

## Effect of foliar application of melatonin on some morphological and antioxidant characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salinity stress conditions

Pages  
19-35

S. khamsezadeh Qazvini<sup>1</sup>, M. Rasouli\*<sup>2</sup>, F. Borna<sup>3</sup>

1 & 2) Department of Horticultural Sciences Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

3) Department of Horticultural Science, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.

\*Corresponding author: [m.rasouli@eng.ikiu.ac.ir](mailto:m.rasouli@eng.ikiu.ac.ir)

Received date: 2024.09.15

Accepted date: 2024.12.11

### Abstract

*Mentha piperita* L., known for its secondary metabolites, is widely used in the food and pharmaceutical industries. Salinity stress is a major limiting factor in plant growth, negatively affecting secondary metabolite production. Melatonin, a multifunctional molecule, plays a key role in enhancing plant tolerance to abiotic stresses. This study investigated the effects of foliar melatonin application on the morphological and biochemical traits of peppermint under salinity stress. The experiment followed a factorial completely randomized design with three replications, including four salinity levels (0, 2, 4, 6 dS/m) and four melatonin concentrations (0, 50, 100, and 150  $\mu$ M). Evaluated traits included leaf length, width and area, total phenolic, and flavonoid content and antioxidant activity. Results showed that the highest leaf length (1.5 cm) was observed under no salinity with 50  $\mu$ M melatonin, while the greatest leaf width (1.16 cm) occurred at 4 dS/m salinity and 150  $\mu$ M melatonin. The largest leaf area (1.62 cm<sup>2</sup>) was recorded with 150  $\mu$ M melatonin and no salinity stress. whereas the maximum flavonoid content (55.1 mg quercetin equivalents per gram dry weight) was achieved under no salinity with 50  $\mu$ M melatonin. The lowest total phenolic content (9.28 mg gallic acid equivalents per gram dry weight) was observed at 4 dS/m salinity, while the highest DPPH radical inhibition percentage occurred at 6 dS/m salinity with 50  $\mu$ M melatonin. In general, foliar application of melatonin was able to mitigate the negative effects of salinity stress on growth parameters and bioactive compounds of peppermint.

**Keywords:** Abiotic stresses, Flavonoid, Peppermint and Phenol.



## اثر محلول پاشی برگ‌های ملاتونین روی برخی خصوصیات مورفولوژیکی و آنتی‌اکسیدانی نعناع فلفلی (*Mentha*)

### (*piperita* L.) تحت تنش شوری

شماره صفحات

۱۹-۳۵

سحرخمس زاده قزوینی<sup>۱</sup>، موسی رسولی<sup>۲\*</sup> و فاطمه برنا<sup>۳</sup>

(۱) دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین، ایران.

(۲) دانشیار، گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین، ایران.  
(۳) استادیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران.

\* نویسنده مسئول: [m.rasouli@eng.ikiu.ac.ir](mailto:m.rasouli@eng.ikiu.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵

### چکیده

نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) به دلیل دارا بودن متابولیت‌های ثانویه، کاربردهای گسترده‌ای در صنایع غذایی و دارویی دارد. تنش شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان است که می‌تواند بر تولید متابولیت‌های ثانویه تأثیر منفی بگذارد. ملاتونین به عنوان یک مولکول چندعملکردی، نقش مهمی در تحمل گیاهان به تنش‌های غیرزیستی ایفا می‌کند. این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار با هدف بررسی تأثیر کاربرد برگ‌های ملاتونین بر خصوصیات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی نعناع فلفلی تحت تنش شوری انجام شد. آزمایش با چهار سطح شوری (۰، ۲، ۴، ۶ دسی‌زیمنس بر متر) و چهار سطح ملاتونین (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ میکرومولار) اجرا شد. صفات مورد بررسی شامل طول، عرض و سطح برگ، محتوای فنل کل، فلاونوئیدها و قدرت مهار رادیکال DPPH بودند. نتایج نشان داد بیشترین طول برگ در تیمار ملاتونین ۵۰ و بدون شوری (۱/۵ سانتی‌متر)، بیشترین عرض برگ (۱/۱۶ سانتی‌متر) در تیمار شوری ۴ و ملاتونین ۱۵۰ و بیشترین سطح برگ (۱/۶۲ سانتی‌متر مربع) در تیمار ملاتونین ۱۵۰، بدون شوری مشاهده شد. بیشترین محتوای فلاونوئید (۵۵/۱ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم وزن خشک) در تیمار شوری صفر، ملاتونین ۵۰ ثبت شد. کمترین محتوای فنل کل (۹/۲۸ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم وزن خشک) در تیمار شوری ۴ و بیشترین درصد مهار رادیکال DPPH در تیمار شوری ۶ و ملاتونین ۵۰ مشاهده شد. به طور کلی، کاربرد برگ‌های ملاتونین توانست اثرات منفی تنش شوری را بر پارامترهای رشد و مواد موثره نعناع فلفلی کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: تنش غیرزیستی، فلاونوئید، فنل و نعناع فلفلی.

## مقدمه

نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) گیاهی علفی، چندساله و معطر، متعلق به خانواده نعناعیان (Lamiaceae) است که به دلیل فعالیت های ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی درمانی در صنایع غذایی و دارویی استفاده می‌شود. برخی از آنها دارای فعالیتهای بیولوژیکی هستند که آنها را به عنوان علف‌کشها، آفت‌کشها و ترکیبات ضد سرطان مفید می‌کند. این گیاه بومی اروپاست و در شمال ایالات متحده آمریکا و کانادا اهلی شده و در بسیاری از نقاط جهان کشت می‌شود (Hocking & Hynd, 1994). گیاهان دارویی مانند نعناع فلفلی به عنوان منبع غنی متابولیت های ثانویه عمل می‌کنند که در پاسخ به انواع تنش های زنده و غیر زنده تولید می‌شوند. متابولیت های ثانویه عمدتاً از متابولیت های اولیه سنتز می‌شوند و مستقیماً وظیفه رشد گیاه و توسعه آن را برعهده ندارند (Kumar et al., 2022). متابولیت‌های ثانویه موجود در نعناع و اسانس آن یکی از محبوب ترین و پرمصرف ترین اسانس ها از طرفداران زیادی برخوردار است، که بیشتر به دلیل ترکیبات اصلی آن، منتول و منتون است (Derwich et al., 2010). یکی از موانع مهم توسعه و کشت گیاهان دارویی، استقرار ضعیف و غیریکنواخت آن در خاکهای مناطق خشک خصوصاً در شرایط تحت تنش های محیطی غیرزنده از جمله تنش شوری است (Jia et al., 2018). شوری با تولید گونه های فعال اکسیژن بر تولید و کیفیت محصول تاثیر می‌گذارد (Munns & Tester., 2008). از میان راهکارهای مختلف، رویکرد استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه نقش برجسته ای در کاهش تنش های محیطی دارد. یکی از این تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، ملاتونین است. غلظت‌های ملاتونین از پیکوگرم تا نانوگرم به ازای هر گرم بافت گیاهی متغیر است. تنظیم‌کننده رشد ملاتونین به دلیل ماهیت شیمیایی خود، عملکردهای فیزیولوژیکی مختلف را در طول رشد، مورفوزن و پاسخ گیاه به تنش‌های غیرزیستی تنظیم می‌کند (Min et al., 2019). بیوسنتز ملاتونین گیاهی معمولاً در کلروپلاست اتفاق می‌افتد و مسیرهای متابولیکی مرتبط با آن به طور مشخص تشخیص داده می‌شود. ملاتونین خارجی بعنوان یک مولکول آللوپاتیک به راحتی از غشای سلولی به درون سیتوپلاسم انتشار می‌یابد و به اجزاء درون سلولی وارد می‌شود. تنظیم‌کننده رشد ملاتونین به دلیل نقش در بهبود لیپیدها و زیست توده، در حفاظت از غشا سلولی موثر است (Soleimani Aghdam & Razavi., 2024). تحقیقات انجام شده روی گیاهان مختلف تحت شرایط تنش شوری نشان داده است که سدیم باعث عدم تعادل اسمزی، تخریب غشا سلولی، کاهش رشد، جلوگیری از تقسیم و بزرگ شدن سلولی می‌شود (Szczerba et al., 2009). با این حال، ملاتونین رشد و تقسیم سلولی و بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی درون گیاه را تنظیم کرده و باعث سازگاری گیاهان با تنش‌های محیطی می‌شود (Sadak et al., 2022). فرآورده‌های حاصل از متابولیت‌های ثانویه گیاهی جزو با ارزش ترین ترکیبات شیمیایی گیاهی هستند که گیاهان این ترکیبات را با قرارگیری در معرض تنش‌ها تولید می‌کنند. بسیاری از گونه‌های گیاهی به واسطه وجود چندین اجزای فعال زیستی مانند فلاونوئیدها، گلیکوزیدها، ساپونین‌ها، استروئیدها، تانن‌ها، آلکالوئیدها و ترپنها دارای خواص دارویی هستند. هنگامی که گیاهان تحت تاثیر شوری قرار می‌گیرد، میزان فعالیت آنزیم‌ها و صفات

