مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۵ شماره ۳ صفحه‌های ۴۰۵ تا ۴۲۲ (۱۴۰۳)
مقاله پژوهشی

اثرات متیل جاسمونات بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه نعنا فلفلی (*Mentha piperita* L.) در شرایط تنش شوری

Effects of Methyl Jasmonate on Some Physiological and Biochemical Parameters of peppermint (*Mentha piperita* L.) under Salinity Stress Condition

قاسم اخبارفر*، پروان عقدک، مرتضی اسکندری و سیروس قبادی

گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (g.akhbarfar@ag.iut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۹/۶/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۲۸

چکیده

به منظور بررسی اثرات متیل‌جاسمونات در کاهش اثرات نامطلوب تنش شوری حاصل از کلریدسدیم در گیاهچه‌های نعنا فلفلی، آزمایشی فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه سطح هدایت الکتریکی ناشی از کلرید سدیم (dS/m ۶، ۳ و ۰) و متیل‌جاسمونات (mM ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰) انجام شد. نتایج نشان داد که تنش شوری، وزن تر و خشک، میزان پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی، محتوای نسبی آب، محتوای کلروفیل، پروتئین کل و شاخص فلورسانس کلروفیل را کاهش داد. صفاتی مانند نشت یونی و غلظت سدیم اندام هوایی و ریشه، فعالیت آنزیم های کاتالاز و اسکوربات پراکسیداز، درصد اسانس و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تحت تأثیر شوری افزایش یافت. کاربرد متیل‌جاسمونات ۰/۵ میلی‌مولار در حضور تیمار شوری شیش دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با تیمار شوری شیش دسی‌زیمنس بر متر و عدم کاربرد متیل‌جاسمونات، نشت یونی را ۴۳/۷۳ ٪ و سدیم اندام هوایی را ۲۹/۸۷ ٪ کاهش داد، اما وزن تر و خشک اندام هوایی را به ترتیب ۴۱/۹۱ ٪ و ۳۴/۸۹ ٪، محتوای نسبی آب برگ ۴۰/۵۳ ٪، نسبت پتاسیم به سدیم ۱۹۹/۱۷ ٪، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ۲۵/۱۳ ٪ و فعالیت آنزیم کاتالاز ۱۵/۰۲ ٪ و آسکوربات پراکسیداز را ۱۹/۴۳ ٪ افزایش داد و وضعیت گیاه تحت تنش را بهبود بخشید. در مجموع نتایج نشان داد که متیل‌جاسمونات می‌تواند پاسخ گیاه به تنش شوری را بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، متیل‌جاسمونات، نعنا فلفلی، ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی.

مقدمه

در سال‌های اخیر استفاده از گیاهان دارویی به دلیل ویژگی‌هایی نظیر فواید درمانی، ارزان بودن، نداشتن اثرات جانبی و نیز سازگاری با محیط‌زیست روز به روز در حال گسترش است (Khosravipour *et al.,* 2014,). نیاز بسیار بالای صنعت داروسازی به مواد مؤثره گیاهان دارویی، تأمین این مواد از طبیعت به تنهایی را، غیر ممکن ساخته است و بسیاری از این گیاهان باید در مزارع بزرگ کشت شوند. به منظور حفظ کیفیت و مقدار ماده مؤثره گیاه، باید در همه فرآیند کاشت تا برداشت عوامل مهم اثرگذار در کمیت و کیفیت، در نظر گرفته شود (Zaman, 2008). با نزدیک شدن به اوج بهره‌برداری از منابع موجود آب‌های سطحی در بیشتر کشورها و کاهش دسترسی به منابع آب با کیفیت و مناسب برای کشاورزی و نیز باقی ماندن آب‌هایی با کیفیت بد، مانند آب‌های شور زیرزمینی، شور شدن زمین‌های کشاورزی و آب آبیاری به یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده‌ی رشد گیاهان در مناطق خشک تبدیل شده است (Al-Niemi *et al.,* 1992)، به‌گونه‌ای که تنش شوری پس از تنش خشکی از موانع اصلی تولید گیاهان دارویی در بسیاری از مناطق، به‌ویژه مناطق خشک می‌باشد. به‌طورکلی مهم‌ترین واکنش گیاه به افزایش شوری، کاهش رشد و عملکرد گیاه است. تأثیر تنش شوری بر رشد گیاه شامل ایجاد تنش اسمزی، سمیت یون‌ها و کمبود مواد غذایی در گیاه

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

است. همچنین شوری بر تمام فرآیندهای اصلی گیاه مانند سنتز پروتئین، متابولیسم چربی و انرژی مؤثر بوده و تمامی مراحل زندگی گیاه از جوانه‌زنی تا تولید بذر را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Parida & Das, 2005). نتایج بررسی انجام شده روی گیاه بادرنجبویه نشان داده‌است که افزایش مقدار شوری تا حد چهار دسی‌زیمنس بر متر عملکرد ماده خشک را کاهش داده است (Ozturk *et al.,* 2004). بررسی اثر تنش شوری بر دو گونه مریم‌گلی نشان داد که با افزایش سطح شوری، وزن خشک قسمت های هوایی و ریشه در هر دو گونه کاهش یافت (Aghai *et al.,* 2014). همچنین تنش شوری موجب بروز اختلالاتی در فرایندهای حیاتی گیاه از قبیل جذب و انتقال مواد غذایی، تعرق و فتوسنتز شده، بیوسنتز متابولیت‌های اولیه و ثانویه و فرآیندهای فیزیولوژیک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Parida & Das, 2005). به عنوان مثال تنش شوری موجب کاهش درصد اسانس در گیاه نعنا فلفلی شد. علاوه بر این، تنش شوری به دلیل رقابت سدیم با کاتیون‌های ضروری برای عملکرد سلول موجب محدود شدن جذب مواد معدنی می‌شود (Vatankhah *et al.,* 2017). درباره اثر شوری بر افزایش متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی گزارش‌های متفاوتی وجود دارد. در پژوهشی مشخص گردید که تنش شوری سبب کاهش برخی پارامترهای رشد و محتوای اسانس بابونه آلمانی[1] شد. همچنین گزارش شده است که با افزایش EC محلول غذایی، غلظت کل اسانس در گیاه شوید[2] کاهش یافت ولی در آویشن[3] غلظت کل و عملکرد اسانس افزایش نشان داد (Vatankhah *et al.,* 2017). شواهد همچنین نشان می‌دهد که تنش شوری باعث ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاهان مختلف و تولید رایکال‌های آزاد [سوپراکسید (O^{-2})، هیدروکسیل (OH)، پرهیدروکسی (HO_2) و رادیکال‌های آلوکسی (RO)] و مولکول‌های غیررادیکالی شامل [پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و اکسیژن یکتا] می‌شود که می‌توانند مولکول‌های بزرگی مانند کربوهیدرات، چربی‌ها، اسیدهای نوکلئیک و ساختار غشا را تخریب کنند (Parida & Das, 2005). برای زنده ماندن در چنین شرایطی گیاهان از سازوکارهای دفاعی خاصی بهره می‌برند و فرآیندهایی برای افزایش سازگاری و تحمل به شرایط نامساعد طبیعی ایجاد می‌کنند. از جمله این‌که سطح فعالیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی در سلول‌های گیاهی افزایش یافته و از این طریق گیاهان قادرند از خسارت رادیکال‌های آزاد ایجاد شده بکاهند (Parida & Das, 2005). ازجمله آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مهم می‌توان به سوپراکسیددیسموتاز، پراکسیدازها، کاتالاز و آنزیم‌های چرخه گلوتاتیون آسکوربات شامل آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، دهیدروآسکوربات ردوکتاز، مونودهیدروآسکوربات ردوکتاز و آنزیم‌های گلوتاتیون رداکتاز اشاره کرد، که نقش اساسی در متابولیزه کردن رادیکال‌های آزاد و جلوگیری از خسارات ناشی از تنش اکسیداتیو به عهده دارند (Parida & Das, 2005). همچنین گزارش شده است که تنش شوری با ایجاد تنش خشکی منجر به بسته شدن روزنه‌ها و کاهش پتانسیل آب بافت‌های متأثر از شوری می‌شود (Parida & Das, 2005)، تجمع کلروفیل در برگ‌ها کم شده و باعث محدود شدن فلورسانس فتوسیستم II می‌شود. در این شرایط به دنبال کاهش فتوسنتز و کاهش مصرف ATP و NADPH در چرخه کالوین عملکرد کوانتومی فتوسیستم II نیز کاهش می‌یابد. از جمله راهبردهای مهم برای مقابله با تنش شوری در گیاهان، بکارگیری هورمون‌های گیاهی می‌باشد که از مهم‌ترین آنها می‌توان اسید آبسیزیک، اسید سالیسیلیک، براسینواستروئیدها و جاسمونات‌ها را نام برد. متیل‌جاسمونات و اسیدجاسمونیک که تحت عنوان Jas معرفی می‌شوند، از تنظیم‌کننده‌های مهم گیاهی هستند که در بسیاری از فرآیندهای نموی و همچنین پاسخ‌های دفاعی در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی به‌کار گرفته می‌شوند (Dar *et al.,* 2015). گزارش‌های متعددی مبنی بر نقش جاسمونات‌ها برای مقابله با تنش شوری در بسیاری از گیاهان وجود دارد. برای مثال Yuan و همکاران (2018) گزارش کردند که کاربرد متیل‌جاسمونات تحت تنش بالای شوری سبب کاهش اثرات منفی تنش شوری شده و شاخص های رشدی و زیست‌توده گیاه لیمونیوم (استاتیس) را تحت تنش شوری شدید کاهش داده و باعث بهبود رشد گیاه و افزایش زیست توده شده است. همچنین در گزارشی دیگر به نقش متیل‌جاسمونات در بهبود شرایط رشدی گیاه در پاسخ به شرایط تنش زا نظیر شوری، خشکی و تنش‌های گرما و سرما اشاره شده است. در این گزارش به تاثیر مثبت متیل‌جاسمونات در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در پاسخ به شرایط تنش، تاثیر سیگنالی متیل‌جاسمونات در بیان ژن‌های درگیر در روابط فیزیولوژیکی تنش و همچنین به نقش آن در سنتز ترکیبات ثانویه دخیل در مقاومت به تنش‌ها اشاره شده است (Yu *et al.,* 2019). جاسمونات‌ها همچنین در فرایند القاء که باعث انباشت متابولیت‌های ثانویه می‌شود، به‌عنوان ترکیب‌های پیام‌رسان کلیدی معرفی شده‌اند (Parida & Das, 2005). متیل‌جاسمونات با توجه به غلظت استفاده شده، گونه گیاهی و مرحله رشد تأثیرهای

