

بررسی تحمل به شوری در مراحل مختلف رشدی در کلزا (*Brassica napus*) رقم طلایه

سیدعبدالرضا کاظمینی^{۱*}، محمدحسین البرزی حقیقی^۲، هادی پیرسته انوشه^۳

۱. دانشیار بخش زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.

۲. دانشجوی ارشد بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.

۳. استادیار بخش تحقیقات زراعت و باغبانی، مرکز ملی تحقیقات شوری.

تاریخ دریافت: ۹۳/۹/۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱/۲۹

چکیده

تنش شوری از مهم‌ترین تنش‌های محیطی، بسته به شدت و مرحله رشد موجب کاهش معنی‌دار رشد و تغییر در تجمع و توزیع یون‌ها در کلزا می‌شود. بدین منظور، در این پژوهش اثر سطوح متفاوت شوری آب آبیاری شامل: ۰/۴ (آب شهر به‌عنوان شاهد)، ۴، ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در مراحل متفاوت رشد شامل: ۵ برگ، ساقه‌رفتن و گلدهی بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک کلزا رقم طلایه در محیط کنترل‌شده گلخانه در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در سال ۱۳۹۳ بررسی شد. نتایج نشان دادند که با افزایش سطح تنش شوری ارتفاع بوته، تعداد برگ، شاخص سطح برگ، وزن خشک شاخساره و ریشه، محتوای رطوبت شاخساره و ریشه و همچنین غلظت پتاسیم شاخساره و ریشه کاهش یافتند، ولی شاخص محتوای کلروفیل و غلظت سدیم شاخساره و ریشه افزایش نشان دادند. تأثیر منفی تنش شوری در همه سطوح، در مرحله ۵ برگ بیشتر بود و با تأخیر در اعمال تنش شوری، تأثیر منفی آن کاهش یافت. به‌عنوان مثال، تنش شوری در بالاترین سطح خود در مراحل ۵ برگ، ساقه‌رفتن و گلدهی به ترتیب با کاهش ۷۸/۰٪، ۵۰/۷٪ و ۲۶/۵٪ در وزن خشک شاخساره و ۶۱/۸٪، ۴۱/۲٪ و ۲۱/۰٪ در وزن خشک ریشه همراه بود. آستانه تحمل به شوری (۵۰٪) کاهش عملکرد) برای کلزا رقم طلایه در مراحل ۵ برگ، ساقه‌رفتن و گلدهی به ترتیب معادل ۱/۲، ۲/۹ و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر برآورد شد. نتایج این آزمایش بیان‌کننده حساسیت بیشتر مراحل اولیه رشدی کلزا به شوری است و با افزایش سن گیاه تحمل به شوری افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: آستانه تحمل، پتاسیم، سدیم، وزن خشک.

مقدمه

روغنی در جهان و ایران است که در سال‌های اخیر به‌طور قابل‌توجهی گسترش پیدا کرده است. تحمل به شوری گونه‌های این خانواده بین غلات با بیشترین تحمل و باقلاییان با کمترین تحمل، قرار می‌گیرد (Arshad, 2001). شوری در محیط رشد ریشه کلزا باعث می‌شود که ظهور برگ‌ها و تشکیل اولین میانگره با تأخیر بیفتد و در صورت تداوم روند شوری در مراحل بعدی رشد موجب کاهش ارتفاع گیاه، کاهش تعداد غلاف و تعداد دانه در غلاف می‌شود. یکی از بارزترین اثرات شوری کاهش سطح برگ است. حتی اگر فتوسنتز هم در واحد سطح تغییر نکند ولی میزان کل فتوسنتز گیاه کم شده و خود منجر به کاهش میزان رشد

شوری از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که تولیدات گیاهان زراعی را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد و این موضوع در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک مانند ایران دارای اهمیت بیشتری است. حدود ۸ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی کشور در معرض تنش شوری قرار دارند (Emam et al., 2013). آبیاری با آب دارای کیفیت پایین، یکی از دلایلی اصلی تجمع نمک است و با قرار گرفتن گیاه در این محیط به دلیل منفی شدن پتانسیل اسمزی محلول خاک و تجمع یون‌های سدیم و کلر، صدمه خواهد دید (Munns and Tester, 2008). کلزا (*Brassica napus* L.) متعلق به خانواده Brassicaceae، یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه

به‌منظور بررسی اثر تنش شوری بر برخی ویژگی‌های مورفو-فیزیولوژیک کلزا رقم طلایه، پژوهشی در شرایط کنترل‌شده گلخانه در بخش زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام شد. تیمارها شامل اعمال تنش شوری در چهار سطح ۰/۴ (آب شهر به‌عنوان شاهد)، ۰/۴، ۰/۷ و ۱/۰ دسی‌زیمنس بر متر در سه مرحله ۵ برگی، ساقه رفتن و گلدهی بود؛ که به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار طراحی شد.

گلدان‌های پلاستیکی ۵ لیتری با نسبت ۲: ۱: ۱ از خاک مزرعه، شن شسته شده و خاک‌برگ پر شدند. تعداد ۵ بذر یکنواخت و سالم کلزا در داخل هر گلدان کشت شد و پس از استقرار کامل و پیش از اعمال تیمارها به ۳ بوته در هر گلدان تنک شد. آبیاری گلدان‌ها بر اساس ظرفیت مزرعه (به‌علاوه ۲۵٪ سهم آبشویی) و از طریق توزین مداوم (بافاصله زمانی ۴-۵ روزه) آن‌ها و محاسبه مقدار آب موردنیاز تا رسیدن به سطح موردنظر صورت گرفت. درصد ظرفیت مزرعه معادل ۲۲/۵ درصد وزنی اندازه‌گیری شد.

