مقاله پژوهشی

ارزیابی فیزیولوژیک پاسخ به شوری سه گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare*)، زنیان (*Trachyspermum ammi*) و انیسون (*Pimpinella anisum*) در شرایط گلدانی

جواد نوری‌پور سی‌سخت، پرویز احسان‌زاده* و محمدحسین اهتمام

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۰۷/۱۹، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۰/۱۲/۰۳)

چکیده

شوری خاک و آب از جدی‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در جهان است .گیاهان دارویی از منابع بسیار ارزشمند در گستره وسیع منابع طبیعی ایران هستند که در صورت شناخت علمی، کشت، توسعه و بهره‌برداری صحیح می‌توانند نقش مهمی در سلامت جامعه، اشتغال‌زایی و صادرات غیرنفتی داشته باشند. این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی چاه اناری دانشگاه صنعتی اصفهان به‌صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی شامل چهار سطح شوری نمک کلرید سدیم صفر (شاهد)، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار و عامل دوم شش نوع گیاه (ترکیب سه جنس و گونه با توده‌ها از گیاهان رازیانه، زنیان و انیسون) در سه تکرار به‌صورت گلدانی انجام گرفت. صفات کلروفیل a و b، نشاسته برگ، عناصر سدیم و پتاسیم و نسبت آنها، ترکیبات فنلی، H_2O_2، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، وزن خشک ریشه و اندام هوایی و ارتفاع اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که سطوح شوری تأثیر متفاوتی بر صفات مختلف این سه گونه و ژنوتیپ‌های آنها داشت. با افزایش شوری وزن خشک ریشه و اندام هوایی، ارتفاع، عملکرد، وزن هزار دانه کاهش یافت و از طرفی غلظت H_2O_2 و ترکیبات فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با افزایش سطح شوری افزایش یافت. غلظت کلروفیل و نشاسته در گونه‌های مورد مطالعه و ژنوتیپ‌ها متفاوت بود، به‌طوریکه غلظت کلروفیل در ژنوتیپ‌های رازیانه تا سطح ۸۰ میلی‌مولار شوری افزایش و سپس کاهش یافت ولی در دو گونه دیگر روندی کاهشی داشت. غلظت سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم با افزایش سطح شوری افزایش یافت و این افزایش در انیسون محسوس‌تر بود. غلظت پتاسیم در هر سه گونه با افزایش شوری کاهش یافت ولی بیشترین کاهش مربوط به گیاه انیسون بود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در این آزمایش انیسون بیشترین خسارت را از تنش شوری در صفات مورد بررسی دید، در حالیکه قابلیت تحمل شوری رازیانه و زنیان قابل‌مقایسه است، هر چند که میزان تحمل شوری بویژه در دو گونه اخیر تابع تفاوت ژنوتیپی است.

کلمات کلیدی: پتاسیم، سدیم، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، کلروفیل، فنل، وزن خشک

مقدمه

شوری خاک یا آب از جدی‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در جهان است. این عامل از فاکتورهای مهم محدودکننده رشد و تولید در گیاهان بوده و در مناطق خشک و نیمه‌خشک از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌روی گیاهان است (Pandey *et al.*, 2017). بخش مهمی از اراضی کشور به درجات مختلف با مشکلات شوری خاک و آب مواجه هستند. از آنجایی که آب آبیاری شور اثر قابل‌توجهی در کاهش عملکرد و فرآیندهای

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: ehsanzadehp@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.1.6]

فیزیولوژیکی گیاهان دارد، انتخاب گیاهان متحمل به تنش شوری، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (Parihar *et al.*, 2015). شوری به‌علت حضور بالای نمک بویژه یون‌های سدیم و کلر در محیط ایجاد می‌شود. از مهم‌ترین اثرات منفی شوری انباشت بالای یون‌های سدیم و کلر در سلول‌هاست که منجر به عدم تعادل یونی شده و بی‌نظمی‌های فیزیولوژیک ایجاد می‌نماید. جذب بالای یون سدیم جذب یون پتاسیم را متوقف می‌کند. عنصر پتاسیم یکی از عناصر مهم و اساسی برای رشدونمو گیاه است و کمبود جذب آن باعث کاهش رشد و افت تولید می‌شود. تنش شوری موجب تغییرات بیوشیمیایی، فیزیولوژیک و مورفولوژیک متعددی در گیاهان شده و رشد، فتوسنتز، تولید پروتئین، تنفس و تولید انرژی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (خانپور و همکاران، ۱۳۹۵). همه گونه‌های گیاهی در محدوده‌ای از شوری که هیچ اثر معنی‌داری بر رشد نداشته باشند، رشد می‌کنند، اما افزایش شوری خارج از این محدوده باعث به‌هم‌خوردن تعادل یونی شده و مشکلات متابولیکی ایجاد می‌کند. بنابراین ظرفیت ناقل‌های یونی در جذب و جابه‌جایی این یون‌ها عامل مهمی است که بر تحمل شوری در بسیاری از گیاهان مؤثر است (Ashraf and Orooj, 2006).

گیاهان دارویی از منابع بسیار ارزشمند در گستره وسیع منابع طبیعی ایران هستند که در صورت شناخت علمی، کشت، توسعه و بهره‌برداری صحیح می‌توانند نقش مهمی در سلامت جامعه، اشتغال‌زایی و صادرات غیرنفتی داشته باشند. افزون بر این، از آنجایی که گیاهان دارویی از اهمیت زیادی در تأمین بهداشت و سلامت جامعه برخوردارند در سال‌های اخیر رویکردهای همه جانبه برای استفاده از داروهایی با منشاء طبیعی بویژه گیاهی در جهان به وجود آمده است. سرزمین ایران کشوری ممتاز و با رتبه بالا از نظر غنای گیاهی و تنوع زیستی و دارای ۱۱ اقلیم از ۱۳ اقلیم شناخته شده جهانی است. برخی از گیاهان دارویی با داشتن پتانسیل بالا برای کشت در اقلیم‌های تنش‌زا می‌توانند برای بهره‌وری بیشتر از زمین‌های کم بازده استفاده شوند (Askari and Ehsanzadeh, 2015). با در نظر گرفتن گسترش شوری خاک، شناخت پاسخ‌های شیمیایی گیاهان دارویی و معطر به شوری نیاز به تمرکز در مطالعه بر روی این گیاهان دارد.

خانواده چتریان یکی از خانواده‌های اقتصادی مهم گیاهی است که دارای ۳۰۰ جنس و ۳۰۰۰ گونه گیاهی است، که تعداد زیادی از این گونه‌ها دارویی شناخته می‌شوند. رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) در بین گیاهان دارویی از موقعیت ممتازی برخوردار است و پراکندگی وسیعی حتی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان دارد. رازیانه گیاهی دیپلوئید (۲n = ۲۲) و از خانواده چتریان (Apiaceae) است. این گیاه معطر به‌صورت یک، دو و یا چند ساله کشت می‌شود و ارتفاع آن تا ۲ متر می‌رسد (Askari and Ehsanzadeh, 2015). زنیان با نام علمی *Trachyspermum ammi* و نام انگلیسی Ajwain متعلق به خانواده بزرگ چتریان است که شامل گیاهان یک‌ساله با برگ‌های شانه‌ای مرکب و گلبرگ‌های سفید است (Rahimmalek *et al.*, 2017). انیسون با نام علمی *Pimpinella anisum* از مهم‌ترین گیاهان دارویی تیره چتریان است که دارای استفاده‌های مختلفی در صنایع دارویی- غذایی و بهداشتی و آرایشی است. مهم‌ترین ماده تشکیل‌دهنده اسانس انیسون، آنتول است که ۸۰ تا ۹۰ درصد آن را شامل می‌شود (Ullah, 2014).

محتوای کلروفیل به‌عنوان یکی از پارامترهای تحمل به شوری جهت گزینش گیاهان در برنامه‌های اصلاحی گزارش شده است (Parihar *et al.*, 2015; Pujol *et al.*, 2000) تنش شوری محتوی کلروفیل کل و کاروتنوئیدها را کاهش می‌دهد. محتوی کلروفیل برگ به‌عنوان یک شاخص مهم برای ارزیابی قدرت منبع و نیز به‌عنوان یکی از پارامترهای تحمل شوری در گیاهان شناخته شده است. کاهش در محتوای کلروفیل در اثر تنش شوری در رازیانه (Rebey *et al.*, 2016) و زنیان (Rahimmalek *et al.*, 2017) گزارش شده است.

بررسی‌ها نشان داده است که سنتز ترکیبات فنلی به‌رغم کاهش رشد گیاه در شرایط تنش شوری، به‌صورت یک مکانیسمی دفاعی در برابر تنش عمل کرده و به مانند سد دفاعی، گیاه را در مقابل تنش‌های محیطی حمایت می‌کنند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.1.6]

فنولیک‌ها به‌عنوان حسگر تنش نمکی در نظر گرفته شده‌اند (Das and Roychoudhury, 2014). این گروه متشکل از حدود ۹۰۰۰ ترکیب دارای عملکردهای بیولوژیکی متنوع در گیاهان است، برخی از ترکیبات فنلی می‌توانند گونه‌های واکنش اکسیژن (ROS) تولیدشده در هنگام تنش‌های غیرزنده را از بین ببرند. تنش نمکی باعث کاهش جریان الکترون در سیستم انتقال الکترون فتوسنتزی و ایجاد تنش اکسیداتیو از طریق تولید ROS می‌شود (Das and Roychoudhury, 2014). مطالعات متعددی نشان داده است که خصوصیات آنتی‌اکسیدانی گیاهان دارویی به‌دلیل وجود غلظت بالای ترکیب‌های فنلی و پتانسیل کاهندگی فوق‌العاده آن‌ها است. این ترکیب‌ها از طریق دفع اکسیژن و آزادسازی هیدروژن قادر به کاهش رادیکال‌های اکسیدی هستند (Ksouri *et al.*, 2007).