۱- *Matricaria chamomilia* L. ۲- *Anethum graveolens* L. ۳- *Thymus vulgaris* L.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

متفاوتی بر رشد و نمو گیاهان دارد. این ماده به‌طور معمول در غلظت‌های بسیار پایین اثر مثبت دارد و در غلظت‌های بالا تنش‌زا می‌باشد (Lorenzo, 2003). نعنا فلفلی[1] گیاهی است علفی، چندساله، ریزوم‌دار و متعلق به تیره Lamiaceae که از تلاقی بین گونه‌های *M. aquatic* و *M. spicata* به وجود آمده است. اسانس نعنا فلفلی و اجزای آن در صنایع داروسازی، غذایی، آرایشی و بهداشتی، نوشابه‌سازی و ادویه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد و در اکثر فارماکوپه‌ها خواص دارویی اسانس این گیاه تأیید شده‌است. از این گیاه برای درمان کم اشتهایی، سرماخوردگی، سرفه، تب، تهوع، سردرد،گرفتگی عضلات، نفخ و سوءهاضمه استفاده می‌شود. نعنا فلفلی یکی از پرمصرف‌ترین گیاهان دارویی است که مقدار تولید سالانه‌ی اسانس آن در جهان به حدود ۴۰۰۰ تن می‌رسد (Ghorbani *et al.*, 2018). ایران از نظر آب و هوا و موقعیت جغرافیایی برای کشت و کار این گیاه یکی از بهترین مناطق جهان محسوب می‌شود اما سطح وسیعی از زمین‌های کشاورزی تحت تنش شوری قرار دارد. از آنجایی که تاکنون گزارشات اندکی مبنی بر به‌کارگیری برون‌زای متیل‌جاسمونات بر گیاه نعنا فلفلی در شرایط تنش شوری وجود دارد، بنابراین این مطالعه با هدف بررسی تغییرات ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه نعنا فلفلی در سطوح مختلف تنش شوری همزمان با کاربرد افشانه متیل‌جاسمونات انجام شد. نتایج این پژوهش می‌تواند در راستای تولید بهینه آن مورد استفاده پرورش‌دهندگان قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر تنش شوری ناشی از کلرید سدیم و کاربرد افشانه متیل‌جاسمونات بر گیاه نعنا فلفلی، آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار، در مرداد ماه سال ۱۳۹۶ در گلخانه‌های پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان و در شرایط کنترل شده انجام شد. تیمارها شامل سه سطح شوری با کلرید سدیم (۶، ۳ و۰ دسی‌زیمنس بر متر) و محلول‌پاشی با متیل‌جاسمونات در سه سطح ۰/۵، ۰/۲۵ و صفر میلی‌مولار بود.

مواد گیاهی و شرایط کشت

نشاهای نعنا فلفلی پرورش یافته در گلخانه‌های پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان، با میانگین دمای روزانه ۲±۲۷ و میانگین دمای شبانه ۲±۲۲ درجه سلسیوس، میانگین ۱۴ ساعت دوره روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی، شدت نور طبیعی ۳۸۸/۸ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه در روز، رطوبت نسبی ۵۰-۶۰ درصد و در گلدان‌های پلاستیکی با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری و قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متری پر شده با مخلوط خاک رس، کود دامی پوسیده و ماسه به نسبت ۱:۱ :۲ کشت شدند. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است.

نحوه اعمال تیمارها

تمام گلدان‌ها از زمان انتقال نشاها در اوایل مرداد ماه ۱۳۹۶تا یک ماه بعد به صورت یکسان با آب معمولی آبیاری شدند. نحوه آبیاری به صورت دستی و در هر بار به میزان ۲۰۰ میلی‌لیتر آب به هر گلدان جهت آبیاری داده شد. یک ماه پس از انتقال نشاها به گلدان، تیمارهای شوری به تدریج اعمال شد. بدین منظور هفته اول سه روز یکبار، هفته دوم دو روز یکبار و از هفته سوم به بعد به‌طور روزانه تیمار شوری روی گیاهان اعمال شد. برای دستیابی به سطوح شوری مورد نظر در تیمارها، ابتدا هدایت‌الکتریکی مخلوط خاک مورد استفاده تعیین شد و کمبود نمک برای دستیابی به تیمارهای مورد نظر از طریق رابطه یک (Hashemi Nia *et al.*, 2016) محاسبه و مقدار نمک مورد نیاز به آب آبیاری افزوده شد و با دستگاه سنجش هدایت الکتریکی مدل (Adventurer Pro AV114) مقدار هدایت الکتریکی خاک گلدان‌ها کنترل گردید. در پایان هر هفته به منظور جلوگیری از تجمع نمک، گلدان‌ها با آب معمولی آبشویی شدند.

رابطه (۱) محاسبه مقدار نمک برای اعمال تنش شوری

$$TDS\ (mg/lit) = EC \times 640$$

TDS: کل مواد جامد محلول

EC: هدایت الکترولیتی

افشانه متیل‌جاسمونات (محصول شرکت سیگما)، یک هفته پس از اعمال تیمار شوری در ابتدای صبح، روی بوته‌های نعنا فلفلی به فاصله هفت روز، سه بار انجام شد. گیاهان حدود یک ماه پس از اعمال تنش شوری برداشت شدند و صفات مورد نظر اندازه‌گیری شد.

۱- *Mentha piperita* L.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش.

Table 1- Physio-chemical characteristics of the soil used in the t experiment.

نوع ساختار خاک Soil textur	شنی – لومی – رسی Sandy - loam - clay
Volumetric moisture at field capacity (%) رطوبت حجمی در شرایط ظرفیت مزرعه(٪)	28.2
Volumetric moisture at the wilting point (%) رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی(٪)	12.6
Soil acidity اسیدیته خاک	7.8
Electrical conductivity of soil saturated extract (ECe) هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک	2.53
Organic materials (%) مواد آلی (٪)	1.5
Lime آهک	33.5
Nitrogen (%) نیتروژن(٪)	0.247
Absorbable phosphorus (mg/kg soil) فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)	49.5
Absorbable potassium (mg/kg soil) پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلو رم خاک)	160
Iron (mg/kg soil) آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)	23.4
Zinc (mg/kg soil) روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)	19.5

درصد نشت یونی

برای اندازه‌گیری نشت یونی از برگ‌های جوان، پنج عدد دیسک برگی تهیه، با آب مقطر شستشو و درون لوله‌های آزمایش حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر دیونیزه قرار داده شدند. سپس لوله‌های آزمایش بر روی یک تکان‌دهنده[1] به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط قرار داده شدند و مقدار هدایت الکتریکی اولیه محلول (EC_1) اندازه‌گیری شد. پس از آن نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس اتوکلاو شدند و در نهایت هدایت الکتریکی ثانویه محلول (EC_2) بعد از به تعادل رسیدن با دمای محیط دوباره اندازه‌گیری شد (Lutts *et al.,* 1996). نشت یونی هر نمونه از طریق رابطه ۲ محاسبه شد.

رابطه (۲) محاسبه درصد نشت یونی

$$\text{درصد نشت یونی} = EC_1 / EC_2 \times 100$$

محتوای نسبی آب برگ (Relative Water Content)

محتوای نسبی آب برگ به روش Weatherley (1950) اندازه‌گیری شد و مقدار محتوای نسبی آب از طریق رابطه (۳) محاسبه شد.

رابطه (۳)

$$RWC = (FW-DW) / (TW-DW) \times 100$$

FW= وزن تر برگ DW= وزن خشک برگ TW= وزن اشباع برگ

رنگیزه‌های فتوسنتزی

استخراج و سنجش کلروفیل بر اساس روش Lichtenthaler و Wellburn (1983) انجام شد و در نهایت مقدار کلروفیل a، b و کل برحسب میلی‌گرم در گرم بافت تر برگ از طریق روابط (۶-۴) محاسبه شد.

رابطه (۴)

$$Chl.\ a = (19/3\ A663 - 0/86\ A645)\ V/100W$$

رابطه (۵)

$$Chl.\ b = (19.3\ A645 - 3.6\ A663)\ V/100W$$

۱- Shaker

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

رابطه (۶) Chl. T = Chl. a + Chl. b

غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم اندام هوایی و ریشه

به منظور اندازه‌گیری غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم در برگ و ریشه گیاه ابتدا نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک و سپس پودر گردید. پس از آن یک گرم از پودر نمونه‌ها در کوره الکتریکی با دمای ۵۸۰ درجه سلسیوس به مدت چهار ساعت حرارت داده شدند. خاکستر به دست آمده با ۲۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال شستشو داده شد تا کاتیون‌ها آزاد شوند. برای اندازه‌گیری یون‌های سدیم و پتاسیم در محلول حاصله از دستگاه فلم‌فتومتر (مدل PFP7) و منحنی استاندارد استفاده شد (Page *et al.,* 1982).