اعمال تیمار شوری به‌صورت آبیاری با آب شور با هدایت الکتریکی موردنظر در سرتاسر طول دوره نمودی ذکرشده بود که با استفاده از نمک‌های کلرید سدیم و کلرید کلسیم با نسبت وزنی ۱: ۱ صورت پذیرفت. این کار برای کاهش اثرات سمی کلرید سدیم و نزدیک شدن به شوری طبیعی صورت گرفت (Emam and Pirasteh-Anosheh, 2015). هدایت الکتریکی محلول‌های موردنظر و همچنین زه آب گلدان‌ها با استفاده از دستگاه هدایت الکتریکی سنج پرتابل^۱ (مدل digital USA ۲۰۵۲) کنترل شد. دمای میانگین روز و شب گلخانه به ترتیب ۲۸ و ۱۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بین ۵۵ تا ۶۰ درصد بود. بوته‌های کلزا روزانه در معرض ۱۲ ساعت روشنایی به‌صورت ترکیبی از لامپ فلورسنت و مهتابی با شدت ۴۲۰ میکرو اینشتین بر مترمربع در ثانیه بودند.

در مرحله پر شدن دانه شاخص محتوای کلروفیل^۲ با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر پرتابل (مدل Opti-Science X, USA) تعیین شد. برای این کار از هر سه بوته در هر گلدان قرائت صورت گرفت و میانگین آن‌ها به‌عنوان داده آن واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. میانگین ارتفاع و تعداد برگ هر سه بوته نیز ثبت شد. سپس همه

خواهد شد (Ashraf et al., 1989). با افزایش شوری غلظت پتاسیم، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، میزان فتوسنتز و تنفس کلزا کاهش، ولی غلظت سدیم و کلسیم و منیزیم اندام هوایی افزایش یافت (Baibordi, 2010).

در یک پژوهش (Maas and Poss, 1989a) با بررسی تأثیر تنش شوری در مراحل مختلف بر عملکرد دانه و غلاف لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) مشخص شد که این گیاه نسبت به شوری در مراحل اولیه بسیار حساس است، ولی در برابر اعمال شوری در مراحل بعدی حساسیت کمتری دارد. این نتیجه هم برای رشد رویشی و هم برای عملکرد دانه یکسان بود. این پژوهشگران در آزمایش دیگری (Maas and Poss, 1989b) بایان حساسیت کمتر گندم نان (*Triticum aestivum* L.) و ماکارونی (*Triticum durum* L.) به شوری در اواخر فصل رشد، آبیاری با آب نسبتاً شور را در طول سه‌ماهه آخر رشد گندم به‌عنوان راهکاری برای مناطق با کمبود منابع آب شیرین، پیشنهاد کردند. مس و همکاران (Maas et al., 1983) نیز گزارش کردند که ۱۶ هیبرید ذرت (*Zea mays* L.) موردبررسی در مرحله جوانه‌زنی متحمل به شوری بود، درحالی‌که گیاهچه‌های این هیبریدها کاملاً حساس برآورد شد. این پژوهشگران نتیجه گرفتند که حساس‌ترین مرحله رشدی ذرت در طول دوره‌ی رشد رویشی است. مشابه با پژوهش اخیر در مورد ذرت، در پژوهشی دیگر، مس و همکاران (Maas et al., 1986) نشان دادند که اگرچه شوری در همه مراحل با کاهش معنی‌دار عملکرد دانه همه ارقام سورگم همراه بود، ولی دوره رویشی و رسیدن به ترتیب بیشترین و کمترین حساسیت را به تنش شوری داشتند. پژوهش‌ها در مورد تحمل شوری در مراحل متفاوت رشدی کلزا بسیار اندک است.

با توجه به مشکل کمبود منابع آب شیرین در ایران و به‌ویژه در استان‌های جنوبی کشور، شناسایی مکانیسم‌های تحمل به شوری آب آبیاری راه‌حلی مؤثر در جهت افزایش تولید در شرایط تنش شوری است. لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی تحمل شوری در مراحل مختلف رشدی در گیاه کلزا (رقم طلایه) و تعیین حد آستانه تحمل برای ۵۰٪ کاهش عملکرد در هر کدام از این مراحل بود.

مواد و روش‌ها

¹. Portable EC-meter

². Chlorophyll Content Index

ریشه گیاه، ناشی از تجمع مقادیر بالای نمک در محلول خاک، باشد (Emam et al., 2013) که منجر به کاهش فتوسنتز و کاهش تولید مواد پرورده برای رشد بوته‌های کلزا گردیده است. پیرسته انوشه و همکاران (Pirasteh-Anosheh et al., 2014) بابیان کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته جو تحت شرایط شور گزارش کردند که رشد شاخساره نسبت به رشد ریشه بیش‌تر تحت تأثیر منفی تنش شوری قرار می‌گیرد.

هم تعداد برگ در بوته (شکل اب) و هم شاخص سطح برگ (شکل اج) بوته‌های کلزا تحت تأثیر معنی‌دار تنش شوری در همه مراحل رشدی کاهش یافت. شدت کاهش تعداد و سطح برگ بوته رابطه مستقیمی با شدت تنش داشت، به‌طوری‌که با افزایش شوری آب آبیاری از ۰/۴ به ۰/۴، ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس تعداد برگ در بوته به ترتیب به مقادیر ۲۱/۹٪، ۳۶/۰٪ و ۴۳/۹٪ و سطح برگ به ترتیب به مقادیر ۲۶/۱٪، ۳۳/۹٪ و ۴۱/۹٪ کاهش یافت. تنش شوری منجر به تغییرات بیوشیمیایی و پاسخ‌های فیزیولوژیک گسترده‌ای در گیاهان می‌شود و بر تمام مراحل نظیر فتوسنتز، رشد و توسعه اندام‌های متفاوت گیاه مانند سطح و تعداد برگ تأثیر می‌گذارد (Tadayon and Emam, 2007). این موضوع همچنین می‌تواند به علت کاهش پتانسیل آب و کاهش تورژسانس برگ در گیاهان تحت تنش شوری باشد (Emam et al., 2013).