نتایج مطالعه اثر پنج سطح شوری (۰/۲۵، ۱، ۲، ۴ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر) در گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) نشان داد که شوری تا سطح ۲ دسی‌زیمنس بر متر تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک، نسبت به شاهد نداشت، در حالیکه سطوح بالاتر شوری باعث کاهش معنی‌دار صفات فوق گردید (Ozturk *et al.*, 2004). در مطالعه اثر چهار سطح شوری (صفر، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار) روی گیاه دارویی زنیان در شرایط گلخانه مشخص شد که وزن خشک آن در تیمار ۱۲۰ نسبت به شاهد ۲۷ درصد کاهش یافت در حالیکه عملکرد دانه ۵۰ درصد کاهش یافت (Ashraf and Orooj, 2006). در مطالعه دیگری بر روی گیاه زنیان نیز تیمار شوری تأثیر معنی‌داری بر صفات سطح برگ، ارتفاع، کلروفیل و پروتئین داشت و باعث کاهش آنها گردید (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۲). در مطالعه Rebey و همکاران (۲۰۱۶) روی گیاه رازیانه نشان داده شد که تیمار شوری (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مول) باعث کاهش ارتفاع، وزن خشک، تعداد چتر در گیاه، وزن هزار دانه و عملکرد تک بوته گردید. در مطالعه دیگری کاهش در عملکرد و پارامترهای رشدی گیاه رازیانه مثل ارتفاع، بیوماس، وزن هزار دانه و عملکرد دانه تحت تنش شوری نیز گزارش شده است (Semiz *et al.*, 2012). در مطالعه‌ای روی شش ژنوتیپ رازیانه (کاشان، اصفهان، یزد، کرمان، شیراز و ارومیه) و پنج سطح شوری (صفر، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) مشخص شد که شوری باعث کاهش غلظت کلروفیل، و ارتفاع ژنوتیپ‌های رازیانه شد. ژنوتیپ‌های ارومیه و کاشان بالاترین وزن خشک نهایی، وزن دانه در بوته و وزن هزار دانه را در میان ژنوتیپ‌های مورد مطالعه داشتند. همچنین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، بیشترین غلظت پتاسیم، در ژنوتیپ کاشان مشاهده شد (Shafeiee and Ehsanzadeh, 2019). همچنین در تحقیق وجودی مهربانی و همکاران (۱۳۹۶) روی گیاه مرزه با افزایش غلظت نمک بر مقدار یون سدیم برگ‌ها افزوده شد. بالاترین تجمع یون سدیم، در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد. بیشترین مقدار پتاسیم مربوط به سطوح شاهد و سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و کمترین مقدار مربوط به غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار بود که نشان از تأثیر شوری در کاهش مقدار پتاسیم برگ‌ها داشت.

تحقیقات گسترده‌ای در سطح جهان درباره گیاهان دارویی انجام شده و در سال‌های اخیر روند مؤثر این مطالعات در ایران با توجه به اهمیت این گیاهان و شرایط اقلیمی کشور سرعت بیشتری یافته است. با توجه به اینکه شوری و خشکی از جمله عوامل محیطی هستند که تأثیر شدیدی بر جوانه‌زنی، استقرار، رشد و عملکرد گیاه دارند، تشخیص وضعیت تحمل گیاهان دارویی در شرایط مختلف تنش خشکی و شوری می‌تواند راهنمای کشت گیاهان مقاوم در مناطق خشک یا شور باشد (Rahimmalek *et al.*, 2017). یکی از روش‌های مؤثر در کاهش اثرات شوری در تولید محصولات کشاورزی، استفاده از گیاهان دارویی مقاوم به شوری است. از این‌رو دانش و آگاهی تحمل شوری در گونه‌های گیاهان دارویی به‌ویژه آنهایی که ارزش اقتصادی و کاربرد دارویی بیشتری در کشورمان دارند می‌تواند اهمیت ویژه‌ای جهت کاشت و بهره‌برداری آنها در زمین‌های شور داشته باشد. بنابراین این تحقیق با هدف ارزیابی پاسخ سه گونه رازیانه، زنیان و انیسون به تنش شوری انجام شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.1.6]

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی چاه اناری دانشگاه صنعتی اصفهان (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی با ۱۶۲۰ متر ارتفاع از سطح دریاهای آزاد) به‌صورت گلدانی در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷انجام شد. تیمارهای آزمایش فاکتوریل دو عاملی شامل چهار سطح شوری نمک کلرید سدیم صفر (شاهد)، ۴۰، ۸۰ ،۱۲۰ میلی‌مولار بر لیتر و دو توده از هرکدام از گیاهان رازیانه (شیراز و یزد)، زنیان (نهادجان و قهدریجان) و انیسون (مرودشت و اصفهان) در سه تکرار بود. بذرها ابتدا در سینی‌های نشاء در اوایل بهمن‌ماه کاشته شدند و بعد از یک ماه به گلدان انتقال داده شدند. هر واحد آزمایشی شامل دو گلدان بود و در هر گلدان نیز دو گیاه وجود داشت. در هر واحد آزمایشی دو گیاه شش هفته پس از اعمال تنش شوری، و دو گیاه در زمان رسیدگی برداشت شد. کاشت در گلدان‌هایی به قطر ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر انجام شد (خاک مورد نیاز برای پرکردن گلدان‌ها از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در لورک نجف‌آباد به‌همراه ۳۰ درصد ماسه شسته برای سبک‌نمودن بافت خاک تهیه شد). قبل از کاشت بذرها با محلول هیپوکلریت سدیم ضدعفونی شد. بذور در سینی‌های نشا در پیت‌ماس کاشته و پس از رشد مناسب به گلدان‌ها منتقل شد. در ابتدای آزمایش و تا استقرار کامل گیاهچه‌ها همه گلدان‌ها بسته به نیاز، یکسان آبیاری شدند و تیمارهای شوری پس از استقرار کامل (دو هفته پس از استقرار) گیاهان براساس تیمارهای آزمایش غلظت‌های مختلف محلول کلرید سدیم تهیه شد و آبیاری تیمارها انجام گرفت. برای جلوگیری از واردشدن تنش اسمزی به گیاه، تیمار شوری سطوح ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار طی سه مرحله و هر کدام به فاصله چهار روز از مرحله قبل به‌صورت محلول نمک به خاک اضافه شد و تا پایان مراحل رشد گیاهان ادامه داشت.

شش هفته پس از اعمال تنش شوری نمونه‌های برگی از گیاهان هر گلدان برداشت و در نیتروژن مایع به فریزر منفی ۸۰ منتقل شد و سپس در آزمایشگاه صفات زیر اندازه‌گیری شدند:

غلظت پراکسید هیدروژن: برای سنجش غلظت پراکسید هیدروژن با برداشت ۰/۱ گرم از برگ سالم و شاداب شش هفته پس از اعمال تیمار شوری نسبت به اندازه‌گیری H_2O_2 به روش Loreto و Velikova (۲۰۰۱) اقدام شد. میزان جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر (HITACHI-JAPAN U1800) در طول‌موج ۳۹۰ nm اندازه‌گیری شد.

غلظت ترکیبات فنلی: ابتدا نیم گرم از بافت گیاهچه، با استفاده از اتانول ۹۵ درصد عصاره‌گیری شد. سپس مواد پلی‌فنولی با استفاده از واکنشگر فولین و به روش Singh و همکاران (۲۰۰۲) اندازه‌گیری شد. در این روش ابتدا ۲۰۰ میکرولیتر از محلول استخراج‌شده با ۱ میلی‌لیتر واکنش‌گر فولین با غلظت ۱۰ درصد مخلوط می‌شود و سپس ۸۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷/۵ درصد به آن اضافه می‌شود. در صورت وجود مواد فنولی محلول به رنگ آبی روشن تا تیره در می‌آید. محلول به‌مدت نیم ساعت در دمای اتاق نگهداری شد و رنگ آبی ظاهر شد، سپس مقدار جذب در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد و برای رسم منحنی استاندارد از محلول استاندارد اسید گالیک ان هیدروس استفاده شد (Singh *et al.*, 2002).

غلظت کلروفیل: براساس Lichtenthaler و Buschmann (۲۰۰۱) با استفاده از برگ‌های کامل و شاداب چهار هفته پس از اعمال تیمار شوری اندازه‌گیری شد. مطابق با این روش نیم گرم از بافت تر وزن شد. رنگیزه‌های این نمونه‌ها با استفاده از استون ۸۰٪ استخراج شد. سپس نمونه‌ها با کاغذ صافی واتمن صاف و میزان جذب نمونه‌ها در طول‌موج‌های ۶۶۱/۶ و ۶۴۴/۸ نانومتر برای کلروفیل و ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئیدها با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شدند و براساس واحد میلی‌گرم بر گرم وزن تر گزارش شد.

نشاسته: نشاسته به روش تغییر داده‌شده Sheligl (۱۹۸۶) با استفاده از برگ‌های خشک و دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۴۸۵ خوانده شد. استانداردهای نشاسته محلول در کووت دستگاه اسپکتروفتومتر ریخته شد و مقدار نشاسته در طول‌موج ۴۸۵ نانومتر خوانده شده و منحنی استاندارد رسم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.1.6]

گردید. سپس میزان جذب در نمونه‌های گیاهی خوانده و با قراردادن در معادله خط مقدار نشاسته بدست آمد.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی: سنجش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی از طریق برآورد پتانسیل مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH (1,1-Di Phenyl-2-Picryl Hydrazyl) اندازه‌گیری شد (Tekao *et al.*, 1994). در این روش ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ با ۴ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد همگن شد و آمیخته حاصل در ۶۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. ۱۰۰ میکرولیتر از محلول رویی با ۳۴۰۰ میکرولیتر محلول ۰/۵ میلی‌مولار DPPH آمیخته و محلول حاصل به‌مدت ۳۰ دقیقه در شرایط تاریکی نگهداری شد و سپس مقدار جذب نوری آن در ۵۱۷ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. ظرفیت مهارکنندگی رادیکال آزاد از رابطه زیر محاسبه شد. در این رابطه A blank و A sample به‌ترتیب مقدار جذب شاهد و نمونه و IP درصد مهار رادیکال‌های آزاد هستند.

$$IP\ \% = [(Ablank - Asample) / Ablank] \times 100$$

صفات مورفولوژیک و عملکرد: پس از برداشت گیاهان اندام‌های هوایی و ریشه گیاه در هر واحد آزمایشی بطور جداگانه در داخل پاکت‌های کاغذی قرار داده شد و پس از خشک‌شدن در آون به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد نمونه‌ها توزین شدند. عملکرد دانه نیز برای دو بوته محاسبه شد.

اندازه‌گیری غلظت عناصر: برای اندازه‌گیری غلظت عناصر پتاسیم و سدیم دراندام هوایی و ریشه نمونه‌های گیاهی در پایان مرحله برداشت، نمونه‌های خشک تهیه و ابتدا آسیاب شدند. از هر نمونه آسیاب‌شده به مقدار یک گرم با ترازوی دقیق توزین شد. نمونه‌های وزن‌شده در کروزه چینی داخل کوره الکتریکی قرار گرفتند. سپس کروزه‌های حاوی نمونه به‌مدت ۴ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلیسیوس قرار گرفته، تا نمونه‌های گیاهی بطور کامل به خاکستر تبدیل شوند. بعد از خنک‌شدن کروزه‌ها، ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به کروزه‌ها اضافه شد، سپس با حرارت‌دادن ملایم کروزه روی هیتر خاکستر در اسید حل و سپس محلول تهیه‌شده از قیف و کاغذ صافی عبور داده شد. عصاره حاصل در بالن ژوژه جمع‌آوری و با آب‌مقطر به حجم نهایی ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. برای اندازه‌گیری غلظت سدیم و پتاسیم از دستگاه شعله‌سنج (Flame photometer) استفاده شد. با استفاده از منحنی‌های استاندارد رسم‌شده مقدار سدیم و پتاسیم نمونه‌ها تعیین شد.

داده‌های حاصل از این آزمایش، با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS – 9.4 تجزیه واریانس (فاکتوریل دو عامله در قالب طرح پایه بلوک کاملاً تصادفی با سه تکرار) و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel ver.2013 انجام شد. از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد برای مقایسه میانگین تیمارها استفاده شد. مقایسه میانگین اثرات متقابل بین صفات نیز با استفاده از نرم‌افزار SAS ver 9.4 محاسبه شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر شوری بر همه صفات در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ژنوتیپ بر همه صفات در سطح یک درصد، جز نسبت کلروفیل a/b که در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

اثر متقابل شوری × ژنوتیپ برای همه صفات در سطح یک درصد معنی‌دار بود بجز فنول نیز در سطح پنج درصد معنی‌دار بود و ارتفاع که معنی‌دار نبود (جدول ۱).

