مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران | شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijmapr.2021.354240.2978

جلد ۳۷، شماره ۴، صفحه ۶۷۴-۶۵۸ (۱۴۰۰) | شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350905.1400.37.4.7.4

اثر تنش شوری بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک، میزان اسانس و روابط یونی دو زیرگونه مرزنجوش (*Origanum vulgare* L. ssp. *vulgare* & ssp. *gracile*)

زهرا عظیم‌زاده[۱]، عباس حسنی[۲*]، بابک عبدالهی مندولکانی[۳] و ابراهیم سپهر[۴]

۱- دانشجوی دکترا، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استاد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، پست الکترونیک: a.hassani@urmia.ac.ir

۳- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۴- استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: فروردین ۱۴۰۰ | تاریخ اصلاح نهایی: تیر ۱۴۰۰ | تاریخ پذیرش: مرداد ۱۴۰۰

چکیده

مرزنجوش (*Origanum vulgare* L.) گیاهی علفی، چندساله و متعلق به تیره نعناع است که به‌عنوان ادویه برای طعم دادن به غذاها و نیز برای اهداف طبی به‌عنوان ضدنفخ، معرق، خلط‌آور، آرام‌بخش، اشتهاآور، مدر، ضدسرفه و ضدروماتیسم مورد استفاده قرار می‌گیرد. جهت ارزیابی تأثیر تنش شوری بر برخی صفات رشدی و فیزیولوژیک، مقدار اسانس و جذب عناصر غذایی در دو زیرگونه از گیاه مرزنجوش، یک آزمایشی گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل دو زیرگونه مرزنجوش (ssp. *gracile* و ssp. *vulgare*) و تنش شوری در چهار سطح (۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار از NaCl) بودند. نتایج نشان داد که تنش شوری تأثیر معنی‌داری بر صفات مورد اندازه‌گیری داشته است. با افزایش میزان شوری، ویژگی‌های رشدی (ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ و عملکرد ماده خشک)، محتوی نسبی آب برگ، شاخص کلروفیل (SPAD)، درصد و عملکرد اسانس، غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، نسبت پتاسیم به سدیم در برگ و ریشه کاهش، در حالی‌که مقادیر سدیم و کلر برگ و ریشه هر دو زیرگونه افزایش یافت. عکس‌العمل دو زیرگونه به سطوح مختلف تنش شوری متفاوت بود. تجمع بیشتر سدیم در ریشه‌ها و بالاتر بودن نسبت K/Na در برگ‌ها نسبت به ریشه‌ها نشان‌دهنده توانایی زیرگونه‌های مرزنجوش در محدود کردن انتقال و تجمع یون‌های Na^+ در اندام‌های هوایی آنها می‌باشد. در مجموع یافته‌های این تحقیق نشان داد که زیرگونه *vulgare* به‌واسطه تجمع کمتر یون‌های سدیم و کلر، دارا بودن نسبت بالاتر K/Na و کاهش کمتر در شاخص کلروفیل و عملکرد ماده خشک از میزان تحمل بیشتری در برابر تنش شوری نسبت به زیرگونه *gracile* برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: *Origanum vulgare* L.، اسانس، کلرید سدیم، عناصر غذایی، کلروفیل، محتوی نسبی آب برگ.

مقدمه

شوری خاک و آب یکی از مهمترین تنش‌های غیر زنده است که رشد گیاهان و تولید محصولات کشاورزی را در بسیاری از مناطق جهان با محدودیت جدی مواجه کرده است (Parida & Das, 2005). کشور ایران نیز به‌دلیل برخورداری از اقلیم خشک و نیمه‌خشک همواره در معرض

تهدید جدی تنش‌های محیطی مختلف به‌ویژه خشکی و شوری می‌باشد. اثرهای زیان‌بار شوری بر رشد گیاه ناشی از اختلال در فرایند جذب آب توسط گیاهان به علت قابلیت اسمزی پایین محلول خاک (خشکی فیزیولوژیکی)، سمّیت یونی ناشی از تجمع املاحی مانند سدیم و کلر در بافت‌های گیاهی، عدم تعادل عناصر غذایی و یا مجموعه این عوامل می‌باشد (Heidari Sharif Abad, 2001؛ Ashraf & McNeilly, 2004).

طبق گفته محققان، تولید و انباشت ترکیب‌های ثانویه گیاهی مانند اسانس‌ها، تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند ژنتیک، شرایط محیطی (به‌ویژه بروز تنش‌های غیرزیستی)، سن گیاه، عملیات کشاورزی و فرایندهای زمان و پس از برداشت قرار می‌گیرد (Figueiredo *et al*., 2008). در تحقیقات متعددی تأثیر سوء تنش شوری بر ویژگی‌های رشدی و میزان اسانس گیاهان دارویی مختلف مانند مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) (Ben Taarit *et al*., 2009)، آگاستاکه (*Agastache foeniculum*) (Khorsandi *et al*., 2010)، ترخون (*Artemisia dracunculus*) (Lamian *et al*., 2015)، نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) (Çoban & Baydar, 2016) و شمعدانی (*Pelargonium graveolens*) (Hassanvand *et al*., 2019) گزارش شده است. با این حال Salimi و همکاران (۲۰۱۷) در بومادران (*Achillea millefolium*)، Farsaraei و همکاران (۲۰۲۰) در ریحان (*Ocimum basilicum*) و Esmaielpour و همکاران (۲۰۲۰) در بادرشبو (*Dracocephalum moldavica*)، افزایش محتوای اسانس را در اثر افزایش شدت تنش شوری گزارش نموده‌اند.

گیاهان دارویی منبع باارزشی از متابولیت‌های ثانویه هستند که در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. تقاضای زیاد برای مواد طبیعی از یک‌سو و مباحث مربوط به تغییر الگوی کاشت از سوی دیگر باعث افزایش علاقه به کشت گیاهان دارویی و معطر در تناوب زراعی با بسیاری از محصولات کشاورزی شده است.

مرزنجوش (*Origanum* sp.) یک گیاه چندساله، علفی و متعلق به تیره نعناع می‌باشد. این جنس دربرگیرنده گونه‌های بسیاری است که معمولاً به‌صورت وحشی در نواحی مدیترانه‌ای می‌روید و از تنوع مورفولوژیک و شیمیایی بالایی در دنیا برخوردار است (Kokkini, 1997). *O. vulgare* L. یکی از مهمترین گونه‌های این جنس است که گسترش فراوانی نه تنها در منطقه مدیترانه بلکه در سایر مناطق دنیا ازجمله ناحیه ایرانو- تورانی دارد. این گونه دارای شش زیرگونه در سراسر جهان می‌باشد (Spada & Perrino, 1996) که در ایران تنها سه زیرگونه *viride*، *vulgare* و *gracile* شناسایی شده است که در شمال، شمال‌غربی و غرب پراکنش دارند (Moradi *et al*., 2021). پیکر رویشی این گیاه حاوی اسانس (با غالب بودن مونوترپن‌های فنلی به‌ویژه کارواکرول)، فلاونوئیدها، مواد تلخ و ترکیب‌های موسیلاژی است. گونه‌های مختلف مرزنجوش در سراسر جهان به‌عنوان یک ادویه پرطرفدار مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه‌بر استفاده در طب سنتی، از مواد مؤثره این گیاه برای درمان سرفه، به‌عنوان خلط‌آور، ضدنفخ، اشتهاآور، مدر، مقوی معده و آرام‌بخش استفاده می‌شود. اسانس این گیاه به‌دلیل غنی بودن از ترکیب‌های فنولی دارای خواص ضدباکتریایی، ضدقارچی و آنتی‌اکسیدانی قوی است (Omidbaigi, 1997؛ Leyva- López *et al*., 2017؛ Moradi *et al*., 2021).