در تمامی سطوح تنش شوری، تفاوت معنی‌داری بین تعداد برگ در تیمارهای اعمال تنش در مراحل ۵ برگی و ساقه رفتن مشاهده نشد، درحالی‌که در شدت‌های شوری بالا (۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) تعداد برگ در هر بوته در تیمار اعمال تنش در مرحله گلدهی به‌طور معنی‌داری بیشتر از اعمال تنش در مراحل ۵ برگی و ساقه رفتن بود (شکل اب). در سطح شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در مرحله گلدهی، تعداد برگ در بوته به مقادیر ۲۳/۹٪ و ۲۰/۰٪ بیشتر از اعمال همین سطح شوری به ترتیب در مراحل ۵ برگی و ساقه رفتن و به مقدار ۳۴/۲٪ کمتر از تیمار بدون تنش بود. از سوی دیگر، تفاوت معنی‌داری بین سطوح و زمان‌های اعمال تنش شوری از نظر شاخص سطح برگ مشاهده شد (شکل اج). رده‌بندی شدت کاهش شاخص سطح برگ در اثر اعمال شوری به ترتیب در مراحل ۵ برگی، ساقه رفتن و گلدهی بود. بیشترین درصد کاهش شاخص سطح برگ در تیمار شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در

بوته‌های گل‌دان‌ها کف‌بر شده و سطح برگ بوته‌ها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل Delta-T Device) اندازه‌گیری شد. خاک گل‌دان‌ها در الک‌های فلزی خالی و با آب شسته و ریشه بوته‌ها جدا شد. پس از توزین جداگانه شاخساره تر و ریشه تر نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای 70 ± 3 درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و سپس وزن خشک آن‌ها با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. محتوای رطوبت شاخساره و ریشه نیز از نسبت تفاضل وزن تر و خشک به وزن تر محاسبه شد. برای اندازه‌گیری مقدار سدیم و پتاسیم شاخساره و ریشه از روش شعله سنجی با دستگاه فلیم فتومتر (مدل Perkin Elmer 110, USA) استفاده شد. برای مقایسه میانگین‌ها خطای استاندارد^۱ محاسبه گردید و حد آستانه تحمل به شوری برای ۵۰٪ کاهش عملکرد نیز بر اساس روش وان گنوختن و هافمن (Van Genuchten and Hoffman, 1984) تخمین زده شد. این پژوهشگران بیان کردند که واکنش گیاهان به شوری همیشه خطی نیست، بلکه به‌صورت سیگموئیدی است. بر این اساس میزان شوری که باعث کاهش ۵۰ درصدی عملکرد می‌گردد با توجه به مقدار عملکرد در شرایط غیر شور و شور و میانگین شوری عصاره اشباع خاک در منطقه توسعه ریشه به دست می‌آید. این تجزیه‌ها توسط نرم‌افزار SAS v 9.1 انجام گرفت.

نتایج و بحث

تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته گردید که این کاهش با افزایش شدت تنش افزایش یافت (شکل الف). چنانچه به‌طور میانگین، تنش‌های شوری ۴، ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس به ترتیب با ۱۴/۷٪، ۱۷/۲٪ و ۲۱/۵٪ کاهش در ارتفاع بوته کلزا همراه بود. تمام سطوح تنش شوری در مراحل ۵ برگی و ساقه رفتن ارتفاع بوته را به‌طور معنی‌داری کاهش داد، درحالی‌که اعمال تنش شوری در مرحله گلدهی تنها در شدت‌های ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوده شد (شکل الف). بیشترین کاهش ارتفاع در تیمار شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در مرحله ۵ برگی به مقدار ۳۲/۶٪ مشاهده شد.

