

The effects of salinity and heat stress on some physiological and vegetative characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.) at different time intervals

Azam Gholamnia¹, Asghar Mosleh Arany^{2*}, Hamid sodaeizadeh¹, Saeed Tarkesh Esfahani¹, Somaieh Ghasemi¹

¹ Department of Arid Land and Desert Management, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

² Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

Abstract

This study investigated the effects of simultaneous salinity and heat stress on some physiological and vegetative characteristics in peppermint. The effect of three levels of salinity (0, 60 and 120 mM of sodium chloride) and two levels of thermal stresses (25°C and 35°C) at 24, 48 and 72 hours after treatments were measured on some physiological and morphological characteristics of *Mentha piperita* L. in a completely randomized design with three replications. The results showed that simultaneous salinity and heat stress increased the relative levels of phenolic and proline compounds. At 35 ° C and 120 mM salinity, the amount of proline increased by 2.32, 2.5 and 1.92 times compared to the control at 24, 48 and 72 hours, respectively. The highest accumulation of phenolic compounds was observed at 35 ° C and salinity of 120 mM after 72 hours equal to 3.3 mg/g. The content of soluble sugar, carotenoids, total chlorophyll and calcium in peppermint seedlings had a decreasing trend. At 120 mM salinity, the ratio of K⁺/Na⁺ compared to the control decreased by 8.44, 10.37 and 9.35 times in 24, 48 and 72 hours, respectively. Salinity and heat stress decreased the fresh and dry weight of shoots, but in contrast, the fresh weight and dry weight of roots showed a significant increase. Simultaneous salinity and heat stresses are limiting factors for the cultivation of peppermint. The simultaneous stress of salinity and heat increased the amount of phenol, which could improve the quality of peppermint.

Keywords: Heat, Peppermint, Physiological traits, Salinity, vegetative traits

* Corresponding Author: amosleh@yazd.ac.ir

Copyright©2021, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

DOI. 10.22108/IJPB.2021.127818.1243



بررسی آثار تنش شوری و گرما بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و رویشی در گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در فواصل زمانی متفاوت

اعظم غلام‌نیا^۱، اصغر مصلح آرانی^{۲*}، حمید سودایی زاده^۱، سعید ترکش اصفهانی^۱، سمیه قاسمی^۱
^۱ گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
^۲ گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی آثار تنش همزمان شوری و گرما بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و رویشی در نعناع فلفلی انجام شد. در این تحقیق تأثیر سه سطح شوری (۰، ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و دو سطح تنش گرمایی (۲۵ درجه سانتیگراد و ۳۵ درجه سانتیگراد) بر صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک نهال نعناع فلفلی در بازه زمانی ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از اعمال تیمارها در یک آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در ۳ تکرار ارزیابی شد. نتایج نشان داد که تنش همزمان شوری و گرمایی به افزایش سطح ترکیبات فنلی و پرولین منجر شد. در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار مقدار پرولین نسبت به شاهد در زمان ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت به ترتیب ۲/۵، ۲/۳۲ و ۱/۹۲ برابر افزایش یافت. بیشترین میزان تجمع ترکیبات فنلی در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد و شوری ۱۲۰ میلی‌مولار پس از گذشت ۷۲ ساعت برابر با ۳/۳ میلی‌گرم بر گرم مشاهده شد. محتوای قند محلول، کارتنوئید، کلروفیل کل و کلسیم در گیاهچه‌های نعناع فلفلی روند کاهشی داشتند. در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار نسبت K^+/Na^+ نسبت به شاهد در زمان ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت به ترتیب ۸/۴۴، ۱۰/۳۷ و ۹/۳۵ برابر کاهش یافت. تنش شوری و گرما باعث کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی شد، در حالی که وزن تر و وزن خشک ریشه افزایش قابل توجهی نشان داد. تنش همزمان شوری و گرما باعث افزایش مقدار فنل شد و این می‌تواند باعث افزایش کیفیت نعناع فلفلی گردد.

واژه‌های کلیدی: شوری، صفات رویشی، صفات فیزیولوژیک، گرما، نعناع فلفلی

مقدمه

نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) گیاهی علفی، چندساله، ریزوم‌دار و هیبرید ($2n=48$) از تیره نعناعیان است که از تلاقی میان پونه‌آبی (*M. aquatica*) و نعناع (*M. spicata*) به وجود آمده است. این گیاه بومی مناطق مدیترانه‌ای است، اما در حال حاضر در تمام نقاط دنیا برای مصارف غذایی، دارویی، عطرسازی و پزشکی کشت می‌شود (Afkar and Zand, 2020). گونه‌های جنس *Mentha* به علت اسانس ارزشمندی که دارند، در بیشتر مناطق دنیا اهمیت اقتصادی بالایی دارند. اسانس نعناع فلفلی نیز به عنوان جزئی از محصولات غذایی و آرایشی-بهداشتی به طور گسترده استفاده می‌شود. علاوه بر این، دارای خواص دارویی متعددی است که منبع غنی از متابولیت‌های ثانویه یعنی مخازن مواد مؤثر اساسی بسیاری از داروها است (Mahendran and Rahman, 2020).

رشد و عملکرد گیاهان در سراسر جهان توسط تنش‌های محیطی زنده و غیرزنده متعدد محدود می‌شود که با تأثیر بر سنتز متابولیت‌های ثانویه ارزش محصول آنها را تغییر می‌دهند (Gull et al., 2019; Mosleh Arani et al., 2015; Saijo and Loo, 2020). تنش شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که کیفیت و عملکرد محصولات کشاورزی را از طریق افزایش فشار اسمزی محلول خاک، کاهش آب قابل استفاده گیاه، سمیت برخی عناصر مانند سدیم و کلر، برهم زدن تعادل در جذب عناصر ضروری و تنش اکسیداتیو تحت تأثیر قرار می‌دهد (Mosleh Arani et al., 2018). گیاهان از طریق فرآیندهای فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و همچنین، سلولی و