کمبود منابع آب در ایران از یک‌سو و مصرف عمده آب در بخش کشاورزی از سوی دیگر، روز به روز بر ضرورت استفاده از آب‌های دارای کیفیت پایین (آب شور) می‌افزاید. بر همین مبنا یکی از راهکارهایی که برای رفع مشکل شوری خاک و آب مورد توجه قرار گرفته است جایگزینی کشت گیاهان تجاری حساس با گیاهان کم آب‌بر و مقاوم به انواع تنش‌های محیطی مانند گیاهان دارویی می‌باشد. در مطالعات قبلی نویسندگان، مقاومت نسبی گیاه مرزنجوش به شرایط کم‌آبی مورد تأیید قرار گرفته است و برای بررسی امکان کشت این گیاه در مناطق متأثر از خشکی و شوری لازم است رفتار آن در شرایط شوری نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. بنابراین، این تحقیق با هدف بررسی اثرهای تنش

شوری بر رشد، عملکرد، روابط آبی و یونی و میزان اسانس دو زیرگونه از مرزنجوش انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت یک آزمایش گلدانی در طی بهار و تابستان سال ۱۳۹۸ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل دو زیرگونه مرزنجوش (*Origanum vulgare* ssp. *gracile* و *O. vulgare* ssp. *vulgare*) و تنش شوری ناشی از کلرور سدیم در چهار سطح (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) بودند. گلدان‌های مورد استفاده در این تحقیق از نوع پلاستیکی با قطر دهانه ۲۳ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر بودند که با ۳ قسمت خاک مزرعه و ۲ قسمت ماسه پر شدند. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است. پس از آماده‌سازی گلدان‌ها، تعدادی بذر از هر یک از زیرگونه‌ها در داخل گلدان‌های جداگانه کاشته شد و پس از جوانه‌زنی و سبزشدن بذرها، گیاهچه‌ها در طی چند مرحله تنک شده و در نهایت در داخل هر گلدان هفت بوته نگهداری گردید. تا زمان استقرار کامل بوته‌ها (حدود یک ماه پس از کاشت بذرها و در مرحله هشت برگی شدن بوته‌ها)، گلدان‌ها با آب معمولی آبیاری شده و از این مرحله به بعد، تیمارهای شوری به‌صورت آبیاری گلدان‌ها با آب حاوی غلظت‌های مورد نظر نمک کلرور سدیم شروع شد. برای جلوگیری از شوک ناشی از غلظت زیاد نمک، سطوح شوری به‌تدریج طی سه بار آبیاری به غلظت‌های نهایی رسید. در طول مدت آزمایش، دمای کمینه و بیشینه گلخانه به‌طور متوسط ۲±۲۰ و ۲±۲۸ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۶۰-۵۰٪ و روشنایی مورد نیاز گیاهان نیز با نور طبیعی آفتاب تأمین می‌شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

بافت خاک	pH	EC ($dS\ m^{-1}$)	مواد آلی (٪)	N (٪)	P ($mg\ kg^{-1}$)	K ($mg\ kg^{-1}$)
شنی لومی	۸/۰۲	۱/۲۷	۰/۶۲	۰/۱۲	۹/۴۵	۱۷۹

اندازه‌گیری صفات رشدی

به‌منظور بررسی اثر تنش شوری بر برخی از ویژگی‌های رشدی گیاهان، در پایان آزمایش (در مرحله گلدهی) از هر واحد آزمایشی سه بوته به‌طور تصادفی انتخاب شد و صفاتی مانند تعداد برگ، ارتفاع بوته (توسط خط‌کش)، قطر ساقه (توسط کولیس دیجیتال) و وزن خشک برگ و ساقه اندازه‌گیری گردید. برای تعیین وزن خشک نمونه‌های برگ و ساقه، آنها را به مدت ۷۲ ساعت در آون (با دمای ۷۰ درجه سلسیوس) قرار داده و پس از خارج نمودن نمونه‌ها از آون، وزن خشک آنها به کمک ترازوی دیجیتالی (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) تعیین شد.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک

در این بخش صفاتی مانند شاخص سبزینگی (SPAD: Soil Plant Analysis Development) و محتوای نسبی آب (RWC) برگ‌ها مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. برای ارزیابی شاخص سبزینگی برگ، از دستگاه کلروفیل‌متر (Minolta SPAD-502 Chlorophyll Meter) استفاده شد. برای این منظور، ۲۰ عدد برگ از قسمت‌های پایین، وسط و بالای ساقه و از جهات مختلف هر بوته انتخاب و شاخص کلروفیل (SPAD) در آنها اندازه‌گیری شد. برای تعیین RWC، از برگ‌های توسعه یافته ۱۰ عدد دیسک به قطر ۸ میلی‌متر تهیه نموده و پس از توزین دیسک‌ها، آنها را به

پتری‌دیش‌های دربدار حاوی آب‌مقطر منتقل کرده و به‌مدت ۶ ساعت در یخچال (۴ درجه سلسیوس) در تاریکی نگهداری شدند. پس از خارج کردن دیسک‌ها از آب‌مقطر و حذف رطوبت اضافی سطح دیسک‌ها، وزن آماس آنها اندازه‌گیری شد. پس از تعیین وزن آماس، دیسک‌های برگی را به آون (۷۰ درجه سلسیوس) منتقل کرده و پس از گذشت ۴۸ ساعت وزن خشک آنها تعیین گردید و سرانجام با استفاده از فرمول زیر محتوای نسبی آب برگ‌ها محاسبه شد (Turner, 1981).

۱۰۰×[(وزن خشک–وزن آماس)/(وزن خشک–وزن تر)] = محتوای نسبی آب برگ (٪)

اندازه‌گیری عناصر غذایی در برگ و ریشه

استخراج عصاره گیاهی برای اندازه‌گیری عناصر برگ و ریشه با هضم به روش سوزاندن خشک انجام شد. میزان نیتروژن به روش هضم توسط اسید سولفوریک، اسید سالیسیلیک و آب اکسیژنه و با استفاده از دستگاه کجدال مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (Mulvaney, 1996). میزان فسفر با استفاده از روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات وانادات) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Cotteni, 1980). مقادیر پتاسیم و سدیم به روش نشر شعله‌ای و با کمک دستگاه فلیم فتومتر (Emami, 1996) و مقدار کلر به روش تیتراسیون (Johnson & Ulrich, 1975) اندازه‌گیری شد.

استخراج و اندازه‌گیری محتوای اسانس

برای استخراج و اندازه‌گیری کمّی اسانس، گیاهان در مرحله گلدهی کامل برداشت شده و در دمای اتاق و در شرایط سایه خشک شدند و بعد به روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه کلونجر، عمل استخراج اسانس انجام شد. محتوای اسانس برحسب میلی‌لیتر در ۱۰۰ گرم ماده خشک و عملکرد اسانس نیز براساس وزن خشک تک بوته و برحسب میلی‌لیتر در بوته محاسبه و گزارش گردید.

تجزیه آماری داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های صفات اندازه‌گیری شده توسط نرم‌افزار SAS انجام شد. برای انجام مقایسه میانگین‌ها از روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن (در سطح احتمال ۵٪) و برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج

صفات رشدی

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر نوع زیرگونه، تنش شوری و اثر متقابل آنها بر ارتفاع بوته در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بوده است. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تنش شوری به‌طور معنی‌داری باعث کاهش ارتفاع بوته در هر دو زیرگونه شد. طبق نتایج بیشترین ارتفاع بوته (۳۷/۳۸ سانتی‌متر) در شرایط بدون تنش و در زیرگونه ولگار و کمترین ارتفاع بوته (۲۴/۳۳ سانتی‌متر) در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار تنش شوری و در زیرگونه گراسیل مشاهده شد که با زیرگونه ولگار اختلاف معنی‌داری نداشت. درصد کاهش ارتفاع بوته در سطوح شوری ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد، در زیرگونه ولگار به‌ترتیب ۱۲/۷۶، ۲۴/۳۷ و ۳۲/۹٪ و در زیرگونه گراسیل به‌ترتیب ۱۰/۳۹، ۲۲/۲۸ و ۲۷/۷۱٪ بود (جدول ۳).

طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، قطر ساقه به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال ۵٪) تحت تأثیر نوع زیرگونه، تنش شوری و همچنین اثر متقابل آنها قرار

گرفت. براساس نتایج بدست آمده، قطر ساقه با افزایش شدت تنش شوری در هر دو زیر گونه کاهش یافت که البته این کاهش در زیرگونه گراسیل تا سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار معنی‌دار نبود. همچنین در تیمارهای ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار، از نظر قطر ساقه اختلاف معنی‌داری بین دو زیرگونه مشاهده نشد (جدول ۳).

از نظر تعداد برگ، فقط اثر تیمار شوری و اثر متقابل نوع زیرگونه و تنش شوری معنی‌دار (در سطح احتمال ۵٪) بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش سطوح شوری، تعداد برگ‌ها در هر دو زیرگونه کاهش یافته است اما در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار شوری، اختلاف معنی‌داری بین زیرگونه ولگار و گراسیل مشاهده نشد (جدول ۳).