آنتی‌اکسیدانی مانند فلاونوئید و فنل به صورت قابل توجهی افزایش می‌یابد (Batiha et al., 2020). اگرچه مواد موثره گیاهان دارویی توسط هدایت فرآیندهای ژنتیکی ساخته می‌شود اما سنتز آنها به طور موثری تحت تاثیر عوامل محیطی قرار دارد. فاکتورهای محیطی مختلفی از جمله میزان مواد غذایی موجود در خاک، شرایط اقلیمی منطقه کاشت و زمان برداشت از جمله عوامل مهم تأثیرگذار روی میزان متابولیت‌های ثانویه گیاه دارویی است (Russo et al., 2013). هدف از این تحقیق، بررسی تاثیر محلول پاشی برگ‌های ملاتونین روی برخی خصوصیات رویشی، مورفولوژیکی و همچنین میزان فنل، فلاونوئید و قدرت مهار رادیکال‌های آزاد بعنوان خصوصیات آنتی‌اکسیدانی که شاخص‌های مهمی در تحمل به تنش‌ها هستند در گیاه دارویی نعنای فلفلی تحت تنش شوری و تعیین همبستگی بین صفات است.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه آموزشی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه بین‌المللی قزوین واقع استان قزوین طی سالهای ۱۴۰۱-۱۴۰۳ انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد اندازه‌گیری شامل تنش شوری در ۴ سطح (۴، ۲، ۰ و ۶ دسی زیمنس بر متر) و ملاتونین در ۴ سطح (۵۰، ۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکرومولار) بودند. صفات اندازه‌گیری شده شامل طول، عرض و سطح برگ، محتوی فنل، فلاونوئید و قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH<sup>1</sup> موجود در برگ بود. جهت تهیه بستر کشت نشاء گیاه دارویی نعنای فلفلی و تعیین خصوصیات خاک، نمونه‌گیری ۵ نقطه توده خاک به صورت تصادفی انجام شد که بیشترین خاک گلدان‌ها از مخلوط شن و سیلت، رس و ورمی کمپوست به ترتیب با نسبت ۲:۱:۱ آماده و با قارچ‌کش بنومیل (۵۰ میلی گرم در یک لیتر آب) ضد عفونی و ۴ عدد نشاء یا ریزوم در هر گلدان به شماره ۱۰ (به ارتفاع ۹ و دهانه ۱۰ سانتیمتر) کاشته شد. پس از رشد گیاهان در مرحله ۸ برگ، تیمار شوری با استفاده از نمک (NaCl) پودری (شرکت مرک (Merck) آلمان) در چهار سطح (۰ و ۲ و ۴ و ۶ دسی زیمنس بر متر) اعمال گردید. محلول پاشی برگ‌های ملاتونین (C<sub>13</sub>H<sub>16</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) با شماره M5250 خلوص بالای ۹۸ درصد پودری، شرکت سیگما ایالت متحده آمریکا) تقریباً همزمان با تیمار شوری در چهار سطح (۵۰ و ۱۰۰ و ۱۵۰ میکرومولار) با مقدار محاسبه شده اعمال شد. به این صورت که ملاتونین در اتانول حل و سپس با آب مقطر به حجم مورد نظر رسانده شد. به منظور جلوگیری از شوک به گیاهان، اعمال تنش شوری به صورت تدریجی انجام شد. اعمال تیمارها هر هفته یکبار و به مدت ۴۰ روز ادامه داشت و آبیاری معمول و رسیدگی‌های لازم نیز در طی آزمایش صورت گرفت.

### اندازه‌گیری خصوصیات مورفولوژیکی

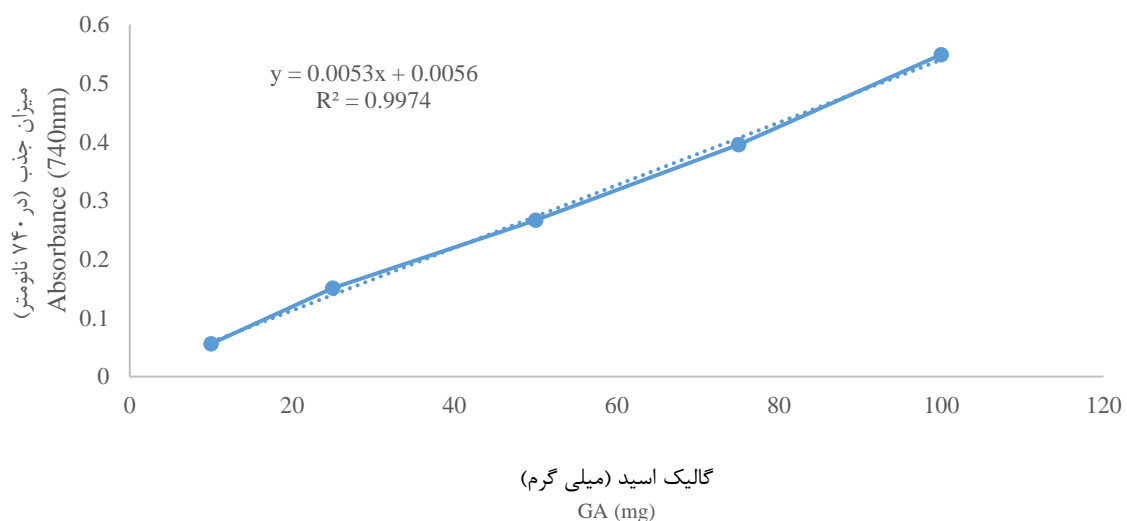
طول برگ و عرض برگ به کمک کولیس (مدل دیجیتال کالیبراستیل، ساخت میتوتوبو، ژاپن) با دقت یک سانتی‌متر اندازه

<sup>1</sup> 2,2-Diphenil 1-Pycryl Hydrazil

گیری و ثبت گردید. سطح برگ با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ (Leaf Area Meter-England) و نرم افزار (Windias) برحسب سانتی متر مربع براساس تعداد برگ برداشت شده (حداقل ۵ عدد و به صورت تصادفی) اندازه گیری و محاسبه شد.