مولکولی بسیار متفاوت و پیچیده به این تنش پاسخ داده و خود را با شرایط محیطی منطبق و یا متحمل می‌سازند (Isayenkov and Maathuis, 2019; Mosleh Arani et al., 2011). به منظور ارزیابی تأثیر همزمان شوری و تنش گرمایی در گیاه *Jatropha curcas* تحقیقی توسط Silva و همکاران (۲۰۱۳) انجام شد. نتایج مطالعه آنها نشان داد که درجه حرارت بالا باعث افزایش اثرات منفی تنش شوری بر روی فرآیندهای اصلی فیزیولوژیک و کاهش فتوسنتز و تخریب کلروفیل می‌شود. نتایج ارزیابی اثر ترکیبی تنش خشکی و گرما در دو رقم گوجه‌فرنگی توسط Zhou و همکاران (۲۰۱۹) حاکی از افزایش درخورتوجه محتوای پرولین در رقم Jinlingmeiyu و کاهش پرولین در رقم Sufen پس از اعمال تنش بود. ارزیابی‌ها نشان داد که ارقام مختلف گوجه‌فرنگی پاسخ متفاوتی به تنش گرمایی نشان دادند، اما پاسخ آنها به تنش خشکی مشابه بود. در پژوهشی دیگر، تأثیر تنش خشکی و گرما بر گیاه نعناع فلفلی و گل پریش ارزیابی شد. نتایج نشان داد که تنش خشکی و گرما به طور درخور توجهی باعث کاهش رشد و تجمع زیست توده شده و محتوای فنل کل، فلاونوئید و ساپونین در پاسخ به تنش‌ها در هفت و چهارده روز کاهش یافته است. با این حال، سطح سایر متابولیت‌های ثانویه، از جمله تانن، ترپنوئیدها و آلکالوئیدها تحت استرس افزایش یافته است (Alhathloul et al., 2020). افزایش تجمع متابولیت‌های ثانویه در پاسخ به تنش نشان می‌دهد که تحمیل تنش غیرزنده می‌تواند یک راهکار برای افزایش محتوای متابولیت‌های ثانویه مؤثر به منظور درمان بیماری‌ها باشد.

نگهداری و یک روز در میان آبیاری شدند (Gowton *et al.*, 2020). هر تیمار شامل سه گلدان بود که در هر گلدان یک نهال کشت شد. پس از رشد نهال‌های نعناع فلفلی تا ارتفاع ۱۸-۲۰ سانتی‌متر و ۱۰-۱۵ برگی، تنش شوری در سه سطح (صفر، ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و تنش حرارت در دو دما (۲۵ و ۳۵ درجه سانتیگراد) به نهال‌ها اعمال شد. تنش شوری به صورت آبیاری گلدان‌ها با محلول‌های مختلف کلرید سدیم اعمال شد و برای تنش حرارتی، گلدان‌ها در اتاقک کشت با دمای ۳۵ درجه سانتیگراد قرار داده شدند و گلدان‌های باقی مانده در شرایط گلخانه، به عنوان تیمار حرارتی ۲۵ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شدند. نمونه‌هایی از برگ گیاهچه‌های نعناع فلفلی در بازه‌های زمانی ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از اعمال تیمارها تهیه شدند و به منظور اندازه‌گیری سطح پرولین، کارتنوئید، نسبت پتاسیم به سدیم و همچنین، ترکیبات فنلی در دمای ۸۰- درجه سانتیگراد نگهداری شدند (Wyse and Netto, 2011). در این مطالعه به منظور اندازه‌گیری طول ساقه، ابتدا ساقه و ریشه از محل یقه از هم جدا شدند و سپس با خط کش با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری انجام شد. برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه گیاهان نعناع فلفلی، از ترازوی دیجیتال (Sartorius BP211D، آلمان) با دقت یک ده‌هزارم گرم استفاده شد. به منظور اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌های بافت گیاه ابتدا به مدت دو روز در هوا خشک شدند و سپس در داخل فویل آلومینیومی به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۶۵

بسیاری از زمین‌های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک تحت تأثیر شوری قرار دارند. در این مناطق تأثیر تنش شوری همزمان با تنش ناشی از درجه حرارت بالا تشدید می‌شود. بررسی و به دست آوردن بهترین شرایط محیط کشت که بتواند به تولید گیاهی با بیشترین درصد متابولیت‌های ثانویه منجر شود، از مهمترین اهداف در پژوهش‌های مربوط به کشت گیاهان دارویی است (Isayenkov and Maathuis, 2019). با توجه به این موضوع، مطالعه پاسخ گیاهان به تلفیق تنش شوری و گرمایی بسیار با اهمیت است. از آنجا که تأثیر تیمارهای مختلف بر افزایش یا کاهش متابولیت‌های ثانویه گیاهان به طور قطع مشخص نیست، بنابراین این پژوهش با هدف مقایسه آثار تنش‌های همزمان شوری و گرما بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و رویشی در نعناع فلفلی انجام شد.

مواد و روش‌ها

نهال‌های نعناع فلفلی از شرکت پاکان بذر (اصفهان، ایران) تهیه شدند. تعداد ۵۴ گلدان از نوع پلاستیکی به رنگ سیاه به قطر ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر تهیه و برای سهولت خروج زهاب مقداری سنگ‌ریزه در ته هر گلدان ریخته شد و با مخلوطی از خاک باغچه، ماسه، کود دامی و ورمی‌کمپوست به ترتیب به نسبت ۲:۱:۱:۱ آماده شد. نهال‌های سالم، هم‌اندازه و هم‌وزن انتخاب و سپس در داخل گلدان‌ها کشت شدند و در گلخانه با شرایط ۱۶ ساعت نور و ۸ ساعت تاریکی، دمای 25 ± 2 درجه سانتیگراد و رطوبت ۶۰ درصد

Anova سه طرفه و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد.

نتایج و بحث

ارزیابی‌های فیزیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس ارزیابی‌های فیزیولوژیک (جدول ۱) نشان داد که عوامل حرارت، شوری و زمان و اثر متقابل آنها تأثیر معنی‌داری بر تغییرات سطح کلسیم، کارتنوئید، نسبت پتاسیم به سدیم، ترکیبات فنلی، قند محلول، پرولین و کلروفیل کل در سطوح یک و پنج درصد دارد، تنها اثر متقابل تیماری شوری در زمان در تغییرات پرولین تأثیر معنی‌دار نشان نداد.

درجه سانتیگراد قرار داده شدند. محتوای فنل کل به روش فولین سیوکالتیو (Lehmann *et al.*, 2018)، میزان پرولین، از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) و مقادیر سدیم و پتاسیم با استفاده از روش فلیم فتومتری (Flame Photometer) اندازه‌گیری شد (Arunachalam *et al.*, 2020). میزان قند محلول برگ به روش Kochert (۱۹۷۸)، میزان کلروفیل و کارتنوئید توسط روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) و همچنین مقدار کلسیم به روش تیتراسیون با EDTA انجام شد (Derderian, 1961).

تجزیه و تحلیل آماری

تمامی آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) بر مبنای فاکتوریل در سه تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک در گیاه نعناع‌فللی تحت تنش‌های شوری و گرمایی.

Table 1- Analysis of variance for physiological characteristics in peppermint under salinity and heat stresses.