همچنین براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، تأثیر تنش شوری و اثر متقابل تنش شوری و نوع زیرگونه بر عملکرد پیکر رویشی خشک در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش شدت شوری میزان عملکرد پیکر رویشی خشک در هر دو زیرگونه کاهش یافت که البته این کاهش در زیرگونه گراسیل بیشتر بود، به‌طوری که درصد کاهش عملکرد در سطوح شوری ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد، در زیرگونه ولگار به‌ترتیب ۱۴/۲۳، ۳۸/۷۶ و ۵۰/۷۵ درصد و در زیرگونه گراسیل به‌ترتیب ۲۷/۶۵، ۶۱/۴۶ و ۶۲/۷۵ درصد بود (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیک و فیتوشیمیایی دو زیرگونه مرزنجوش تحت تأثیر تنش شوری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		ارتفاع بوته	قطر ساقه	تعداد برگ	عملکرد ماده خشک در گلدان	محتوای نسبی آب برگ	شاخص سبزینگی	درصد اسانس	عملکرد اسانس
زیرگونه	۱	۳۰/۵۶۲*	۰/۳۰۹*	۱۰/۰۶^{ns}	۰/۴۹۷^{ns}	۱۰۵/۳۳*	۱۳/۷۶۸**	۰/۱۰۹**	۰/۰۰۰۰۲^{ns}
شوری	۳	۱۳۵/۷۴*	۰/۳۰۹*	۱۴۶۹/۲*	۱۷/۵۰۹*	۲۶۳/۱۱*	۶۷/۱۳*	۰/۲۶۸*	۰/۰۰۰۱*
زیرگونه× شوری	۳	۲/۲۳۷*	۰/۲۰۸*	۴۱/۸۴*	۱/۵۲۶*	۱۳/۱^{ns}	۹/۸۶۱**	۰/۰۲۲^{ns}	۰/۰۰۰۴*
خطای آزمایش	۱۶	۰/۲۳۳	۰/۰۰۹	۴/۳۹۳	۰/۲۶۲	۷/۷۲	۱/۸۷۶	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰۰۱
ضریب تغییرات (٪)		۴/۶۳	۶/۴۱	۳/۴۴	۱۲/۴۹	۵/۹۱	۳/۴۴	۷/۵۷	۲۰/۵۷

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح ۵٪ و ۱٪

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، محتوای نسبی آب برگ به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال ۵٪) تحت تأثیر سطوح شوری و نوع زیرگونه قرار گرفت. به‌نحوی که با افزایش غلظت نمک در آب آبیاری، محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت، به‌طوری که بیشترین (۷۸/۸٪) و کمترین (۶۳/۵۳٪) میزان RWC به‌ترتیب در گیاهان شاهد (بدون تنش) و ۱۰۰ میلی‌مولار تنش شوری مشاهده شد. از سوی دیگر، زیرگونه گراسیل در مقایسه با زیرگونه ولگار از مقدار RWC بالاتری برخوردار بود (جدول ۴).

شاخص سبزینگی (SPAD)

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر نوع زیرگونه، تنش شوری و اثر متقابل آنها بر شاخص سبزینگی معنی‌دار گردید (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها، اگرچه با افزایش غلظت نمک در آب آبیاری میزان کلروفیل در هر دو زیرگونه کاهش یافت اما میزان این کاهش در زیرگونه گراسیل بیشتر از زیرگونه ولگار بود، به‌طوری که درصد کاهش شاخص کلروفیل در سطوح شوری ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد، در زیرگونه ولگار به‌ترتیب ۷/۱۷، ۷/۷۱ و ۱۵/۶۲ درصد و در زیرگونه گراسیل به‌ترتیب ۳/۳۶، ۱۶/۹۲ و ۱۹/۰۳ درصد بود (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های مربوط به اثرهای متقابل نوع زیرگونه و تنش شوری بر صفات اندازه‌گیری شده

		صفات					
	تیمار	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	قطر ساقه (میلی‌متر)	تعداد برگ	عملکرد ماده خشک در گلدان (گرم)	شاخص سبزینگی (SPAD)	عملکرد اسانس (میلی‌لیتر در گیاه)
زیرگونه *vulgare*	شاهد	۳۷/۳۸ a	۲/۴۰ a	۷۵/۸۸ b	۵/۳۴ b	۴۲/۲۳ b	۰/۰۲۰ ab
	۲۵ میلی‌مولار	۳۲/۶۱ c	۱/۵۲ b	۶۷/۲۲ c	۴/۵۸ b	۳۹/۱۲ c	۰/۰۱۶ bc
	۵۰ میلی‌مولار	۲۸/۲۷ e	۱/۴۶b	۵۳/۴۴ d	۳/۲۷ c	۳۸/۹۷ c	۰/۰۱۵ bc
	۱۰۰ میلی‌مولار	۲۵/۰۸ g	۱/۲۷ c	۴۴/۵ e	۲/۶۳ cd	۳۵ /۶۳d	۰/۰۱۲ cd
زیرگونه *gracile*	شاهد	۳۳/۶۶ b	۱/۸۲ b	۸۰/۳۳ a	۶/۹۸ a	۴۴/۹۲ a	۰/۰۲۰ ab
	۲۵ میلی‌مولار	۳۰/۱۶ d	۱/۴۸ b	۷۲/۶۶ b	۵/۰۵ b	۴۳/۴۱ ab	۰/۰۲۴ a
	۵۰ میلی‌مولار	۲۶/۱۶ f	۱/۴۶ b	۴۷/۲۲ e	۲/۶۹ cd	۳۷/۳۲ cd	۰/۰۱۹ abc
	۱۰۰ میلی‌مولار	۲۴/۳۳ g	۱/۱۸ c	۴۶ e	۲/۶۰ d	۳۶/۳۷ d	۰/۰۰۹ d

حروف متفاوت در مقابل میانگین‌ها در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد (آزمون دانکن).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تنش شوری و نوع زیرگونه بر محتوای نسبی آب برگ و درصد اسانس

صفات	تیمار				زیرگونه	
	شوری (میلی‌مولار)					
	شاهد	۲۵	۵۰	۱۰۰	*vulgare*	*gracile*
محتوای نسبی آب برگ (٪)	۷۸/۸ a	۷۴/۵۴ a	۶۸/۲۸ b	۶۳/۵۳ b	۶۹/۱۷ b	۷۳/۳۰ a
درصد اسانس	۱/۶۳ b	۱/۸۴ a	۱/۵۷ c	۱/۳۳ c	۱/۵۲ b	۱/۶۶ a

حروف متفاوت در مقابل میانگین‌ها در هر ردیف نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد (آزمون دانکن).

درصد و عملکرد اسانس

طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، فقط تأثیر نوع زیرگونه و تنش شوری بر درصد اسانس معنی دار گردید. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که سطح شوری پایین (۲۵ میلی مولار) باعث افزایش محتوای اسانس نسبت به گیاهان بدون تنش شد. در حالی‌که در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار محتوای اسانس نسبت به شاهد کاهش یافت. همچنین در بین زیرگونه ها، زیرگونه گراسیل از محتوای اسانس بیشتری برخوردار بود (جدول ۴).

در مورد عملکرد اسانس نیز مشاهده گردید که فقط تأثیر تنش شوری و اثر متقابل تنش شوری و نوع زیرگونه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار گردید (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، در زیرگونه ولگار با افزایش شدت شوری عملکرد اسانس کاهش یافت اما بااین‌حال اختلاف بین سطوح صفر، ۲۵ و ۵۰ میلی مولار معنی‌دار نبود. در زیرگونه گراسیل با افزایش شدت شوری تا حد ۲۵ میلی مولار، عملکرد اسانس افزایش یافت و پس از آن با افزایش سطح شوری کاهش نشان داد. در زیرگونه گراسیل نیز اختلاف بین سطوح صفر، ۲۵ و ۵۰ میلی مولار از نظر عملکرد اسانس معنی دار نبود (جدول ۳).

عناصر غذایی برگ و ریشه

سدیم

براساس نتایج تجزیه واریانس، غلظت سدیم در برگ و ریشه در سطح احتمال ۵٪ تحت تأثیر شوری، زیرگونه و اثر متقابل آنها قرار گرفت (جدول های ۵ و ۶). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمارهای شوری به‌طور معنی‌داری باعث افزایش محتوای سدیم برگ و ریشه در هر دو زیرگونه شدند، البته در تمام سطوح شوری میزان تجمع سدیم در ریشه نسبت به برگ بیشتر بود. همچنین مشخص گردید که زیرگونه ولگار در تمام سطوح شوری از میزان سدیم برگ کمتر و میزان سدیم ریشه بیشتری در مقایسه با زیرگونه گراسیل برخوردار بود (شکل ۱- الف).

کلر

طبق نتایج تجزیه واریانس، میزان کلر برگ به طور معنی داری تحت تأثیر شوری و اثر متقابل تنش شوری و نوع زیرگونه و میزان کلر ریشه نیز به طور معنی داری تحت تأثیر شوری، زیرگونه و اثر متقابل آنها قرار گرفت (جدول‌های ۵ و ۶). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد اگرچه با افزایش شوری، میزان کلر در برگ و ریشه هر دو زیرگونه افزایش یافت اما در تمام سطوح شوری، برگ ها حاوی میزان کلر بیشتری در مقایسه با ریشه بودند. همچنین مشاهده گردید که در تمام سطوح شوری، میزان تجمع کلر در برگ و ریشه زیرگونه ولگار کمتر از زیرگونه گراسیل بود (شکل ۱- ب).