اثر متقابل گونه × شوری نشان می‌دهد که شوری متوسط ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار سدیم باعث افزایش غلظت کلروفیل a در ژنوتیپ شیراز و یزد (رازیانه) در مقایسه با گیاهانی که در شرایط شاهد و ۱۲۰ میلی‌مولار نمک رشد کرده‌اند شد. در سایر ژنوتیپ‌ها با افزایش سطح شوری غلظت کلروفیل a کاهش معنی‌داری نشان داد، به‌طوریکه ژنوتیپ مرودشت (انیسون) و قهدریجان (زنیان) ۳۷ درصد کاهش در غلظت کلروفیل a در سطح ۱۲۰ میلی‌مولار نسبت به سطح شاهد را نشان دادند (جدول ۲).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.1.6]

جدول ۱- تجزیه واریانس برای صفات شش ژنوتیپ از سه گونه رازیانه، زنیان و انیسون در شرایط گلدانی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		کلروفیل a	کلروفیلb	کلروفیل a/b	سدیم	پتاسیم	نسبت سدیم به پتاسیم	فنول	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی
بلوک	۲	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۱/۲۰^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۹^{ns}	۰/۰۰۰۷^{ns}	۰/۰۴۵^{ns}	۰/۲۸۵^{ns}	۴۵/۳*
شوری	۳	۰/۰۹۰**	۰/۰۳۹**	۱/۰۷^{ns}	۰/۰۰۰۷**	۰/۰۰۵۲**	۰/۷۸۹**	۲۹/۰**	۱۲۶۲**
ژنوتیپ	۵	۰/۱۰۸**	۰/۰۹۶**	۲/۴۳*	۰/۰۰۰۳**	۰/۰۱۴۹**	۱/۲۹**	۱۵/۵**	۵۲۶**
شوری×ژنوتیپ	۱۵	۰/۰۳۷**	۰/۰۳۰**	۰/۹۱۸^{ns}	۰/۰۰۰۰۷**	۰/۰۰۲۱۸**	۰/۸۹۵**	۱/۵۱*	۵۶/۴**
خطا	۴۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۹	۰/۸۳۰	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۱۶۳	۰/۷۰۴	۱۹/۹
ضریب تغییرات	-	۱۲/۳۱	۲۳/۲۵	۴۰/۶۱	۲۴/۲	۲۳/۸۴	۶۷/۰	۱۳/۱	۱۲/۳۰

ns، * و ** به‌ترتیب عدم‌اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج و یک درصد براساس آزمون LSD

ادامه جدول ۱-

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		نشاسته	H_2O_2	ارتفاع	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	بذر در دو بوته	وزن هزار دانه
بلوک	۲	۰/۳۱۰*	۰/۰۰۲	۱۲/۴^{ns}	۴۰/۰*	۵/۰۴*	۱/۸۸*	۰/۰۰۱^{ns}
شوری	۳	۷/۱۲**	۰/۲۰۰**	۲۶۶۴**	۸۲۳**	۵۲/۵**	۲۶/۱**	۱/۳۲**
ژنوتیپ	۵	۰/۷۳۲**	۰/۲۰۷**	۷۵۳**	۶۷۱**	۴۰/۹**	۷۵/۲**	۷/۳۶**
شوری × ژنوتیپ	۱۵	۲/۶۰**	۰/۰۱۶**	۳۰/۱^{ns}	۵۳/۷**	۲/۶۳**	۳/۸۲**	۰/۴۷۰**
خطا	۴۶	۰/۱۶۳	۰/۰۰۸	۲۴/۶	۱۶/۷	۱/۱۷	۰/۴۶۵	۰/۰۰۹
ضریب تغییرات	-	۱۵/۱۵	۱۵/۳۰	۱۷/۶۰	۲۳/۳۴	۱۵/۳۴	۲۳/۰۱	۹/۷۴

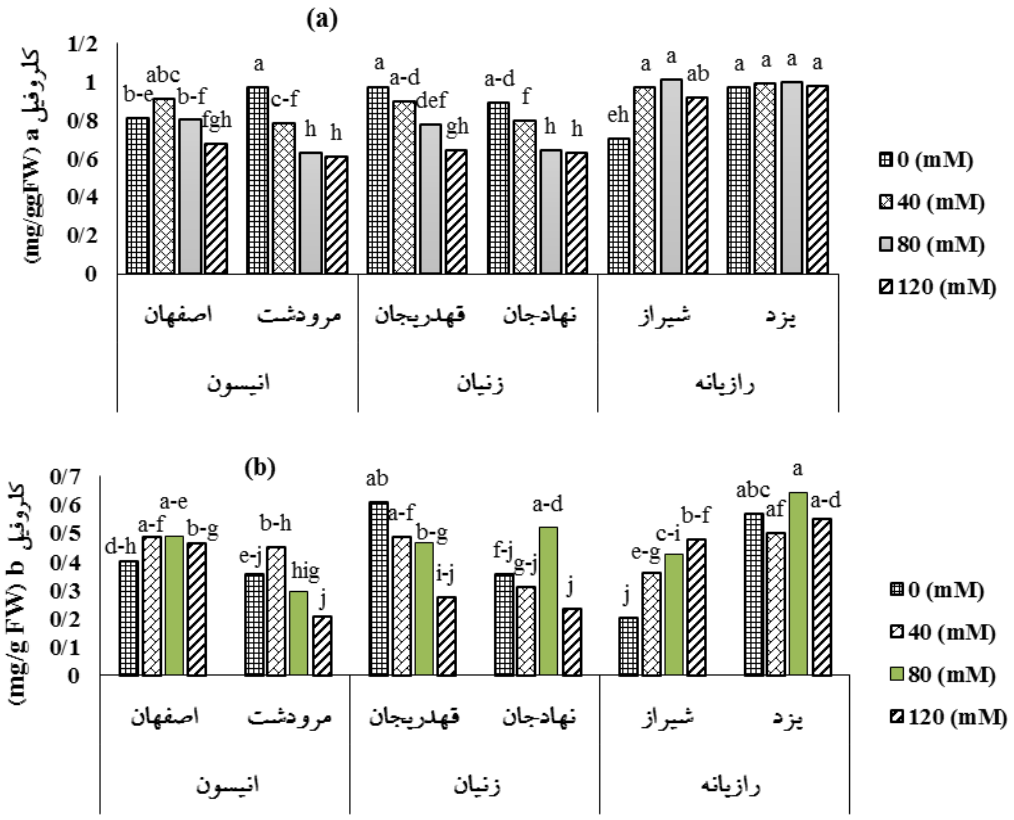
ns، * و ** به‌ترتیب عدم‌اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج و یک درصد براساس آزمون LSD

اثر متقابل گونه × شوری نشان می‌دهد که در شوری غلظت کلروفیل b را در دو ژنوتیپ شیراز (رازیانه) و اصفهان (انیسون) افزایش داد. تغییرات ناشی از شوری در غلظت کلروفیل b ژنوتیپ یزد (رازیانه) و نهادجان (زنیان) در سطح ۸۰ میلی‌مولار بالاترین مقدار نسبت به سه سطح دیگر بود (شکل ۱).

اندازه‌گیری مستقیم ظرفیت فتوسنتز ممکن است منجر به اندازه‌گیری دقیق ظرفیت تولید گیاه شود، با این حال بیشتر به جای اندازه‌گیری مستقیم میزان فتوسنتز، بر روی رنگدانه‌های فتوسنتزی قابل اندازه‌گیری تمرکز است (Abdehpour and Ehsanzadeh, 2019). کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها اجزای اصلی فتوسنتز هستند، زیرا در جذب نور، تثبیت غشاها و انتقال انرژی نقش اساسی دارند؛ بنابراین، غلظت کلروفیل برگ یک فرآیند دقیق برای ظرفیت فتوسنتزی برگ است (Croft *et al.*, 2017). تمایل دو ژنوتیپ رازیانه برای افزایش (شیراز) و حفظ (یزد) غلظت کلروفیل کل در حضور غلظت‌های متوسط شوری (۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار) و زیاد (۱۲۰ میلی‌مولار NaCl)، متفاوت از ژنوتیپ‌های زنیان و تا حدودی انیسون است، به‌طوریکه غلظت کلروفیل آنها حداقل هنگام رشد در حضور ۱۲۰ میلی‌مولار NaCl کاهش یافت. علاوه بر این، انیسون و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.1.6]



شکل ۱- اثر متقابل شوری و ژنوتیپ برکلروفیل a (a) و کلروفیل b (b) شش ژنوتیپ (رازیانه، زیان و انیسون) در شرایط آزمایش گلدانی. در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

زنیان در مقایسه با رازیانه، صرف‌نظر از غلظت NaCl، غلظت کلروفیل کمتری را نشان دادند (شکل ۱).

تصور می‌شود که سرمایه‌گذاری کمتر در سنتز کلروفیل و از این رو اجزای فتوشیمیایی، تولید انرژی فتوشیمیایی مورد نیاز کربوکسیلاسیون را محدود کند (Paixao *et al.*, 2019). یافته‌های ما در مورد انیسون و زنیان در شرایط شور مطابق با یافته‌های Pandey و همکاران (۲۰۱۷) در کلزا و Shinde و همکاران (۲۰۱۸) در بادام‌زمینی بود که در آنها کاهش غلظت کلروفیل ناشی از تنش خشکی گزارش شده است. در مطالعه دیگری به ترتیب کاهش در غلظت کلروفیل و کاروتنوئیدها را تقریباً ۶۰ و ۴۰ درصد در گیاه انیسون در سطح شوری ۱۲۰ میلی‌مولار گزارش کردند (Sardar *et al.*, 2018) که داده‌های ما نیز تا حدودی هم‌راستا با این نتایج است.

حتی اگر شوری باعث افزایش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید در سطح برگ شود، در برگ‌های تحت تنش گندم در هر بوته محتوای کلروفیل و کاروتنوئید کاهش می‌یابد (Shah *et al.*, 2017). چنین سناریویی ممکن است در پاسخ کلروفیل ژنوتیپ‌های رازیانه بررسی‌شده در مطالعه حاضر صادق باشد. افزایش غلظت کلروفیل ژنوتیپ‌های شیراز و یزد گیاهان رازیانه را می‌توان به افزایش احتمالی غلظت کلروفیل در سلول‌های ناشی از تنش نسبت داد (Abdehpour and Ehsanzadeh, 2019). همانطور که بحث شد، غلظت کلروفیل زنیان و انیسون ممکن است از تخریب تسریع‌شده کلروفیل یا سرکوب سنتز بیوسنتزشده این رنگدانه در شرایط شور حاصل شود.