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلسیم	کارتنوئید (mg/ml)	نسبت پتاسیم به سدیم	ترکیبات فنولی	قند محلول	پرولین	کلروفیل کل
دما	۱	۴۳/۵۶**	۱/۳۳**	۲/۸۳۴**	۰/۴۷۲**	۵۷۱۱/۳۶۳**	۳/۲۷۱**	۰/۵۶۸**
شوری	۲	۱۳/۳۹**	۵/۷۲**	۲۶۹/۱۲۰**	۱/۹۲۲**	۵۹۷۴/۲۲۵**	۱۶/۴۳۹**	۲/۴۵۰**
زمان	۲	۱۲/۸۸**	۳/۲**	۲/۹۴۴**	۴/۰۶۲**	۱۵۹۸/۳۵۴**	۹/۰۳۵**	۰/۵۷۶**
دما × زمان	۲	۱۲/۶۹**	۱/۱۲**	۰/۸۶۳**	۰/۸۹۹**	۲۵۴/۲۳۰**	۳/۹۲۷**	۰/۲۲۴**
دما × شوری	۲	۰/۶۲۹**	۰/۰۷۹**	۳/۹۴۶**	۱/۱۸۵**	۱۳۰/۵۹۵*	۱۴/۳۳۸**	۰/۰۱۴*
دما × زمان	۴	۲/۱۷**	۰/۳۷۵**	۰/۷۲۱**	۲/۲۵۷**	۲۹۲/۸۷۰**	۰/۰۱۰ ^{ns}	۰/۰۷۳**
دما × شوری × زمان	۴	۰/۶۷۲**	۰/۴۴۱**	۱/۵۲۳**	۱/۵۱۴**	۱۲۸/۵۶۵*	۲/۸۳۱**	۰/۰۱۲*
خطا	۳۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۱۱۶**	۰/۰۲۹	۳۸/۲۷۴	۰/۰۹۲	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات (%)		۲/۳۶	۳/۹۵	۲/۲	۳/۲	۸/۹	۷/۳	۴/۳

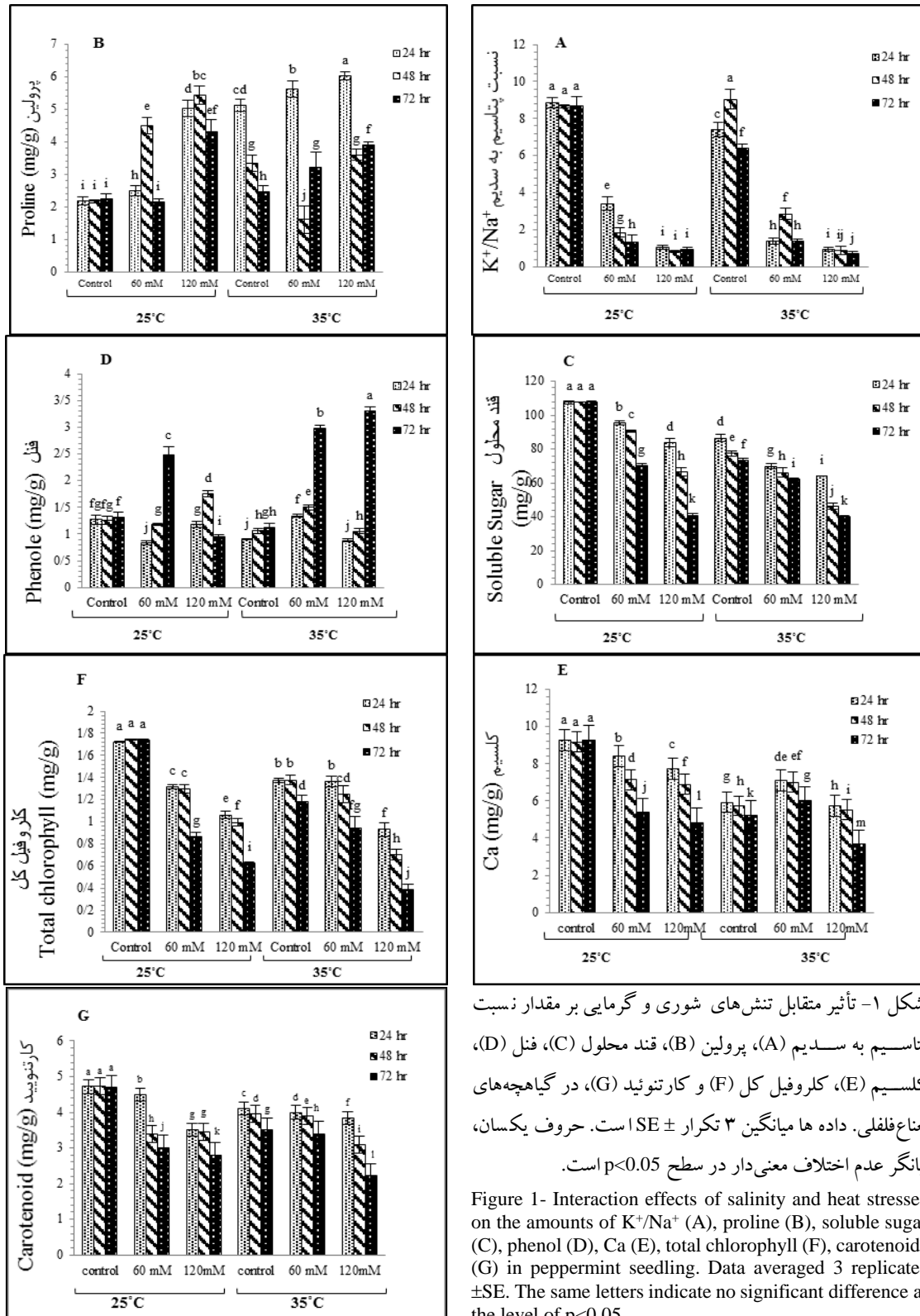
**، * و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد و پنج درصد و غیر معنی‌دار.

**، *، ^{ns}: significant at $p \leq 0.01$, significant at $p \leq 0.05$, non-significant respectively.

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد با اعمال سطوح شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار، کاهش چشمگیری در نسبت K^+/Na^+ در گیاهچه‌های نعناع‌فللی مشاهده شد که این روند با گذشت زمان ادامه دار بود، به طوری که در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار نسبت K^+/Na^+ نسبت به شاهد در

حاضر اعمال تنش شوری باعث کاهش نسبت پتاسیم به سدیم در بافت برگ نعنای فلفلی شد، بدین معنی که گیاه نعنای فلفلی قادر به افزایش جذب پتاسیم در بافت‌های برگ نشده و با تجمع سدیم سمیت یونی افزایش یافت که این امر نشان‌دهنده حساسیت این گیاه به تنش شوری در این مطالعه بود. Jiang و همکاران (۲۰۱۹) نیز در ارزیابی تأثیر H_2S در تحمل شوری خیار نشان دادند که برهم‌خوردن تعادل پتاسیم نسبت به سدیم تحت تنش شوری باعث ایجاد حساسیت در گیاه می‌شود و تیمار H_2S با تنظیم بیان ژن‌های $PM\ H^+-ATPase$ ، $SOS1$ و $SKOR$ و حفظ هموستازی سدیم و پتاسیم، باعث ایجاد مقاومت در گیاه خیار شد. در مطالعه دیگری Liu و همکاران (۲۰۱۹) در ارزیابی سه رقم متحمل، نسبتاً متحمل و حساس برنج به شوری نشان دادند که ارقام متحمل انتقال سدیم را از ریشه به شاخه‌ها کاهش دادند و مهمترین مشخصه تحمل شوری در توانایی گیاه برای حفظ پتاسیم در منطقه ریشه بود.