### اندازه‌گیری فنل کل

برای تعیین میزان فنل کل نمونه‌های مورد بررسی از روش فولین-سیکالتیو استفاده گردید. برای این منظور مقدار ۲۰ میکرولیتر از محلول نمونه به ۱۰۰ میکرولیتر محلول ۱۰ درصد حجمی-حجمی از معرف فولین-سیکالتیو اضافه شد. پس از اینکه مخلوط حاصل به مدت ۶ دقیقه در تاریکی تکان داده شد، ۸۰ میکرولیتر از محلول ۷/۵ درصد وزنی-حجمی سدیم کربنات به آن اضافه گردید. مخلوط حاصل به مدت ۹۰ دقیقه در دمای اتاق در تاریکی باقی ماند و در نهایت جذب آن در طول موج ۷۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه خوانشگر الیزا<sup>۲</sup> (مدل EPOCH، ساخت شرکت بایوتک آمریکا) قرائت گردید. برای رسم منحنی کالیبراسیون (شکل ۱) از محلول‌های با غلظت بین ۱، ۱۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر گالیک اسید استفاده شد. نتایج مربوط به محتوای فنل کل نمونه‌ها بر حسب میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم وزن خشک (mg GAEs/g) بیان گردیده است (Asghari *et al.*, 2020; Singleton & Slinkard., 1977).



شکل ۱- منحنی استاندارد تعیین محتوای فنل کل.

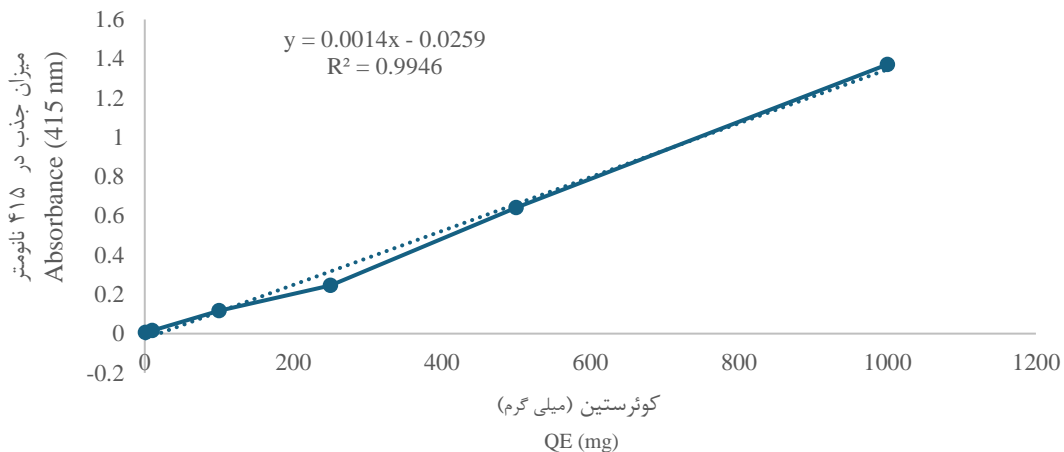
Figure 1 - Standard curve for total phenol determination.

### اندازه‌گیری فلاونوئید کل

سنجش محتوای فلاونوئید کل (TFC) یا تعیین کل ترکیبات فلاونوئیدی در نمونه‌های گیاهی با استفاده از معرف آلومینیوم کلرید انجام شد. در این روش، ۲۰ میکرولیتر از عصاره گیاهی با ۵۰ میکرولیتر از محلول ۵ درصد وزنی-حجمی معرف

<sup>2</sup>. Eliza

کلرید آلومینیوم مخلوط شد. با افزودن ۵۰ میکرولیتر از محلول ۵ مولار استات پتاسیم و یک محلول مناسب (آب مقطر) به ۲۵۰ میکرولیتر تنظیم شد. جذب محلول پس از گذشت ۳۰ دقیقه در طول موج ۴۱۵ نانومتر با استفاده از دستگاه خوانشگر الیزا اندازه‌گیری شد. از محلول‌های با غلظت بین ۱، ۱۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کوئرستین به عنوان استاندارد استفاده شد. کوئرستین به عنوان استاندارد مرجع برای رسم منحنی کالیبراسیون (شکل ۲) و یافته‌ها به صورت میلی‌گرم کوئرستین بر گرم (mg QE/g) وزن خشک گیاه بیان شد (Chang *et al.*, 2002).



شکل ۲- منحنی استاندارد تعیین محتوای فلاونوئید کل  
Figure 2 - Standard curve for determining total flavonoid content

### اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی براساس قدرت مهار رادیکال آزاد DPPH

برای این منظور ۲۰ میکرولیتر از عصاره‌های گیاهی و ۱۸۰ میکرولیتر متانول (بلانک) و ۱۸۰ میکرولیتر محلول DPPH استفاده شد، پس از یک دوره انکوباسیون ۳۰ دقیقه‌ای، جذب مخلوط توسط دستگاه خوانشگر الیزا و در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. نتایج به عنوان درصد بازداری رادیکال DPPH مشخص شدند (Singleton *et al.*, 1999). سپس با استفاده از رابطه زیر درصد مهار رادیکال آزاد محاسبه شد.

رابطه ۳:  $\text{DPPH} = (A_{520}/A_{\text{Control}}) \times 100$  درصد مهار کنندگی رادیکال آزاد DPPH

$A_{520}$  = قرائت نمونه‌ی مورد نظر       $A_{\text{Control}}$  = قرائت نمونه‌ی شاهد

### تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌های به دست آمده از اندازه‌گیری صفات مختلف وارد نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۸ شده و پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS<sup>3</sup> نسخه ۹/۴ و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از روش چند دامنه‌ای

<sup>3</sup>. Statistical Analysis System

دانکن<sup>۴</sup> در سطح آماری یک و پنج درصد انجام شد. همچنین همبستگی ساده بین صفات با استفاده از ضریب پیرسون و نرم افزار SPSS نسخه ۲۷ انجام گرفت.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تیمار ملاتونین بر عرض برگ در سطح ۰/۰۱ و بر محتوی فنل و قدرت مهار رادیکال DPPH در سطح ۰/۰۵ معنی دار بود. اثر ساده تیمار شوری بر عرض برگ و قدرت مهارکنندگی DPPH در سطح ۰/۰۱ و بر طول برگ و محتوی فنل و فلاونوئید و در سطح ۰/۰۵ معنی دار شد. همچنین اثر متقابل تنش شوری و ملاتونین بر طول و عرض برگ و محتوی فلاونوئید در سطح ۰/۰۱ و بر سطح برگ در سطح ۰/۰۵ معنی دار بود.