پتاسیم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که تأثیر شوری، زیرگونه و اثر متقابل آنها بر میزان پتاسیم برگ و ریشه معنی‌دار بوده است (جدول‌های ۵ و ۶). براساس نتایج مقایسه میانگین ها، غلظت پتاسیم در برگ و ریشه هر دو زیرگونه با افزایش شدت شوری کاهش یافت. در تمام سطوح شوری میزان تجمع پتاسیم در برگ ها بیشتر از ریشه بود. همچنین زیرگونه ولگار در تمام سطوح شوری (بجز شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در ریشه) از میزان پتاسیم برگ و ریشه بیشتری نسبت به زیرگونه گراسیل برخوردار بود (شکل ۲- الف).

جدول ۵- تجزیه واریانس عناصر غذایی در برگ دو زیرگونه مرزنجوش تحت تأثیر تنش شوری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		سدیم	کلر	پتاسیم	K/Na	نیتروژن	فسفر
زیرگونه	۱	۰/۱۳۰*	۰/۰۱۸ns	۱/۷۷۴*	۱۹۶/۱۹*	۰/۳۱۵*	۰/۰۰۰۹*
شوری	۳	۲/۳۳۶*	۰/۳۸۳*	۰/۴۹۰*	۳۶۸/۰۸*	۰/۵۳۲*	۰/۰۰۱۴*
زیرگونه× شوری	۳	۰/۰۳۶*	۰/۲۹۱*	۰/۰۷۲**	۴۵/۶۳**	۰/۰۴۸*	۰/۰۰۰۱*
خطای آزمایش	۱۶	۰/۰۰۶	۰/۰۱۲	۰/۰۲۴	۱۰/۴۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۰۳
ضریب تغییرات (٪)		۱۲/۳۸	۵/۳۲	۸/۴۴	۲۴/۸۶	۴/۱۶	۳/۷۳

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح ۵٪ و ۱٪

جدول ۶- تجزیه واریانس عناصر غذایی در ریشه دو زیرگونه مرزنجوش تحت تأثیر تنش شوری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		سدیم	کلر	پتاسیم	K/Na	نیتروژن	فسفر
زیرگونه	۱	۰/۰۹۸*	۰/۰۲۹*	۰/۰۳۷*	۱/۲۲۹*	۰/۰۰۱۵*	۰/۰۰۰۱*
شوری	۳	۳/۲۸۹*	۰/۶۹۸*	۱/۲۴۲*	۵۳/۳۶۲*	۰/۰۱۲*	۰/۰۰۲*
زیرگونه× شوری	۳	۰/۰۸۷*	۰/۰۰۴*	۰/۰۶*	۱/۶۹۳*	۰/۰۰۰۳*	۰/۰۰۰۶*
خطای آزمایش	۱۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۱۹	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۱
ضریب تغییرات (٪)		۵/۴۹	۳/۰۷	۷/۳۳	۶/۳۶	۱۰/۰۶	۳/۱۴

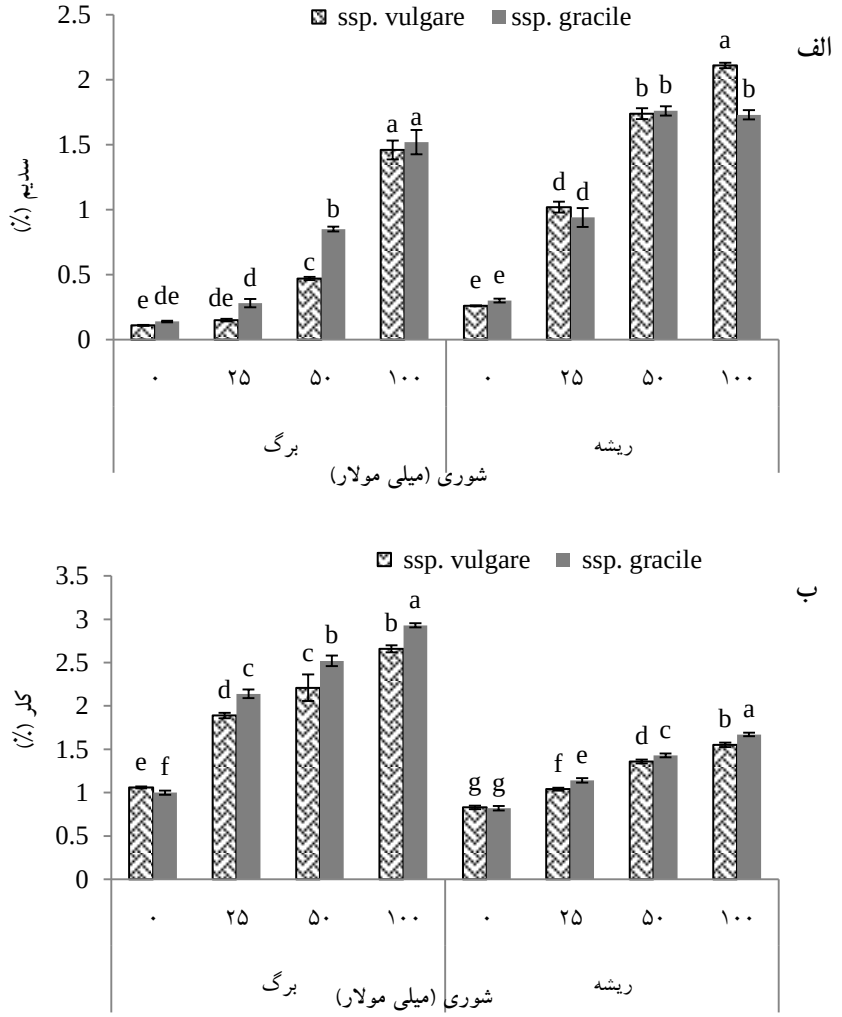
ns و *: به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۵٪

نسبت پتاسیم به سدیم

طبق نتایج تجزیه واریانس، نسبت پتاسیم به سدیم در برگ و ریشه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر شوری، زیرگونه و اثر متقابل آنها قرار گرفت (جدول‌های ۵ و۶). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش سطح شوری نسبت K/Na در برگ و ریشه در هر دو زیرگونه کاهش یافته است. در تمام سطوح شوری، برگ‌ها نسبت K/Na بالاتری نسبت به ریشه‌ها داشتند. همچنین زیرگونه ولگار در تمام سطوح شوری و در هر دو اندام برگ و ریشه از نسبت K/Na بالاتری نسبت به زیرگونه گراسیل برخوردار بود (شکل ۲- ب).

نیتروژن

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تنش شوری، نوع زیرگونه و نیز اثرهای متقابل شوری و زیرگونه بر میزان نیتروژن برگ و ریشه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود (جدول‌های ۵ و ۶). بررسی مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که با افزایش غلظت نمک در آب آبیاری، میزان نیتروژن برگ و ریشه در هر دو زیرگونه کاهش یافت. در تمام سطوح شوری برگ‌ها دارای میزان نیتروژن بیشتری نسبت به ریشه‌ها بودند. همچنین زیرگونه گراسیل از میزان نیتروژن برگ بیشتری در مقایسه با زیرگونه ولگار برخوردار بود (شکل ۳- الف).

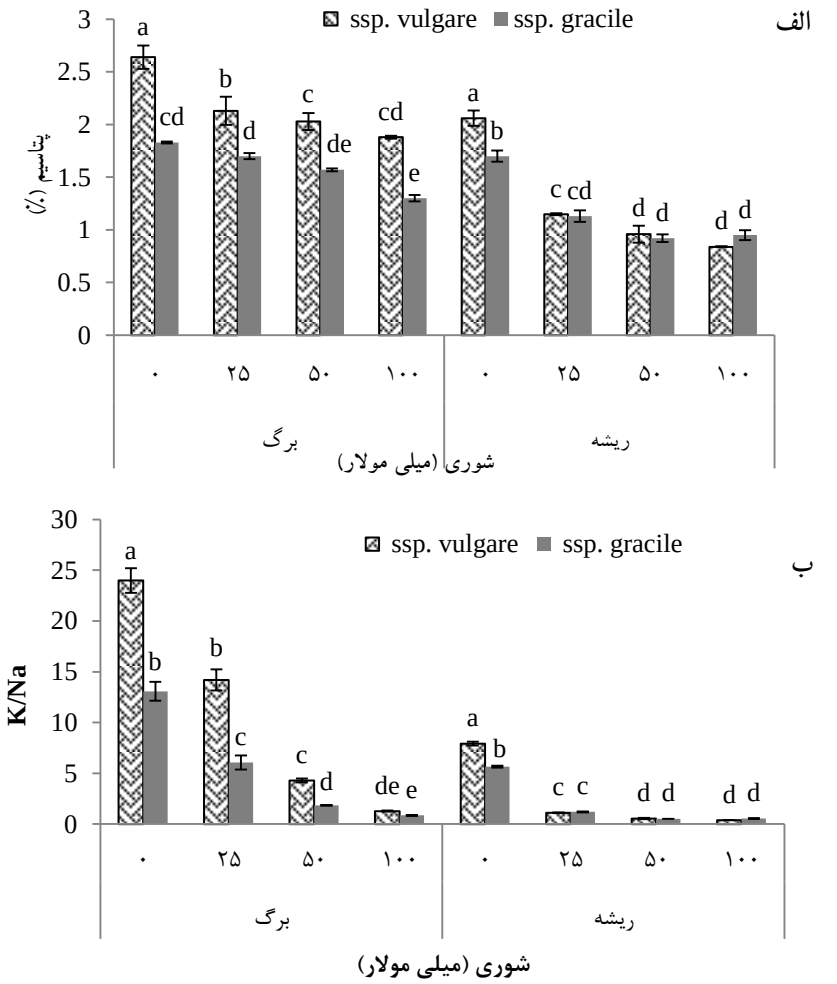


شکل ۱- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش شوری و نوع زیرگونه بر میزان سدیم (الف) و کلر (ب) برگ و ریشه

حروف مشابه در میانگین‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد (آزمون دانکن).