زمان ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت به ترتیب ۸/۴۴، ۱۰/۳۷ و ۹/۳۵ برابر کاهش یافت (شکل ۱- A). در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد در ۲۴ ساعت اول کاهش در خورتوجهی در نسبت K^+/Na^+ در مقایسه با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد مشاهده شد که با گذشت زمان افزایش داشت، به طوری که در ۴۸ ساعت به بالاترین میزان خود رسید و مجدداً در ۷۲ ساعت کاهش معنی‌داری نشان داد. مقایسه تیمارهای متناظر بین دو دمای ۲۵ و ۳۵ درجه سانتیگراد نشان داد که تأثیر همزمان شوری و دما نسبت به تنش شوری تنها، کاهش بیشتری در نسبت K^+/Na^+ ایجاد نمود. تنش‌های غیرزیستی بر رشد و بهره‌وری گیاه تأثیر منفی می‌گذارند و علت اصلی تلفات گسترده کشاورزی در سراسر جهان هستند. گیاهان به علت کم‌حرکی قادر به فرار از شرایط نامساعد نیستند، بنابراین برای مقابله با تغییرات نامساعد محیطی به مکانیسم‌های دفاعی قوی نیاز دارند (Gull *et al.*, 2019). محدودیت‌های غیرزیستی، به طور عمده شوری و تنش‌های گرمایی، ممکن است به تنهایی عمل کنند، اما غالباً با هم کار می‌کنند و گیاهان برای مقابله با این ناملازمات ترکیبی، ابزارهای تطبیقی و محافظتی کارآمد به دست آورده‌اند. مکانیسم‌های اساسی تحمل در گیاهان شامل فعال شدن ژن‌های مختلف تنظیم‌شده از طریق استرس به واسطه پاسخ‌های سلولی و مولکولی است (Isayenkov and Maathuis, 2019). در مطالعه



شکل ۱- تأثیر متقابل تنش‌های شوری و گرمایی بر مقدار نسبت پتاسیم به سدیم (A)، پرولین (B)، قند محلول (C)، فنل (D)، کلسیم (E)، کلروفیل کل (F) و کارتنوئید (G)، در گیاهچه‌های نعناع‌فلفلی. داده‌ها میانگین ۳ تکرار \pm SE است. حروف یکسان، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $p < 0.05$ است.

Figure 1- Interaction effects of salinity and heat stresses on the amounts of K^+/Na^+ (A), proline (B), soluble sugar (C), phenol (D), Ca (E), total chlorophyll (F), carotenoids (G) in peppermint seedling. Data averaged 3 replicates \pm SE. The same letters indicate no significant difference at the level of $p < 0.05$.

باعث شد. علاوه بر ترکیبات فنلی، پرولین نیز می‌تواند در مکانیسم دفاعی گیاه دخیل باشد. پرولین ممکن است به‌عنوان عامل تثبیت‌کننده آنزیم تحت تنش شوری نقش داشته باشد و یا آسیب پراکسیداتیو به چربی غشا، ناشی از استرس اکسیداتیو وابسته به نمک را کاهش دهد و یا به‌عنوان یک اسمولیت سازگار ایفای نقش کند (Isayenkov and Maathuis, 2019; Shabnam *et al.*, 2016). در مطالعه حاضر تغییرات سطح پرولین در گیاهچه‌های نعناع‌فللی تحت تیمار شوری و حرارت، پس از افزایش در مراحل نخستین تنش، با گذشت زمان روندی کاهشی نشان داد. این امر حاکی از آن است که شکل‌گیری فرآیندهای مقاومت در گیاهچه‌های نعناع‌فللی تحت تأثیر تغییرات سطح پرولین پایدار نیست، زیرا پرولین یک اسید آمینه ناپایدار است که سریع تجزیه شده و به منبع ازت تبدیل می‌شود و این امر موجب حساسیت گیاه نعناع‌فللی به شرایط تنش می‌شود (Wyse and Netto, 2011). ارزیابی تغییرات ویژگی‌های فیزیولوژیک در گیاهان مختلف تحت تنش‌های غیرزیستی در مطالعات متعددی گزارش شده است. تنش‌های غیرزیستی به‌ویژه تنش‌های ترکیبی مانند همزمانی شوری و گرما بر تولید محصولات در آینده نزدیک تأثیر بیشتری می‌گذارد. در آویشن نیز تنش شوری به‌طور درخور توجهی محتوای فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های گیاهی را تحت تأثیر قرار داد و ممکن است به‌عنوان روشی مناسب برای افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان دارویی توصیه شود (Bistgani *et al.*, 2019).

در مطالعه حاضر اعمال تنش گرمایی باعث کاهش نسبت پتاسیم به سدیم در بافت برگ نعناع‌فللی در ۲۴ ساعت اول شد که با گذشت زمان این نسبت به حالت پیش از تنش بازگشت و در ۷۲ ساعت مجدداً کاهش درخور توجهی نشان داد. این امر نشان می‌دهد که مکانیسم‌های دفاعی گیاه تحت تنش گرمایی فعال شده و تعادل یونی سلول‌ها را در ۴۸ ساعت پس از تنش برقرار می‌کند، اما تداوم تنش گرمایی تا ۷۲ ساعت، به شکستن تحمل گیاه و برهم‌خوردن تعادل یونی منجر می‌شود. این امر در اعمال همزمان تنش گرمایی و شوری ۶۰ میلی‌مولار نیز مشاهده شد. نتایج ۲۴ ساعت اعمال همزمان تنش گرمایی و شوری نشان‌دهنده افزایش اثر منفی بر نسبت پتاسیم به سدیم در بافت برگ نعناع‌فللی بود. در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، افزایش سطح شوری باعث افزایش معنی‌دار مقدار پرولین شد، به‌طوری‌که در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار مقدار پرولین نسبت به شاهد در زمان ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت به ترتیب ۲/۳۲، ۲/۵ و ۱/۹۲ برابر شد (شکل ۱-B). در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، با گذشت زمان تا ۴۸ ساعت مقدار پرولین افزایش و سپس در ۷۲ ساعت کاهش معنی‌داری نشان داد. در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد نیز با افزایش سطح شوری مقدار پرولین (به جز برای زمان ۴۸ و شوری ۶۰) افزایش یافت. در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد، مقدار پرولین با گذشت زمان کاهش معنی‌داری یافت. مقایسه تیمارهای متناظر بین دو دمای ۲۵ و ۳۵ درجه سانتیگراد نشان داد که تأثیر همزمان شوری و دما نسبت به تنش شوری تنها، افزایش بیشتر مقدار پرولین را در ۲۴ ساعت اول

تغییرات معنی‌دار سطح فنل در تنش گرمایی ۳۵ درجه سانتیگراد نیز مؤید همین مکانسیم است. تولید بیش از حد ترکیبات فنلی و واسطه‌های آن در گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش‌های مختلف غیرزیستی گزارش شده است (Martinez *et al.*, 2016). افزایش ترکیبات فنلی در شرایط مختلف استرس‌زا نه تنها گیاه را در برابر آسیب‌های اکسیداتیو محافظت می‌کند، بلکه از طریق تجمع مواد مختلف آنتی‌اکسیدانی باعث بهبود ارزش‌های غذایی بافت‌های خوراکی می‌شود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که آثار تنش برای برخی از واکنش‌ها بارزتر است و این بر تخصیص مواد در مسیر تأثیر می‌گذارد. در شرایط استرس‌زا، گیاهان باید تصمیم بگیرند که چگونه منابع خود را برای رشد یا تولید متابولیت دفاعی اختصاص دهند.