### طول برگ

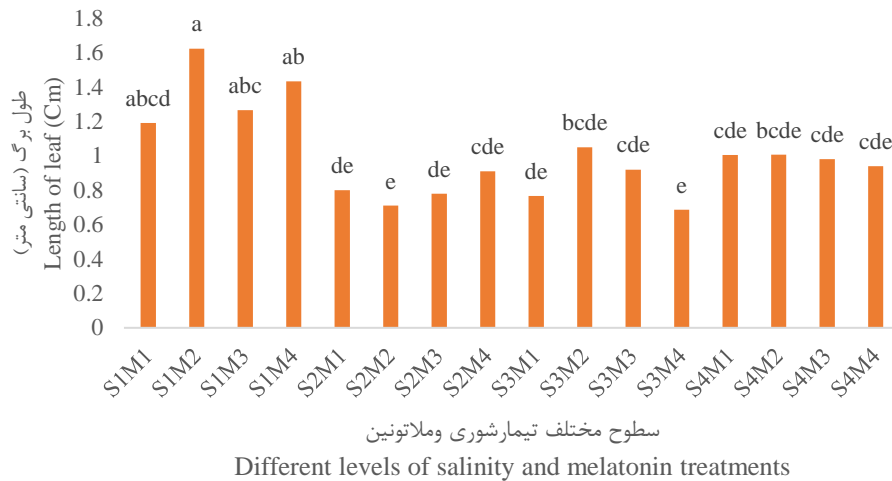
نمودار مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف ملاتونین و تنش شوری بر میزان طول برگ نشان داد که بیشترین اندازه طول برگ در تیمار شوری شاهد (صفر دسی زیمینس بر متر) و ملاتونین ۵۰ میکرومولار ( $S_1M_2$ ) با مقدار (۱/۵ سانتی متر) و کمترین طول برگ در تیمار شوری ۴ دسی زیمینس بر متر و ملاتونین ۱۵۰ میکرومولار ( $S_3M_4$ ) با مقدار (۰/۶۲ سانتی متر) بدست آمد (شکل ۳). با گذشت زمان، سرعت تقسیم و طویل شدن یاخته‌ها کاهش یافته و در نهایت این تغییرات، منجر به کوچک شدن اندازه نهایی برگ‌ها خواهد شد. یکی از مکانیسم‌های مهم دیگر در کاهش طول برگ، کاهش محتوای نسبی آب برگ در اثر شوری است که نقش مهمی در کاهش رشد رویشی داشت (Flexas et al., 2002). کاهش طول برگ بعد از افزایش شوری، عمدتاً به دلیل اثر اسمزی نمک در اطراف ریشه است (Munnus et al., 2002). به دنبال کاهش طول برگ، جذب نور نیز کم شده و ظرفیت کل فتوسنتزی گیاه کاهش یافته، در نتیجه با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی، رشد رویشی گیاه دچار نقصان می‌شود. نتایج این مطالعه نشان داد کاربرد ملاتونین همزمان با افزایش سطح تنش بر طول برگ باعث اختلاف معنی داری بین تیمارهای مختلف تنش بجز شاهد نشد. بنابراین کاربرد ملاتونین اثر منفی تنش بر طول برگ را در تیمارهای شدید کاهش داد. نتایج بررسی‌های قبلی روی گیاه نعنای فلفلی تحت تنش شوری (Danaei & Abdousi, 2022) با نتیجه این تحقیق مطابقت داشت.

### عرض برگ

نتایج اثر متقابل شوری و ملاتونین روی عرض برگ نشان داد که بیشترین مقدار عرض برگ در تیمار شوری شاهد (صفر دسی زیمینس بر متر) و ملاتونین ۱۵۰ میکرومولار ( $S_1M_4$ ) به مقدار (۱/۳۳ سانتی متر) و کمترین مقدار در تیمار شوری ۶ دسی زیمینس بر متر و تیمار صفر میکرومولار ملاتونین ( $S_4M_1$ ) به مقدار (۰/۶۴ سانتی متر) مشاهده شد (شکل ۴). با افزایش تنش شوری

4. Duncan's Multiple Range Test

یاخته‌های برگ به طور موقت، آب خود را ازدست می‌دهند. در نتیجه با گذشت زمان، سرعت تقسیم و طویل شدن یاخته‌ها کاهش یافته و در نهایت این تغییرات، منجر به کوچک شدن طول و عرض برگ و در نتیجه کوچک شدن اندازه نهایی برگ‌ها خواهد شد (Munnus., 2002).



شکل ۳- نمودار مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف ملاتونین و شوری روی طول برگ گیاه نعناع فلفلی در شرایط گلخانه.

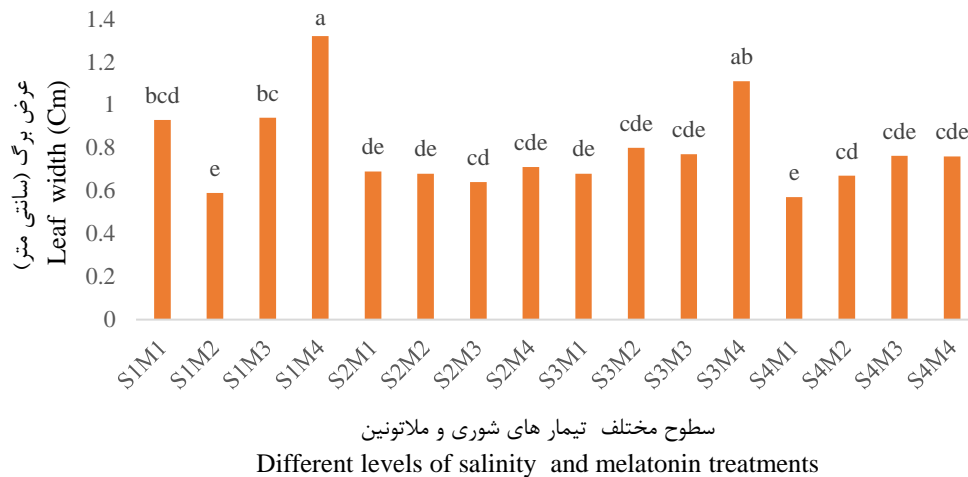
میانگین‌هایی که دارای حروف یکسان هستند در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری ندارند.

(S1M1= شوری صفر و ملاتونین صفر، S1M2= شوری صفر و ملاتونین ۵۰ میکرومولار، S1M3= شوری صفر و ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار، S1M4= شوری صفر و ملاتونین ۱۵۰ میکرومولار، S2M1= شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر و ملاتونین ۵۰ میکرومولار، S2M2= شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر و ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار، S2M3= شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر و ملاتونین ۱۵۰ میکرومولار، S2M4= شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر و ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار، S3M1= شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و ملاتونین ۵۰ میکرومولار، S3M2= شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار، S3M3= شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و ملاتونین ۱۵۰ میکرومولار، S3M4= شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار، S4M1= شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و ملاتونین صفر میکرومولار، S4M2= شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و ملاتونین ۵۰ میکرومولار، S4M3= شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار، S4M4= شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و ملاتونین ۱۵۰ میکرومولار)."

**Figure 3. Comparison of the mean interaction effects of different levels of melatonin and salinity on leaf length of peppermint plants under greenhouse conditions. Means with the same letters are not statistically significant at the 1% probability level.**

S<sub>1</sub>M<sub>1</sub>= zero salinity and zero melatonin, S<sub>1</sub>M<sub>2</sub>= zero salinity ds/m and 50 micromolar melatonin, S<sub>1</sub>M<sub>3</sub>= zero salinity ds/m and 100 micromolar melatonin, S<sub>1</sub>M<sub>4</sub>= zero salinity ds/m and 150 micromolar melatonin, S<sub>2</sub>M<sub>1</sub>= 2 salinity dS/m and 50 micromolar melatonin, S<sub>2</sub>M<sub>2</sub>= 2 salinity dS/m and 100 micromolar melatonin, S<sub>2</sub>M<sub>3</sub>= 2 salinity dS/m and 150 micromolar melatonin, S<sub>2</sub>M<sub>4</sub>= 2 salinity dS/m and 50 micromolar melatonin. S<sub>3</sub>M<sub>1</sub>= 4 salinity dS/m and 0 micromolar melatonin, S<sub>3</sub>M<sub>2</sub>= 4 salinity dS/m and 50 micromolar melatonin, S<sub>3</sub>M<sub>3</sub>= salinity 4 dS/m and melatonin 100 micromolar, S<sub>3</sub>M<sub>4</sub>= salinity 4 dS/m and melatonin 150 micromolar, S<sub>4</sub>M<sub>1</sub>= salinity 6 dS/m and melatonin 0 micromolar, S<sub>4</sub>M<sub>2</sub>= salinity 6 dS/m and melatonin 50 micromolar, S<sub>4</sub>M<sub>3</sub>= salinity 6 dS/m and melatonin 100 micromolar, S<sub>4</sub>M<sub>4</sub>= salinity 6 dS/m and melatonin 150 micromolar.