فعالیت آنزیم کاتالاز

بررسی میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) با بررسی کاهش مقدار پراکسید هیدروژن در طول موج ۲۴۰ نانومتر انجام شد. مخلوط واکنش شامل بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷) و پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی‌مولار بود. واکنش با افزودن ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی در حجم نهایی سه میلی‌لیتر آغاز شد. تغییرات جذب در ۲۴۰ نانومتر به مدت سه دقیقه ثبت شد. سپس فعالیت آنزیم به صورت µmol/g FW min محاسبه شد (Dazy *et al.*, 2008).

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

برای سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX)، مخلوط واکنش شامل بافر فسفات ۲۵۰ میلی‌مولار(pH= ۷)، آب اکسیژنه ۱/۲ میلی‌مولار، اسید آسکوربیک ۰/۵ میلی‌مولار و EDTA ۰/۱ میلی‌مولار بود. با اضافه کردن آب اکسیژنه به مخلوط واکنش فعالیت آنزیمی شروع شد. کاهش جذب نور به علت پراکسیداسیون اسید آسکوربیک در طول موج ۲۹۰ نانومتر به مدت دو دقیقه با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (Dazy *et al.*, 2008).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره برگی از روش خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد DPPH (۲ و ۲ دی فنیل ۱-پیکریل هیدرازیل) تعیین شد (Pang *et al.*, 2007). برای این منظور به یک میلی‌لیتر از عصاره گیاهی دو میلی‌لیتر محلول متانولی DPPH، ۰/۱۵ میلی‌مولار اضافه شد. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار داده شدند، سپس جذب نمونه گیاهی و شاهد (دو میلی‌لیتر DPPH+ یک میلی‌لیتر متانول) در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری و به صورت درصد بازدارندگی DPPH با استفاده از رابطه (۸) محاسبه شد.

رابطه (۸) رابطه درصد ممانعت کنترلی (ظرفیت آنتی‌اکسیدانی) DPPHsc = (Acont – Asamp) / Acont × 100

اندازه‌گیری اسانس

به منظور اندازه گیری میزان اسانس، گیاهان در پایان کار کامل برداشت و در سایه و دمای ۳۰ درجه سلسیوس خشک گردیدند. استخراج اسانس با استفاده از روش تقطیر با آب صورت گرفت. به این روش که برگ‌ها و سرشاخه‌های خشک شده با اضافه کردن آب درون بالون تا دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس گرما داده شده پس از جوشیدن به مدت سه ساعت در دستگاه کلونجر با استفاده از پترولیوم جداسازی شد. در انتها با داشتن وزن اولیه ماده خشک و وزن اسانس با استفاده از رابطه زیر بازده اسانس به دست می‌آید (Clevenger, 1928).

رابطه (۹) بازده اسانس(٪) = (وزن خشک/وزن اسانس) * ۱۰۰

استخراج پروتئین کل

محتوای پروتئین کل با استفاده از روش Bradford (1976) در طول موج ۵۹۵ نانومتر، با استفاده از آلومین سرم گاوی (BSA) به عنوان استاندارد تعیین شد.

فلورسانس کلروفیل

به منظور اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل در آخرین برگ توسعه یافته از دستگاه فلورسانس کلروفیل‌سنج Handytech instrument استفاده شد. به این منظور برگ‌ها با استفاده از گیره‌های مخصوص به مدت ۲۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند. سپس حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) قرائت شد.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه

تمام اندام هوایی و ریشه گیاه برداشت و وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد، سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها یادداشت گردید.

واکاوی آماری داده‌ها

داده‌های حاصل از آزمایش با کمک نرم‌افزار SAS واکاوی و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

نشت یونی برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که، تیمار شوری، متیل‌جاسمونات و برهمکنش شوری و متیل‌جاسمونات در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری بر درصد نشت یونی داشتند. مقایسه میانگین تیمارهای شوری و متیل‌جاسمونات نشان داد با افزایش شوری مقدار نشت یونی‌به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، در صورتی که کاربرد متیل‌جاسمونات به‌طور معنی‌داری نشت یونی را کاهش داد (جدول ۲). برهمکنش شوری و متیل‌جاسمونات نشان داد بیشترین میزان نشت یونی مربوط به سطح شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و بدون کاربرد متیل‌جاسمونات (میانگین ۸۴/۷۲٪) بود، در حالی‌که کمترین درصد نشت یونی در برهمکنش سطوح شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر و با کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات (با میانگین ۲۳/۳۶ ٪) مشاهده شد، از طرفی برهمکنش تیمار شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات نشت یونی در مقایسه با برهمکنش شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات شاخص نشت یونی به‌طور معنی‌دار (میانگین ۵۶/۲۶٪) کاهش پیدا کرد (شکل ۱-الف). تحقیقات نشان داده است که تنش باعث کاهش پایداری غشاء و افزایش درصد آسیب‌پذیری و نشت الکترولیتی می‌شود. بنابراین در این پژوهش درصد نشت الکترولیتی به عنوان یک عامل پیش‌بینی آسیب وارد بر غشاء مورد بررسی قرار گرفت. مشابه با نتایج سایر پژوهش‌ها (Parida & Das, 2005)، در این پژوهش نیز با افزایش سطوح شوری، درصد نشت یونی افزایش یافت. افشانه میتل‌جاسمونات با بالا نگه‌داشتن سطح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز مانع اثر رادیکال‌های آزاد حاصل از تنش بر غشاء سلول می‌شود (Wang, 1999). همچنین Wang (1999) در بررسی تأثیر متیل‌جاسمونات روی توت‌فرنگی گزارش کرد که متیل جاسمونات، پراکسیداسیون چربی‌های غشاء و احیاء آنها را کاهش داد که نشان دهنده کاهش خسارت اکسیداتیو به موجب استفاده از متیل‌جاسمونات می‌باشد که تأیید کننده نتایج پژوهش حاضر می‌باشند.

محتوای نسبی آب برگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها مشاهده شد که شوری، کاربرد متیل‌جاسمونات و همچنین برهمکنش شوری و متیل‌جاسمونات تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر محتوای نسبی آب برگ داشتند. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش سطوح شوری، محتوای نسبی آب برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت از طرفی با کاربرد متیل جاسمونات محتوی نسبی آب در مقایسه با کاربرد شوری افزایش پیدا کرد (جدول ۲). بر اساس برهمکنش شوری و متیل‌جاسمونات مشخص شد که بیشترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به تیمار شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات (با میانگین ۸۷/۵۱ ٪) و کمترین محتوای نسبی آب برگ در برهمکنش شوری dS/m ۶ و بدون کاربرد متیل‌جاسمونات (با میانگین ۵۱/۱۷٪) مشاهده شد. همچنین برهمکنش تیمار شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات نشت یونی در مقایسه با برهمکنش شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار صفر میلی‌مولار متیل‌جاسمونات شاخص محتوای نسبی به‌طور معنی‌دار (میانگین ۴۰/۵۳٪) افزایش داد (جدول ۲) (شکل ۱- ب). کاهش محتوای نسبی آب برگ، پاسخ عمومی گیاهان در تنش اسمزی از ویژگی بسیار مناسبی جهت تعیین وضعیت آب در گیاه است (Parida & Das, 2005). با افزایش سطوح شوری و اثر منفی حاصل از این تنش وضعیت محتوی نسبی آب برگ در نتیجه تخریب غشا و اثرات مخرب تنش کاهش می‌یابد. بر طبق این گزارش با اعمال تیمار تنش شوری محتوی نسبی آب برگ گیاه گل گاوزبان اروپایی در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت، در حالی‌که با محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات به بهبود شرایط رشدی و کاهش اثرات منفی تنش محتوی نسبی آب برگ در

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

مقایسه با تیمارهای شوری بدون کاربرد متیل‌جاسمونات به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Taheri *et al.*, 2020). همچنین Ahmadi و همکاران (2018) گزارش کردند که تنش شوری سبب کاهش محتوی آب نسبی برگ های گیاه کلزا شده که می‌تواند به دلیل کاهش توانایی جذب آب توسط ریشه گیاه در شرایط شوری باشد، همچنین در این گزارش به اثر مثبت کاربرد متیل‌جاسمونات در کاهش اثرات منفی تنش و افزایش محتوی نسبی آب برگ در شرایط تنش شوری اشاره شده است که نتایج مطالعات مذکور با نتایج مطالعه حاضر در ارتباط با کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش شوری و افزایش آن تحت تیمار متیل‌جاسمونات مطابقت داشت (Parida & Das, 2005).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارهای متیل‌جاسمونات و شوری بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه نعنا فلفلی.

Table 2. Mean comparision for the effect of MeJA (mM) and salinity (ds/m) treatments on some physiological traits of peppermint

تیمارها Treatments	نشت یونی Ion leakage (%)	محتوای نسبی آب Relative water content (%)	وزن تر اندام هوایی Aerial F.W. (g/plant)	وزن خشک اندام هوایی Aerial D. W. (g/plant)	وزن تر ریشه Root F.W. (g/plant)	وزن خشک ریشه Root D. W. (g/plant)	وزن تر اندام هوایی به ریشه Aerial F.W. / Root F.W.
شوری ds/M Salinity (ds/m)							
0	25.73c†	85.23 a	9.51 a	1.004 a	4.69 a	0.44 a	2.03 a
3	57.74b	67.08 b	7.90 b	0.84 b	4.59 a	0.43 a	1.72 b
6	68.29 a	61.56 c	6.81 c	0.70 c	4.52 a	0.45 a	1.51 c
متیل‌جاسمونات mM MeJA (mM)							
0	63.54 a	63.78c	8.02 b	0.83 b	4.75 a	0.47 a	1.69 b
0.25	51.15 b	71.83 b	7.39 b	0.77 b	4.35 b	0.41 b	1.70 b
0.5	37.07 c	78.37 a	8.81 a	0.95 a	4.69 a	0.44 b	1.87 a

†Means followed by the same letter(s) in each column are not significantly different at 5% level of probability.