به‌رغم این‌که پژوهش‌های زیادی کاهش محتوای کلروفیل را تحت شرایط شوری گزارش کرده‌اند، افزایش سطح کلروفیل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.1.6]

جدول ۲- اثر متقابل شوری × گونه برای نسبت کلروفیل a/b، محتوای نشاسته برگ وزن خشک ریشه و اندام هوایی، هزار دانه، ارتفاع و H_2O_2 شش ژنوتیپ (سه گونه رازیانه، زنیان و انیسون) در شرایط گلدانی

گونه	ژنوتیپ	شوری	کلروفیل a/b	نشاسته	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	عملکرد دو بوته	هزار دانه	H_2O_2	ارتفاع
			-	(mg/g FW)	(g)	(g)	(g)	(g)	(µmol/gr)	(cm)
رازیانه	شیراز	۰	۳/۵۵^{a}	۳/۶۰^{bc}	۱۳/۴۵^{a}	۳۷/۸۴^{a}	۶/۹۵^{b}	۲/۲۱^{a}	۰/۵۲۸$^{d-g}$	۴۵/۴۲^{b}
		۴۰	۲/۰۳$^{b-e}$	۳/۴۰$^{b-e}$	۱۰/۰۸^{b}	۳۱/۴۷^{ab}	۴/۱۷^{efg}	۲/۱۰^{ab}	۰/۷۷۶^{ab}	۳۹/۶۶^{bcd}
		۸۰	۳/۰۲$^{a-d}$	۲/۱۲$^{h-k}$	۶/۵۲۰$^{d-h}$	۱۵/۸۵$^{f-i}$	۴/۸۱^{cde}	۱/۶۵^{d}	۰/۷۰۳^{bcd}	۳۰/۰۸$^{e-h}$
		۱۲۰	۲/۲۱$^{a-e}$	۱/۲۷^{m}	۷/۹۹$^{b-f}$	۱۷/۰۴^{cd}	۴/۴۴^{def}	۱/۳۸^{ef}	۰/۷۸۹^{ab}	۲۶/۷۸$^{f-g}$
	یزد	۰	۱/۷۱^{cde}	۵/۷۳^{a}	۸/۶۷^{bcd}	۲۸/۰۶^{bc}	۵/۳۸^{cd}	۲/۲۲^{a}	۰/۴۵۳^{efg}	۵۵/۰۰^{a}
		۴۰	۱/۹۹$^{b-e}$	۲/۲۱$^{h-k}$	۸/۲۴$^{b-e}$	۲۳/۹۹^{cd}	۳/۳۵^{fg}	۱/۹۹^{b}	۰/۶۶۴$^{b-e}$	۴۲/۰۴^{bc}
		۸۰	۱/۵۶$^{d-e}$	۲/۱۲$^{h-k}$	۶/۷۱$^{d-h}$	۱۸/۰۹$^{d-g}$	۱/۳۹^{h}	۱/۸۲^{c}	۰/۸۰۷^{ab}	۳۱/۷۵$^{d-g}$
		۱۲۰	۱/ ۸۳ $^{b-e}$	۱/۴۵^{lm}	۵/۷۴$^{f-i}$	۱۴/۷۰$^{f-i}$	۰/۰۰^{i}	۰/۰۰^{j}	۰/۹۸۳^{a}	۱۸/۸۳$^{j-m}$
زنیان	قهدریجان	۰	۱/ ۶۱ $^{d-e}$	۳/۴۴^{bcd}	۸/۵۸^{bcd}	۲۰/۷۰^{def}	۸/۱۲^{a}	۱/۳۲^{fg}	۰/۵۲۳$^{d-g}$	۴۳/۶۷^{b}
		۴۰	۱/ ۸۵ $^{b-e}$	۳/۸۴^{b}	۸/۵۴^{bcd}	۲۴/۴۵^{cd}	۵/۱۴^{cde}	۱/۲۲^{ghi}	۰/۵۴۲$^{c-g}$	۳۵/۴۹^{cde}
		۸۰	۱/۶۷ ^{cde}	۲/۷۶$^{e-h}$	۷/۰۲$^{d-f}$	۱۴/۰۶$^{f-i}$	۴/۱۴^{efg}	۱/۱۳^{hi}	۰/۶۲۱$^{b-f}$	۲۲/۰۴$^{h-l}$
		۱۲۰	۲/۸۹$^{a-e}$	۲/۱۹$^{h-k}$	۵/۰۳$^{g-i}$	۱۱/۰۰$^{h-k}$	۳/۵۶^{fg}	۱/۰۶^{i}	۰/۷۶۱^{bc}	۱۷/۹۲^{klm}
	نهادجان	۰	۲/۵۸$^{a-e}$	۱/۵۸$^{k-m}$	۹/۸۸^{b}	۳۷/۹۰^{a}	۷/۳۴^{ab}	۱/۴۸^{e}	۰/۵۳۸$^{d-g}$	۴۵/۹۵^{b}
		۴۰	۲/۶۳$^{a-e}$	۲/۰۸$^{j-l}$	۹/۵۵^{bc}	۲۲/۷۵^{cde}	۵/۷۰^{c}	۱/۳۵^{efg}	۰/۶۴۲$^{b-e}$	۳۳/۷۵^{def}
		۸۰	۱/۴۲^{e}	۳/۷۷^{b}	۸/۱۷$^{b-e}$	۲۲/۸۴^{cde}	۳/۱۱^{g}	۱/۲۶^{fgh}	۰/۷۰۷^{bcd}	۲۴/۴۲$^{g-k}$
		۱۲۰	۳/۰۴$^{a-d}$	۲/۶۲$^{f-i}$	۵/۵۲$^{g-i}$	۹/۸۷$^{i-l}$	۳/۵۰^{fg}	۱/۰۹^{i}	۰/۷۹۴^{ab}	۱۴/۲۹^{lmn}
انیسون	مرودشت	۰	۳/۳۱^{ab}	۳/۰۳$^{c-f}$	۷/۳۳$^{c-f}$	۱۸/۴۳$^{d-g}$	۰/۰۰^{i}	۰/۰۰^{j}	۰/۳۵۹^{g}	۳۴/۵۸$^{c-f}$
		۴۰	۱/۸۲$^{b-e}$	۲/۴۰$^{f-j}$	۵/۹۱$^{e-i}$	۱۲/۰۴$^{g-j}$	۰/۰۰^{i}	۰/۰۰^{j}	۰/۳۹۷^{g}	۲۸/۲۹$^{e-i}$
		۸۰	۲/۸۳$_{a-e}$	۲/۴۰$_{f-j}$	۴/۳۷^{jhi}	۶/۴۷^{jkl}	۰/۰۰^{i}	۰/۰۰^{j}	۰/۴۰۲^{fg}	۸/۰۰^{n}
		۱۲۰	۳/۱۳$_{abc}$	۱/۸۳$_{j-m}$	۳/۸۹^{ji}	۶/۲۳^{jkl}	۰/۰۰^{i}	۰/۰۰^{j}	۰/۴۷۸^{efg}	۷/۳۳^{n}
	اصفهان	۰	۲/۰۷$_{a-e}$	۲/۸۹$_{d-g}$	۶/۳۶$^{d-h}$	۱۰/۵۱$^{h-l}$	۰/۰۰^{i}	۰/۰۰^{j}	۰/۴۱۴^{fg}	۳۱/۳۳^{efg}
		۴۰	۱/۹۱$_{b-e}$	۲/۵۳$_{f-i}$	۴/۵۸^{jhi}	۶/۸۴^{jkl}	۰/۰۰^{i}	۰/۰۰^{j}	۰/۴۲۱^{fg}	۲۰/۵۴$^{i-l}$
		۸۰	۱/۶۴$_{cde}$	۲/۴۶$_{f-j}$	۳/۷۹^{ji}	۴/۶۸^{kl}	۰/۰۰^{i}	۰/۰۰^{j}	۰/۴۷۷^{efg}	۱۲/۳۳^{nm}
		۱۲۰	۱/۵۲^{e}	۲/۳۲$^{g-j}$	۳/۲۶^{j}	۳/۸۳^{l}	۰/۰۰^{i}	۰/۰۰^{j}	۰/۵۹۵$^{d-g}$	۷/۴۲^{n}

در ستون‌های مربوط به هر صفت میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

برگ در شرایط تنش در گیاه چغندر (*Beta vulgaris* L.) مشاهده شد (Jamil *et al.*, 2006). به‌طورکلی افزایش محتوای کلروفیل برگ در شرایط تنش نشان‌دهنده افزایش غلظت کلروپلاست در واحد سطح برگ گیاه است که خود از علائم افزایش نسبی ضخامت برگ در تنش است. از طرفی کاهش در میزان کلروفیل در شرایط تنش به تخریب رنگدانه‌های کلروفیل، بی‌ثباتی در میزان پروتئین رنگدانه و همچنین تداخل یون‌های نمکی با ستنز پروتئین که مربوط به جزء ساختاری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.1.6]

کلروفیل است، نسبت داده شده است (Jaleel *et al.*, 2008).

اثر متقابل ژنوتیپ × شوری نشان می‌دهد که غلظت نشاسته در دو ژنوتیپ شیراز و یزد (رازیانه) و اصفهان و مرودشت (انیسون) با افزایش سطح شوری کاهش یافت و این در حالی بود که در دو ژنوتیپ قهدریجان و نهادجان این روند کاهشی کمتر بود و بالاترین غلظت نشاسته را به‌ترتیب در سطح ۴۰ و ۸۰ شوری نشان دادند و بعد در سطح ۱۲۰ کاهش یافت (جدول ۲). همگام با افزایش تنش شوری میزان نشاسته برگ کاهش می‌یابد. این کاهش در غلظت نشاسته، با افزایش میزان قندهای احیایی هنگام تنش کاملاً مرتبط است و ممکن است به‌دلیل تجزیه نشاسته و قندهای غیراحیایی مانند ساکاروز در تنش و تولید قندهای احیایی باشد. تغییر در غلظت نشاسته برگ‌ها ممکن است نشان‌دهنده تغییر در نسبت منبع به مخزن باشد. در حقیقت در تنش شوری به‌دلیل کاهش نسبت منبع به مخزن، بخش‌بندی کربن بین ساکاروز و نشاسته تغییر می‌کند و صادرات ساکاروز افزایش می‌یابد و درنتیجه، غلظت نشاسته در برگ‌ها کاهش می‌یابد (Bruening and Egli, 2000). در آزمایش حاضر نیز با افزایش سطح شوری میزان نشاسته برگ کاهش یافت که با نتایج مطالعات دیگر همخوانی داشت.