مقدار کلسیم تحت تیمار سطوح مختلف شوری و حرارت ۳۵ درجه سانتیگراد، کاهش درخورتوجهی نسبت به نمونه‌های مشابه در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد داشت. مقایسه تیمارهای متناظر بین دو دمای ۲۵ و ۳۵ درجه سانتیگراد نشان داد که تأثیر همزمان شوری و دما نسبت به تنش شوری تنها، کاهش بیشتری در سطح کلسیم به همراه داشته، به طوری که سطح کلسیم در ۷۲ ساعت پس از اعمال شوری ۱۲۰ میلی‌مولار در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد، به پایین‌ترین سطح خود رسید (شکل ۱-E). در مطالعه حاضر مقدار کلسیم تحت تیمار سطوح مختلف شوری و حرارت ۳۵ درجه سانتیگراد، کاهش درخورتوجهی نسبت به نمونه‌های مشابه در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد داشت. کلسیم با تأثیر بر انتقال مواد معدنی و تجمع متابولیت‌ها، محتوای آب

مقدار فنل کل در گیاهچه‌های نعناع‌فللی در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد در سطح شوری ۶۰ میلی‌مولار کاهش چشمگیری در ۲۴ ساعت اول نسبت به شاهد نشان داد و با گذشت زمان مقدار آن افزایش یافت، به طوری که در ۷۲ ساعت پس از تیمار با افزایش ۱/۸۸ برابری نسبت به شاهد همراه بود. در سطح شوری ۱۲۰ میلی‌مولار نیز تا ۴۸ ساعت افزایش درخورتوجهی در سطح فنل مشاهده شد ولی در ۷۲ ساعت با کاهش ۱/۳۹ برابری نسبت به شاهد مواجه شد. در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد در ۲۴ ساعت اول کاهش درخورتوجهی در سطح فنل نسبت به نمونه مشابه در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد مشاهده شد که با گذشت زمان روندی افزایشی داشت. مقایسه تیمارهای متناظر بین دو دمای ۲۵ و ۳۵ درجه سانتیگراد نشان داد که تأثیر همزمان شوری و دما نسبت به تنش شوری تنها، افزایش بیشتر سطح فنل را به دنبال داشت (شکل ۱-D). هنگام مواجهه با یک شرایط نامساعد محیطی، گیاهان برخی از پاسخ‌های فیزیولوژیک را تحریک می‌کنند و ظرفیت بیوسنتز اسیدهای فنلی مختلف را افزایش می‌دهند که در نهایت به بهبود عملکرد گیاه در شرایط دشوار منجر می‌شود (Gull *et al.*, 2019; Chrysargyris *et al.*, 2019). در مطالعه حاضر تغییرات سطح فنل در گیاهچه‌های نعناع‌فللی تحت تیمار شوری و حرارت، پس از کاهش در مراحل نخستین تنش، با گذشت زمان روندی افزایشی نشان داد. این امر حاکی از آن است که شکل‌گیری فرآیندهای بیوسنتز ترکیبات فنلی، در گیاهچه‌های نعناع با تأخیر صورت می‌پذیرد که موجب حساسیت این گیاه به شرایط تنش می‌شود.

برابر کاهش داشت. در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد نیز با افزایش سطح شوری مقدار کارتنوئید کاهش یافت (شکل ۱-G).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با اعمال تنش شوری در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، میزان قند‌های محلول کاهش معنی‌داری نشان داد. این روند کاهشی با افزایش سطح شوری و گذشت زمان پس از اعمال تیمار بیشتر شد، به طوری که در ۷۲ ساعت پس از اعمال شوری ۱۲۰ میلی‌مولار با کاهش ۲/۶۲ برابری قند محلول نسبت به شاهد همراه بود. در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد نیز این روند کاهشی مشاهده شد، به طوری که افزایش سطح تنش شوری، مقدار قند‌های محلول در گیاهچه‌های نعناع‌فللی کاهش چشمگیری داشت (شکل ۱-C).

ارز یابی محتوای کلروفیل و کارتنوئید ابزاری برای تفسیر تحمل تنش در گیاهان محسوب می‌شود. گیاهان تحت تنش شوری معمولاً مقادیر زیادی رادیکال‌های آزاد تولید می‌کنند که به تخریب کلروفیل منجر می‌شود. وقتی کلروفیل کاهش می‌یابد، انتظار می‌رود فتوسنتز نیز کاهش یابد و به دنبال آن قند نیز کاهش یابد. مهار فتوسنتز توسط استرس گرما به عدم توانایی در حفظ رویسکو در یک فرم فعال تفسیر می‌شود (Zhou et al., 2019). در مطالعه حاضر نیز تاثیر تیمار شوری در هر دو سطح ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار و تیمار دمای ۳۵ درجه سانتیگراد، باعث کاهش محتوای کلروفیل و کارتنوئید و بالطبع آن کاهش سطح فتوسنتز و کاهش میزان قند محلول در گیاهچه‌های نعناع‌فللی شد. این روند کاهشی محتوای کلروفیل و کارتنوئید

را حفظ و رشد گیاهان را تنظیم می‌کند (Seifikalhor et al., 2019). تنش شوری به کاهش رشد از نظر ارتفاع و تجمع زیست‌توده در گیاه سویا منجر شد که این موضوع در گیاهان دارای کمبود کلسیم بارزتر بود. در این مطالعه مشخص شد که در دسترس بودن کلسیم تحت شرایط رشد نرمال و تنش شوری بر سنتز پرولین، گلیسین‌بتائین و قند‌های محلول تأثیر می‌گذارد. مکمل‌های بهینه کلسیم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی (آسکوربات، گلوتاتیون و توکوفرول) را تنظیم می‌کند و در بهبود آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش شوری منعکس می‌شود (Elkelish et al., 2019).