†در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند.

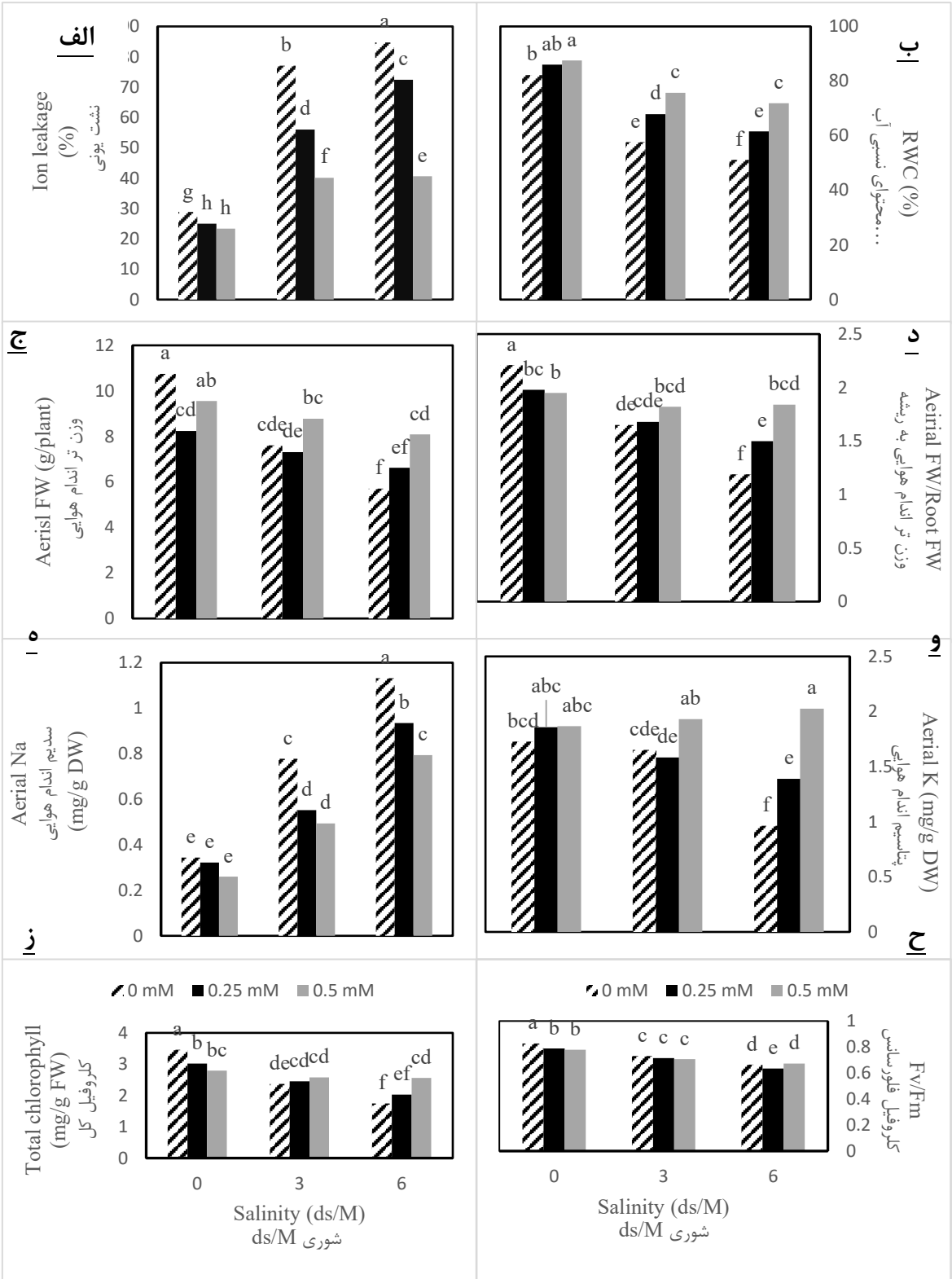
وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و نسبت وزن تر اندام هوایی به ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص وزن تر و خشک اندام هوای و ریشه نشان داد که تیمارهای شوری بر شاخص‌های وزن تر وخشک اندام هوایی و نسبت وزن تر اندام هوایی به وزن تر ریشه در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌دار داشت، در حالی‌که در بین تیمارهای شوری بر شاخص وزن تر و خشک ریشه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. کاربرد متیل‌جاسمونات بر شاخص‌های وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد و بر شاخص نسبت وزن تر اندام هوایی به وزن تر ریشه در سطح احتمال پنج درصد اثر معنی‌دار داشت. برهمکنش تیمارهای تنش شوری و متیل‌جاسمونات بر شاخص وزن تر اندام هوایی و نسبت وزن تر اندام هوایی به وزن تر ریشه تفاوت معنی‌دار یک درصد را نشان داد، در حالی‌که برهمکنش شوری و متیل‌جاسمونات بر وزن خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه از نظرآماری دارای اختلاف معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین داده‌های مربوط به برهمکنش تیمارهای شوری و متیل‌جاسمونات نشان داد که با افزایش سطوح شوری و کاهش سطح کاربرد متیل‌جاسمونات شاخص‌های وزن تر اندام هوایی و نسبت وزن تر اندام هوایی به وزن ریشه کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که بیشترین میزان این دو شاخص در برهمکنش شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر (شاهد) و بدون کاربرد متیل‌جاسمونات با میانگین ۱۰/۷۵۰ گرم وزن تر و با میانگین ۲/۲۱۶۵ برای نسبت وزن تر اندام هوایی به وزن تر ریشه مشاهده شد، در حالی‌که کمترین میزان وزن تر اندام هوایی و نسبت وزن تر اندام هوایی به وزن تر ریشه در برهمکنش برهمکنش شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و بدون کاربرد متیل‌جاسمونات با میانگین ۵/۷۰۴ گرم برای وزن تر و با میانگین ۱/۱۹۵۹ برای نسبت وزن تر اندام هوایی به وزن تر ریشه به ثبت رسید (شکل ۱- ج و د). همچنین بر اساس مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای شوری بر شاخص وزن خشک اندام هوایی مشخص شد که بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی در تیمار شاهد با میانگین ۱/۰۰۳۹ گرم

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

و کمترین میزان این شاخص تحت تیمار شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر با میانگین ۰/۷۰۱۳ گرم بود. مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای متیل‌جاسمونات برشاخص وزن تر و خشک ریشه نیز نشان داد میزان این دو شاخص تحت تیمارهای متیل‌جاسمونات در مقایسه با تیمار شاهد کاهش پیدا کرد. (جدول ۲). در شرایط شور در نتیجه فرآیندهای اسمزی و کاهش جذب آب و عناصر غذایی، کاهش آماس سلول‌ها و سطح برگ و به دنبال آن کاهش وزن خشک رخ می‌دهد. بالا رفتن مصرف انرژی در گیاه برای خروج یون‌های سدیم مهاجم که در محیط به مقدار زیاد وجود دارند و نیز مصرف مقدار زیاد انرژی سلولی برای سازش و مقابل با تنش شوری از دیگر دلایل کاهش رشد گیاه در اثر شوری است (Parida & Das, 2005). همچنین گزارش شده است که به هم خوردن تنظیم اسمزی، کاهش آب قابل دسترس و عدم تعادل عناصر غذایی و از طرفی با کاهش تبادلات گازی به دلیل بسته شده روزنه‌ها که سبب کاهش فتوسنتز می‌شود، وزن خشک و بیومس گیاه کاهش می‌یابد (Parida & Das, 2005; Taheri *et al.*, 2020). گزارش‌های متعددی مبنی بر کاهش تولید ماده خشک در اثر افزایش غلظت سدیم در گیاهان وجود دارد (Ahmadi *et al.*, 2018; Yu *et al.*, 2019). ارچنگی و همکاران نیز در آزمایشی روی سه توده شنبلیله به نتایج مشابهی دست یافتند. سمیت احتمالی ناشی از تجمع بیش از حد یون سدیم در اندام‌های گیاهی، کاهش تولید ماده خشک را به همراه خواهد داشت. معمولاً در شرایط تنش شوری، روزنه‌های هوایی بسته می‌شود و به دلیل کاهش تبادلات گازی، مقدار فتوسنتز کاهش می‌یابد. در نهایت، شوری می‌تواند رشد ریشه را نیز متوقف نموده و بدین طریق ظرفیت جذب و انتقال آب و عناصر غذایی از خاک به طرف اندام هوایی را کاهش دهد اگرچه در این پژوهش رشد ریشه تحت تأثیر شوری واقع نشد (Archangi *et al.*, 2012). کاهش رشد طی تنش شوری در گونه‌های مختلف نعنا مانند *M. piperita* و *M. Canadensis* نیز گزارش شده است (Vatankhah *et al.,* 2017). همچنین شوری با کاهش سنتز تحریک کننده‌های رشد گیاه مانند سیتوکینین و افزایش بازدارنده‌های رشد مانند اسید آبسیزیک باعث کاهش رشد گیاه می‌شود (Parida & Das, 2005). گزارش شده کاربرد متیل‌جاسمونات زیست‌توده گونه‌های گیاهی مختلف را در شرایط شوری افزایش داده و از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای و مقدار تعرق، موجب ذخیره آب و افزایش فشار تورژسانس در بافت‌ها و سرانجام موجب بهبود وزن تر و خشک گیاه می‌گردد؛ همچنین متیل‌جاسمونات، از طریق تأثیر بر تقویت سیستم دفاعی و فتوسنتز باعث بهبود مقاومت گیاهان در شرایط تنش شوری می‌شود که تأیید کننده نتایج حاصل از این پژوهش می‌باشد (Yu *et al*., 2019).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]



شکل ۱- برهمکنش شوری و متیل‌جاسمونات بر نشت یونی، محتوای نسبی آب، وزن تر اندام هوایی، نسبت وزن تر اندام هوایی به ریشه، مقدار سدیم اندام هوایی، پتاسیم اندام هوایی، مقدار کلروفیل کل و شاخص فلورسانس کلروفیل در نعنا فلفلی. در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشابه اختلاف آماری معنی‌داری (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 1. Interaction between salinity (ds/M) and MeJA (mM) on ion leakage, RWC, aerial F. W., aerial F. W./root F. W., aerial Na, aerial K, Total Chlorophyll and Fv/Fm in peppermint. Means followed by the same letter (s) in each column are not significantly different (LSD) at 5% level of probability.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

محتوای سدیم، پتاسیم و نسبت آنها

مشاهده تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص‌های میزان سدیم و پتاسیم اندام هوایی و زیر زمینی و نسبت آن‌ها بهم نشان داد که تیمارهای شوری و متیل‌جاسمونات بر این شاخص‌ها از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف معنی‌دار بود، در حالی‌که برهمکنش های شوری و متیل‌جاسمونات بر شاخص میزان سدیم اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد و بر شاخص‌های میزان پتاسیم اندام هوایی و اندام زیر زمینی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار نشان داد. همچنین قابل ذکر است که برهمکنش تیمارهای شوری و متیل‌جاسمونات بر شاخص‌های میزان سدیم اندام زیر زمینی، نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی و زیر زمینی اختلاف معنی‌دار نشان نداد.

