررسی اثر تنش شوری بر شاخص‌های بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های نخود کابلی. *فرآیند و کارکرد گیاهی.* ۱۲ (۵۴)، ۳۹۱-۴۱۰.

نیک روش، ا.، برومند نسب، س.، ناصری، ع. و سلطانی محمدی، ا. ۱۳۹۷. بررسی اثر کاربرد بیوچار و هیدروچار کاه گندم بر خصوصیات فیزیکی یک خاک لوم- شنی. *آب و خاک،* ۳۲(۲)، ۳۸۷-۳۹۷.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

یعقوبی نژاد، س.، جوانمرد، ح.، اندرزیان، ب.، نادری درباغشاهی، م.، شکوه فر، ع. ۱۴۰۳. بررسی اثر تنش آبی و تاریخ کاشت بر عملکرد کمی و کیفی گیاه کاملینا در شرایط آب و هوایی منطقه اهواز. *مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی*. ۱۶(۶۲)، ۴۳-۵۹.

Acosta-Motos, J., Ortuño, M., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. and Hernandez, J. 2017. Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy*, 7 (1), 2-38.

Al Abdallah, Q., Nixon, B. T. and Fortwendel, J. R. 2016. The enzymatic conversion of major algal and cyanobacterial carbohydrates to bioethanol. *Frontiers in Energy Research* 4(1), 1 - 15.

Bohnert, H. J., Su, H., & Shen, B. 1999. Molecular mechanisms of salinity tolerance. *Molecular responses to cold, drought, heat and salt stress in higher plants*, 29-60.

Akhtar, S. S., Andersen, M. N and Liu, F. 2015. Biochar mitigates salinity stress in potato. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 201(5), 368–378.

Ali, S., Rizwan, M., Qayyum, M. F., Ok, Y. S., Ibrahim, M., Riaz, M., ... and Shahzad, A. N. 2017. Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: a critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(1), 12700-12712.

Ashraf, M. H. P. J. C, and Harris, P. J. 2013. Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*, 51(1), 163-190.

Che, W., Li, X., Piao, J., Zhang, Y., Miao, S., Wang, H., ... and Jin, F. 2024. Biochar improves yield by reducing saline–alkaline stress, enhancing filling rate of rice in soda saline–alkaline paddy fields. *Plants*, 13(16), 2237.

Dahlawi, S., Naeem, A., Rengel, Z., and Naidu, R. 2018. Biochar application for the remediation of salt-affected soils: Challenges and opportunities. *Science of the Total Environment*, 625(1), 320-335.

Deinlein, U., Stephan, A. B., Horie, T., Luo, W., Xu, G., and Schroeder, J. I. 2014. Plant salt-tolerance mechanisms. *Trends in plant science*, 19(6), 371-379.

Dubois, M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers and Smith. F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*. 28(3), 350-356

Elhakem, A. H. 2020. Growth, water relations, and photosynthetic activity are associated with evaluating salinity stress tolerance of wheat cultivars. *International Journal of Agronomy*, 2020(1), 957-972.

Hamada, A. M., and El-Enany, A. E. 1994. Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. Biologia Plantarum, 36, 75-81.

Heydarian, Z., Yu, M., Gruber, M., Coutu, C., Robinson, S. J., and Hegedus, D. D. 2018. Changes in gene expression in *Camelina sativa* roots and vegetative tissues in response to salinity stress. *Scientific reports,* 8(1), 9804.

Huang, P., He, L., Abbas, A., Hussain, S., Hussain, S., Du, D., ... and Saqib, M. 2021. Seed priming with sorghum water extract improves the performance of camelina (*Camelina sativa* (L.) crantz.) under salt stress. *Plants*, 10(4), 749.

Imran, S., Sarker, P., Hoque, M. N., Paul, N. C., Mahamud, M. A., Chakrobortty, J., ... and Rhaman, M. S. 2022. Biochar actions for the mitigation of plant abiotic stress. *Crop & Pasture Science*, 10(2), 567-579.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

James, R. A., Caemmerer, S. V., Condon, A. G., Zwart, A. B. & Munns, R. 2008. Genetic variation in tolerance to the osmotic stress component of salinity stress in durum wheat. Functional Plant Biology. 35, 111-123.

Kul, R., Arjumend, T., Ekinci, M., Yildirim, E., Turan, M. and Argin, S. 2021. Biochar as an organic soil conditioner for mitigating salinity stress in tomato. *Soil Science and Plant Nutrition*, 67(6), 693-706.

Lehmann, J., and Joseph, S. (Eds.). 2024. Biochar for environmental management: science, technology and implementation. Taylor & Francis. VA. 416p.

Li, J., Li, Y. E., Wan, Y., Wang, B., Waqas, M. A., Cai, W. and Gao, Q. 2018. Combination of modified nitrogen fertilizers and water saving irrigation can reduce greenhouse gas emissions and increase rice yield. *Geoderma*, 315(1), 1-10.