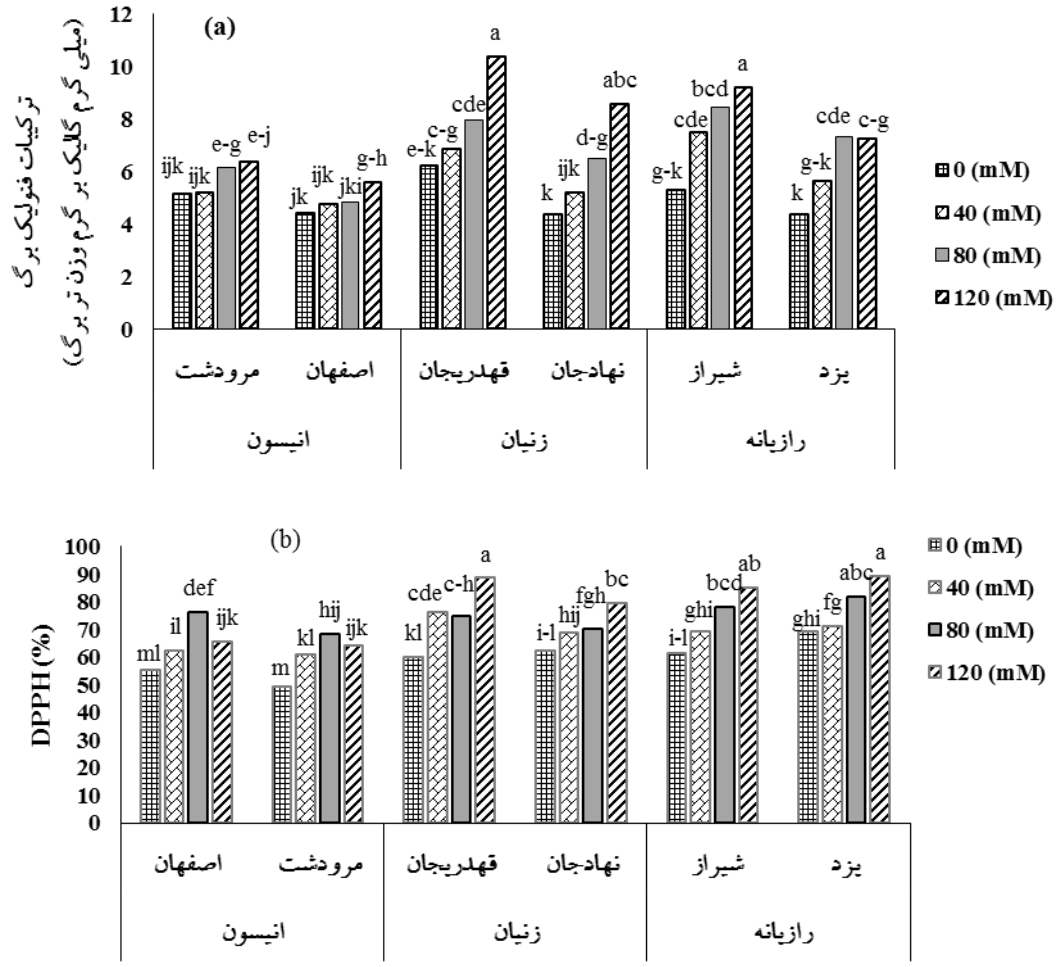
همچنین در بررسی اثر شوری بر دو گونه از گیاه هالوفیت سالیکورنیا *Salicornia persica* و *Salicornia europaea* محققین دریافتند که قندهای محلول با افزایش شوری، افزایش می‌یابد و در عوض از میزان پلی‌ساکاریدها کاسته می‌شود (Aghaleh *et al.*, 2009). گزارش مشابهی از کاهش نشاسته در برنج وجود دارد (Amirjani, 2011). یکی از معمول‌ترین واکنش‌هایی که گیاهان در برابر تنش‌های محیطی به‌خصوص تغییرات اسمزی محیط (تنش خشکی و شوری) از خود بروز می‌دهند، پدیده‌ای موسوم به تنظیم اسمزی است. تجمع قند و کاهش نشاسته در اندام‌های گیاه که با تخریب مولکول‌های درشت در سلول‌های گیاهان، به‌منظور گریز از انجام پلاسمولیز و برقراری تورژسانس بر اثر تنش‌های محیطی تحقق می‌یابد و درنتیجه آن مولکول‌های درشت‌تری نظیر نشاسته به ساکارز و سپس به گلوکز و فروکتوز شکسته می‌شوند، موجب منفی‌تر شدن پتانسیل آب در سلول‌ها و تنظیم اسمزی می‌شود (Islam and Khan, 1971).

اثر متقابل ژنوتیپ × شوری نشان می‌دهد غلظت ترکیبات فنولیک با افزایش سطح شوری در همه ژنوتیپ‌ها افزایش یافت اما این افزایش متفاوت بود به‌طوریکه ژنوتیپ‌های اصفهان و مرودشت (انیسون) افزایش خیلی کمی داشتند و ژنوتیپ قهدریجان (زنیان) در سطح ۱۲۰ بالاترین غلظت ترکیبات فنولیک را داشت. سه ژنوتیپ نهادجان، قهدریجان و شیراز با افزایش شوری ترکیبات فنولیک افزایش معنی‌داری را نشان دادند ولی ژنوتیپ یزد در سطح ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار شوری ثابت بود (شکل ۲a).

ترکیبات فنلی گروه بزرگی از ملکول‌های آلی هستند که به عنوان آنتی‌اکسیدان در پاسخ به تنش‌های محیطی عمل می‌کنند. سنتز ترکیبات فنلی و تجمع آنها در پاسخ به تنش‌های محیطی تحریک می‌شود و همچنین در تعدادی از گیاهان، افزایش پلی‌فنل‌ها تحت شرایط شوری گزارش شده است. تنش شوری از طریق تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) باعث افزایش تنش اکسیداتیو می‌شود که برخی از ترکیبات فنلی قادر به حذف این رادیکال‌های آزاد هستند. از اینرو ترکیبات فنلی به‌عنوان یک علامت برای تنش شوری در نظر گرفته شده‌اند (Das and Roychoudhury, 2014). براساس نتایج این پژوهش، میزان ترکیبات فنلی تحت تنش شوری نسبت به گیاهان شاهد افزایش یافت (شکل ۲a). بررسی‌ها نشان داده است که سنتز ترکیبات فنلی به‌رغم کاهش رشد گیاه در شرایط تنش شوری، به‌صورت یک مکانیسمی دفاعی در برابر تنش عمل کرده و به مانند سدی دفاعی، گیاه را در مقابل تنش‌های محیطی حمایت می‌کنند. چندین گزارش در گیاهان زراعی تجمع فنولیک‌ها را در هنگام تنش نمکی نشان داده است (Corwin *et al.*, 2019). در مطالعه سطوح شوری بر گیاه زنیان مشخص شد که شوری سبب افزایش ترکیبات فنلی شد (دهقانی هراتی، ۱۳۹۶). همچنین تجمع فنولیک‌ها با افزایش غلظت نمک در سیاه‌دانه (*Nigella sativa*) و پونه (*Mentha pulegium*) گزارش شده است (Bourgou *et al.*, 2010; Oueslati *et al.*, 2010). در این

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.1.6]



شکل ۲- اثر متقابل ژنوتیپ × شوری برای ترکیبات فنولیک برگ (a) و درصد ظرفیت آنتی اکسیدانی DPPH (b) شش ژنوتیپ (رازیانه، زیان و انیسون) در شرایط آزمایش گلدانی. در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه می‌باشند براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

آزمایش نیز با افزایش سطح شوری مقدار ترکیبات فنلی افزایش یافت و این افزایش در گیاه زنیان بیشتر بود (شکل ۲). اثر متقابل ژنوتیپ × شوری نشان می‌دهد درصد ظرفیت آنتی-اکسیدانی با افزایش سطح شوری متفاوت بود به‌طوریکه هر دو ژنوتیپ انیسون (اصفهان و مرودشت) تا سطح ۸۰ شوری افزایش یافت و سپس روندی کاهشی داشت ولی ژنوتیپ‌های زنیان و رازیانه روندی افزایشی و متفاوت از انیسون داشتند. کمترین درصد ظرفیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به سطح شاهد ژنوتیپ اصفهان و بیشترین مربوط به سطح ۱۲۰ میلی‌مولار ژنوتیپ‌های یزد و قهدریجان بود (شکل ۲b). در نتیجه تنش شوری، تنش‌های ثانویه مانند تنش اکسیداتیو نیز ممکن است بروز کند که در این حالت، تولید و تجمع رادیکال‌های فعال منجر به اکسیدشدن پروتئین‌ها و لیپیدها و در نتیجه مرگ سلول می‌شود. از سوی دیگر، آنتی‌اکسیدان‌ها منع‌کننده‌های اکسیداتیو هستند که خصوصیت اصلی آنها توانایی به دام‌اندازی رادیکال-های آزاد است و دیگر ویژگی آنها جلوگیری از بوجودآمدن رادیکال‌های آزاد است (Molassiotis *et al.*, 2006).

علاوه بر تغییرات فیزیولوژیکی که در اثر تنش شوری در گیاه ایجاد می‌شود، صدمات اکسیداتیو نیز از عوامل مهم محدودکننده رشد و تولیدات گیاهی هستند که در اثر شرایط نامناسب ایجاد می‌شود. گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایجادشده، دارای سیستم دفاعی با کارآیی بالا هستند که

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.1.6]

می‌توانند رادیکال‌های آزاد را از بین برده یا خنثی کنند (Mittler, 2002). تحقیقات مختلف نشان داده است که یک ارتباط قوی بین تحمل تنش‌های اکسیداتیو که به‌دلیل تنش‌های محیطی ایجاد می‌شود و افزایش در غلظت فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان وجود دارد (Sairam and Srivastava, 2001). در این مطالعه شوری موجب افزایش معنی‌دار فعالیت DPPH گردید، به‌طوریکه بیشترین افزایش فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH مربوط به سطوح بالای شوری در هر سه گونه بود.

داده‌های مربوط به اثر متقابل شوری × ژنوتیپ نشان می‌دهد که غلظت سدیم با افزایش سطح شوری افزایش یافت در حالیکه غلظت پتاسیم کاهش یافته و این منجر به افزایش نسبت سدیم به پتاسیم هر دو ژنوتیپ در سه گونه مورد بررسی در مقایسه با گیاهان بدون تنش شد. کمترین افزایش در غلظت سدیم مربوط به ژنوتیپ‌های شیراز (رازیانه) و نهادجان (زنیان) بود. کمترین کاهش در غلظت پتاسیم نیز مربوط به ژنوتیپ نهادجان بود (شکل ۳). با افزایش سطح شوری کمترین افزایش در نسبت سدیم به پتاسیم مربوط به ژنوتیپ نهادجان (زنیان) و بیشترین افزایش در این نسبت مربوط به دو ژنوتیپ مرودشت و اصفهان (انیسون) بود (شکل ۳). جذب پتاسیم به شدت تحت‌تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرد که این امر عمدتاً به‌دلیل رقابت سدیم و پتاسیم برای جذب در گیاه است. کاهش جذب پتاسیم در محیط شور می‌تواند ناشی از به‌هم‌خوردن تعادل هورمونی گیاه بویژه سیتوکینین در ریشه باشد (Semiz *et al.*, 2012). همچنین تحقیقات نشان داده است که تجمع سدیم در برگ‌ها باعث مسمومیت گیاه شده و اختلال در رشد و جذب عناصر از جمله پتاسیم را به‌دنبال دارد (Shafeiee and Ehsanzadeh, 2019). از تغییرات مهم در این آزمایش با افزایش سطح شوری، افزایش غلظت سدیم و کاهش غلظت پتاسیم بود که با نتایج مطالعه Shafeiee و Ehsanzadeh (۲۰۱۹) روی گیاه رازیانه مطابقت داشت. به‌طور کلی در شرایط شور گیاه از سه طریق کاهش پتانسیل آب خاک و درنتیجه کاهش جذب آب توسط گیاه، اثرات سمی یون‌ها (عمدتاً سدیم و کلر) و عدم تعادل عناصر غذایی در گیاه که به‌علت اختلال در جذب یا انتقال آنها است تحت تنش قرار می‌گیرند (Yang *et al.*, 2014). در حضور کلرید سدیم، میزان سدیم و کلر در اندام‌های گیاه افزایش و تجمع می‌یابد و این یون‌ها می‌توانند جذب سایر عناصر معدنی را در برهمکنش‌های رقابتی یا بوسیله انتخاب‌پذیری یونی غشاء تحت‌تأثیر قرار دهند و سبب کمبود عناصر غذایی در گیاهان شوند (Sardar *et al.*, 2018).