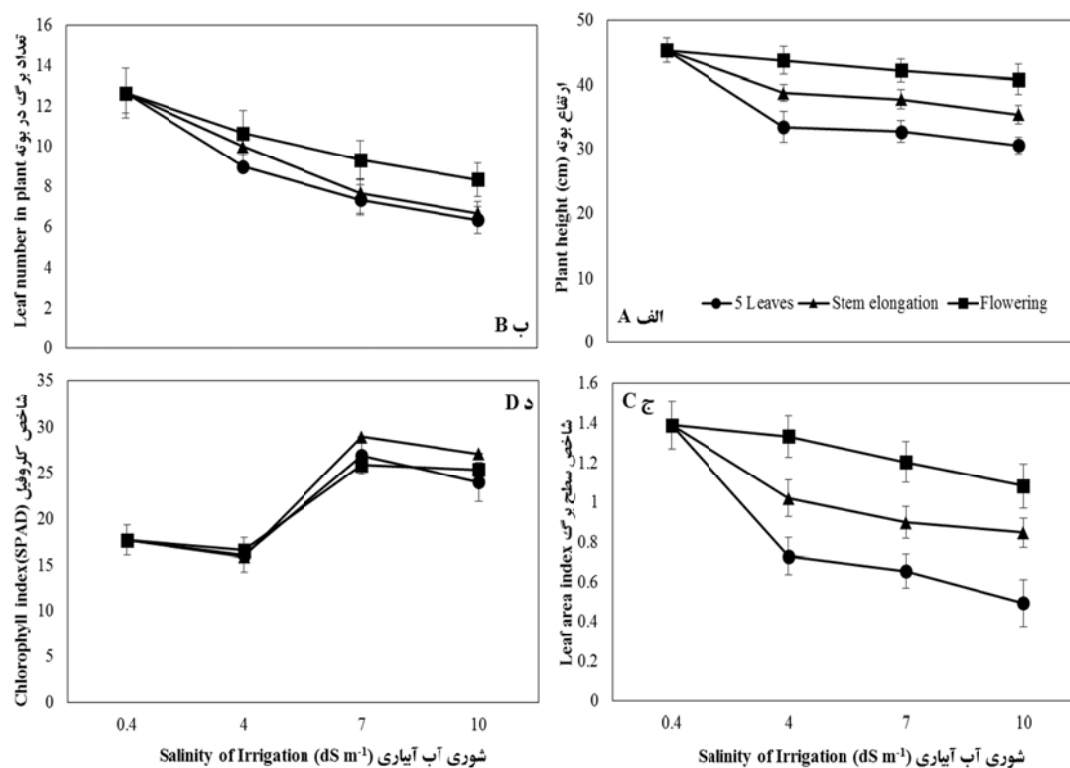
کاهش ارتفاع بوته می‌تواند به دلیل منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی محیط اطراف ریشه نسبت به سلول‌های

¹. Standard error

دسی‌زیمنس بر متر با افزایش ۰/۵۴٪ و ۰/۴۴٪ در محتوای کلروفیل همراه بود. نتایج این تحقیق با پژوهش‌های پیشین (Chartzoulakis et al., 1995; Ommen et al., 1999; Pirasteh-Anosheh et al., 2014) مبنی بر افزایش عدد کلروفیل‌متر در شرایط شور مطابقت دارد. آمن و همکاران (Ommen et al., 1999) نشان دادند با اعمال تنش شوری تا میزان ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر مقدار عددی کلروفیل‌متر افزایش یافت. در پژوهشی دیگر نیز مشخص شد که در تنش شوری ناشی از کلرید سدیم باوجود کاهش هدایت روزنه‌ای در میزان شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر عدد کلروفیل‌متر برگ افزایش یافت (Chartzoulakis et al., 1995).

مرحله ۵ برگی به مقدار ۰/۶۴٪ به دست آمد. بوم و همکاران (Boem et al., 1994) بیان کردند که با افزایش سطح شوری، تعداد، عرض و ضخامت برگ‌ها نیز کاهش یافت. تدین و امام (Tadayon and Emam, 2007) نیز گزارش کردند که افزایش شدت تنش شوری به‌صورت فزاینده‌ای سبب کاهش تعداد و مساحت برگ‌ها گردید که درصد کاهش در ارقام حساس بیش‌تر از ارقام متحمل بود.

اگرچه تنش شوری موجب افزایش شاخص محتوای کلروفیل گردید، ولی تفاوت معنی‌داری بین مراحل اعمال تنش مشاهده نشد (شکل ۱د). اولین سطح تنش شوری (۴ دسی‌زیمنس بر متر) تأثیر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل نداشت، درحالی‌که افزایش شوری آب آبیاری به ۷ و ۱۰



شکل ۱. تأثیر سطوح متفاوت تنش شوری در مراحل مختلف رشدی بر ارتفاع، رشد برگ و کلروفیل بوته‌های کلزا. بارها نشان‌دهنده خطای استاندارد ($\pm SE$) است.

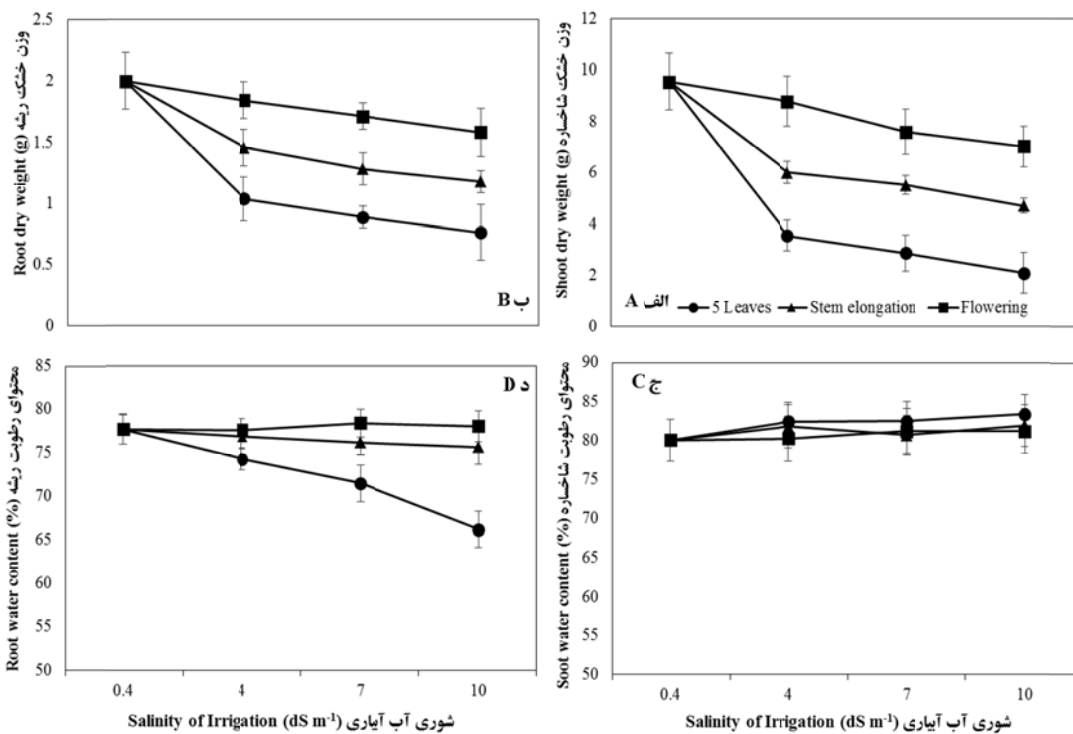
Fig. 1. Effect of different salt stress levels at different growth stage on height, leaf growth and chlorophyll of rapeseed plants. Bars represent standard errors ($\pm SE$).