مشاهده نتایج مقایسه میانگین داده‌های اثرات ساده تیمارهای شوری نشان داد که با افزایش سطوح شوری میزان سدیم اندام هوایی و زیرزمینی به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش می‌یابد به گونه‌ای که بیشترین میزان سدیم اندام زیر زمینی با میانگین ۱/۰۸۱۸ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک مربوط به تیمارهای شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین میزان سدیم اندام زیر زمینی با میانگین ۰/۳۰۲۸ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک مربوط به تیمار شاهد شوری بود. همچنین تحت تیمار شوری نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی و نسبت پتاسیم به سدیم اندام زیر زمینی در مقایسه با شاهد کاهش معنی‌داری از نظر آماری نشان داد. بیشترین میزان نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی و نسبت پتاسیم به سدیم اندام زیرزمینی به ترتیب با میانگین‌های ۶/۱۸۴۰ و ۸/۱۲۱۰ مربوط به تیمار شاهد بود، در حالی‌که کمترین میزان این شاخص‌ها مربوط به تیمار شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر بود (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای متیل‌جاسمونات و شوری بر محتوی برخی عناصر گیاه نعنا فلفلی.

Table 3. Mean comparision for the effect of MeJA (mM) and salinity (ds/M) treatments on some physiological traits of peppermint

تیمارها Treatments	سدیم اندام هوایی Aerial Na (mg/g DW)	پتاسیم اندام هوایی Aerial K (mg/g DW)	نسبت K/Na در اندام هوایی Aerial K/Na	سدیم ریشه Root Na (mg/g DW)	پتاسیم ریشه Root K (mg/g DW)	نسبت K/Na در ریشه Root K/Na
Salinity (ds/m) شوری						
0	0.31 c†	1.82 a	4.18 a	0.30 c	2.37 b	8.12 a
3	0.61 b	1.72 a	3.007 b	0.75 b	2.80 a	3.83 b
6	0.95 a	1.46 b	1.64 c	1.08 a	2.54 b	2.47 c
MeJA (mM) متیل‌جاسمونات mM						
0	0.75 a	1.49 c	2.77 c	0.82 a	2.53 b	4.31 b
0.25	0.60 b	1.61 b	3.46 b	3.68 b	2.33 c	4.51 b
0.5	0.52 c	1.94 a	4.6 a	0.63 b	2.86 a	5.61 a

†Means followed by the same letter(s) in each column are not significantly different at 5% level of probability

†در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند.

مقایسه میانگین‌های داده های مربوط به اثر ساده متیل‌جاسمونات نشان داد که با افزایش سطوح متیل‌جاسمونات نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی و نسبت پتاسیم به سدیم اندام زیر زمینی در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری از نظر آماری نشان داد. بیشترین میزان نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی و نسبت پتاسیم به سدیم اندام زیرزمینی به ترتیب با میانگین‌های ۴/۶۰۰۰ و ۵/۶۱۱۲ مربوط به تیمار ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات بود، در حالی‌که کمترین میزان نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی با میانگین۲/۷۷۰ مربوط به تیمار شاهد متیل‌جاسمونات و کمترین نسبت پتاسیم به سدیم اندام زیرزمینی با میانگین ۴/۳۰۹۸ مربوط به تیمار ۰/۲۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات بود. قابل ذکر است در نسبت پتاسیم به سدیم اندام زیر زمینی بین تیمار شاهد و تیمار ۰/۲۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات اختلاف معنی‌داری از نظر آماری دیده نشد (جدول ۳). برهمکنش تیمارهای شوری و متیل‌جاسمونات نشان داد که با افزایش سطوح شوری و کاهش سطح متیل‌جاسمونات بیشترین میزان سدیم اندام هوایی

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

مربوط به تیمار ۶ دسی‌زمینس بر متر و عدم کاربرد متیل‌جاسمونات با میانگین ۱/۱۳۲۸ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک و کمترین میزان این شاخص مربوط به برهمکنش ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات و شاهد شوری با میانگین ۰/۲۶۰۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک دیده شد. همچنین برهمکنش شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و متیل‌جاسمونات ۰/۵ میلی‌مولار در مقایسه با برهمکنش شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و عدم کاربرد متیل‌جاسمونات میزان سدیم اندام هوایی را ۲۹/۸۷ درصد کاهش داد (شکل ۱- هـ). در شاخص میزان پتاسیم اندام هوایی و پتاسیم اندام زیرزمینی مقایسه میانگین نتایج برهمکنش‌ها نشان داد که بیشترین میزان این دو شاخص مربوط به برهمکنش شوری ۶ دسی‌زیمنس بر مترمربع و سطح ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات با میانگین ۲/۰۲۵۹ و ۳/۱۰۳۰ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک به ترتیب برای میزان پتاسیم اندام هوایی و پتاسیم اندام زیر زمینی به ثبت رسید (شکل ۱- و)، در حالی‌که کمترین میزان پتاسیم اندام هوایی مربوط به برهمکنش شوری ۶ دسی‌زمنس بر متر و عدم کاربرد متیل‌جاسمونات با میانگین ۰/۹۶۴۷ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بود. قابل ذکر است که کمترین میزان پتاسیم اندام زیرزمینی در برهمکنش شاهد شوری و ۰/۲۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات با میانگین ۰/۸۵۸۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک مشاهده شد. بین برهمکنش شاهد شوری و ۰/۲۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات و برهمکنش شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر وعدم کاربرد متیل‌جاسمونات از نظر آماری در شاخص میزان پتاسیم ریشه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. به عبارتی با افزایش سطوح شوری میزان سدیم اندام زیر زمینی و اندام هوایی با تجمع سدیم افزایش پیدا کرده و جایگزین عنصر پتاسیم می‌شود. با کاربرد متیل‌جاسمونات جذب سدیم کاهش پیدا کرده و نسبت پتاسیم به سدیم افزایش می‌یابد. یکی از مهم‌ترین اثرات نامطلوبی که تنش شوری می‌تواند بر رشد گیاهان داشته باشد، تجمع برخی یون‌های سمّی به‌ویژه سدیم در بافت‌های گیاهی است. انباشت بالای سدیم در اندام هوایی موجب مشکلات اسمزی و متابولیکی در گیاه شده و سمیّت احتمالی ناشی از تجمع بیش از اندازه این یون در اندام گیاهی را به دنبال خواهد داشت (Parida & Das, 2005). محققین گزارش کرده‌اند که به‌طورکلی در شرایط شور قابلیت جذب عناصر غذایی در محلول خاک به دلیل غلظت زیاد یون‌های کلرید و سدیم کاهش یافته و منجر به اختلال در تغذیه می‌شود. همچنین با افزایش میزان شوری گیاه هنگام جذب آب مقادیر بالایی از سدیم موجود در خاک و آب قابل را جذب می‌کند که همین سدیم جذب شده عامل بسیاری از واکنش‌های فیزیولوژیکی مخرب است (Taheri *et al*., 2020). پتاسیم یک یون ضروری برای رشد و توسعه گیاه است. از آنجا که پتاسیم در تنظیم فشار اسمزی سلول گیاهی، افزایش مقاومت گیاه به خشکی، بهبود وضعیت نفوذپذیری غشاء سلول و بهبود روابط آب سلول‌های ریشه نقش دارد، با افزایش جذب این کاتیون اثرهای زیان‌بار یون سدیم کاهش و تحمل گیاه به شوری افزایش می‌یابد. رشد موفق بسیاری از گیاهان در محیط‌های شور به دلیل حفظ نسبت بالاتر K^+/Na^+ در مقایسه با سایرین است. زمانی که گیاهان یون سدیم را برای تنظیم اسمزی مصرف می‌کنند، باید توانایی انتخاب یون پتاسیم را از محیطی با غالبیت یون سدیم داشته باشند و همزمان قادر به جمع‌آوری مقدار کافی یون‌های سدیم برای تنظیم اسمزی نیز باشند (Khademalhosseini *et al*., 2018). به نظر می‌رسد که متیل‌جاسمونات با کاهش جذب سدیم توسط گیاه و افزایش نسبت پتاسیم به سدیم منجر به افزایش مقاومت به شوری می‌شود. همچنین ثابت شده است که متیل‌جاسمونات باز شدن روزنه‌ای را مهار کرده، در نتیجه مقدار تعرق کاهش می‌یابد. بنابراین کاهش تعرق ممکن است منجر به انتقال محدود سدیم از ریشه به اندام هوایی گردد (Fedina & Tsonev, 1997). در این پژوهش نیز تنش شوری موجب افزایش غلظت سدیم و کاهش نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه شد، که با یافته‌های Salimi و همکاران (2012) در گیاه بابونه مطابقت داشت. همچینین نتایج پژوهش حاضر مبنی بر اثر متیل‌جاسمونات بر کاهش جذب شدیم توسط گیاه با نتایج Taheri و همکاران (2020) در آزمایش اثر متیل‌جاسمونات بر کاهش اثر تیمار شوری بر گل گاو زبان اروپایی مطابقت داشت. به نظر می‌رسد متیل‌جاسمونات با استفاده از سازوکارهایی نظیر جلوگیری از ورود نمک و جذب ترجیحی یون پتاسیم موجب بهبود مقاومت گیاه نعنا فلفلی در شرایط شوری شده است.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