کاربرد ملاتونین در مطالعه حاضر باعث حفظ صفت عرض برگ بویژه در تیمار تحت تنش شدید گردید، بطوریکه بین تیمار S<sub>3</sub>M<sub>4</sub> با تیمار S<sub>1</sub>M<sub>1</sub> و S<sub>1</sub>M<sub>3</sub> اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج بررسی‌های قبلی روی گیاه نعناع فلفلی تحت تنش شوری (Basiri et al., 2019) و ملاتونین در گیاه خانواده نعناع و نعناع فلفلی تحت تنش خشکی (Ostadi et al., 2022) با نتایج تحقیق حاضر همسو بود.



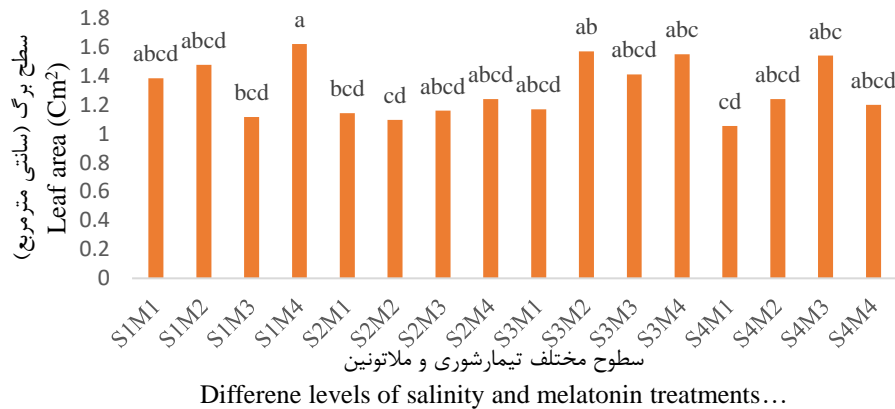
شکل ۴- نمودار مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف ملاتونین و شوری روی عرض برگ گیاه نعناع فلفلی در شرایط گلخانه. میانگین‌هایی که دارای حروف یکسان هستند در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری ندارند.

**Figure 4. Comparison of the mean interaction effects of different levels of melatonin and salinity on leaf width of peppermint plants under greenhouse conditions. Means with the same letters are not statistically significant at the 1% probability level.**

#### سطح برگ

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و ملاتونین بر سطح برگ نشان داد که بیشترین مقدار سطح برگ در تیمار شوری صفر دسی‌زیمنیس بر متر و ملاتونین ۱۵۰ میکرومولار (S1M4) با (۱/۶۲ سانتی متر مربع) و کمترین مقدار سطح برگ در تیمار شوری ۶ دسی‌زیمنیس بر متر و بدون کاربرد ملاتونین (صفر دسی‌زیمنیس بر متر) (S4M1) با (۱/۰۵۲ سانتی متر مربع) مشاهده شد (شکل ۵). تنش شوری از طریق کاهش جذب عناصر غذایی، کمبود آب قابل استفاده در گیاه و سمیت عناصر، قدرت رشد سلولی را کاهش می‌دهد و باعث کاهش سطح برگ می‌شود. کاهش سطح برگ می‌تواند ناشی از کاهش تقسیم سلولی و همچنین ریزش و پیری برگ باشد (Costa et al., 2010). افزایش تنش شوری از طریق تاثیر منفی بر صفاتی نظیر سطح برگ و محتوی نسبی برگ و رنگیزه فتوسنتزی (کلروفیل‌ها و کارتنوئید) موجب کاهش وزن (خشک و تر) گیاه می‌شود (Ghorbani et al., 2018). در پژوهش‌های پیشین اعمال تنش شوری روی گیاه نعناع فلفلی (Ghorbani et al., 2018) و گیاه آگاستاکه از خانواده نعناع (Khorsandi et al., 2010) مشابه نتیجه تحقیق حاضر بود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد کاربرد ملاتونین تاثیر قابل توجهی بر کاهش اثر تنش شوری بر سطح برگ داشته است بطوریکه با افزایش تنش شوری در تیمارهای با کاربرد ملاتونین نتایج سطح برگ گیاه نتایج مشابه تیمار شاهد (بدون تنش شوری) را نشان داد. ملاتونین می‌تواند به طور مؤثری اثرات بازدارنده تنش شوری بر رشد را کاهش دهد. مکانیسم احتمالی این اثر ممکن است شامل تعدیل ترکیبات دیواره سلولی توسط ملاتونین باشد که باعث افزایش قابلیت ارتجاعی دیواره سلولی تحت تنش شوری شده و در نتیجه توسعه سیستم ریشه را تحریک می‌کند.

با بهبود محیط ریزوسفری، افزایش ظرفیت جذب آب توسط ریشه‌ها به نوبه خود رشد و توسعه کلی گیاه را تسهیل می‌نماید (Zhou et al., 2024).

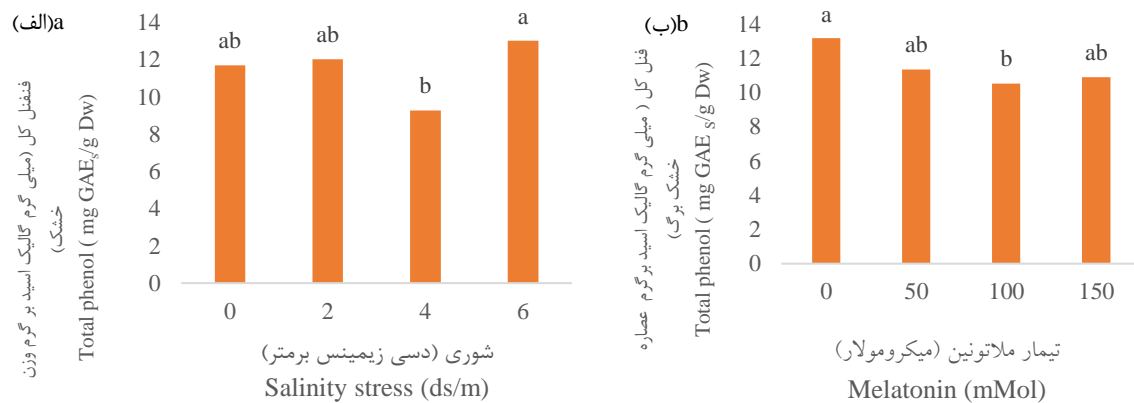


شکل ۵- نمودار مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف ملاتونین و شوری روی سطح برگ گیاه نعناع فلفلی در شرایط گلخانه. میانگین‌هایی که دارای حروف یکسان هستند در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری ندارند.