افزایش شوری آب آبیاری به بیشتر از ۰/۴ دسی‌زیمنس بر متر (آب شهر) وزن خشک شاخساره (شکل ۲الف) و

تنش شوری در سطوح ۴، ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در مرحله ۵ برگی به ترتیب با ۰/۴۶٪، ۰/۸۳٪ و ۱/۱۵٪ کاهش در محتوای رطوبت ریشه همراه بود.

در شدت‌های شوری پایین کاهش پتانسیل اسمزی عامل محدودکننده جوانه‌زنی و سبز شدن است. ولی در شوری‌های بالا سمیت یونی و در پی آن افزایش جذب یون-های مضر به‌خصوص کلرید سدیم و عدم تعادل بین عناصر غذایی سبب کاهش وزن خشک محسوب می‌شوند (Kingsbury et al., 1984). تأثیری که تیمارهای مختلف شوری بر ویژگی‌های رشدی و وزن خشک کلزا داشته است را می‌توان به اثرات گسترده تنش شوری بر فعالیت‌های سلول گیاهی از جمله فتوسنتز، فعالیت آنزیم‌های مختلف، متابولیسم سلول و غیره نسبت داد (Arshad, 2001).

ریشه (شکل ۲ب) بوته‌های کلزا را کاهش داد. به‌طور میانگین، وزن خشک شاخساره در شوری‌های ۴، ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب به مقادیر ۰/۳۵/۹٪، ۰/۴۴/۲٪ و ۰/۵۱/۷٪ نسبت به وزن خشک شاخساره در شوری شاهد کمتر بود. این مقادیر برای وزن خشک ریشه به ترتیب معادل ۰/۲۷/۶٪، ۰/۳۵/۲٪ و ۰/۴۱/۲٪ بود. شوری از سه طریق موجب کاهش وزن خشک گیاهان می‌گردد: پتانسیل اسمزی محلول، تولید یون‌های سمی و تغییر تعادل عناصر غذایی (Munns and Tester, 2008). محتوای رطوبت شاخساره چندان تحت تأثیر معنی‌دار شدت و مرحله اعمال شوری قرار نگرفت (شکل ۲ج)؛ درحالی‌که محتوای رطوبت ریشه تحت تأثیر اعمال تنش شوری در همه سطوح در مرحله ۵ برگی کاهش معنی‌دار یافت (شکل ۲د). اعمال



شکل ۲. تأثیر سطوح متفاوت تنش شوری در مراحل مختلف رشدی بر و وزن خشک و محتوای رطوبت شاخساره و ریشه بوته‌های کلزا. بارها نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) است.

Fig. 2. Effect of different salt stress levels at different growth stage on water content, shoot and root dry weight of rapeseed plants. Bars represent standard errors (±SE).

نگهداری سدیم و جلوگیری از انتقال آن به شاخساره یکی از مکانیسم‌های تحمل شوری در برخی گیاهان است (Munns and Tester, 2008; Emam et al., 2013)؛ که این ویژگی در بوته‌های کلزا در مطالعه حاضر دیده نشد، بنابراین نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کلزا از روش‌هایی غیر از توزیع یون‌های مضر برای تحمل استفاده می‌کند. کاهش جذب سدیم و افزایش جذب پتاسیم می‌تواند یکی از این مکانیسم‌های احتمالی باشد. تغییرات سدیم شاخساره و ریشه با تغییرات وزن خشک گیاه همراه بود، به طوری که با افزایش غلظت سدیم وزن خشک نیز کاهش یافت. برخی پژوهشگران پیشین (Xue et al., 2004; Shiyab, 2011) نیز سمیت یون‌ها و جذب بیش‌ازحد سدیم را علت کاهش رشد گیاه در شرایط تنش شوری بیان کردند؛ آن‌ها همچنین بیان کردند افزایش غلظت سدیم و کلر بر جذب رقابتی بسیاری از عناصر ضروری و انتخاب‌پذیری یونی در غشا اثر دارد که منجر به کاهش وزن خشک گیاه می‌گردد.

افزایش شوری آب آبیاری با کاهش غلظت پتاسیم شاخساره و ریشه همراه بود که این افزایش در مورد شاخساره از اولین سطح شوری و در مورد ریشه از دومین سطح شوری معنی‌دار بود (شکل‌های ۳ ج و ۳ د). خسروی نژاد و همکاران (Khosravaninejad et al., 2009) گزارش دادند در شرایط تنش شوری، با افزایش مقدار سدیم، غلظت پتاسیم بخش هوایی و ریشه گیاه جو کاهش می‌یابد که این کاهش در ریشه نسبت به بخش هوایی جو قابل‌ملاحظه است. تنها در سطح شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای مرحله اعمال تنش مشاهده شد، به طوری که بیشترین غلظت پتاسیم از تیمار مرحله گلدهی و کمترین آن از تیمار مرحله ۵ برگی به دست آمد (شکل ۳ ج). از سوی دیگر، غلظت پتاسیم ریشه در شوری‌های ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس در مراحل ساقه رفتن و گلدهی، بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر، بیشتر از تیمار مرحله ۵ برگی بود (شکل ۳ د). بیشترین کاهش غلظت پتاسیم در بوته‌های رشد کرده تحت تیمار شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در مرحله ۵ برگی به دست آمد که برای شاخساره و ریشه به ترتیب معادل ۷۶/۱٪ و ۵۵/۰٪ بود.