محتوای کلروفیل

تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که، تیمار شوری و برهمکنش شوری و متیل‌جاسمونات در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل a، کلروفیلb و کلروفیل کل داشتند، در حالی‌که تیمارهای متیل‌جاسمونات بر شاخص‌های نامبرده از لحاظ آماری اثر معنی‌داری را اعمال نکرد. مقایسه میانگین تیمارهای شوری و متیل‌جاسمونات نشان داد با افزایش شوری مقدار کلروفیلa، کلروفیلb و کلروفیل کل کاهش یافت اما کاربرد متیل‌جاسمونات به تنهایی و بدون اعمال تنش شوری اثر مثبت یا منفی معنی‌داری را در مقایسه با شاهد ایجاد نکرد (جدول ۴)، درحالی‌که بیشترین میزان کلروفیلa (با میانگین ۲/۴۲۷۲میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) کلروفیل b (با میانگین ۱/۳۲۶۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) و کلروفیل کل (با میانگین ۳/۴۵۷۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در برهمکنش تیمار شوری شاهد و بدون کاربرد متیل‌جاسمونات، از طرفی کمترین میزان کلروفیل a (با میانگین ۱/۲۳۷۵میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) کلروفیل b (با میانگین ۰/۶۵۷۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) و کلروفیل کل (با میانگین ۱/۷۴۵۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در برهمکنش تیمار شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و بدون کاربرد متیل‌جاسمونات مشاهده شد (شکل ۱- ز). همچنین برهمکنش شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد متیل‌جاسمونات ۰/۵ میلی‌مولار با میزان کلروفیل a با میانگین ۱/۸۱۱۵،کلروفیل b با میانگین ۰/۸۶۰۲ و ۲/۵۶۳۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ در مقایسه با برهمکنش شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و بدون کاربرد متیل‌جاسمونات به‌طور معنی‌داری سبب افزایش این شاخص‌ها شد که نشان از تاثیر مثبت متیل‌جاسمونات در تعدیل اثر تنش است. بر اساس گزارش‌های سایر پژوهش‌گران کاهش مقدار کلروفیل تحت تنش شدید، به علت افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز و پراکسیداز، تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و در نتیجه پراکسیداسیون و تجزیه کلروفیل و نیز هیدرولیز پروتئین‌های تیلاکوئیدی می‌باشد (Mohamadian *et al.*, 2018). همچنین از دیگر دلایل مهم کاهش مقدار کلروفیل در تنش شوری می‌توان کاهش فعالیت آنزیم‌های مؤثر در سنتز کلروفیل (ALA دهیدروژناز) را نام برد (Ashraf *et al.,* 2004). علاوه بر این، به نظر می‌رسد کاهش غلظت کلروفیل در شرایط تنش شوری، می‌تواند به علت تغییر مسیر متابولیسم نیتروژن در ساخت ترکیب‌هایی نظیر پرولین (که برای تنظیم اسمزی به کار می‌رود) و همچنین مشترک بودن مسیر بیوسنتزی کلروفیل و آلفاتوکوفرول باشد. گیاه در شرایط تنش می‌تواند با توقف بیوسنتز کلروفیل، مسیر بیوسنتزی آنتی‌آکسیدان آلفاتوکوفرول را فعال نماید (Parida & Das, 2005). مقدار کلروفیل به شکل متفاوتی به کاربرد متیل‌جاسمونات واکنش نشان می‌دهد. گزارش شده که سطوح بالای جاسمونات با بالا بردن سطح آبسیزیک اسید و نهایتاً کاهش آنزیم روبیسکو و کلروفیل باعث اختلال در فتوسنتز می‌شود. در مقابل Popova و همکاران (2003) گزارش کردند که متیل‌جاسمونات با فعال کردن یک سری از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در کلروپلاست مانع از تخریب کلروفیل می‌شود. افزایش مقدار کلروفیل پس از کاربرد متیل‌جاسمونات در تربچه و توتون نیز گزارش شده است. پژوهشگران بیان کرده‌اند که متیل‌جاسمونات موجب تحریک تشکیل ۵- آمینولوولینیک و تجمع رنگدانه کلروفیل می‌شود (Kalvandi *et al.*, 2016). در گزارشی نیز بیان شده که جاسمونیک اسید در گیاه صنوبر هیچ تأثیری بر مقدار کلروفیل و فتوسنتز گیاه نداشته است، هر چند که این آزمایش تحت تیمار تنش شوری یا دیگر تنش‌ها نبوده اما می‌توان چنین استنباط کرد که متیل‌جاسمونات با کاهش اثرات تنش به نوعی از تخریب کلروفیل ممانعت می‌کند و نقش کمتری در سنتز یا افزایش محتوی کلروفیل در شرایط تنش یا غیر تنش دارد (Babst *et al.*, 2005). نتایج مربوط به شاخص کلروفیل و رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تیمار متیل‌جاسمونات در آزمایش حاضر دقیقا مطابق با مطالعات گذشته نیست که علت دقیق آن مشخص نیست و می‌تواند مربوط به ساختار فیزیولوژیکی گیاه در پاسخ به تنش باشد.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای متیل‌جاسمونات و شوری بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه نعنا فلفلی.

Table 4. Mean comparision for the effect of MeJA (mM) and salinity (ds/M) treatments on some biochemical traits of peppermint.

تیمارها Treatments	کلروفیل a Chlo. a (mg/g F.W)	کلروفیل b Chlo. b (mg/g FW)	کلروفیل کل Total Chlo. (mg/g FW)	بازده اسانس Essential oil content (٪)	فلورسان س کلروفیل Fv/Fm	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant capacity (٪)	فعالیت آنزیم کاتالاز CAT. activity (µmol/g FW min)	فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز APX activity (µmol/g FW min)	پروتئین کل Total Pr.
Salinity (ds/m) شوری m									
0	2.19 a†	1.15 a	3.09 a	0.70 c	0.80 a	26.09 c	0.02 c	0.13 c	0.24 a
3	1.72 b	0.86 b	2.47 b	0.89 b	0.72 b	41.93 a	0.06 b	0.24 b	0.16 b
6	1.48 c	0.76 c	2.11 c	1.13 a	0.66 c	31.68 b	0.07 a	0.26 a	0.13 c
MeJA (mM) متیل‌جاسمونات mM									
0	1.77 ab	0.94 a	2.52 a	0.88 b	0.74 a	29.54 c	0.049 b	0.17 c	0.16 b
0.25	1.72 b	0.91 a	2.50 a	0.94 a	0.71 b	33.56 b	0.056 a	0.21 b	0.18 a
0.5	1.89 a	0.93 a	2.64 a	0.91 ab	0.72 b	36.6 a	0.06 a	0.24 a	0.19 a

†Means followed by the same letter(s) in each column are not significantly different at 5% level of probability

†در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز

نتایج مربوط به تجزیه واریانس تیمارهای آزمایش مشخص کرد که، اثر ساده تیمارهای شوری و متیل‌جاسمونات بر شاخص‌های ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری از نظر آماری داشتند، در حالی‌که برهمکنش تیمارهای شوری و متیل‌جاسمونات بر شاخص‌های ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و میزان فعالیت دو آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز از لحاظ آماری اثر معنی‌داری نشان نداد.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای شوری و متیل‌جاسمونات مشاهده شد که با افزایش سطوح شوری و سطوح متیل‌جاسمونات به تنهایی مقدار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد. بیشترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تحت تیمار شوری (با میانگین ۴۱/۹۲۹ ٪) و تیمار ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات (با میانگین ۳۶/۶۰۳ ٪) مشاهده شد، در حالی‌که کمترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار شاهد شوری (با میانگین ۲۶/۰۹ ٪) و تیمار شاهد متیل‌جاسمونات (با میانگین ۲۹/۵۴ ٪) به ثبت رسید. در شاخص فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز بیشترین میزان فعالیت این دو آنزیم در تیمارهای شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر (با میانگین ۰/۰۷۴۰ برای فعالیت کاتالاز و میانگین ۰/۲۶۲۷ برای فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز) و تیمار ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات (با میانگین ۰/۰۶۰۲ برای آنزیم کاتالاز و میانگین ۰/۲۴۲۱ برای آنزیم آسکوربات پراکسیداز) مشاهده شد که در مقایسه با تیمار شاهد با کمترین میزان این دو شاخص دارای تفاوت معنی‌دار از نظر آماری بودند (جدول ۴). پژوهش‌های بسیار نشان داده است که فعال شدن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برای ایجاد تحمل به تنش‌های غیرزیستی مانند شوری لازم است (Ahmadi *et al*., 2018; Parida & Das, 2005; Yu *et al*., 2019). دو آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز از مهم‌ترین آنتی‌اکسیدان‌ها هستند که باعث شکسته شدن H_2O_2 به آب و اکسیژن می‌شوند (Ahmadi *et al*., 2018). در حقیقت آسکوربات پراکسیداز با چسبندگی بالایی که به آب اکسیژنه دارد می‌تواند در رفع سمیت به گیاه کمک کند (Parida & Das, 2005). در پژوهش حاضر نیز شوری موجب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و اسکوربات‌پراکسیداز شد، که مشابه گزارش سایر پژوهشگران است که افزایش

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تأثیر تنش شوری و متیل‌جاسمونات را در گیاه گندم گزارش کردند (Qiu *et al.*, 2014). همچنین، گزارش شده است که تحت تنش شوری محلول‌پاشی گیاهان کلزا با متیل‌جاسمونات سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر کاتالاز شدکه موجب بهبود تحمل به تنش شوری شده است (Ahmadi *et al.*, 2018). در بامیه نیز تیمار اسید جاسمونیک با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی موجب افزایش تحمل به تنش شوری شد (Azooz *et al.*, 2015).