**Figure 5. Comparison of the mean interaction effects of different levels of melatonin and salinity on leaf area of peppermint plants under greenhouse conditions. Means with the same letters are not statistically significant at the 1% probability level.**

### فنل کل

طبق نتایج مقایسه میانگین اثر ساده تیمار شوری بر محتوی فنل کل گیاه نعناع فلفلی، بیشترین مقدار در تیمار شوری ۶ دسی زمینس بر متر با (۱۳/۰۳ میلی گرم گالیک اسید بر گرم وزن خشک برگ) مشاهده شد (شکل ۶ الف). همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر ساده سطوح مختلف تیمار ملاتونین بر مقدار فنل کل گیاه نعناع فلفلی نشان داد که کمترین مقدار در تیمار ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین با (۱۰/۵۴ میلی گرم گالیک اسید بر گرم وزن خشک برگ) و بیشترین مقدار در تیمار شاهد با (۱۳/۲ میلی گرم گالیک اسید بر گرم وزن خشک برگ) مشاهده شد (شکل ۶ ب). بر اساس نتایج مقدار فنل با افزایش تنش شوری افزایش یافت و با افزایش میزان کاربرد برگی ملاتونین تا حدودی کاهش نشان داد. افزایش مقدار فنل‌های محلول به ویژه بیوسنتز لیگنین و ایجاد مانع زیستی با افزایش ضخامت دیواره سلولی جهت ورود نمک به یاخته‌ها، تحمل آنها را به مقدار زیاد سدیم افزایش می‌دهد و میزان ترکیبات فنلی در مواجهه با تنش شوری افزایش می‌یابد (Santander et al., 2022). ترکیبات فنلی دارای نقش‌های متعدد فیزیولوژیکی مانند نقش‌های دفاعی و آنتی‌اکسیدانتی می‌باشند. افزایش ترکیبات فنولی در شرایط مختلف تنش را علاوه بر اینکه گیاه را در برابر آسیب‌های اکسیداتیو محافظت می‌کند، از طریق تجمع مواد مختلف آنتی‌اکسیدانتی باعث بهبود ارزش‌های غذایی بافتهای خوراکی می‌شود (Gholamnia et al., 2011). در تحقیقات پیشین افزایش فنل تحت تنش شوری در گیاه دارویی نعناع فلفلی (Khalvandi., et al., 2017) و رزماری تحت تنش شوری (Kiarostami et al., 2010) گزارش شده است.



شکل ۶. نمودار مقایسه میانگین اثرات ساده سطوح مختلف شوری (الف) و ملاتونین (ب) روی فنل کل برگ گیاه نعنای فلفلی در شرایط گلخانه. میانگین‌هایی که دارای حروف یکسان هستند در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری ندارند.

**Figure 6.** Graph comparing the simple mean effects of different levels of melatonin and salinity on total leaf phenol of peppermint plants under greenhouse conditions. Means with the same letters are not statistically significantly different at the 1% probability level.

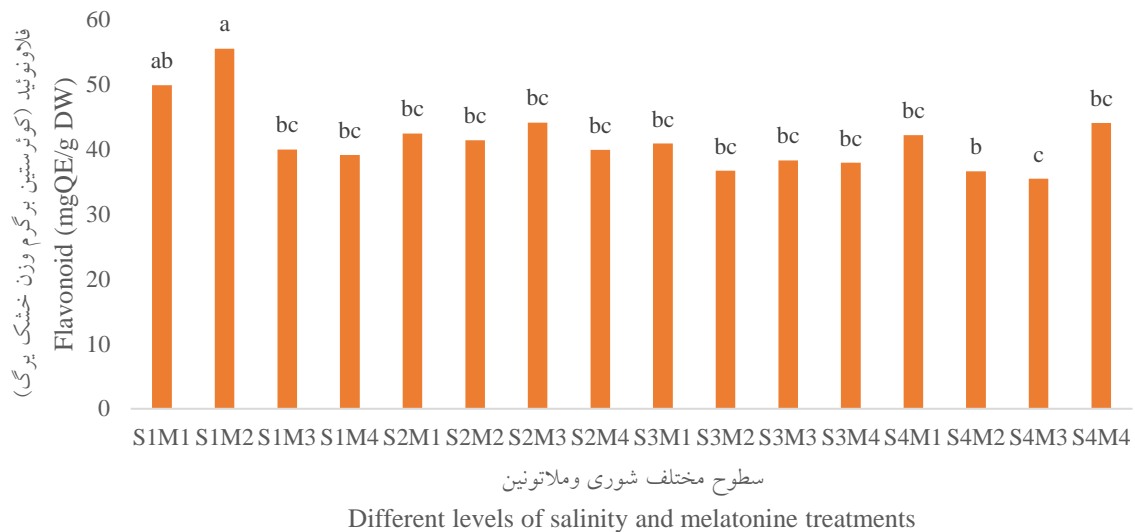
### فلاونوئید

نتیجه مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار شوری و ملاتونین بر محتوای فلاونوئید نشان داد که بیشترین مقدار در تیمار شوری شاهد (صفر دسی‌زیمنس بر متر) و ملاتونین ۵۰ و صفر میکرومولار ( $S_1M_1$  و  $S_1M_2$ ) به ترتیب با  $49/86$  و  $55/1$  میلی‌گرم کوئرستین بر گرم وزن خشک) و کمترین مقدار فلاونوئید در تیمار شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار با  $33/12$  میلی‌گرم کوئرستین بر گرم عصاره خشک برگ) در تیمار ( $S_4M_3$ ) مشاهده شد (شکل ۷). فلاونوئیدها عمدتاً در برگها وجود دارند. فنل و فلاونوئید احتمالاً به دلیل سازوکارهای دفاعی برای جمع‌آوری اکسیژن فعال تولید می‌شوند. همچنین کاهش مشاهده شده در این ترکیب‌ها حاصل کوچکتر بودن  $K_s$  به  $K_d$  است که در نتیجه ترکیبات فنلی نامحلول یا پلیمریزاسیون فنلها در نتیجه اکسیداسیون است (Anagnostopoulou *et al.*, 2006). افزایش محتوای فلاونوئید در تیمار شوری شدید توسط *Fini et al.* (۲۰۱۲) ذکر شده است که با نتیجه تحقیق حاضر مطابقت داشت. کاربرد ملاتونین در مطالعه حاضر اثر شوری را در تیمارهای با تنش شدید تعدیل کرد.

### قدرت مهار رادیکال آزاد DPPH

مهار رادیکال آزاد DPPH بعنوان یک روش متداول، آسان و سریع برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان دارویی و معطر استفاده می‌شود و ظرفیت گیاهان را برای مقابله با تنش افزایش می‌دهد (Francesca *et al.*, 2013). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل ملاتونین و تنش شوری نشان داد که کمترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار ملاتونین ۵۰ میکرومولار و بدون تیمار شوری ( $S_1M_2$ ) به مقدار  $15/84$  درصد وزن خشک گیاه) و بیشترین مقدار آن در تیمار شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار ملاتونین ۵۰ میکرومولار ( $S_4M_2$ ) با  $70/72$  درصد وزن خشک برگ) مشاهده شد (شکل ۸). افزایش تولید رادیکال

های فعال اکسیژن در سلول و پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و افزایش نشت یونی موجب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Khalvandi *et al.*, 2017).



شکل ۷. نمودار مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف شوری و ملاتونین روی میزان فلاونوئید برگ گیاه نعناع فلفلی در شرایط گلخانه. میانگین‌هایی که دارای حروف یکسان هستند در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری ندارند.