کاهش یون پتاسیم در شرایط شور و جایگزینی آن به وسیله سدیم منجر به عدم تعادل جذب عناصر غذایی می‌شود (Pirasteh-Anosheh et al., 2014). همچنین تجمع این یون می‌تواند به عنوان یک مکانیسم برای تنظیم

وقوع سریع‌تر تنش شوری با افزایش شدت تأثیر کاهنده آن بر وزن خشک شاخساره و ریشه همراه بود، به طوری که در هر سه شدت تنش شوری، بیشترین و کمترین وزن خشک شاخساره (شکل ۲ الف) و ریشه (شکل ۲ ب) به ترتیب از تیمارهای اعمال تنش شوری در مراحل گلدهی و ۵ برگی به دست آمد. بیشترین درصد کاهش وزن خشک شاخساره و ریشه از تیمار شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر اعمال شده در مرحله گلدهی به ترتیب معادل ۷۸/۰٪ و ۶۱/۸٪ مشاهده شد. برای اکثر گیاهان زراعی استقرار گیاهچه، حساس‌ترین مرحله نسبت به شوری است. درصد و سرعت بالای جوانه‌زنی و همچنین رشد بهتر ریشه و ساقه در اوایل فصل رشد باعث استفاده بهینه از تابش در زمین‌پوشی^۱ و یکنواختی سایه-گیاهی و در نهایت رسیدن به پتانسیل عملکرد خواهد شد (Pirasteh-Anosheh et al., 2011)؛ بنابراین تنش شوری در مراحل اولیه موجب ضعیف شدن گیاه می‌شود.

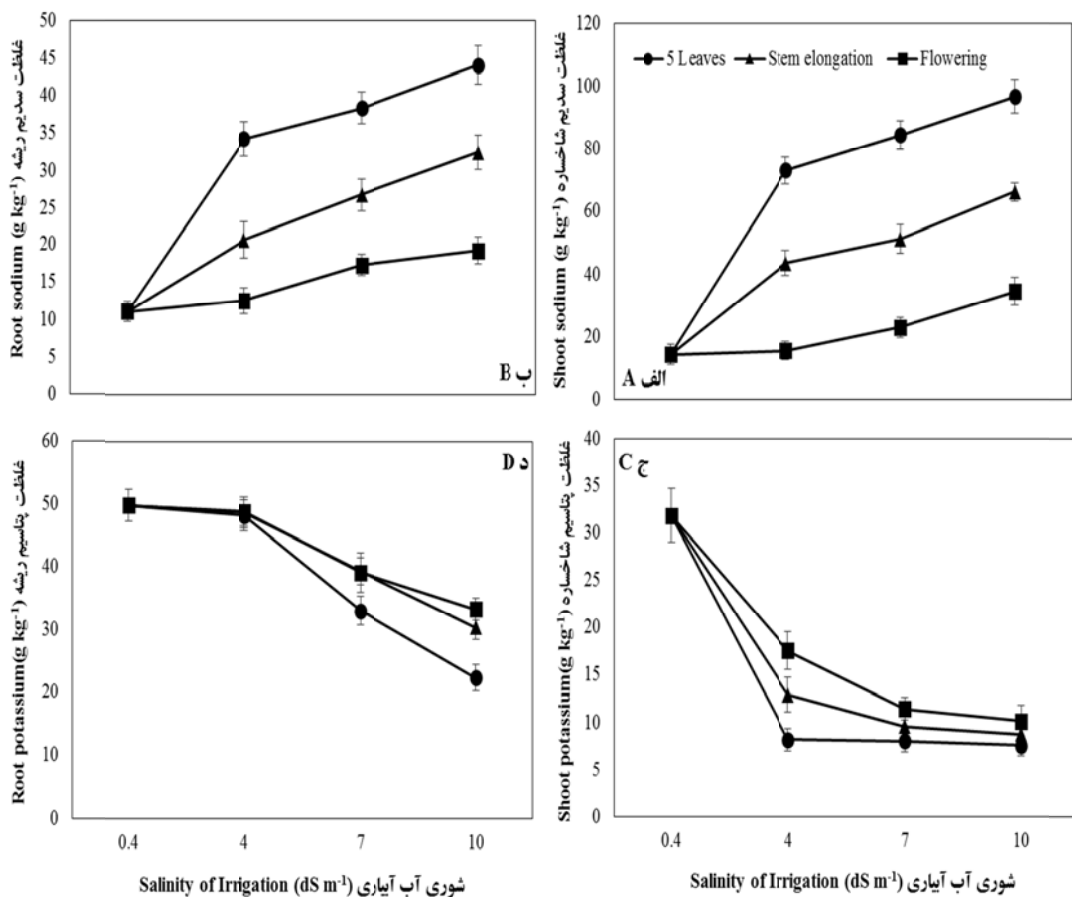
غلظت سدیم شاخساره و ریشه تحت تأثیر تنش شوری در همه مراحل و همه شدت‌های تنش افزایش یافت (شکل‌های ۳ الف و ۳ ب). به طور میانگین، بوته‌های کلزای رشد کرده تحت شرایط شوری ۴، ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب دارای ۲/۱، ۲/۷ و ۳/۶ برابر سدیم بیشتری در شاخساره و ۰/۹، ۱/۴ و ۱/۸ برابر سدیم بیشتری در ریشه خود بودند. در مراحل ۵ برگی و ساقه رفتن، همه سطوح شوری موجب افزایش معنی‌دار غلظت سدیم شاخساره و ریشه شدند، در حالی که در مرحله گلدهی شوری‌های ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر با افزایش معنی‌دار سدیم شاخساره به ترتیب به مقادیر ۶۰/۸٪ و ۱۴۲/۰٪ (شکل ۳ الف) و سدیم ریشه به ترتیب به مقادیر ۵۶/۰٪ و ۷۳/۴٪ (شکل ۳ ب) همراه بودند.