بازده اسانس

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش در شاخص بازده اسانس نعنا فلفلی نشان داد که تیمارهای شوری در سطح یک درصد در این شاخص دارای تفاوت معنی‌دار از نظر آماری بودند، درحالی‌که برهمکنش تیمارهای متیل‌جاسمونات و برهمکنش شوری و متیل‌جاسمونات، اثر معنی‌داری از نظر آماری بر میزان بازده اسانس برگی نعنا فلفلی نداشتند. بر اساس مشاهدات نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده تنش شوری مشخص شد که با افزایش سطوح شوری افزایش معنی‌داری در میزان بازده اسانس برگی اتفاق افتاد به‌طوری‌که بیشترین میزان بازده اسانس در تیمار شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر (با میانگین ۱/۱۲۹۳ ٪) و کمترین میزان بازده اسانس در تیمار شوری شاهد صفر دسی‌زیمنس بر متر (با میانگین ۰/۷۰۳۵ ٪) مشاهده شد. همچنین تیمار ۳ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد سبب افزایش معنی‌دار بازده اسانس برگ گیاهان تحت تیمار شد (جدول ۴). در آزمایشی روی ریحان مشخص شد که با افزایش شوری، انباشت اسانس در بافت‌های گیاه افزایش پیدا کرد و بیان شد که یک همبستگی مثبت بین سطح تنش اعمال شده و درصد اسانس در بافت‌های گیاهی وجود دارد (Dehghan & Rahimmalek, 2018). افزایش درصد اسانس ممکن است به دلیل تغییر در بیوسنتز اسانس تحت تنش و محدود شدن سطح برگ‌ها و به دنبال آن متراکم‌تر شدن غدد ترشحی اسانس در مقایسه با برگ‌های تحت شرایط غیر تنش باشد. به عنوان مثال در دو گیاه ریحان و نعنا گزارش شده که زیاد بودن تراکم غده‌های ترشح‌کننده اسانس در اثر کاهش سطح برگ ناشی از تنش، باعث تجمع بیشتر اسانس می‌شود. در توضیح افزایش اسانس در شرایط تنش می‌توان گفت که چون مقدار متابولیت‌های اولیه در شرایط تنش کاهش می‌یابند گیاه با تنش مواجه شده و از آنجا که تولید متابولیت‌های ثانویه نوعی سازوکار دفاعی در شرایط نامساعد محیطی هستند تولید آنها در گیاه افزایش می‌یابد (Dehghan & Rahimmalek, 2018). در همین رابطه بیان شده است که ترکیب‌های آروماتیک آزاد به صورت گلیکوزیله در واکوئول‌های سلول ذخیره می‌شوند و احتمالاً انبساط سلولی را افزایش می‌دهند و اثرات تنش اسمزی ناشی از شوری را کاهش می‌دهند. همچنین در گزارش Vatankhah و همکاران (2017) مشاهده شد که کاربرد برون‌زای متیل‌جاسمونات موجب افزایش متابولیت‌های ثانوی مانند فنل‌ها، اسانس و بازده اسانس در گیاه نعنا فلفلی تحت آزمایش تنش شوری شد که این نتیجه با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

پروتئین کل

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌های شاخص میزان پروتئین مشخص شد که تیمارهای شوری و متیل‌جاسمونات در سطح یک درصد دارای تفاوت معنی‌دار از نظر آماری‌بودند. قابل ذکر است برهمکنش تیمارهای شوری و متیل‌جاسمونات، اثر معنی‌داری از نظر آماری بر شاخص میزان پروتئین نداشت. نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات ساده تنش شوری و متیل‌جاسمونات نشان داد که با افزایش سطوح شوری کاهش معنی‌داری در میزان پروتئین برگی اتفاق افتاد به‌طوری‌که بیشترین میزان پروتئین در تیمار شاهد شوری (با میانگین ۰/۲۴۳۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کمترین میزان پروتئین در تیمار شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر (با میانگین ۰/۱۳۴۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) مشاهده شد. همچنین مقایسه میانگین اثر ساده متیل‌جاسمونات بر میزان پروتئین نشان داد با افزایش سطوح متیل‌جاسمونات میزان پروتئین برگی افزایش پیدا می‌کند به گونه‌ای که با کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات پروتئین برگی در مقایسه با تیمار شاهد به میزان ۱۱۵/۱۵ درصد از نظر آماری افزایش معنی‌دار پیدا کرد (جدول ۴). نتایج مطالعات گذشته نشان داد که با افزایش سطح شوری پروتئین‌های محلول در گیاه گوجه‌فرنگی کاهش یافت (Parida & Das, 2005). در پژوهشی، Yu و همکاران (2019) بیان کردند که تنش شوری سبب کاهش پروتئین محلول برگ می‌شود، در حالی‌که با کاربرد متیل‌جاسمونات با فعال شدن سیستم دفاعی گیاه در برابر تنش شوری نظیر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از شکستن و تخریب ماکرومولکول‌ها جلوگیری شده و میزان پروتئین محلول گیاه در مقایسه با گیاهان تحت تیمار شوری افزایش می‌یابد. در گزارشی دیگر در گیاه گاوزبان اروپایی تحت اعمال تنش شوری میزان پروتئین کل در مقایسه با تیمار شاهد کاهش معنی‌داری از نظر آمارش نشان داده است، در حالی‌که با محلول‌پاشی برگی متیل‌جاسمونات سبب افزایش معنی‌دار

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

میزان پروتئین کل در مقایسه با شاهد و تیمار شوری بدون کاربرد متیل‌جاسمونات شد (Taheri *et al.*, 2020). در پژوهش حاضر نیز محتوای پروتئین تحت تیمار متیل‌جاسمونات افزایش یافت. افزایش پروتئین کل ممکن است در نتیجه انباشت پروتئین‌های پاسخ‌دهنده به تنش باشد زیرا متیل‌جاسمونات در گیاه شرایطی مانند تنش ایجاد کرده و گیاه بسته به غلظت به آن واکنش نشان می‌دهد. همچنین احتمال دارد افزایش مقدار پروتئین تحت تیمار متیل‌جاسمونات به دلیل فعال شدن مسیر فنیل پروپانوئیدی و افزایش سنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باشد.

فلورسانس کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص فلورسانس کلروفیل نشان داد که تیمارهای شوری و متیل‌جاسمونات در سطح یک درصد دارای تفاوت معنی‌دار از نظر آماری‌بودند. همچنین برهمکنش تیمارهای شوری و متیل‌جاسمونات، اثر معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر شاخص فلورسانس کلروفیل داشت. بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که شوری باعث کاهش معنی دار فلورسانس کلروفیل شد؛ در حالی‌که تیمار شاهد دارای بیشترین فلورسانس کلروفیل در مقایسه با تیمارهای شوری و متیل‌جاسمونات بود (جدول ۴). برهمکنش شوری و متیل‌جاسمونات نیز نشان داد که کمترین میزان فلورسانس کلروفیل مربوط به برهمکنش سطوح شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و صفر با تیمار ۰/۲۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات (با میانگین ۰/۶۳۴۸) بود؛ در حالی‌که بیشترین میزان فلورسنس کلروفیل در برهمکنش سطح شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر و بدون کاربرد متیل‌جاسمونات (با میانگین ۰/۸۲۸۲) مشاهده شد (شکل ۱- ح). نتایج برخی تحقیقات نشان می‌دهد که در شرایط تنش Fv، Fm و Fv/Fm (فلورسانس کلروفیل) کم می‌شود. تنش شوری باعث تغییرات ساختاری در فتوسیستم II به خصوص پروتئین D شده که منجر به بازدارندگی نوری، کاهش پذیرنده‌های الکترون و افزایش رادیکال‌های آزاد می‌شود و می‌تواند آسیب‌های اکسیداتیو، تخریب کلروفیل، آسیب به اجزای فتوسیستم II و غیرفعال شدن آنزیم کلروپلاست را در پی داشته باشد (khalvandi *et al.*, 2016). تحقیقات نشان داده است که تنش شوری در برنج و گندم عملکرد کوانتومی فتوسیستم II را کاهش داد (khalvandi *et al.*, 2016). همچنین بیان شده است که مراکز واکنش فتوسنتزی به سه شکل α، β و γ وجود دارند. مراکز α از جنبه ویژگی‌های فیزیولوژیک فعال هستند. تنش شوری از تعداد مراکز α کاسته و مراکز β و γ افزایش می‌یابد (Mehta *et al.*, 2010). نسبت Fv/Fm کارایی کوانتومی فتوسیستم II در تبدیل نور جذب شده به انرژی شیمیایی را نشان می‌دهد و به عنوان شاخصی معتبر برای نشان دادن اختلال ناشی از تنش در مراکز فتوشیمیایی و بازدارندگی نوری استفاده می‌شود. در شرایط طبیعی در بیشتر گیاهان این نسبت اغلب حدود ۰/۸۳ است. نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر نیز منطبق بر نتایج پژوهش‌های گذشته بود و در شرایط شوری شاخص فلورسانس کلروفیل کاهش یافت. کاهش این نسبت بیشتر به دلیل آسیب به فتوسیستم II رخ می‌دهد و تنش شوری با کاهش مراکز واکنش فعال کارایی فتوسنتز را کاهش می‌دهد (Yousefinia & Ghasemian, 2014). به‌طور کلی به نظر می‌رسد هنگامی که گیاه در سطوح بالای شوری نسبت فلورسانس کلروفیل بیشتری داشته باشد توانایی انجام محافظت نوری در شرایط تنش را خواهد داشت. اثر متیل‌جاسمونات بر افزایش راندمان فتوسیستم II، احتمالاً با تراکم مراکز واکنش در هر آنتن کلروفیل فتوسیستم II، عملکرد کوانتومی برای انتقال الکترون و تغییرات ساختاری در پروتئین D_1 مرتبط است. همچنین متیل‌جاسمونات در سطوح مختلف شوری باعث کاهش F_0 شد. به نظر می‌رسد متیل‌جاسمونات در شرایط تنش از این طریق موجب حفاظت مراکز فتوسیستم II شده است که باعث افزایش سرعت انتقال و تحمل بیشتر در شرایط تنش شوری شده است (khalvandi *et al.*, 2016).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش، تیمار شوری سبب کاهش صفات فیزیولوژیکی، غلظت یون پتاسیم اندام هوایی، پروتئین کل و کارایی فتوسنتز در گیاه نعنا فلفلی شد؛ در حالی‌که نشت یونی و غلظت یون سدیم اندام هوایی و ریشه در اثر شوری افزایش یافت. کاربرد خارجی متیل‌جاسمونات، مخصوصاً با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار با تأثیر قابل توجه روی وزن تر و خشک اندام هوایی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز موجب کاهش آثار تنش شوری شد. متیل‌جاسمونات به عنوان یک تنظیم کننده جدید رشد گیاهی، قادر است با انگیزش پاسخ‌های