یکی از دلایل کاهش جذب پتاسیم در شرایط شوری، انتقال عناصر سدیم و پتاسیم با یک پروتئین مشترک است و به همین دلیل بین این دو عنصر برای ورود به سلول رقابت وجود دارد (Parvaiz and Satyawati, 2008)؛ بنابراین به‌دلیل بیشتربودن عنصر سدیم در محیط اطراف ریشه به‌واسطه نوع نمک مورد استفاده در این مطالعه، میزان جذب سدیم افزایش و درنتیجه جذب پتاسیم کاهش می‌یابد.

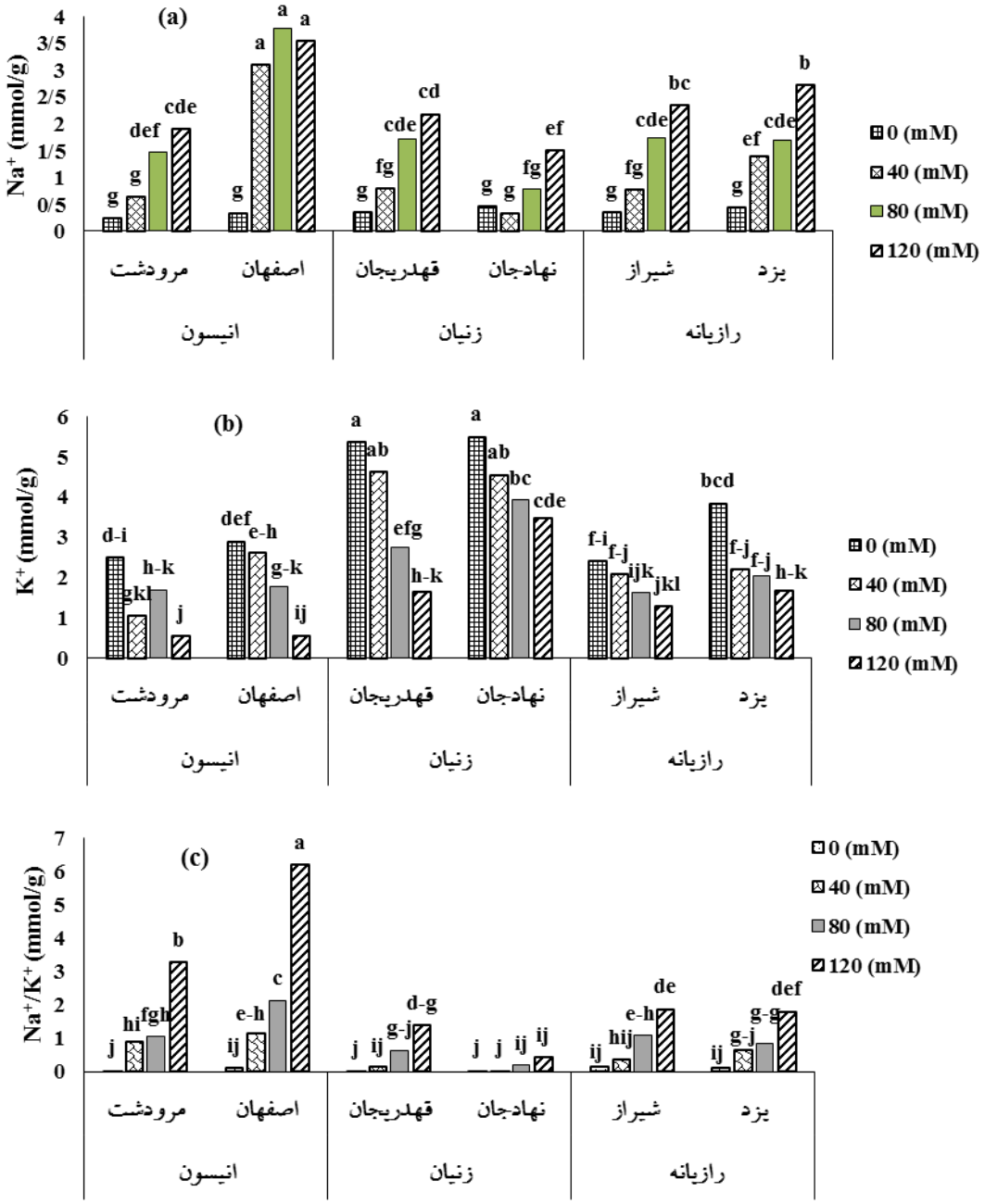
کاهش پتاسیم و افزایش سدیم در اثر تنش شوری در گیاهان دارویی مختلف مانند مریم‌گلی (آقایی و همکاران، ۱۳۹۳)، بنگ‌دانه (*Hyoscyamus reticulatus* L.) (وفادار و همکاران، ۱۳۹۷)، شنبلیله (*Trigonella foenum- graecum* L.) (فرهادی و همکاران، ۱۳۹۵) و دم‌شیر (*Leonurus cardiaca* L.) (زمانی و همکاران، ۱۳۹۷) نیز مشاهده گردید که با نتایج این پژوهش همخوانی داشت.

داده‌های مربوط به اثر متقابل شوری × ژنوتیپ نشان می‌دهد که شوری باعث افزایش غلظت H_2O_2 شد و کمترین مقدار H_2O_2 مربوط به گونه انیسون بود و در بین ژنوتیپ‌ها بالاترین و کمترین مقدار H_2O_2 به‌ترتیب مربوطه به ژنوتیپ‌های یزد (رازیانه) و مرودشت (انیسون) بود (جدول ۲).

تنش شوری سبب ایجاد اختلال در سیستم انتقال الکترون در فتوسیستم‌ها و فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین می‌شود. بدین ترتیب تنش شوری سبب القاء تنفس نوری شده و با حرکت الکترون‌ها به سمت اکسیژن تولید پراکسید هیدروژن

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.1.6]



شکل ۳- اثر متقابل ژنوتیپ × شوری برای غلظت سدیم (a)، غلظت پتاسیم (b) و نسبت سدیم به پتاسیم (c) شش ژنوتیپ (رازیانه، زیان و انیسون) در شرایط آزمایش گلدانی. در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه می‌باشند براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

افزایش می‌یابد (Khan *et al.*, 2013). تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن در پاسخ به تنش سبب آسیب اکسیداتیو به لیپیدهای غشاء، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شوند (Khan *et al.*, 2013). پراکسید هیدروژن در گیاهان به‌عنوان تنظیم‌کننده فرآیندهای اصلی مانند آسیمیلاسیون، فتوسنتز، تنفس، هدایت روزنه‌ای، چرخه سلولی، رشد و توسعه نقش دارد (Gill and Tuteja, 2010). به‌طورکلی، پراکسید هیدروژن هنگام گسترش تنش‌ها افزایش می‌یابد و بعضی محققین معتقد هستند که پراکسید هیدروژن فاکتور کلیدی در پدیده‌های آسیمیلاسیون و تحمل به تنش است

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.1.6]

(Gill and Tuteja, 2010). در این آزمایش نیز با افزایش سطح شوری میزان پراکسید هیدروژن افزایش معنی‌داری را نشان داد.

داده‌های مربوط به اثر متقابل شوری × ژنوتیپ نشان می‌دهد که شوری سبب کاهش ارتفاع، وزن خشک ریشه و اندام هوایی شد (جدول ۲). ژنوتیپ‌های انیسون کمترین ارتفاع، وزن خشک ریشه و اندام هوایی را داشت (جدول ۲). در بین ژنوتیپ‌ها نیز شیراز بالاترین ارتفاع، وزن خشک ریشه و اندام هوایی را به خود اختصاص داد (جدول ۲).

اثرهای منفی شوری بر رشد گیاه، به‌علت پتانسیل اسمزی پایین محلول خاک (تنش اسمزی)، اثرهای ویژه یونی (تنش شوری)، عدم تعادل عناصر غذایی یا مجموعه‌ی این عوامل ایجاد می‌شود. لذا هنگامی‌که گیاه در شرایط شوری رشد می‌کند فعالیت فتوسنتزی آن کاهش یافته و منجر به کاهش طول ساقه می‌شود. با افزایش غلظت املاح، فشار اسمزی محلول خاک زیاد می‌شود، درنتیجه مقدار انرژی که گیاه باید صرف جذب آب از خاک نماید افزایش می‌یابد که این عمل باعث کاهش جذب آب، افزایش تنفس و کاهش ارتفاع و عملکرد ماده خشک گیاه می‌شود (Hawrylak *et al.*, 2019). کاهش ارتفاع و وزن خشک در گیاهان دارویی رازیانه (Shafeiee and Ehsanzadeh, 2019) و زنیان (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۲) گزارش‌شده است.

در تنش شوری با افزایش غلظت نمک، پتانسیل اسمزی محلول افزایش یافته، جذب آب کم شده و به‌دنبال آن فشار تورژسانس سلول‌ها نیز کاهش می‌یابد. خروج آب از سلول‌ها مانع از رشد آنها می‌گردد. از طرف دیگر با کوچک‌شدن و ریزش برگ‌ها منبع تولید آسیمیلات‌ها در گیاه کاهش می‌یابد؛ بنابراین مقدار موادی که به سلول‌ها می‌رسد به‌مراتب کاهش چشم‌گیری پیدا می‌کند که درنهایت هم تعداد و هم‌اندازه سلول‌ها کاهش می‌یابد و متعاقباً کاهش در وزن تر و خشک اندام‌ها پدید می‌آید (Sardar *et al.*, 2018). در این مطالعه با افزایش تنش شوری وزن خشک‌ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. تغییرات مورفوفیزیولوژیک در ریشه گیاهان، در پاسخ به کاهش رطوبت در خاک در اثر تنش شوری به‌شدت و زمان تنش متغیر است. در تنش خفیف با بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش ورود CO_2 به کلروپلاست سلول‌های مزوفیل برگی فتوسنتز کاهش یافته و درنهایت منجر به کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به ریشه شده که این رخداد کاهش ویژگی‌های مورفولوژیک ریشه را به‌دنبال دارد (Nouripour *et al.*, 2022). با افزایش تنش اسمزی به‌دلیل محدودیت در توسعه سلول پارامترهای رشدی گیاهان کاهش می‌یابد (Munns and Tester, 2008) به‌طورکلی افزایش شوری در خاک باعث کاهش شدید رشد و میزان محصول می‌گردد.