در شرایط شور، ریشه‌ها دارای سدیم کمتری بودند و مقدار بیشتری از سدیم به شاخساره انتقال یافت. ریشه‌های گیاهان مختلف دارای ظرفیت معینی برای ذخیره ریشه هستند و مقدار بیشتر از ظرفیت ذخیره‌ای را به شاخساره انتقال می‌دهند (Munns and Tester, 2008). انتقال بیشتر سدیم به شاخساره به‌ویژه در سطوح بالای شوری یکی از دلایل آسیب به بوته‌های کلزا و کاهش رشد آن در شرایط شور بود.

^۱. Ground covering

سدیم بیشتر از پتاسیم باشد. ظرفیت پتاسیم در بافت گیاه نمایانگر کاتیون اصلی در سلول و اهمیت این جزء در تنظیم اسمزی است (Shiyab, 2011).

اسمزی ارقام گیاه در شرایط شور باشد (Xue et al., 2004). رقابت برای جذب سدیم و پتاسیم تحت شرایط شور در صورتی می‌تواند اثر منفی بر رشد گیاه بگذارد که مقدار



شکل ۳. تأثیر سطوح متفاوت تنش شوری در مراحل مختلف رشدی بر غلظت سدیم و پتاسیم شاخساره و ریشه بوته‌های کلزا. بارها نشان‌دهنده خطای استاندارد ($\pm SE$) است.

Fig. 3. Effect of different salt stress levels at different growth stage on shoot and root sodium and potassium of rapeseed plants. Bars represent standard errors ($\pm SE$).

ایجاد گیاهچه ای ضعیف می‌شود که در مراحل بعدی نیز توانایی رشد و تولید بالا را نخواهد داشت. از آنجایی که بیشترین رشد رویشی در مراحل اولیه رشد گیاه اتفاق می‌افتد، بنابراین وقتی تنش شوری در مراحل آخر رشد گیاهان اتفاق بیفتد تأثیر چندانی بر رشد و تولید گیاهان ندارد (Maas et al., 1986).

با افزایش سن بوته‌های کلزا، تحمل به شوری نیز افزایش یافت؛ به طوری که بر اساس نتایج تجزیه حد آستانه تحمل به شوری برای ۵۰٪ کاهش عملکرد، تحمل شوری کلزا در مراحل ۵ برگی، ساقه رفتن و گلدهی به ترتیب معادل ۱/۲، ۲/۹ و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر است (جدول). این چنین استدلال می‌شود که تنش شوری در مراحل اولیه موجب

جدول ۱. مقایسه تحمل نسبی شوری در مراحل مختلف رشد کلزا در تولید ماده خشک.

Table 1. Comparison of relative salinity tolerance at different growth stage of rapeseed for dry matter production.

Tolerance rating*	دسته‌بندی تحمل**	آستانه برآورد شده*		شیب کاهش Reduction rate	مرحله رشدی Growth stage
		Estimated threshold	R-square		
Sensitive	حساس	1.17	0.802	-0.741	5 leaves ۵ برگگی
Mild tolerant	نسبتاً متحمل	2.87	0.855	-0.481	Stem elongation ساقه رفتن
Tolerant	متحمل	7.52	0.980	-0.271	Flowering گلدهی

*آستانه تحمل به شوری بر اساس روش وان گنوختن و هافمن (Van Genuchten and Hoffman, 1984)

**دسته‌بندی تحمل بر اساس مس و هافمن (Maas and Hoffman, 1977)

*Threshold of salinity tolerance based on Van Genuchten and Hoffman (1984)

**Tolerance rating based on Maas and Hoffman (1977)

آستانه تحمل شوری برای فرآیندهای مراحل زایشی مانند رشد دانه بیشتر از مرحله گیاهچه‌ای بود، مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش شوری رشد شاخساره و ریشه را محدود کرده و توزیع و تجمع یون‌های سدیم و پتاسیم را نیز به زیان گیاه تغییر می‌دهد. این اثرات منفی به‌طور قابل‌توجهی با شدت و مرحله اعمال تنش همبسته بود. با افزایش شدت تنش شوری کاهش در رشد و غلظت پتاسیم و افزایش در شاخص محتوای کلروفیل و غلظت سدیم بیشتر شد. بر اساس نتایج این پژوهش، کلزا گیاهی حساس، نیمه متحمل و متحمل به ترتیب در مراحل ۵ برگگی، ساقه رفتن و گلدهی بود.