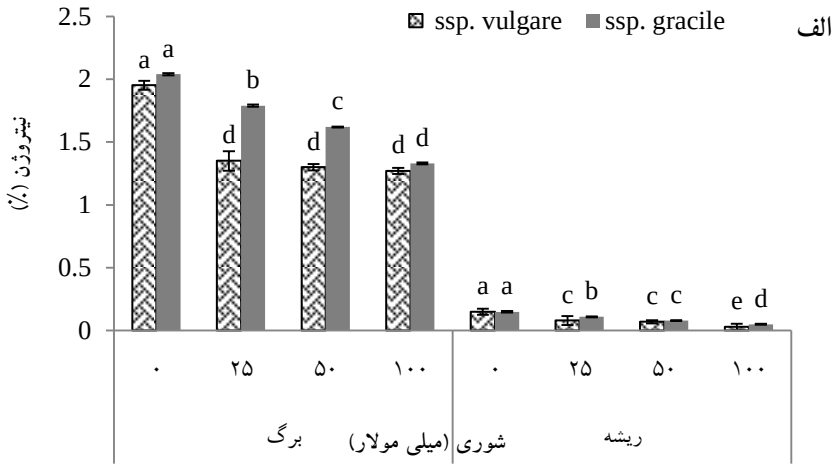
فسفر

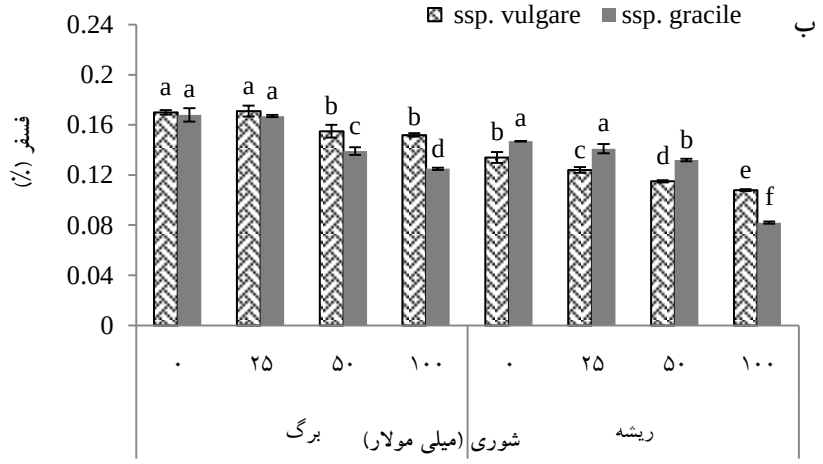
طبق نتایج تجزیه واریانس، اثر تنش شوری، نوع زیرگونه و اثر متقابل این دو عامل بر میزان فسفر برگ و ریشه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار گردید (جدول‌های ۵ و ۶). بررسی مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش شدت شوری میزان فسفر برگ و ریشه در هر دو زیرگونه کاهش یافت. در تمام سطوح شوری میزان فسفر برگ‌ها بیشتر از ریشه‌ها بود. همچنین میزان فسفر برگ در زیرگونه ولگار بیشتر از زیرگونه گراسیل بود، در حالی‌که در ریشه‌ها میزان فسفر زیرگونه گراسیل (بجز در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار) بیشتر از زیرگونه ولگار بود (شکل ۳- ب).



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش شوری و نوع زیرگونه بر میزان پتاسیم (الف) و نسبت K/Na (ب) برگ و ریشه

حروف مشابه در میانگین‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد (آزمون دانکن).





شکل ۳- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش شوری و نوع زیرگونه بر میزان نیتروژن (الف) و فسفر (ب) برگ و ریشه

حروف مشابه در میانگین‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد (آزمون دانکن).

بحث

در این پژوهش شاخص‌های رشدی و عملکرد در هر دو زیرگونه مرزنجوش مورد مطالعه در اثر تنش شوری کاهش یافت. مطابق با یافته‌های این تحقیق، کاهش رشد و عملکرد تحت تأثیر تنش شوری در سایر گیاهان دارویی مانند مریم‌گلی (Ben Taarit *et al*., 2009)، آگاستاکه (Khorsandi *et al*., 2010)، ترخون (Lamian *et al*., 2015)، نعناع فلفلی (Çoban & Baydar, 2016)، شمعدانی (Hassanvand *et al*., 2019)، ریحان (Farsaraei *et al*., 2020) و بادرشبو (Esmaielpour *et al*., 2020) نیز گزارش شده است. طبق گزارش Gupta و Huang (۲۰۱۴)، کاهش رشد گیاه در اثر شوری می‌تواند به علت اثرهای اسمزی ناشی از انباشت نمک در خاک و در نتیجه محدود شدن میزان جذب آب توسط گیاه، سمّیت املاح شور، کاهش تولید محرک‌های رشد مانند سیتوکینین و افزایش بازدارنده‌های رشد باشد. مهار رشد گیاه در اثر شوری با کاهش میزان فتوسنتز همراه می‌باشد. تنش شوری ناشی از کلرید سدیم با کاهش تورژسانس سلول‌ها و درنتیجه کاهش توسعه برگ‌ها، تجمع یون سدیم در برگ، کاهش پایداری غشاء سلولی، کاهش فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی، کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی و بسته شدن روزنه‌ها منجر به کاهش فتوسنتز و درنهایت رشد و عملکرد گیاهان می‌گردد (Ashraf, 2004). از آنجایی که وزن خشک معیار مناسبی از عملکرد سیستم فتوسنتزی و وضعیت رشدی گیاه می‌باشد، بنابراین کاهش عملکرد پیکر رویشی خشک در گیاه مرزنجوش نیز می‌تواند نشان‌دهنده کاهش فتوسنتز در این گیاه باشد. در تحقیقات مختلف، از میزان تولید ماده خشک در محیط شور به‌عنوان معیاری برای ارزیابی میزان تحمل ژنوتیپ‌ها به شوری استفاده شده است (Rawson *et al*., 1988). بر همین مبنا، اگرچه تنش شوری در هر دو زیرگونه مورد مطالعه باعث کاهش عملکرد ماده خشک شده است اما چون میزان کاهش عملکرد ماده خشک در زیرگونه ولگار کمتر از زیرگونه گراسیل بوده است، بنابراین می‌توان بیان کرد که زیرگونه ولگار از تحمل نسبی بیشتری نسبت به زیرگونه گراسیل در برابر شوری برخوردار است.

نتایج این تحقیق نشان داد که محتوای نسبی آب برگ‌های هر دو زیرگونه مرزنجوش در پاسخ به افزایش شدت تنش شوری کاهش یافت. محتوای نسبی آب گیاه، معیار مناسبی برای بررسی وضعیت آبی گیاه است. در شرایط شوری مقدار آب مصرفی گیاه کاهش پیدا می‌کند که می‌تواند مربوط به کاهش قابلیت آب محیط ریشه و کاهش توان گیاه در جذب آب، افزایش مقاومت در مسیر جریان

آب در داخل گیاه و یا افزایش مقاومت روزنه‌ای و کاهش تعرق باشد (Heidari Sharif Abad, 2001). مشابه نتایج این تحقیق، کاهش محتوای نسبی آب گیاه در اثر شوری در آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) و آویشن دنایی (*T. daenensis*) (Emami-Bistgani *et al*., 2019)، شمعدانی (Hassanvand *et al*., 2019) و بادرشبو (Esmaielpour *et al*., 2020) نیز گزارش شده است.