نتایج نشان داد که تغییرات مقدار کلروفیل کل تحت تیمار سطوح مختلف شوری و حرارت ۳۵ درجه سانتیگراد، کاهش در خور توجهی نسبت به نمونه‌های مشابه در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد داشت. مقایسه تیمارهای متناظر بین دو دمای ۲۵ و ۳۵ درجه سانتیگراد نشان داد که تأثیر همزمان شوری و دما نسبت به تنش شوری تنها، کاهش بیشتری در سطح کلروفیل به همراه داشته، به طوری که سطح کلروفیل کل در ۷۲ ساعت پس از اعمال شوری ۱۲۰ میلی‌مولار در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد، به پایین‌ترین سطح خود رسید (شکل ۱-F).

نتایج نشان داد که در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، افزایش سطح شوری باعث کاهش معنی‌دار مقدار کارتنوئید می‌شود، به طوری که در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار مقدار کارتنوئید نسبت به شاهد در زمان ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت به ترتیب ۱/۳۴، ۱/۳۷ و ۱/۶۷

تحت تأثیر عوامل تنش‌زای غیرزیستی در مطالعات مختلفی گزارش شده است.

Chrysargyris و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که اعمال همزمان تیمارهای شوری و سمیت فلز مس در *Mentha spicata* باعث کاهش محتوای کلرفیل و قند محلول شده است. Silva و همکاران (۲۰۱۳) نیز در ارزیابی همزمان تنش شوری و گرمایی در گیاهان *Jatropha curcas* گزارش کردند که درجه حرارت بالا آثار منفی تنش نمکی را بر فرآیندهای اصلی فیزیولوژیک افزایش داده و

باعث کاهش سطح فتوسنتز و تخریب کلروفیل می‌شود.

ارزیابی صفات رویشی

نتایج تجزیه واریانس ارزیابی صفات رویشی نشان داد که تیمارهای حرارت، شوری و زمان و اثر متقابل آنها تأثیر معنی‌داری بر تغییرات وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی در سطح یک درصد داشت (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات رویشی در گیاه نعناع‌فلفلی تحت تنش‌های شوری و گرمایی.

Table 2- Analysis of variance for morphological characteristics in peppermint under salinity and heat stresses.

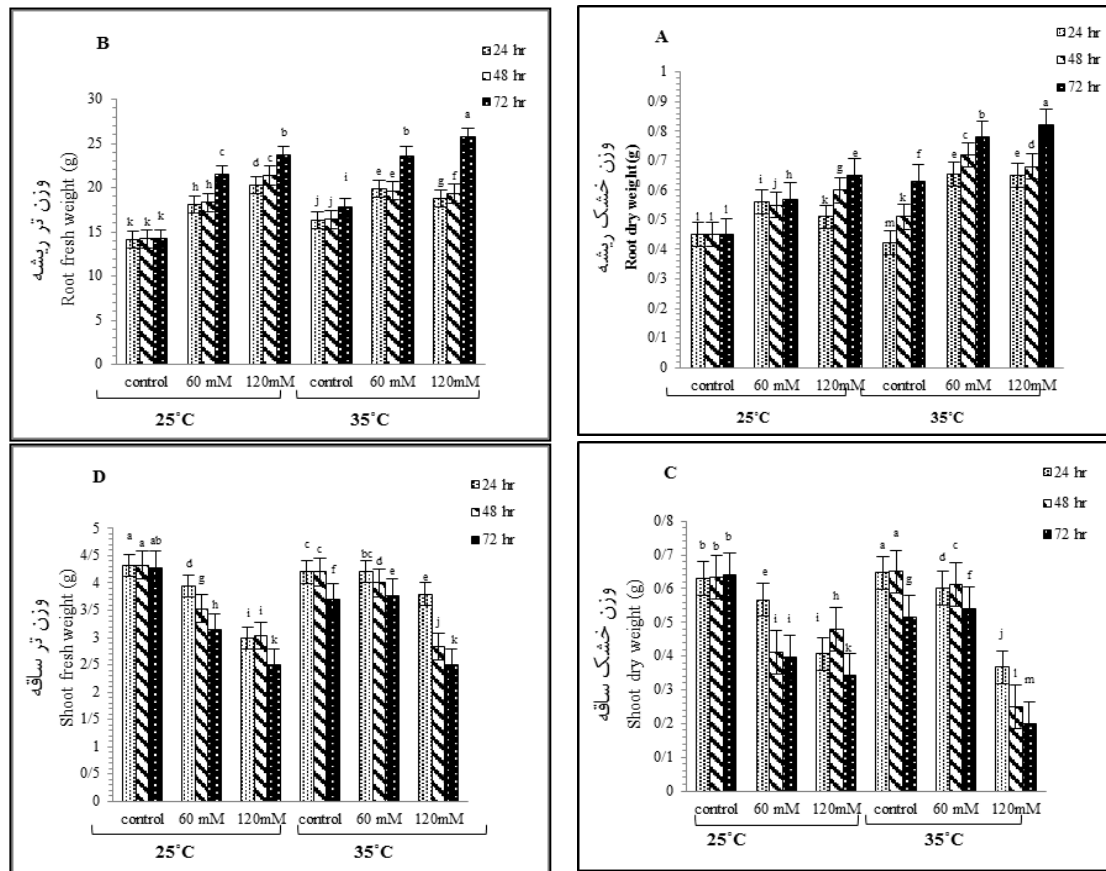
میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن تر اندام هوایی
دما	۱	۰/۱۹۳**	۰/۰۳۲**	۲۲/۴۲**	۰/۷۵۹**
شوری	۲	۰/۱۵۴**	۰/۱۴۸**	۱۷۶/۶**	۸/۳۱**
زمان	۲	۰/۵۴**	۰/۰۲۹**	۵۵/۲۹**	۲/۰۱**
دما × زمان	۲	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۹**	۱۱/۶**	۰/۴۱۷**
دما × شوری	۲	۰/۰۱۷**	۰/۰۶۸**	۵/۶**	۰/۱۷**
دما × زمان	۴	۰/۰۰۳**	۰/۰۵۴**	۸/۶۹**	۰/۰۹۹**
دما × شوری × زمان	۴	۰/۰۰۴**	۰/۰۱۸**	۱/۵**	۰/۲۹۴**
خطا	۳۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۲۴	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات (%)		۰/۹۵	۰/۹۸	۳/۱	۱/۰۲

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

**، * and ns: significant at $p \leq 0.01$, significant at $p \leq 0.05$, non-significant respectively.

نتایج مقایسه میانگین صفات رویشی (شکل ۲) نشان داد که با افزایش سطح شوری و دما، وزن تر و خشک اندام هوایی کاهش می‌یابد. در مقابل با افزایش سطح شوری و گرما، وزن تر و وزن خشک ریشه افزایش درخور توجهی نشان داد. به طوری که

وزن تر ریشه در دمای ۳۵ درجه و شوری ۱۲۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد در زمان ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت به ترتیب ۱/۱۵، ۱/۱۷ و ۱/۴۵ برابر افزایش داشت. همچنین، وزن خشک ریشه نیز ۱/۵۴، ۱/۳۳ و ۱/۳۴ برابر افزایش داشت.