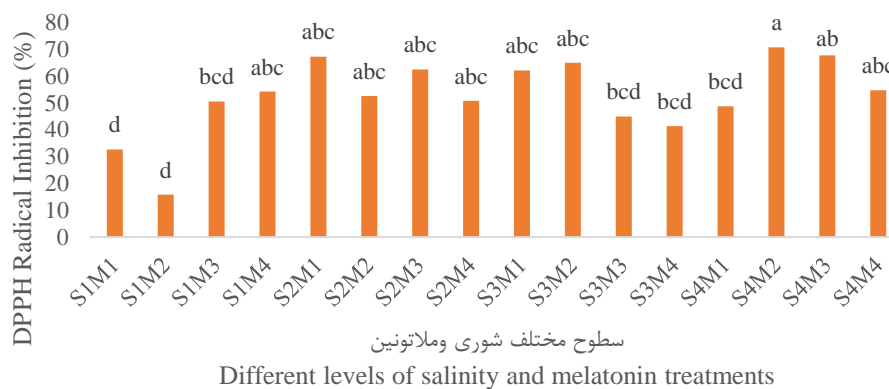
**Figure 7. Comparison of the mean interaction effects of different levels of melatonin and salinity on flavonoids content of leaf length of peppermint plants under greenhouse conditions. Means with the same letters are not statistically significant at the 1% probability level.**

در پژوهشی در گیاه با درشتی از خانواده نعناع تحت تاثیر ملاتونین (Rabiei *et al.*, 2023) افزایش قدرت مهار رادیکال آزاد DPPH را نشان دادند که با نتیجه تحقیق حاضر مطابقت داشت. مطالعات نشان داده‌اند که ملاتونین بیرونی می‌تواند میزان نشت الکترولیت‌ها را یا با تأثیر مستقیم بر تنظیم اسمزی سلول‌های گیاهی یا با استفاده از ظرفیت آنتی‌اکسیدانی خود برای حذف ROS درون‌زا کاهش دهد، و در نتیجه از پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی جلوگیری کند (Cui *et al.*, 2017). پژوهش انجام شده توسط تان و همکاران (Tan *et al.*, 2012) نشان داده که ملاتونین به عنوان اولین خط دفاعی در برابر عوامل تنش‌زای محیطی عمل می‌کند. ملاتونین نه تنها مستقیماً با ROS تعامل دارد، بلکه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی درون‌زا در گیاهان را نیز افزایش می‌دهد (Pal *et al.*, 2018). مکانیسم عمل ملاتونین شامل القای سنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی، و افزایش بیان ژن‌های مقاومت است (Arora & Bhatla, 2018).

#### ضرایب همبستگی ساده صفات

نتایج همبستگی ساده بین صفات نشان داد که بین برخی از صفات اندازه‌گیری شده همبستگی مثبت معنی‌دار و برخی نیز

همبستگی منفی معنی دار وجود داشت (جدول ۱). همبستگی مثبت معنی دار در سطح ۱ درصد ( $r=0/845$ ) بین عرض برگ و طول برگ مشاهده گردید، به طوریکه گیاهان با عرض برگ بیشتر، طول برگ بزرگتری داشتند. همچنین بین سطح برگ و طول برگ همبستگی مثبت معنی دار در سطح ۱ درصد ( $r=0/466$ ) مشاهده شد. همبستگی مثبت معنی داری بین سطح برگ و عرض برگ ( $r=0/437$ ) در سطح ۱ درصد مشاهده شد. گیاهان با سطح برگ بیشتر دارای عرض برگ وسیع تری بودند (جدول ۱). بین فنل کل و سطح برگ ( $r=0/294$ ) همبستگی مثبت معنی دار در سطح ۵ درصد مشاهده گردید.



شکل ۸. نمودار مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف شوری و ملاتونین روی قدرت مهار رادیکال DPPH برگ گیاه نعنای فلفلی در شرایط گلخانه. میانگین‌هایی که دارای حروف یکسان هستند در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی داری از لحاظ آماری ندارند.

**Figure 8. Comparison of the mean interaction effects of different levels of melatonin and salinity on DPPH Inhibition percent of leaf peppermint plants under greenhouse condition. Means with the same letter do not have a significant difference ( $p < 0.01$ ).**

نتایج یک مطالعه روی نعنای فلفلی نشان داد که ضرایب همبستگی بین وزن تر و خشک بوته گیاه نعنای فلفلی با قطر تاج پوشش مثبت و معنی دار می باشد. همچنین ضرایب همبستگی بین ارتفاع بوته و قطر تاج پوشش، تعداد شاخه در بوته و طول گل آذین مثبت و معنی دار بود (Shahbazi *et al.*, 2020) که با یافته ای این تحقیق در مورد همبستگی مثبت معنی دار بین برخی صفات مورفولوژیکی همسو بود.

جدول ۱. همبستگی ساده بین صفات ارزیابی شده مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه نعنای فلفلی محلول پاشی شده با ملاتونین تحت تنش شوری در شرایط گلخانه.

Table 1. Simple correlation between morphological and biochemical traits of peppermint plants foliar sprayed with melatonin under salt stress in greenhouse conditions.

	MLL	MLW	LA	DPPH	Phenol	Flavonoid
MLL	1					
MLW	.845**	1				
LA	.446**	.437**	1			
DPPH	-0.118	-0.114	0.087	1		
Phenol	0.138	0.193	.294*	0.205	1	
Flavonoid	-0.114	0.021	-0.041	0.072	0.181	1

ns, \* و \*\* به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪

ns, \* and \*\* are not significant and significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

MLL: طول برگ، MLW: عرض برگ، LA: سطح برگ

## نتیجه گیری

کاهش رشد نشان دهنده اثر بازدارندگی کلرید سدیم بر فعالیت‌های متابولیکی گیاه است. کلرید سدیم ناشی از شوری با اثر بر رشد و تقسیم سلولی، سبب کاهش ایجاد سلولهای جدید و در نتیجه کاهش رشد و کاهش وزن در شرایط طبیعی می‌شود. همچنین، تنظیم اسمزی و سنتز محلولهای آلی فرآیندی انرژی خواه است، بنابراین می‌تواند در رشد گیاه اختلال ایجاد کرده و رقیبی برای منابع ذخیره ای گیاه باشد. این پژوهش نشان داد که تنش شوری به خصوص در غلظت های بالای نمک (۶ دسی زمینس بر متر) روی صفات مورفولوژیکی و محتوی فلاونوئید و فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه دارویی نعناع فلفلی اثر معنی دار داشته و موجب افزایش در مقادیر صفات اندازه گیری شده داشت و کاربرد ملاتونین به صورت محلول پاشی برگی به میزان ۵۰ تا ۱۵۰ میکرومولار سبب بهبود اثر منفی ناشی از تنش شوری شده است. همچنین همبستگی مثبت معنی دار بین صفات مورفولوژیکی مورد مطالعه مشاهده شد. با توجه به تحقیقات اندکی که در زمینه تنظیم کننده رشد ملاتونین و اثر همزمان آن با تنش های غیرزیستی در گیاهان دارویی تاکنون انجام شده، پژوهش های بیشتری در این زمینه توصیه می‌گردد.

## منابع

- Anagnostopoulou, M. A., Kefalas, P., Papageorgiou, V. P., Assimopoulou, A. N., & Boskou, D. (2006).** Radical scavenging activity of various extracts and fractions of sweet orange peel (*Citrus sinensis*). *Food chemistry*, 94(1), 19-25.
- Arora, D., & Bhatla, S. C. (2017).** Melatonin and nitric oxide regulate sunflower seedling growth under salt stress accompanying differential expression of Cu/Zn SOD and Mn SOD. *Free Radical Biology and Medicine*, 106, 315-328.
- Asghari, B., Mafakheri, S., Zengin, G., Dinparast, L., & Bahadori, M. B. (2020).** In-depth study of phytochemical composition, antioxidant activity, enzyme inhibitory and antiproliferative properties of *Achillea filipendulina*: a good candidate for designing biologically-active food products. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, 2196-2208.
- Basiri, M., Qamarnia, H., & Ghobadi, M. (2019).** The effect of different intensities of water deficit and salinity on leaf, stem and root growth of peppermint (*Mentha piperita* L.) *Water and Irrigation Management*, 10(1), 1-14.
- Batiha, G. E. S., Alqahtani, A., Ojo, O. A., Shaheen, H. M., Wasef, L., Elzeiny, M., ... & Hetta, H. F. (2020).** Biological properties, bioactive constituents, and pharmacokinetics of some *Capsicum* spp. and capsaicinoids. *International journal of molecular sciences*, 21(15), 5179.
- Chang, C., Yang, M., Wen, H. & Chern, J. (2002).** Estimation of total flavonoid content in Propolis by two complementary colorimetric methods. *Food Drug Analysis* 10, 178 -182.
- Costa, P. A., Ballus, C. A., Teixeira-Filho, J., & Godoy, H. T. (2010).** Phytosterols and tocopherols content of pulps and nuts of Brazilian fruits. *Food Research International*, 43(6), 1603-1606 239-250.
- Cui, G., Zhao, X., Liu, S., Sun, F., Zhang, C., & Xi, Y. (2017).** Beneficial effects of melatonin in overcoming drought stress in wheat seedlings. *Plant Physiology and biochemistry*, 118, 138-149.
- Danaei, E., & Abdousi, V. (2022).** The effect of silicon and nano silicon on some morphophysiological and phytochemical characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salt stress. *Iranian Medicinal and Aromatic Plant Research*, 37(1 (105th issue), 98-112.