کلروفیل به‌عنوان یکی از اجزای مهم دستگاه فتوسنتزی، از شاخص‌های مهم فیزیولوژیک تحمل به نمک محسوب می‌گردد. اگرچه هر دو زیرگونه مرزنجوش در پاسخ به تنش شوری کاهش کلروفیل را تجربه کردند اما درصد کاهش شاخص کلروفیل (SPAD) در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار، در زیرگونه ولگار کمتر از زیرگونه گراسیل بود. Rahemi و همکاران (۲۰۱۷) نیز ضمن بررسی اثر شوری بر ارقام مختلف زیتون (*Olea europaea*) ملاحظه نمودند که ارقام مورد مطالعه درجات متفاوتی از تحمل به شوری را نشان دادند و میزان کاهش کلروفیل در ارقام حساس بیشتر بود. کاهش محتوای کلروفیل تحت شرایط شوری ممکن است ناشی از کاهش فعالیت آنزیم آمینو لوولینیک اسید سنتاز (به‌عنوان یکی از آنزیم‌های مهم در مسیر بیوسنتزی کلروفیل) (Santos, 2004)، تخریب در اثر فعالیت بیشتر آنزیم کلروفیلاز (Emami-Bistgani *et al*., 2019)، تجزیه آنها به دلیل آسیب اکسیداتیو ناشی از تولید گونه‌های واکنشگر اکسیژن (Heidari, 2012) و اختلال در جذب عناصر شرکت کننده در ساختار کلروفیل (مانند آهن و منیزیوم) (Munns, 2002) باشد. علاوه‌براین، Hernández و همکاران (۲۰۰۱) اظهار داشتند که کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاهان حساس به کلریدسدیم به‌دلیل تغییر در تعداد و اندازه کلروپلاست‌ها، محتوای نشاسته، بی‌ثباتی غشای کلروپلاست، از دست رفتن گرانا و تیلاکوئیدها اتفاق می‌افتد. کاهش میزان کلروفیل در اثر تنش شوری توسط Lamian و همکاران (۲۰۱۵) در ترخون، Emami-Bistgani و همکاران (۲۰۱۹) در آویشن باغی و دنایی، Farsaraei و همکاران (۲۰۲۰) در ریحان و Esmaielpour و همکاران (۲۰۲۰) در بادرشبو نیز گزارش شده است که نتایج این تحقیق را مورد تأیید قرار می‌دهند.

طبق نتایج این تحقیق، با افزایش سطح شوری تا حد ۲۵ میلی‌مولار درصد اسانس افزایش و بعد کاهش یافت. همچنین زیرگونه گراسیل از درصد اسانس بیشتری نسبت به زیرگونه ولگار برخوردار بود. در تحقیق مشابهی، Khorasaninejad و همکاران (۲۰۱۶) ضمن بررسی اثر سطوح مختلف شوری (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار) بر گیاه اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia*) بیان نمودند که درصد اسانس تا سطح شوری ۲۵ میلی‌مولار افزایش و پس از آن با افزایش سطح شوری دچار کاهش گردید. البته کاهش میزان اسانس در اثر تنش شوری در سایر گیاهان دارویی مانند مریم‌گلی (Ben Taarit *et al*., 2009)، آگاستاکه (Khorsandi *et al*., 2010)، ترخون (Lamian *et al*., 2015)، نعناع فلفلی (Çoban & Baydar, 2016) و شمعدانی (Hassanvand *et al*., 2019) نیز مشاهده شده است. این در حالیست که Salimi و همکاران (۲۰۱۷) در بومادران، Farsaraei و همکاران (۲۰۲۰) در ریحان و Esmaielpour و همکاران (۲۰۲۰) در بادرشبو، افزایش محتوای اسانس را در اثر افزایش شدت تنش شوری گزارش نموده‌اند. طبق گفته Heidari (۲۰۱۲)، تنش شوری به‌طور غیرمستقیم و با تأثیر بر آسیمیلاسیون خالص و نیز توزیع آسیمیلات‌ها بین فرایندهای رشد و تمایز، تولید اسانس را تحت تأثیر قرار می‌دهد. Ozturk و همکاران (۲۰۰۴) نیز گزارش نمودند که کاهش محتوای اسانس در سطوح متوسط تا شدید شوری می‌تواند ناشی از کاهش سطح فتوسنتز کننده و مصرف بیش از حد انرژی برای برقراری تعادل یونی و اسمزی به‌منظور جلوگیری از سمّیت یونی و تأمین آماس سلولی در شرایط شوری باشد که درنهایت به کاهش تولید متابولیت‌های ثانویه ازجمله اسانس می‌انجامد. از سوی دیگر افزایش محتوای اسانس در سطوح شوری ملایم ممکن است ناشی از افزایش تراکم غده‌های حاوی اسانس در برگ‌ها باشد (Heidari, 2012). در مورد عملکرد اسانس نیز اگرچه با افزایش سطح شوری

مقدار این صفت کاهش یافت اما مقدار این کاهش تا سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار معنی‌دار نبود. عملکرد اسانس متأثر از دو مؤلفه درصد اسانس و عملکرد پیکر رویشی گیاه می‌باشد. کاهش عملکرد اسانس در نتیجه شوری که در این تحقیق مشاهده گردید ممکن است ناشی از اثر زیان‌آور تنش بر درصد اسانس و رشد و عملکرد پیکر رویشی گیاه باشد. به‌عبارت دیگر با کاهش عملکرد پیکر رویشی گیاه تحت شرایط شوری عملکرد اسانس نیز کاهش یافت. El-Keltawi و Croteau (۱۹۸۷) بیان کردند که محدود شدن عرضه سیتوکینین توسط ریشه‌ها به شاخساره‌ها و بدنبال آن تغییر نسبت سیتوکینین به اسید آبسیزیک برگ ممکن است عامل کاهش عملکرد اسانس تحت شرایط شوری باشد. در تحقیق مشابهی، Davazdahemami و همکاران (۲۰۲۰) نیز کاهش عملکرد اسانس در اندام‌های هوایی و بذر گیاه شوید (*Anethum graveolens*) را با افزایش غلظت شوری گزارش کرده‌اند.

نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش غلظت نمک در آب آبیاری باعث افزایش مقادیر سدیم و کلر و کاهش محتوای پتاسیم، نیتروژن، فسفر و نسبت پتاسیم به سدیم در برگ و ریشه هر دو زیرگونه مرزنجوش شد. مشابه نتایج این تحقیق، افزایش غلظت سدیم و کلر و کاهش پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در رازیانه (*Foeniculum vulgare*) (Ashraf & Akhtar, 2004)، آویشن (Emami Bistgani *et al*., 2019)، شمعدانی (Hassanvand *et al*., 2019) و ریحان (Farsaraei *et al*., 2020) و نیز کاهش فسفر و نیتروژن در نعناع فلفلی (Khalvandi *et al*., 2017) و کنجد (Khademian *et al*., 2019) تحت شرایط تنش شوری گزارش شده است. در شرایط افزایش غلظت نمک در محلول خاک، جذب عناصر غذایی به‌وسیله گیاهان می‌تواند یا به‌دلیل رقابت مستقیم بین یون‌ها و یا در اثر افزایش قابلیت اسمزی محلول خاک که باعث کاهش جریان توده‌ای عناصر معدنی به سطح ریشه می‌گردد کاهش یابد (Grattan & Grieve, 1999). افزایش غلظت سدیم باعث برهم زدن هموستازی یونی درون سلولی، اختلال در عملکرد غشاها و تضعیف فعالیت‌های متابولیکی می‌گردد (Hassanvand *et al*., 2019). تجمع یون‌های سدیم در سیتوسول علاوه بر کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی، از طریق مهار فعالیت آنزیم روبیسکو در طول چرخه کالوین نیز بر فرایند فتوسنتز اثر می‌گذارد و در نهایت باعث کاهش تجمع ماده خشک در گیاه می‌شود (Parida & Das, 2005). در این مطالعه، با افزایش غلظت شوری تجمع یون‌های Na^+ و Cl^- در برگ و ریشه هر دو زیرگونه مورد مطالعه مرزنجوش افزایش یافت. در هر دو زیرگونه، تجمع سدیم در ریشه‌ها بیشتر از برگ‌ها بود. به‌علاوه نتایج نشان داد که زیرگونه ولگار نسبت به زیرگونه گراسیل حاوی Na^+ کمتری در برگ و Na^+ بیشتری در ریشه‌ها بود. البته ممکن است زیرگونه ولگار دارای سازوکار متمایز برای حذف یون‌های سدیم از اندام‌های هوایی باشد که احتمالاً با تقسیم‌بندی آن در واکوئل ریشه یا محدود کردن انتقال آن به شاخه‌ها همراه باشد (Sabra *et al*., 2012). به‌علاوه دفع یون سدیم از آوندهای چوبی ریشه توسط ناقلان HKT نیز یکی از سازوکارهای تحمل شوری در گیاهان است که می‌تواند تا حدودی کاهش انباشت یون‌های سدیم را در برگ‌ها توجیه نماید (Horie *et al*., 2008). برخلاف یون سدیم، میزان تجمع کلر در برگ‌های هر دو زیرگونه بیشتر از ریشه‌ها بود که البته مشابه سدیم، میزان تجمع کلر در برگ و ریشه زیرگونه ولگار کمتر از زیرگونه گراسیل بود. کنترل غلظت نمک از طریق محدود کردن انتقال و تجمع یون‌های Na^+ در اندام‌های هوایی به‌عنوان یکی از سازوکارهای بارز تحمل به تنش شوری شناخته شده است (Munns & Tester, 2008؛ Aparicio *et al*., 2014) که می‌تواند در مورد گیاه مرزنجوش نیز صادق باشد. طبق نتایج این تحقیق، اگرچه غلظت پتاسیم در برگ و ریشه هر دو زیرگونه با افزایش شدت شوری کاهش یافت اما زیرگونه ولگار از میزان پتاسیم برگ و ریشه بیشتری نسبت به زیرگونه گراسیل برخوردار بود. از آنجایی که یون‌های سدیم و پتاسیم ساختار فیزیکی و شیمیایی مشابهی دارند و جذب آنها از طریق سیستم‌های انتقالی یکسانی انجام می‌شود، ازاین‌رو معمولاً برای جذب مؤثر با