داده‌های مربوط به اثر متقابل شوری × ژنوتیپ نشان می‌دهد که وزن خشک اندام هوایی با افزایش سطح شوری کاهش یافت اما این میزان کاهش در ژنوتیپ‌های یزد (رازیانه) و ژنوتیپ قهدریجان (زنیان) در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌هاکمتر بود. بیشترین و کمترین کاهش در وزن خشک اندام هوایی به ترتیب با ۷۶ و ۴۷ درصد مربوط به ژنوتیپ مرودشت (انیسون) و قهدریجان (زنیان) بود (جدول ۲).

کاهش وزن خشک ریشه و اندام هوایی به‌دلیل کاهش رشد و تقسیم سلولی است. همچنین کاهش رشد به‌دلیل از بین‌رفتن تعادل یونی و اسمزی است که از آثار مخرب شوری به حساب می‌آید و ریشه اولین اندامی است که به‌دلیل جذب عناصر با تنش مواجه می‌شود. یکی از شاخص‌های مؤثر در تحمل شوری تنظیم اسمزی سلول و حفظ آماس سلولی است که با ساخت مواد آلی نظیر گلایسین‌بتایین، پرولین، سوربیتول و مانیتول انجام می‌شود. از آنجایی که گیاه برای ساخت این مواد انرژی زیادی مصرف می‌کند، بنابراین رشد اندام گیاهی و به‌طبع آن وزن خشک کاهش می‌یابد (Munns and Tester, 2008). شوری خاک باعث کاهش پتانسیل اسمزی در محلول خاک و درنتیجه کاهش دسترسی گیاه به آب می‌گردد. جذب مواد غذایی، سطح برگ و جذب دی‌اکسید کربن و درنتیجه فتوسنتز در اثر کاهش دسترسی گیاه به آب در شرایط تنش شوری کاهش یافته و مقدار مواد فتوسنتزی نیز به‌طور محسوس کاهش می‌یابد (Saadatmand *et al.*, 2007). بررسی اثر پنج سطح شوری بر برخی صفات زراعی و فیزیولوژیک در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.1.6]

گیاه دارویی رازیانه نشان داد که افزایش شوری به‌صورت معنی‌داری سبب کاهش وزن خشک بخش هوایی گردید (Shafeiee and Ehsanzadeh, 2019). تحقیقات دیگر در گیاهان دارویی مختلف مانند مرزه (*Satureja hortensis* L.) (وجودی مهربانی و همکاران، ۱۳۹۶)، مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) (آقایی و همکاران، ۱۳۹۳) و دم‌شیر (*Leonurus cardiaca* L.) (زمانی و همکاران، ۱۳۹۷) نیز نشان‌دهنده کاهش وزن خشک گیاه در اثر تنش شوری است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

داده‌های مربوط به اثر متقابل شوری × ژنوتیپ نشان می‌دهد که هر دو ژنوتیپ رازیانه و زنیان با افزایش سطح شوری وزن هزار دانه کاهش یافت اما این کاهش در ژنوتیپ شیراز (رازیانه) و نهادجان (زنیان) محسوس‌تر بود. (جدول ۲). همچنین شاید بتوان گفت که گیاه تا سطح شوری ۴۰ میلی‌مولار تشکیل بذر و ذخیره مواد غذایی در بذر را ادامه داده است ولی با افزایش بیشتر شوری از مواد ذخیره موجود در بذر برای انجام فعالیت‌های متابولیسمی خود استفاده نموده و درنتیجه بذور کوچکتر و ضعیف‌تر شده‌اند و باعث کاهش وزن هزاردانه شده است. از آنجایی که شوری به‌طور جدی شرایط محیط ریشه، پتانسیل اسمزی محلول خاک و موازنه طبیعی یون‌های محلول را تغییر می‌دهد بنابراین مؤثرترین اثر آن روی گیاهان، کاهش رشد بوده که با کاهش عملکرد همراه است. گزارش‌های موجود روی گیاه زنیان نیز نشان‌دهنده کاهش عملکرد این گیاه در شرایط شوری است (Orooj and Ashraf, 2006) .همچنین افزایش شوری از ۰/۳ به ۴ دسی‌زیمنس بر متر، عملکرد بیولوژیک بادرنجبویه را به یک سوم و افزایش شوری از ۳ به ۹ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش عملکرد بیولوژیکی رازیانه به یک پنجم شده است (Graifenberg *et al.*, 1996).

داده‌های مربوط به اثر متقابل شوری × ژنوتیپ نشان می‌دهد که عملکرد دانه دو بوته در ژنوتیپ شیراز (رازیانه) قهدریجان و نهادجان (زنیان) به‌ترتیب ۳۶، ۵۶ و ۵۲ درصد در سطح ۱۲۰ میلی‌مولار نمک نسبت به شاهد کاهش یافت، هر چند در ژنوتیپ شیراز سه سطح شوری تفاوت معنی‌داری در عملکرد نداشتند (لازم به ذکر است که هر دو ژنوتیپ انیسون عملکردی نداشت و قبل از گلدهی از بین رفت) (جدول ۲). کاهش عملکرد دانه در محیط شور را می‌توان ناشی از اثرات مضر شوری (اختلالات تغذیه‌ای و سمیت ویژه یونی) بر رشد اندام‌های هوایی گیاه دانست. با افزایش غلظت نمک در محیط رشد ریشه، رشد رویشی گیاهان به‌شدت تحت‌تأثیر قرار گرفته و سطح برگ گیاه به مقدار زیادی کاهش می‌یابد. با کاهش سطح اندام‌های فتوسنتزکننده و انتقال بخشی از مواد فتوسنتزی به ریشه جهت مقابله با شوری، عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (Lovelli *et al.*, 2013). تحقیقات نشان می‌دهد که اثر شوری بر رشد زنیان با افزایش شوری از صفر تا ۱۲۰ میلی‌مول بر لیتر کاهش معنی‌داری در ماده تر و خشک ساقه، ریشه و عملکرد بذر زنیان داشته است (Orooj and Ashraf, 2006). در مطالعه‌ای دیگر کاهش رشد اندام هوایی و عملکرد در گیاه رازیانه گزارش شد (Graifenberg *et al.*,1996) که این نتایج با آزمایش انجام‌شده مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

این مطالعه برای مقایسه پاسخ به شوری سه گونه دارویی رازیانه، زنیان و انیسون طراحی و اجرا شد. نتایج این آزمایش نشان داد وقوع تنش شوری باعث بروز عوارضی اعم از کاهش صفاتی همچون ارتفاع، وزن خشک گیاه، عملکرد دانه و کاهش نشاسته برگ و در عوض باعث افزایش ترکیبات فنلی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و H_2O_2 در هر سه گونه گیاه دارویی شد. کاهش رشد و ماده خشک در هر سه گونه دارویی تحت تنش شوری رخ می‌دهد. به‌علاوه انیسون بیشتر مستعد خسارات ناشی از تنش شوری است، در حالیکه قابلیت تحمل شوری براساس صفات اندازه‌گیری شده در رازیانه و زنیان قابل‌مقایسه است، هر چند که تابع تفاوت ژنوتیپی است. حفظ نسبت سدیم به پتاسیم و جلوگیری از افزایش شدید آن تا حدودی به جلوگیری از کاهش وزن خشک ناشی از تنش شوری در رازیانه و زنیان کمک می کند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.1.6]

منابع

آقایی، ک.، طایی، ن.، کنعانی، م. ر. و یزدانی، م. (۱۳۹۳) اثر تنش شوری بر برخی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی دو گونه مریم‌گلی (*Salvia*). مجله فرایند و کارکرد گیاهی ۹: ۹۶-۸۵.

زمانی، ا.، شکرپور، م. و ناظری، و. (۱۳۹۷) تأثیر تنش شوری بر برخی بوم‌جورهای گیاه دارویی دم شیر (*Leonurus cardiaca* L.). مجله علوم باغبانی ایران ۴۹: ۵۶-۴۷.

دهقان هراتی، ز. (۱۳۹۶) بررسی تأثیر تنش شوری و قلیاییت بر ویژگی‌های رویشی و مورفولوژیک گیاه دارویی زنیان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه رفسنجان.

خانپور، ا.، روشن، و. و سلیمی، ا. (۱۳۹۵) اثر تنش شوری بر میزان و ترکیب اجزاء اسانس و خواص آنتی‌اکسیدانی گیاه بومادران.(*Achillea millefolium* L.) دوماهنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۶: ۹۵۷-۹۴۸.

فرهادی، ح.، عزیزی، م. و نعمتی، س. ح. (۱۳۹۵) بررسی تأثیر تنش شوری بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی توده‌های مختلف گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum- graecum* L.). علوم باغبانی ایران ۴۷: ۵۴۱-۵۳۱.

میرزایی، س.، مداح حسینی، ش.، دشتی، ح. و رحیمی، ا. (۱۳۹۲) اثر اصلاحی کلسیم و پتاسیم بر محتوای پرولین، کلروفیل، پروتئین و رشد گیاه دارویی زنیان (*Carum copticum* L.) تحت تنش شوری. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲: ۲۶۰-۲۴۷.

وجودی مهربانی، ل.، حسن‌پور اقدم، م. ب. و ولی‌زاده کامران، ر. (۱۳۹۶) بررسی رشد و برخی صفات فیزیولوژیکی مرزه (*Satureja hortensis* L.) تحت تنش شوری. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی ۴۱: ۱۱۰-۹۹.

وفادار، م.، قادری حبیب، ز. و وطن‌خواه، ا. (۱۳۹۷) تأثیر تنش شوری بر برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه بنگ‌دانه (*Hyoscyamus reticulatus* L.). مجله فرایند و کارکرد گیاهی ۲۶: ۹۹-۸۵.

Abdehpour, Z. and Ehsanzadeh, P. (2019) Concurrence of ionic homeostasis alteration and dry mass sustainment in emmer wheats exposed to saline water: Implications for tackling irrigation water salinity. Plant and Soil 440: 427-441.

Aghaleh, M., Niknam, V., Ebrahimzadeh, H. and Razavi, K. (2009) Salt stress effects on growth, pigments, proteins and lipid peroxidation in *Salicornia persica* and *S. europaea*. Biologia PLantarum 53: 243-248.

Amirjani, M. R. (2011) Effect of salinity stress on growth, sugar content, pigments and enzyme activity of rice. International Journal of Botany 7: 73-81.

Ashraf, M. and Orooj, A. (2006) Salt stress effects on growth, ion accumulation and seed oil concentration in an arid zone traditional medicinal plant ajowan (*Trachyspermum ammi* L. Sprague). Journal of Arid Environments 64: 209-220.

Askari, E. and Ehsanzadeh, P. (2015) Osmoregulation-mediated differential responses of fieldgrown fennel genotypes to drought. Industrial Crops and Products 76: 494-508.

Bourgou, S., Pichette, A., Marzouk, B. and Legault, J. (2010) Bioactivities of black cumin essential oil and its main terpenes from Tunisia. South African Journal of Botany 76: 210-216.