- Derwich, E., Benziane, Z., & Boukir, A. (2010).** Chemical composition of leaf essential oil of *Juniperus phoenicea* and evaluation of its antibacterial activity. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12(2), 199-204.
- Fini, A., Guidi, L., Ferrini, F., Brunetti, C., Di Ferdinando, M., Biricolti, S., Pollastri, & Calamai, S. (2012).** Drought stress has contrasting effects on antioxidant enzymes activity and phenylpropanoid biosynthesis in *Fraxinus ornus* leaves: An excess light stress affair? *Journal of Plant Physiology*, 169(10), 929–939. doi: 10.1016/J.JPLPH.2012.02.014.
- Flexas, J., & Medrano, H. (2002).** Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. *Annals of botany*, 89(2), 183-189.
- Francesca, S. B., & Jovanka, P. N. (2013).** Síndrome apneico en el recién nacido prematuro. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 24(3), 396-40.
- Gholamnia, A. , Mosleh Arany, A. , Sodaeizadeh, H. , Tarkesh Esfahani, S. and Ghasemi, S. (2021).** The effects of salinity and heat stress on some physiological and vegetative characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.) at different time intervals. *Journal of Plant Biological Sciences*, 13(2), 39-52. doi: 10.22108/ijpb.2021.127818.1243
- Ghorbani, M., Movahedi, Z., Khairy, A., & Rostami. M. (2018).** The effect of salinity stress on some morphophysiological traits and the quantity and quality of peppermint essential oil (*Mentha piperita* L.) *Environmental Stresses in Agricultural Sciences* 11(2), 413-420.
- Hocking, E. J., & Hynd, P. I. (1994).** Cutaneous circulation is correlated with Merino wool production. *Australian journal of agricultural research*, 45(4), 757-767.
- Jia, J., Huang, C., Bai, J., Zhang, G., Zhao, Q., & Wen, X. (2018).** Effects of drought and salt stresses on growth characteristics of euhalophyte *Suaeda salsa* in coastal wetlands. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 103, 68-74.
- Khalvandi, M, Amerian, H., Pirdashti, M.R., Baradaran Firouzabadi, M., & Gholami. A. (2017).** The effect of symbiotic fungus (*Piriformospora indica* L) on the quantity of essential oil and some physiological traits of the medicinal plant peppermint under salinity stress, *Iranian Journal of Plant Biology*, 9(2), 1-20.
- Khorsandi, A.R. Jali, A.H. Hassani, F.S. Sefidkan, H.S. Shirzad, & Khorsandi. A.R. ( 2010).** The effect of salinity stress caused by sodium chloride on growth, yield, amount and essential oil compositions of (*Agastache foeniculum* L.) *Iranian Medicinal and Aromatic Plant Research*. 26(3), 438-451.
- Kiarostami, K.H., Mohseni, R. & Saboora, A. (2010).** Biochemical changes of *Rosmarinus officinalis* under salt stress. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 6(3), 114-122.
- Kumar, N., Acharya, A., Gendelman, H. E., & Byrareddy, S. N. (2022).** The outbreak and the pathobiology of the monkeypox virus. *Journal of autoimmunity*, 131, 102855.
- Min, J., Jeffery, A. A., Kim, Y., & Jung, N. (2019).** Electrochemical analysis of demonstrating CO tolerance of catalysts in polymer electrolyte membrane fuel cells. *Nanomaterials*, 9(10), 1425.
- Munns, R., & Tester, M. (2008).** Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59, 651-681.
- Ostadi, A., Javanmard, A., Amani Machiani, M., & Kakaei, K. (2022).** Optimizing antioxidant activity and phytochemical properties of peppermint (*Mentha piperita* L.) by integrative application of biofertilizer and stress-modulating nanoparticles under drought stress conditions. *Plants*, 12(1), 151.

**Ozturk A., Unlukara A., Ipek, A. & 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 Botany*, 36(4), 787-792.

**Pal, P. K., & Maitra, S. K. (2018).** Response of gastrointestinal melatonin, antioxidants, and digestive enzymes to altered feeding conditions in carp (*Catla catla*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 44, 1061-1073.

**Rabiei, S. M., Yeganeh, S., & Esmaeili Kharyeki, M. (2023).** Investigation of antioxidant properties of protein hydrolysate derived from Caspian Sea Mullet by-products. *Journal of Marine Science and Technology*, 22(4), 44-56.

**Russo, S. J., & Nestler, E. J. (2013).** The brain reward circuitry in mood disorders. *Nature reviews neuroscience*, 14(9), 609-625.

**Sadak, M. S., Sekara, A., Al-Ashkar, I., Habib-ur-Rahman, M., Skalicky, M., Brestic, M., & Abdelhamid, M. T. (2022).** Exogenous aspartic acid alleviates salt stress-induced decline in growth by enhancing antioxidants and compatible solutes while reducing reactive oxygen species in wheat. *Frontiers in Plant Science*, 13, 98764.

**Santander, C., Vidal, G., Ruiz, A., Vidal, C., & Cornejo, P. (2022).** Salinity eustress increases the biosynthesis and accumulation of phenolic compounds that improve the functional and antioxidant quality of red lettuce. *Agronomy*, 12(3), 598.

**Shahbazi Asl, F. & Jafari, A. A. (2020).** Investigation of Areal part yield and morphological traits in populations of *Mentha pulegium*. *Technology of Medicinal and Aromatic Plants of Iran*, 3(1), 29-39.

**Singleton, V. L., Orthofer, R. & Lamuela-Raventos, R. M. (1999).** Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology* 299, 152-178.

**Slinkard, K., & Singleton, V. L. (1977).** Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture* 28, 49 -55.

**Slinkard, K., Singleton, V. L. (1977).** Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture* 28, 49 -55.

**Soleimani Aghdam, M., & Razavi, F. (2024).** Phytomelatonin and resistance to abiotic stresses, Qazvin, *Imam Khomeini International University Publications*, 5(1), 67-77.

**Szczerba, M. W., Britto, D. T., & Kronzucker, H. J. (2009).** K<sup>+</sup> transport in plants: physiology and molecular biology. *Journal of plant physiology*, 166(5), 447-466.

**Tan, D. X., Hardeland, R., Manchester, L. C., Korkmaz, A., Ma, S., Rosales-Corral, S., & Reiter, R. J. (2012).** Functional roles of melatonin in plants, and perspectives in nutritional and agricultural science. *Journal of experimental botany*, 63(2), 577-597.

**Zhou, D., Li, M., Wang, X., Li, H., Li, Z., & Li, Q. (2024).** Effects of Exogenous Melatonin on the Growth and Physiological Characteristics of *Ginkgo biloba* L. under Salinity Stress Conditions. *Horticulturae*, 10(1), 89. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10010089>