یکدیگر رقابت می‌کنند. بنابراین بالابودن غلظت سدیم به‌دلیل رقابت برای کانال‌های غشای پلاسمایی ممکن است از جذب پتاسیم ممانعت نموده و منجر به کاهش نسبت پتاسیم به سدیم گردد (Zeng *et al*., 2013). بر همین مبنا در تحقیقات مختلف، بالابودن نسبت پتاسیم به سدیم به‌عنوان یکی از معیارهای مهم انتخاب گیاهان برای تحمل به نمک در نظر گرفته شده است (Ashraf, 2002). طبق گزارش Archangi و Khodambashi (۲۰۱۴) حفظ نسبت‌های بالاتر K/Na می‌تواند یکی از مؤلفه‌های مهم تحمل به شوری در توده‌های ریحان باشد. Aparicio و همکاران (۲۰۱۴) نیز اظهار داشتند ارقامی از زیتون که دارای توان انباشت Na^+ در ریشه‌ها و ممانعت از انتقال آن به برگ‌ها بوده و کمترین کاهش را در نسبت K/Na نشان دادند متحمل‌ترین ارقام به شوری بودند. به‌طور مشابه می‌توان بیان کرد چون زیرگونه ولگار در تمام سطوح شوری و در هر دو اندام برگ و ریشه از نسبت K/Na بالاتری نسبت به زیرگونه گراسیل برخوردار بود، بنابراین تحمل آن به شوری نیز بیشتر بوده است. همچنین اینکه در تمام سطوح شوری، برگ‌ها نسبت K/Na بالاتری نسبت به ریشه‌ها داشتند که می‌تواند نشان‌دهنده وجود یک سازوکار مهارکننده انتقال Na^+ به برگ‌ها در گیاه مرزنجوش باشد. کاهش غلظت نیتروژن و فسفر در برگ و ریشه هر دو زیرگونه در پاسخ به افزایش غلظت نمک در آب آبیاری از دیگر نتایج این تحقیق بود. مهار جذب نیتروژن توسط گیاهان در محیط شور احتمالاً به‌دلیل اثر آنتاگونیستی یون‌های نمک با یون‌های NO_3^- و NH_4^+، اختلال در بارگیری یون‌های نیتروژن در آوند چوبی ریشه، کاهش جذب آب به‌دلیل تغییرات اسمزی در منطقه ریشه، کاهش میزان تعرق، آسیب در ساختار غشای ریشه و یا تقاضای نیتروژن کمتر به دلیل کاهش میزان رشد گیاهان باشد (Ashraf *et al*., 2018). همچنین با توجه به مشابه بودن فرایند جذب فسفر با کلر، افزایش جذب کلر تحت شرایط شوری ناشی از کلرور سدیم می‌تواند باعث کاهش میزان جذب فسفر گردد و بدین‌ترتیب قابلیت دسترسی گیاه به فسفر کاهش پیدا می‌کند (Jindal *et al*.,1993).

براساس نتایج این تحقیق، تنش شوری ناشی از کلرور سدیم از طریق کاهش جذب آب و عناصر غذایی، کاهش کلروفیل و افزایش انباشت یون‌های سدیم و کلر باعث کاهش ویژگی‌های رشدی، عملکرد ماده خشک و میزان اسانس در هر دو زیرگونه مرزنجوش شد. تجمع بیشتر یون سدیم در ریشه‌ها و بالاتر بودن نسبت K/Na در برگ‌ها نسبت به ریشه‌ها، نشان‌دهنده کنترل غلظت نمک از طریق محدود کردن انتقال و تجمع یون‌های Na^+ در اندام‌های هوایی می‌باشد که می‌تواند به‌عنوان یک سازوکار بارز تحمل به شوری در زیرگونه‌های مرزنجوش محسوب گردد. همچنین می‌توان بیان کرد که زیرگونه ولگار به‌دلیل تجمع کمتر یون‌های سدیم و کلر، دارا بودن نسبت بالاتر K/Na، کاهش کمتر در شاخص کلروفیل و عملکرد پیکر رویشی، از میزان تحمل نسبی بیشتری در برابر تنش شوری نسبت به زیرگونه گراسیل برخوردار است.

منابع مورد استفاده

- Aparicio, C., Urrestarazu, M. and Cordovilla, M.P., 2014. Comparative physiological analysis of salinity effects in six olive genotypes. HortScience, 49(7): 901-904.
- Archangi, A. and Khodambashi, M., 2014. Effects of salinity stress on morphological characteristics, essential oil content and ion accumulation in basil (*Ocimum basilicum*) plant under hydroponic conditions. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 5(17): 125-138.
- Ashraf, M., 2002. Salt tolerance of cotton: some new advances. Critical Reviews in Plant Sciences, 21: 1-30.
- Ashraf, M., 2004. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. Flora, 199: 361-376.
- Ashraf, M. and McNeilly, T., 2004. Salinity tolerance in *Brassica* oilseeds. Critical Reviews in Plant Sciences, 23: 157-174.
- Ashraf, M. and Akhtar, N., 2004. Influence of salt stress on growth, ion accumulation and seed oil content in sweet fennel. Biologia Plantarum, 48(3): 461-464.
- Ashraf, F., Abbas, G., Murtaza, B., Amjad, M., Imran, M., Naeem, M.A., Saqib, M., Niazi, N.K., Zakir, A.,