شکل ۲- تأثیر متقابل تنش‌های شوری و گرمایی بر مقدار وزن خشک ریشه (A)، وزن تر ریشه (B)، وزن خشک ساقه (C)، و وزن تر ساقه (D) در گیاهچه‌های نعناع‌فلفلی. داده‌ها میانگین ۳ تکرار \pm SE است. حروف یکسان، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $p < 0.05$ است.

Figure 2- Interaction effects of salinity and heat stresses on root dry weight (A), root fresh weight (B), shoot dry weight (C), shoot fresh weight (D) in peppermint seedling. Data averaged 3 replicates \pm SE. The same letters indicate no significant difference at the level of $p < 0.05$.

مثبتی در رشد ریشه در هکتار دارد (Weber, 2009). از طرف دیگر، کاهش رشد در حضور تنش شوری به‌طور کلی با دو اثر توضیح داده می‌شود. اول، کمبود آب که بلافاصله پس از کاهش پتانسیل اسمزی در یک سطح آستانه شروع می‌شود و سپس در مرحله دوم هنگامی که تجمع نمک در برگ‌ها به غلظت سمی می‌رسد باعث مرگ برگ‌ها می‌شود. در بعضی از گیاهان، ریختن برگ‌های قدیمی یک راهکار برای جلوگیری از آثار سمی نمک‌های اضافی سدیم است که در برگ‌ها تجمع

مکانیسم سازگاری گیاه با شرایط شوری بسیار پیچیده است، از علل کاهش رشد گیاه در شرایط شوری تجمع یون‌های سمی سدیم در بافت‌های گیاهی است که سبب کاهش فعالیت آنزیمی و تغییر الگوی توزیع کربوهیدرات‌ها می‌شود (Isayenkov and Maathuis, 2019). در چندین مطالعه نشان داده شده است که نسبت ریشه/شاخه گیاهان زیادی تحت تنش شوری افزایش می‌یابد (Koksal et al., 2016). توسعه ریشه برای بقای گیاه در مناطق خشک و کویری مهم است. از این نظر، شوری تأثیر

شدن چرخه زندگی و تغییر تعداد، اندازه و ترکیب دانه، بر عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، هنگامی که ترکیب تنش در مرحله تولید مثل گیاهان اعمال شود، این تأثیرات شدیدتر است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش‌های شوری و گرمایی محدودیتی برای کشت نعنای فلفلی هستند. این عوامل بر فیزیولوژی گیاه تأثیر گذاشته و رشد و عملکرد آن را کاهش می‌دهند. تنش همزمان شوری و گرمایی از طریق کاهش جذب پتاسیم و کلسیم، افزایش جذب سدیم، تجزیه کلروفیل و کارتنوئیدها باعث کاهش فتوسنتز و کاهش فندهای محلول و در نهایت کاهش رشد گیاه شد. در عوض تنش همزمان شوری و گرما باعث افزایش مقدار فنل شد و این می‌تواند باعث کیفیت نعنای فلفلی گردد. یکی از مکانیسم‌های تحمل گیاه در برابر این دو تنش ساخت پرولین بود. روش‌های به‌زراعی، استفاده از کودهای زیستی و کشت ارقام مقاوم می‌تواند در کاهش آثار سوء تنش‌های شوری و گرمایی بر گیاه نعنای فلفلی مؤثر باشد.

می‌یابد. نمک می‌تواند در برگ‌های قدیمی ترشح شود و برگ‌ها می‌میرند که برای بقای گیاه بسیار مهم است (Suárez, 2011). در مطالعه حاضر نیز با افزایش سطح شوری و دما، وزن تر و خشک اندام هوایی کاهش یافت و در مقابل وزن تر و وزن خشک ریشه افزایش درخورتوجهی نشان داد.

کاهش معنی‌دار شاخص‌های رشد رویشی تحت تنش شوری و گرما در مطالعات مختلفی ارزیابی شده است. Aliloo و همکاران (۲۰۲۰) کاهش رشد کانولا تحت تنش شوری را گزارش کردند. مشابه این نتایج در گیاهان جو (Khalily and Naghavi; 2020)، گوجه‌فرنگی (Haghighi. and Naghavi, 2019)، گل همیشه‌بهار (Al-Khafajy *et al.*, 2020)، پرتقال (Bilal *et al.*, 2020) و برنج (Fatima *et al.*, 2020) نیز گزارش شده است. Cohen و همکاران (۲۰۲۱) در ارزیابی نتایج بیش از ۱۲۰ مطالعه موردی منتشر شده در مورد پاسخ گیاهان مختلف به تنش خشکی و تنش گرمایی نشان دادند که ترکیب تنش خشکی و گرما به شکل درخورتوجهی با کاهش شاخص برداشت، کوتاه

References

- Afkar, S. and Zand, R. (2020) Genetic relationships of some mint species using seed storage protein pattern. *Journal of Genetic Resources* 6(1): 12-19.
- Alhailoul, H. A., Soliman, M. H., Ameta, K. L., El-Esawi, M. A. and Elkelish, A. (2020) Changes in ecophysiology, osmolytes, and secondary metabolites of the medicinal plants of *Mentha piperita* and *Catharanthus roseus* subjected to drought and heat stress. *Biomolecules* 10(1): 43-64.
- Aliloo, A. A., Shiriazar, Z., Dashti, S., Shahabivand, S. and Pourmohammad, A. (2020) Alleviating effects of humic acid on germination and vegetative growth of canola under salinity stress. *Iranian Journal of Biology* 33(4): 985-997 (in Persian).
- Al-Khafajy, R. A. A., AL-Taey, D. K. and AL-Mohammed, M. H. (2020) The impact of water quality, bio fertilizers and selenium spraying on some vegetative and flowering growth parameters of *Calendula officinalis* L. under salinity stress. *International Journal of Agricultural and Statistical Sciences* 16(1): 1175-1180.
- Arunachalam, V., Fernandes, C. M. and Salgaonkar, D. C. (2020) Quick method to quantify the potassium and sodium content variation in leaves of banana varieties. *Analytical Sciences* 36(10): 1255-1260.
- Bates, L., Waldren, S. and Tear, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for