Bruening, W. P. and Egli, D. B. (2000) Leaf starch accumulation and seed set at phloem-isolated nodes in soybean. Field Crops Research 68: 113-120.

Corwin, D. L. and Scudiero, E. (2019) Review of soil salinity assessment for agriculture across multiple scales using proximal and / or remote sensors. Advances in Agronmy 158: 1-130.

Croft, H., Chen, J. M., Luo, X., Bartlett, P., Chen, B. and Staebler, R. F. M. (2017) Leaf chlorophyll content as a proxy for leaf photosynthetic capacity. Global Change Biology 23: 3513-3524.

Das, K. and Roychoudhury, A. (2014) Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS scavengers during environmental stress in plants. Frontiers in Environmental Science 2: 53-66.

Gill, S. S. and Tuteja, N. (2010) Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistr 48: 909-930.

Graifenberg, A., Botrini, L., Giustiniani, L. and Lipucci Di Paola, M. (1996) Salinity affects growth, yield and elemental concentration of fennel. Hortscience 31: 1131-1134.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.1.6]

Jaleel, C. A., Gopi, R., Kishorekumar, A., Manivannan, P., Sankar, B. and Panneerselvam, R. (2008) Interactive effects of triadimefon and salt stress on antioxidative status and ajmalicine accumulation in *Catharanthus roseus*. Acta Physiologiae Plantarum 30: 287-295.

Jamil, M., Lee, D. B., Jung, K. Y., Ashraf, M., Lee, S. C. and Rha, S. E. (2006) Effect of salt (NaCl) stress on germination and early seedling growth of four Vegetable specie. Journal of Central European Agriculture 7: 273-282.

Islam UI Haq, M. and Khan, M. F. A. (1971) Reclamation of saline and alkaline soils by growing Kallar grass. The Nucleus 8: 139-144.

Khan, M. I. R., Asgher, M., Iqbal, N. and Khan, N. A. (2013) Potentiality of sulphur-containing compounds in salt stress tolerance. Ecophysiology and Responses of Plants Under Salt Stress 443-472.

Lichtenthaler, H. K. and Buschmann, C. (2001) Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. In: Current Protocols in Food Analytical Chemistry. (eds. Wrolstad, R. E., Acree, T. E., Decker, E. A., Penner, M. H., Reid, D. S., Schwartz, S. J., Shoemaker, C. F. and Sporns, P.) Pp. 431-438. John Wiley and Sons, New York.

Lovelli, S., Sofo, A., Perniola, M. and Scopa, A. (2013) Abscisic acid and biomass portioning on tomato under salinity. In: Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress. (eds. Parviz, A., Azooz, M. M. and Prasad, M. N. V.) Pp. 267-282. Springer Press.

Loreto, F. and Velikova, V. (2001) Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against ozone damage, quenches ozone products, and reduces lipid peroxidation of cellular membranes. Journal of Plant Physiolgy 127: 1781-1787.

Ksouri, R., Megidiche, W., Debez, A., Falleh, H., Grignon, C. and Abdelly, C. (2007) Salinity effects on polyphenol content and antioxidant activities in leaves of the halophyte *Cakile maritima*. Plant Physiology and Biochemistry 45: 244-249.

Molassiotis, A., Sotiropoulos, T., Tanou, G., Diamantidis, G. and Therios, I. (2006) Boroninduced oxidative damage and antioxidant and nucleolytic responses in shoot tips culture of the apple rootstock EM9 (*Malus domestica* Borkh). Environmental and Experimental Botany 56: 54-62.

Mittler, R. (2002) Oxidative stress, antioxidant and stress tolerance. Trends in Plant Science 7: 405-415.

Munns, R. and Tester, M. (2008) Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology 59: 651-681.

Nouripour-Sisakht, J., Ehsanzadeh, P. and Ehtemam, M. H. (2022) "Fennel outperforms ajwain and anise in saline environment: Physiological response mechanisms in germinating seeds and mature plants." Italian Journal of Agronomy 1-30.

Ozturk, A., Unlukara, A., Ipek, A. and Gurbuz, B. (2004) Effects of salt stress and water deficit on plant growth and essential oil content of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). Pakistan Journal of Bototany 36: 787-792.

Oueslati, S., Karray-Bouraoui, N., Attia, H., Rabhi, M., Ksouri, R. and Lachaal, M. (2010) Physiological and antioxidant responses of *Mentha pulegium* (Pennyroyal) to salt stress. Acta Physiologiae Plantarum 32: 289-296.

Parihar, P., Singh, S., Vijay, R. S., Singh, P. and Prasad, S. M. (2015) Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: A review. Environmental Science and Pollution Research 22: 4056-4075.

Pujol, J. A., Calvo, J. F. and Diza, L. R. (2000) Recovery of germination from different osmotic conditions by four halophytes from southeastern Spain. Annals of Botany 85: 279-286.

Rahimmalek, M., Fadaei Heidari, E., Ehtemam, M. H. and Mohammadi, Sh. (2017) Essential oil variation in Iranian Ajowan (*Trachyspermum ammi* (L.) Sprague) populations collected from different geographical regions in relation to climatic factors. Industrial Crops and Products 95: 591-598.

Rebey, B., Rahali, F. Z., Saidani Tounsi, M. Marzouk, B. and Ksouri, R. (2016) Variation in fatty acid and essential oil composition of sweet fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) seeds as affected by salinity. Journal of New Sciences 6: 1233-1240.

Paixao, J. S., Da Silva, J. R., Ruas, K. F., Rodrigues, W. P., Filho, J. A. M., Bernado, W. D. P., Abreu, D. P., Ferreira, L. S., Gonzalez, J. C., Griffin, K. L., Ramalho, J. C. and Campostrini, E. (2019) Photosynthetic capacity, leaf respiration and growth in two papaya (*Carica papaya*) genotypes with different leaf chlorophyll concentrations. AoB Plants 11: 1-13.

Pandey, B. R., Burton, W. A., Salisbury, P. A. and Nicolas M. E. (2017) Comparison of osmotic adjustment, leaf proline concentration, canopy temperature and root depth for yield of *Juncea canola* under terminal drought. Journal Agronomy Crop Science 203: 397-405.

Parvaiz, A. and Satyawati, S. (2008) Salt stress and phyto-biochemical responses of plants-a review. Plant Soil and Environment 54: 89.

Saadatmand, A., Banihashemi, Z., Maftoun, M. and Sepaskhah, A. (2007) Interactive effect of soil salinity and water stress on growth and chemical compositions of pistachio nut tree. Journal of Plant Nutrition 30: 2037-2050.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.1.6]

Sardar, A., Javeed, Z., Riaz, U., Saleem, A., Ehsan, M., Naveed, M., Zulqadar, S. A. and Kharal, M. A. (2018) Effect of salinity stress on anise (*Pimpinella anisum* L.) seedling characteristics under hydroponic conditions. The Journal of Agricultural Science14: 39-45.

Semiz, G., Unlukara, A., Yurtseven, E., Suarez, D. and Telci, I. (2012) Salinity impact on yield, water use, mineral and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). The Journal of Agricultural Science 18: 177-186.

Shafeiee, M. and Ehsanzadeh, P. (2019) Physiological and biochemical mechanisms of salinity tolerance in several fennel genotypes: Existence of clearly-expressed genotypic variations. Industrial Crops and Products 132: 311-318.

Shinde, S. S., Kachare, D. P., Satbhai, R. D. and Naik, R. M. (2018) Water stress induced proline accumulation and antioxidative enzymes in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). Legume Reserch 41: 67-72.

Sairam, R. K. and Srivastava, G. C. (2001) Water stress tolerance of wheat *Triticum aestivum* L.: Variation in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotype. Journal of Agronomy and Crop Science 186: 63-70.

Shah, S. H., Houborg, R. and Mc Cabe, M. F. (2017) Response of chlorophyll, carotenoid and SPAD-502 measurement to salinity and nutrient stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). Agronomy 7: 61-68.

Sheligl, H. Q. (1986) Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. Planta Journal 3: 47-51.

Singh, R. P., Murthy, K. N. C. and Jayaprakasha, G. K. (2002) Studies on the antioxidant activity of pomegranate peel and seed extracts using in vitro models. Journal of Agricultural and Food Chemistry 50: 81-86.

Tekao, T., Watanabe, N., Yagi, I. and Sakata, K. (1994) A simple screening method for antioxidant and isolation of several antioxidants produced by marine bacteria from fish and shellfish. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry 58: 1780-1783.

Oueslati, S., Karray-Bouraoui, N., Attia, H., Rabhi, M., Ksouri, R. and Lachaal, M. (2010) Physiological and antioxidant responses of *Mentha pulegium* (Pennyroyal) to salt stress. Acta Physiologiae Plantarum 32: 289-296.

Ullah, H., Mahmood, A. and Honermeier, B. (2014) Essential oil and composition of anise (*Pimpinella anisum* L.) with varying seed rates and row spacing. Pakistan Journal of Botany 46: 1859-1864.

Yang, S. J., Zhang, Z. L., Xue, Y. X., Zhang, Z. F. and Shi, S. Y. (2014) Arbuscular mycorrhizal fungi increase salt tolerance of apple seedlings. Botanical Studies 55: 70-76.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.1.6]

Physiological and yield attributes of fennel, anise, and ajwain in response to brackish irrigation water in potted conditions

Javad Nouripour Sisakht, Parviz Ehsanzadeh * and Mohammad Hossein Ehtemam

Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology

(Received: 11/10/2021, Accepted: 22/02/2022)

Abstract

Salinity of soil and water is one of the most serious environmental problems in the world. Medicinal plants are one of the most valuable resources in a wide range of natural resources in Iran which if scientifically recognized, cultivated, developed and exploited properly can play an important role in public health, job creation and non-oil exports. Therefore, this experiment was performed on farm of Isfahan University of Technology and A factorial randomized complete block design was used for performing this experiment. Four levels of salt treatment (i.e. 0, 40, 80, and 120 mM NaCl) were applied on two genotypes from each of the three species of fennel, ajwain, and anise in three replications. Chlorophyll a and b, leaf starch, sodium and potassium concentration and their ratios, phenolic compounds, H_2O_2, grain yield, 1000-grain weight, root and shoot dry weight as well as height were measured. The results showed that salinity levels had different effects on different traits of these three species and their genotypes. With increasing salinity, dry weight of roots and shoots, height, yield, 1000-seed weight decreased, and on the other hand, H2O2 concentration and phenolic compounds and antioxidant capacity ramped up with increasing salinity level. Starch was different in the studied species and genotypes, so that the concentration of chlorophyll in fennel genotypes increased to a level of 80 mM salinity and then ramped down, but in the other two species had a decreasing trend: sodium concentration and sodium to potassium ratio with increasing Salinity levels increased and this increase was more noticeable in anise, the potassium concentration in all three species with The increase in salinity decreased, but the largest decrease was related to the anise plant. In general, according to our findings, anise is more prone to damage due to salinity stress, while the salinity tolerance of fennel and alder is comparable, although the salinity tolerance, especially in the latter two species, is subject to genotypic differences.

Keywords: Potassium, Sodium, Antioxidant capacity, Chlorophyll, Phenol, Dry weight

Corresponding author, Email: ehsanzadehp@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.1.6]