Li, Y., and Sun, X. S. 2015. Camelina oil derivatives and adhesion properties. Industrial Crops and Products, 73(1), 73-80.

Morales, D., Potlakayala, S., Soliman, M., Daramola, J., Weeden, H., Jones, A., ... and Rudrabhatla, S. 2017. Effect of biochemical and physiological response to salt stress in *Camelina sativa*. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(7), 716-729.

Munns, R., & Gilliham, M. 2015. Salinity tolerance of crops – what is the cost? *New Phytologist*, 208(3), 668–673.

Naveed, M., Ramzan, N., Mustafa, A., Samad, A., Niamat, B., Yaseen, M. & Xu, M. 2020. Alleviation of salinity induced oxidative stress in *Chenopodium quinoa* by Fe biofortification and biochar—endophyte interaction. *Agronomy*, 10(2), 168.

Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P., & Prasad, S. M. 2015. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental science and pollution research*, 22(2), 4056-4075.

Parkash, V., & Singh, S. 2020. Potential of biochar application to mitigate salinity stress in eggplant. *HortScience*, 55(12), 1946-1955.

Patade, V. Y., Khatri, D., Kumar, K., Agarwal, A., Kumari, M. and Nasim, M. 2016. PEG treatment improves germination and establishment in older seeds of camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz): A potential biofuel crop, *Plant Biotechnology and its Applications*, 1(2), 26-28.

Ritchie, S. W., Nguyen, H. T. and Halody, A. S. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Sciences*, 30(1), 105-111.

Russo, R. and Reggiani, R. 2015. Salt sensitivity in *camelina sativa* seedlings and polyamine content. *Plant and Soil Science*. 8(3), 1-7.

Shahzadi, A., Noreen, Z., Alamery, S., Zafar, F., Haroon, A., Rashid, M., ... and Fiaz, S. 2024. Effects of biochar on growth and yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress. *Scientific Reports*, 14(1), 20024.

Shannon, M. C. 1998. Adaptation of plant to salinity. Adv. Agron. 60, 75-119.

Yang, A., Akhtar, S. S., Li, L., Fu, Q., Li, Q., Naeem, M. A., ... and Jacobsen, S. E. 2020. Biochar mitigates combined effects of drought and salinity stress in quinoa. *Agronomy*, 10(6), 912.

Zörb, C., Geilfus, C. M., & Dietz, K. J. 2019. Salinity and crop yield. *Plant Biology*, 21(S1), 31–38.

James, R. A., S. V. Caemmerer, A. G. Condon, A. B. Zwart and R. Munns. 2008. Genetic variation in tolerance to the osmotic stress component of salinity stress in durum wheat. *Functional Plant Biology*. 35(1), 111-123.

Shannon, M. C. 1998. Adaptation of plants to salinity. *Advance in Agronomy*. 60(1), 75-119.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

The effect of biochar application on some growth, physiological and biochemical traits of Camelina plant under different salinity levels

H.zaremanesh*[1], F.salehi[2] and H.chegeni[3]

1,3) Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran

2) Department of Agronomy Research, Khuzestan Sugarcane Development and By-products Research and Training Institute, Ahvaz, Iran.

***Corresponding Author: hadis_zaremanesh@pnu.ac.ir**

Received date: 2024.10.30 **Accepted date: 2025.02.01**

Abstract

To investigate the effect of biochar application on growth, physiological, and biochemical characteristics of Camelina under salinity stress, a two-factor factorial experiment was conducted in a randomized complete block design (RCBD) with three replications in the greenhouse of Payame Noor University of Lorestan during the 2022–2023 crop year. The experimental treatments included salinity stress at three levels (0, 6, and 12 dS/m) and biochar application at three levels (0, 1, and 2% w/w of soil per pot). The results showed that the average grain yield in the control treatment was 3.28 g.plant^{-1}, which decreased by 16 and 53% to 2.74 and 1.53 g.plant^{-1} under salinity levels of 6 and 12 dS/m, respectively. In contrast, the application of 1 and 2% biochar increased the grain yield of camelina by 12 and 38%, respectively. The oil content of camelina was also affected only by salinity levels, and salinity levels of 6 and 12 dS/m caused a 6 and 27% decrease in seed oil content, respectively.The mean stomatal conductance under 6 and 12 dS/m salinity levels reached 52.7 and 36.9 mmol m^{-2} s^{-1}, respectively. In contrast, the application of 1% and 2% biochar increased stomatal conductance by 10% and 25%, respectively. Potassium content decreased by 14% and 35% under 6 and 12 dS/m salinity levels, respectively, whereas sodium content increased by 135% under 12 dS/m salinity stress. In contrast, biochar application led to an increase in potassium content and a decrease in sodium content. The highest potassium concentration was observed with the 2% w/w biochar treatment (41.9 mg.g DM^{-1}), while the lowest sodium content was also recorded under the 2% w/w biochar treatment (10 mg.g DM^{-1}).

Key Words: Camelina, osmolytes, abiotic stresses and grain yield.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]