مس و پاس (Maas and Poss, 1989b) نیز نشان دادند که حساسیت گندم با افزایش سن کاهش می‌یابد. این یافته هم در مورد گندم نان و هم در مورد گندم ماکارونی تأیید شد. پژوهش‌ها در مورد تعیین حد آستانه در مورد گیاه کلزا اندک است، با این‌وجود شهبازی و همکاران (Shahbazi et al., 2011) حد آستانه کلزا را به‌طور کلی معادل ۴/۸ دسی‌زیمنس بر متر برآورد کردند که برای دو رقم استقلال و طلاپه این عدد یکسان بود. در پژوهشی دیگر (Shahbazi, 2000) آستانه تحمل ارقام متفاوت کلزا بین ۵ تا ۷ دسی‌زیمنس بر متر برآورد شد. داده‌های پژوهش حاضر نشان داد که بر اساس دسته‌بندی مس و هافمن (Maas and Hoffman, 1977) کلزا در مراحل ۵ برگگی، ساقه رفتن و گلدهی به ترتیب جزء دسته‌های حساس، نسبتاً متحمل و متحمل قرار می‌گیرد. این یافته‌ها با یافته‌های مس و همکاران (Maas et al., 1983) که بیان کردند حد

منابع

- Arshad, M., Rashid, A., 2001. Nitrogen uptake and dry matter production by tomato plants under salt stress. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 4, 397-399.
- Ashraf M., Bokhari, M.H., Mehmood, S., 1989. Effect of four different salts on germination and seedling growth of four Brassica species. *Biologica*. 35, 173-187.
- Baibordi, A., Seidtabtabai, S.J., Ahmadof, A., 2010. NaCl salinity effect on qualitative, quantitative and physiological attributes of winter canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Journal of Water and Soil*. 24, 334-346
- Boem, F.H.G., Scheiner, J.D., Lavadi, R.S., 1994. Some effect of soil salinity on growth, development and yield of rapeseed. *Crop Science*. 137, 182-187.

- Chartzoulakis, K.S., Therios, I.N., Misopolinose, N.D., 1995. Growth, ion content and photosynthetic performance of salt stressed kiwifruit plants. *Irrigation Science*. 16, 23-28.
- Emam, Y., Pirasteh-Anosheh, H., 2015. *Field and Laboratory Techniques in Crop Science*. Jahad-e-Daneshgahi of Mashhad Press. Mashhad, Iran. 108 pp. [In Persian].
- Emam, Y., Hosseini, E., Rafiei, N., Pirasteh-Anosheh, H., 2013. Response of early growth and sodium and potassium concentration in ten barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars under salt stress conditions. *Crop Physiology Journal*. 19, 5-15. [In Persian with English Summary].
- Khosravaninejad, F., Heydari R., Farboodnia, T., 2009. Growth and inorganic solute accumulation of two varieties in salinity. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 12, 168-172.
- Kingsbury, R.W., Epstein E., Percy, R.W., 1984. Physiological responses to salinity in selected lines of wheat. *Plant Physiology*. 74, 417-423.
- Maas, E.V., Hoffman, G.J., Chaba, G.D., Poss, J.A., Shannon, M.C., 1983. Salt sensitivity of corn at various growth stages. *Irrigation Science*. 4, 45-57.
- Maas, E.V., Hoffman, G.J., 1977. Crop salt tolerance-current assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. 103, 115-134.
- Maas, E.V., Poss, J.A., 1989a. Salt sensitivity of cowpea at various growth stages. *Irrigation Science*. 10, 313-320.
- Maas, E.V., Poss, J.A., 1989b. Salt sensitivity of wheat at various growth stages. *Irrigation Science*. 10, 29-40
- Maas, E.V., Poss, J.A., Hoffman, G.J., 1986. Salinity sensitivity of sorghum at three growth stages. *Irrigation Science*. 7, 1-11.
- Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59, 651-81.
- Ommen, O.E., Donnelly, A., Vanhoutvin, S., Vanoijen, M., Manderscheid, R., 1999. Chlorophyll content of spring wheat flag leaves grown under elevated CO₂ concentration and other environmental stress with in `ESPACE-whaet` project. *European Journal of Agronomy*. 10, 197-203.
- Pirasteh-Anosheh, H., Ranjbar, G., Emam, Y., Ashraf, M., 2014. Salicylic acid-induced recovery ability in salt-stressed *Hordeum vulgare* plants. *Turkish Journal of Botany*. 38, 112-121.
- Pirasteh-Anosheh, H., Sadeghi H., Emam, Y., 2011. Chemical priming with urea and KNO₃ enhances maize hybrids (*Zea mays* L.) seed viability under abiotic stress. *Journal of Crop Science and Biotechnology*. 14, 289 - 295.
- Shahbazi, M., 2000. Evaluation of the salinity tolerance of rapeseed. *Agricultural and Natural Resources Research Center of Golestan*, 76/522 [In Persian with English abstract].
- Shahbazi, M., Kiani, A.R., Raeisi, S., 2011. Determination of salinity tolerance threshold in two rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Science*. 13, 18-31. [In Persian with English Summary].
- Shiyab, S., 2011. Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on macro and micro elements and protein content of hot pepper (*Capsicum annuum* L). *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 9, 350-356.
- Tadayon M.R., Emam, Y., 2007. Physiological and morphological responses of two barley cultivars to salt stress and their correlation with grain yield. *Journal of Science and Technological Agriculture and Natural Resources*. 11, 253-262. [In Persian with English Summary].
- Van-Genuchten, M.T., Hoffman, G.J., 1984. Analysis of crop salt tolerance data, soil salinity under irrigation process and management. *Ecological Studies*. 51, 258-271.
- Xue, Z.Y., Zhi, D.Y., Xue, G.P., Zhang, H., Zhao, Y.X., Xia, G.M., 2004. Enhanced salt tolerance of transgenic wheat (*Triticum aestivum* L.) expressing a vacuolar Na⁺/H⁺ antiporter gene with improved yields in saline soils in the field and a reduced level of leaf Na⁺. *Plant Science*. 167, 849-859.