- water stress studies. *Journal of Plant and Soil*. 39: 205-207.
- Bilal, H., Zulfiqar, R., Adnan, M., Umer, M. S., Islam, H., Zaheer, H., Abbas, W. M., Haider, F. and Ahmad, R. I. k. (2020) Impact of salinity on citrus production; a review. *International Journal of Applied Research* 6(8): 173-176.
- Bistgani, Z. E., 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.
- Chrysargyris, A., Papakyriakou, E., Petropoulos, S. A. and Tzortzakis, N. (2019) The combined and single effect of salinity and copper stress on growth and quality of *Mentha spicata* plants. *Journal of Hazardous Materials* 368: 584-593.
- Cohen, I., Zandalinas, S. I., Huck, C., Fritsch, F. B. and Mittler, R. (2021) Meta-analysis of drought and heat stress combination impact on crop yield and yield components. *Physiologia Plantarum* 171(1): 66-76.
- Derderian, M. D. (1961). Determination of calcium and magnesium in plant material with EDTA. *Analytical Chemistry* 33: 1796-1798.
- Elkelish, A. A., Alnusaireet, T. S., Soliman, M. H., Gowayed, S., Senousy, H. H. and Fahad. S. (2019) Calcium availability regulates antioxidant system, physio-biochemical activities and alleviates salinity stress mediated oxidative damage in soybean seedlings. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 92: 258-266.
- Fatima, T., Mishra, I., Verma, R. and Kumar Arora, N. (2020) Mechanisms of halotolerant plant growth promoting *Alcaligenes* sp. involved in salt tolerance and enhancement of the growth of rice under salinity stress. *3 Biotech* 10(8): 1-12.
- Gowton, C. M., Reut, M. and Carrillo, J. (2020) Peppermint essential oil inhibits *Drosophila suzukii* emergence but reduces *Pachycrepoideus vindemmia* parasitism rates. *Scientific Reports* 10(1): 1-10.
- Gull, A., Lone, A. A. and Wani, N. U. I. (2019) Biotic and abiotic stresses in plants. abiotic and biotic stress in Plants, Alexandre Bosco de Oliveira. IntechOpen. London, UK.
- Haghighi, M. and Naghavi, B. (2019) Effect of Ca and nano-Ca spray on reducing the effects of salinity stress on tomato at vegetative growth stage in hydro culture. *Journal of Horticultural Science* 32(4): 507-518 (in Persian).
- Isayenkov, S. V. and Maathuis, F. J. (2019) Plant salinity stress: many unanswered questions remain. *Frontiers in Plant Science* 10: 1-11.
- Jiang, J. L., Tian, Y., Li, L., Yu, M., Hou, R. P. and Ren, X. M. (2019) H₂S alleviates salinity stress in cucumber by maintaining the Na⁺/K⁺ balance and regulating H₂S metabolism and oxidative stress response. *Frontiers in Plant Science*. 10: 1-17.
- Khalily, M. and Naghavi, M. R. (2020) Effect of salinity stress on physiological characteristics and protein profile of tolerant and sensitive barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars at vegetative growth stage. *Iranian Journal of Crop Science* 2(1): 32-49 (in Persian).
- Kochert, G. (1978) Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method. (Eds. Helebust, J. A., Craig, J. S.) 56-97. *Handbook of Physiological Method*. Cambridge University Press Cambridge.
- Koksal, N., Alkan-Torun, A. and Kulahlioglu, I. (2016) Ion uptake of marigold under saline growth conditions. *SpringerPlus* 5(1): 1-12.
- Lehmann, M. L., Counce, R. M.; Counce, R. W.; Watson, J. S.; Labbé, N. and Tao, J. (2017) Recovery of phenolic compounds from switchgrass extract. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* 6(1): 374-379.
- Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology* 148: 350-382.

- Liu, J., Shabala, S., Shabala, L., Zhou, M., Meinke H., Venkataraman, G., Chen, Z., Zeng, F. and Zhao, Q. (2019) Tissue-specific regulation of Na⁺ and K⁺ transporters explains genotypic differences in salinity stress tolerance in rice. *Frontiers in Plant Science* 10: 1-15.
- Mahendran, G. and Rahman, L. U. (2020) Ethnomedicinal, phytochemical and pharmacological updates on Peppermint (*Mentha × piperita* L.)- A review. *Phytotherapy Research*. 34(9): 2088-2139.
- Martinez, V., Mestre, T. C., Rubio, F., Girones-Vilaplana, A., Moreno, D. A., Mittler, R. and Rivero, R. (2016) Accumulation of flavonols over hydroxycinnamic acids favors oxidative damage protection under abiotic stress. *Frontiers in Plant Science*. 7: 1-17.
- Mosleh Arani, A., Rafiei, A., Tabandeh, A., Azimzadeh, H. (2018). Morphological and physiological responses of root and leave in *Gleditschia caspica* to salinity stress. *Iranian Journal of Plant Biology*. 9: 4.1-12 (in Persian).
- Mosleh Arani, A., Bakhshi Khaniki, G., Nemati, N., Soltani, M. (2011) Investigation on the effect of salinity stress on seed germination of *Salsola abarghuensis*, *Salsola arbuscula* and *Salsola yazdiana*. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research* 18: 2.267-279 (in Persian).
- Mosleh Arani, A., Naderi, M., Goldansaz, S. M. (2015) Effect of harvesting time on essential oil content and composition of *Thymbra spicata*. *Journal of Medicinal Plants and By-products*. 4(1):51-55.
- Mousavi, S. and Shabani, L. (2019) Rosmarinic acid accumulation in *Melissa officinalis* shoot cultures is mediated by ABA. *Biologia Plantarum* 63: 418-424.
- Saijo, Y. and Loo, E. P. I. (2020) Plant immunity in signal integration between biotic and abiotic stress responses. *New Phytologist* 225(1): 87-104.
- Seifikalhor, M., Aliniaefard, S., Shomali, A., Azad, N., Hassani, B., Lastochkina, O. and Li, T. (2019) Calcium signaling and salt tolerance are diversely entwined in plants. *Plant Signaling and Behavior* 14(11): 1-15.
- Shabnam, N., Tripathi, I., Sharmila, P. and Pardha-Saradhi, P. (2016) A rapid, ideal, and eco-friendlier protocol for quantifying proline. *Protoplasma* 253(6): 1577-1582.
- Silva, E. N., Vieira, S. A., Ribeiro, R. V., Ferreira-Silva, S. L. and Silveira, J. A. (2013) Contrasting physiological responses of *Jatropha curcas* plants to single and combined stresses of salinity and heat. *Journal of Plant Growth Regulation* 32(1): 159-169.
- Suárez, N. (2011) Effects of short-and long-term salinity on leaf water relations, gas exchange, and growth in *Ipomoea pes-caprae*. *Flora* 206(3): 267-275.
- Wang, G., Kong, F. Zhang, S., Meng, X., Wang, Y. and Meng, Q. (2015) A tomato chloroplast-targeted DnaJ protein protects rubisco activity under heat stress. *Journal of Experimental Botany* 66(11): 3027-3040.
- Weber, D. (2009) Adaptive mechanisms of halophytes in desert regions. In: *Salinity and water stress* (Eds. Ashraf, M., Ozturk, M. and Athar, H. R.) 179-185. Springer, Dordrecht.
- Wyse, A. T. and Netto, C. A. (2011) Behavioral and neurochemical effects of proline. *Metabolic Brain Disease* 26(3): 159-172.
- Zhou, R., Kong, L., Yu, X., Ottosen, C. O., Zhao, T., Jiang, F. and Wu, Z. (2019) Oxidative damage and antioxidant mechanism in tomatoes responding to drought and heat stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 41(2): 1-11.