- Grattan, S.R. and Grieve, C.M., 1999. Salinity mineral nutrient relations in horticultural crops. Scientia Horticulturae, 78: 127-157.
- Gupta, B. and Huang, B., 2014. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. International Journal of Genomics, 1: 701596.
- Hassanvand, H., Rezaei Nejada, A. and Fanourakisb, D., 2019. Morphological and physiological components mediating the silicon-induced enhancement of geranium essential oil yield under saline conditions. Industrial Crops and Products, 134: 19-25.
- Heidari Sharif Abad, H., 2001. Plant and Salinity. Research Institute of Forests and Rangelands Publications, Tehran, 199p.
- Heidari, M., 2012. Effects of salinity stress on growth, chlorophyll content and osmotic components of two basil (*Ocimum basilicum* L.) genotypes. African Journal of Biotechnology, 11(2): 379-384.
- Hernández, J.A., Ferrer, M.A., Jiménez, A., Barceló, A.R. and Sevilla, F., 2001. Antioxidant systems and $O_2^{\cdot-}/H_2O_2$ production in the apoplast of pea leaves. Its relation with salt-induced necrotic lesions in minor veins. Plant Physiology, 127(3): 817-831.
- Horie, T., Sugawara, M., Okunou, K., Nakayama, H., Schroeder, J.I., Shinmyo, A. and Yoshida, K., 2008. Functions of HKT transporters in sodium transport in roots and in protecting leaves from salinity stress. Plant Biotechnology, 25: 233-239.
- Jindal, V., Atwal, A. and Singh, R., 1993. Effect of Vesicular-arbuscular mycorrhizae on metabolism of moong plant under NaCl salinity. Plant Physiology, 31: 475-481.
- Johnson, C.M. and Ulrich, A., 1975. Analytical methods for use in plant analysis. Bulletin of the California Agricultural Experiment Station, 78p.
- Khademian, R., Asghari, B., Sedaghati, B. and Yaghoubian, Y., 2019. Plant beneficial rhizospheric microorganisms (PBRMs) mitigate deleterious effects of salinity in sesame (*Sesamum indicum* L.): Physio-biochemical properties, fatty acids composition and secondary metabolites content. Industrial Crops and Products, 136: 129-139.
- Khalvandi, M., Amerian, M., Pirdashti, H., Baradaran, M. and Golami, A., 2017. Effects of *Piriformospora indica* fungi symbiotic on the quantity of essential oil and some physiological parameters of peppermint in saline conditions. Iranian Journal of Plant Biology, 32: 1-19.
- Khorasaninejad, S., Soltanloo, H., Hadian, J. and Atashi, S., 2016. The effect of salinity stress on the growth, quantity and quality of essential oil of Lavender (*Lavandula angustifulia* Miller). Journal of Horticultural Science, 30(2): 209-216.
Hussain, M., Shabir, R. and Abbas, G., 2018. Comparative tolerance and phytostabilization potential of *Conocarpus erectus* and *Eucalyptus camaldulensis* grown in cadmium contaminated soil. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 55(3): 521-529.
- Ben Taarit, M., Msaada, K., Hosni K., Hammami, M., Kchouk, M.E. and Marzouk, B., 2009. Plant growth, essential oil yield and composition of sage (*Salvia officinalis* L.) fruits cultivated under salt stress conditions. Industrial Crops and Products, 30: 333-337.
- Çoban, Ö. and Baydar, N.G., 2016. Brassinosteroid effects on some physical and biochemical properties and secondary metabolite accumulation in peppermint (*Mentha piperita* L.) under salt stress. Industrial Crops and Products, 86: 251-258.
- Cotteni, A., 1980. Methods of plant analysis: 64-100. In: Westerman, R.L. (Ed.). Soil and Plant Testing. FAO Soil Bulletin, 784p.
- Davazdahemami, S., Allahdadi, M., Fakhrian, S. and Enteshari, S., 2020. Effect of irrigation water salinity on some agronomic traits and quantity and quality of dill essential oil (*Anethum graveolens* L.). Journal of Plant Process and Function, 9(39): 51-60.
- El-Keltawi, N.E. and Croteau, R., 1987. Salinity depression of growth and essential oil formation in spearmint and marjoram and its reversal by foliar applied cytokinin. Phytochemistry, 26: 1333-1334.
- Emami, A., 1996. Plant Analysis Methods. No. 982. Vol. 1. Soil and Water Research Institute Publication, Tehran.
- Emami-Bistgani, Z., Hashemi, M., DaCosta, M., Craker, L., Maggi, F. and Morshedloo, M.R., 2019. Effect of salinity stress on the physiological characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak. Industrial Crops and Products, 135: 311-320.
- Esmaielpour, B., Shiekhalipour, M. and Torabi-Giglo, M., 2020. Effects of zinc nanoparticles on growth, some physiological characteristics, and essential oil yield of *Dracocephalum moldavica* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plant Research, 36(5): 867-884.
- Farsaraei, S., Moghaddam, M. and Pirbalouti, A.G., 2020. Changes in growth and essential oil composition of sweet basil in response of salinity stress and superabsorbents application. Scientia Horticulturae, 271: 109465.
- Figueiredo, A.C., Barroso, J.G., Pedro, L.G. and Scheffer, J.J.C., 2008. Factors affecting secondary metabolite production in plants: Volatile components and essential oils. Flavour and Fragrance Journal, 23(4): 213-226.

growth and essential oil content of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). Pakistan Journal of Botany, 36(4): 787-792.
- Parida, A.K. and Das, A.B., 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety, 60(3): 324-349.
- Rahemi, M., Karimi, S., Sedaghat, S. and Ali Rostami, A., 2017. Physiological responses of olive cultivars to salinity stress. Advances in Horticultural Science, 31(1): 53-59.
- Rawson, H.M., Richards, R.A. and Munns, R., 1988. An examination of selection criteria for salt tolerance in wheat, barley and triticale genotypes. Australian Journal of Agricultural Research, 39(5): 759-772.
- Sabra, A., Daayf, F. and Renault, S., 2012. Differential physiological and biochemical responses of three *Echinacea* species to salinity stress. Scientia Horticulturae, 135: 23-31.
- Salimi, A., Rowshan, V. and Khanpoor, E., 2017. Effect of salinity on quality and quantity of essential oil components and antioxidant activity in yarrow (*Achillea millefolium* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 32(6): 948-957.
- Santos, C.V., 2004. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. Scientia Horticulturae, 103: 93-99.
- Spada, P. and Perrino, P., 1996. Conservation of oregano species in national and international collections: an assessment. Proceedings of the IPGRI International Workshop on Oregano, CIHEAM, Valenzano, Bari, Italy, 14-23.
- Turner, N.C., 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. Plant and Soil, 58(1-3): 339-366.
- Zeng, J., Chen, A., Li, D., Yi, B. and Wu, W., 2013. Effects of salt stress on the growth, physiological responses, and glycoside contents of *Stevia rebaudiana* Bertoni. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 61(24): 5720-5726.
- Khorsandi, O., Hassani, A., Sefidkon, F., Shirzad, H. and Khorsandi, A.R., 2010. Effect of salinity (NaCl) on growth, yield, essential oil content and composition of *Agastache foeniculum* Kuntz. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plant Research, 26(3): 438-451.
- Kokkini, S., 1997. Taxonomy, diversity and distribution of *Origanum* species. Proceeding of the IPGRI International Workshop on Oregano, 8-12 May, CIHEAM, Valenzano, Bari, Italy: 2-12.
- Lamian, A., Ladan Moghadam, A., Naghdi Badi, H. and Mehrafarin, A., 2015. Changes of morpho-physiological traits, essential oil and methyl chavicol content of Tarragon (*Artemisia dracunculus*) to mycorrhiza (*Glomus intraradices*) inoculation and salinity stress. Journal of Medicinal Plants, 14(56): 64-77.
- Leyva-López, N., Gutiérrez-Grijalva, E.P., Vazquez-Olivo, G. and Heredia, J.B., 2017. Essential oils of oregano: Biological activity beyond their antimicrobial properties. Molecules, 22(6): 989.
- Moradi, M., Hassani, A., Sefidkon, F. and Maroofi, H., 2021. Qualitative and quantitative changes in the essential oil of *Origanum vulgare* L. ssp. *gracile* as affected by different harvesting times. Journal of Agricultural Science and Technology, 23(1): 179-186.
- Mulvaney, R.L., 1996. Nitrogen-inorganic forms: 1123-1184. In: Sparks D.L. (Ed.). Methods of Soil Analysis-Part 3. Chemical Methods-SSSA Book Series, No. 5. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, 1390p.
- Munns, R., 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environment, 25: 239-250.
- Munns, R. and Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59: 651-681.
- Omidbaigi, R., 1997. Approaches to Production and Processing of Medicinal Plants (Vol. 2). Tarrahane Nashr, Mashhad, Iran, 424p.
- Ozturk, A., Unlukara, A., Ipek, A. and Gurbuz, B., 2004. Effects of salt stress and water deficit on plant

Effects of salinity stress on some morpho-physiological characteristics, essential oil content, and ion relations of two oregano subspecies (*Origanum vulgare* ssp. *vulgare* & ssp. *gracile*)

Z. Azimzadeh[1], A. Hassani[2*], B. Abdollahi Mandoulakani[3] and E. Sepehr[4]

1- Ph.D. student, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
2*- Corresponding author, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
E-mail: a.hassani@urmia.ac.ir
3- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
4- Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

Received: April 2021 Revised: July 2021 Accepted: August 2021

Abstract

Oregano (*Origanum vulgare* L.) is a perennial herbaceous plant belonging to the fam. lamiaceae that is used as a spice for flavoring foods and also for medicinal purposes as carminative, diaphoretic, expectorant, sedative, stomachic, diuretic, antitussive, and antirheumatic. To evaluate the effects of salinity stress on some growth and physiological parameters, essential oil content, and nutrients absorption in two oregano subspecies, a factorial pot experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. The experimental factors included two subspecies of oregano (ssp. *vulgare* and ssp. *gracile*) and salinity stress at four levels (0, 25, 50, and 100 mM of NaCl). The results showed that the salinity stress had a significant effect on the measured parameters. With increasing the salinity level, the growth characteristics (plant height, stem diameter, number of leaves, and dry matter yield), leaf relative water content (RWC), chlorophyll index (SPAD), percentage and essential oil yield, N, P, and K content and K/Na ratio in leaves and roots decreased, while Na and Cl content in leaves and roots of both subspecies increased. The two subspecies response to the different levels of salinity stress was different. The higher Na accumulation in the roots and higher K/Na ratio in the leaves compared to the roots indicated the ability of oregano subspecies to limit the transfer and accumulation of Na^+ ions in their shoots. Overall, the findings of this study showed that the ssp. *vulgare* had higher tolerance to the salinity stress than ssp. *gracile* due to the less accumulation of Na and Cl ions, higher K/Na ratio, and lower reduction in chlorophyll index and dry matter yield.

Keywords: *Origanum vulgare* L., essential oil, NaCl, nutrients, chlorophyll, RWC.