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

آنتی‌اکسیدانی، از غشاء و سایر ماکرومولکول‌ها در برابر آسیب‌های اکسیداتیو حفاظت کرده و از این طریق موجب بهبود رشد و فعالیت گیاه در شرایط تنش شود.

منابع Reference

Aghai, K., Talai, N., Kanani M., & Yazdani, M. (2015). Effect of salt stress on some physiological and biochemical parameters of two Salvia species. *Journal of Plant Process and Function*, *3*(9), 85-96. [In Persian with English Abstract].

Ahmadi, F. I., Karimi, K., & Struik, P. C. (2018). Effect of exogenous application of methyl jasmonate on physiological and biochemical characteristics of *Brassica napus* L. cv. Talaye under salinity stress. *South African Journal of Botany*, *115*, 5-11.

Al-Niemi, T. S., Campbell W. F., & Rumbaugh, M. D. (1992). Response of alfalfa cultivars to salinity during germination and post-germination growth. *Crop Science*, *32*, 976-980.

Archangi, A., M. Khodambashi & Mohammadkhani, A. (2012). The effect of salt stress on morphological characteristics and Na+, K+ and Ca+ ion contents in medicinal plant fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.) under hydroponic culture**.** *Journal of Soil and Plant Interactions, 3*(2), 33-41. [In Persian with English Abstract].

Ashraf, M., Mukhtar, N., Rehman, S., & Rha, E. S. (2004). Salt-induced changes in photosynthetic activity and growth in a potential medicinal plant Bishop's weed (*Ammi majus* L.). *Photosynthetica*, *42*(4), 543-550.

Azooz, M. M., Metwally, A., & Abou-Elhamd, M. F. (2015). Jasmonate-induced tolerance of Hassawi okra seedlings to salinity in brackish water. *Acta Physiologiae Plantarum*, *37*, 77.

Babst, B. A., Ferrieri, R. A., Gray, D. W., Lerdau, M., Schlyer, D. J., Schueller, M., Thrope, M. R., & Orians, C. M. (2005). Jasmonic acid induces rapid changes in carbon transport and partitioning in Populus. *New Phytologist*, *167*, 63-72.

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*(1-2), 248-254.

Clevenger, J. F. (1928). Apparatus for determination of essential oil. J. Am. Pharm. Assoc, *17*, 346-349.

Dar, T.A., Uddin, M., Khan, M. M. A., Hakeem, K. R., & Jaleel, H. (2015). Jasmonates counter plant stress: a review. *Environmental and Experimental Botany*, *115*, 49-57.

Dazy, M., Jung, V., Ferard, J., & Masfaraud, J. (2008). Ecological recovery of vegetation on a coke-factory soil: Role of plant antioxidant enzymes and possible implication in site restoration. *Chemosphere*, *74*, 57-63.

Dehghan, A., and Rahimmalek, M. (2018). The effect of salt stress on morphological traits and essential oil content of Iranian and foreign yarrow (*Achillea millefolium* L.) genotypes. *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology, 9*(2): 23-38. [In Persian with English Abstract].

Fedina, I. S., and Tsonev, T. D. (1997). Effect of pretreatment with methyl jasmonate on the response of *Pisum sativum* to salt stress. *Journal of Plant Physiology*, *151*, 735-740.

Ghorbani, M., Mohadi, K., and Rostami, A. (2018). Effect of salinity stress on some morphophysiological traits and quantity and quality of peppermint essential oil (*Mentha piperita* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *11*(2):413-420. [In Persian with English Abstract].

Hashemi Nia, S. M., Kochaki, A. and Ghahramani, N. (2016). *Utilization of salty water in sustainable agriculture*. Mashhad University Press, Mashhad. [In Persian with English Abstract].

Khademalhosseini, Z., Jafarian Z., Roshan, V., & Ranjbar, Gh. (2018). Effect of water salinity on quantity and quality of biochemical characteristics of *Mellissa Officinalis* L. *Rangeland*, *12*(3), 370-379. [In Persian with English Abstract].

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

khalvandi, M., Amerian, M. R., Pirdashti, H. A., baradaran, M., & Gholami, A. (2016). Effects of methyl jasmonate on some photosynthetic parameters of peppermint (*Mentha piperita*) in saline conditions. *Journal of Plant Process and Function*, *7*(23), 233-249. [In Persian with English Abstract].

Khosravipour, B., Siahpoosh, AR. and Mehmadi Karbalai, Z. (2014). Importance of cultivation of medicinal plants and production of its products in agriculture. *1st National Conference on Herbs and Herbal Medicine*, *23*,156. [In Persian with English Abstract].

Lichtenthaler, H. K., and Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, *11*, 591 - 592.

Lorenzo, O. (2003). Ethylene response factor 1 integrates signals from ethylene and jasmonate pathways in plant defense. *The Plant Cell*, *15*, 165-178.

Lutts, S., Kinet, J. M., & Bouharmon, J. (1996). NaCl-induced senescence in leave of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, *78*, 389-398.

Mehta, P., Jajoo, A., Mathur, S., & Bharti, S. (2010). Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves. *Plant Physiology and Biochemistry*, *48*(1), 16-20.

Mohamadian, E., KianMehr, H., Ataei Somagh, H., Azadnafas Mahjor, N., Safari, F., & Safarzadeh, A. (2018). Effect of Methyl Jasmonate Pre-Treatment on Germination Indices and Biochemical Traits of Stevia Seedlings (*Stevia rebuadiana*) under Salt Stress. *Iranian Journal of Seed Research*, *5*(1), 101-117. [In Persian with English Abstract].

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

Page, A. L., Miller, R. H., & Keeney, D. R. (1982). *Methods of soil analysis. II. Chemical and Microbiological Properties*, 2nd ed., ASA, SSSA, Madison, Wisconsin USA, p. 1159.

Pang, X. M., Zhang, Z. Y., Wen, X. P., Ban, Y., & Moriguchi, T. (2007). Polyamines, all-purpose players in response to environment stresses in plants. *Plant Stress*, *1*, 173-188.

Parida, A. K., and Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 60*, 324-349.

Popova, L., Ananieva, E., Hristova, V., Christov, K., Georgieva, K., Alexieva, V., & Stoinova, Z. H. (2003). Salicylic acid and methyl jasmonate induced protection on photosynthesis to paraquat oxidative stress. Bulg. *Journal of Plant Physiology*, *18*, 133-152.

Qiu, Z., Guo, J., Zhu, A., Zhang, L., & Zhang, M. (2014). Exogenous jasmonic acid can enhance tolerance of wheat seedlings to salt stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *104*:202-8.

Salimi, F., Shekari, F., Azimi, M. R., & Zangani, E. (2012). Role of methyl jasmonate on improving salt resistance through some physiological characters in German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *27*(4), 700-711. [In Persian with English Abstract].

Taheri, Z, Vatankhah, E., & Jafarian, V. (2020). Methyl jasmonate improves physiological and biochemical responses of Anchusa italica under salinity stress. *South African Journal of Botany, 130*(1), 375-82.

Vatankhah, E., Kalantari, B., & Andalibi, B. (2017). Effects of methyljasmonate and salt stress on physiological and phytochemical characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *33*(3), 449-465. [In Persian with English Abstract].

Wang, S. Y. (1999). Methyl Jasmonate reduces water stress in strawberry. *Journal of Plant Growth Regulation*, *18*, 127-134.

Weatherley, P. (1950). Studies in the water relations of the cotton plant. The field measurement of water deficit in leaves. *New Phytologist*, *49*, 81-97.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

Yousefinia, M. and Ghasemian, A. (2014). Evaluation of the effects of salinity stress on photosynthesis and chlorophyll a fluorescence in barley plant. *Evolutionary Biology*, *8* (1) 44-35. [In Persian with English Abstract].

Yu, X., Zhang, W., Zhang, Y., Zhang, X., Lang, D., & Zhang, X. (2019). The roles of methyl jasmonate to stress in plants. *Functional Plant Biology*, *46*(3), 197-212.

Yuan, F., Liang, X., Li, Y., Yin, S., & Wang, B. (2018). Methyl jasmonate improves tolerance to high salt stress in the recretohalophyte Limonium bicolor. *Functional Plant Biology*, *46*(1), 82-92.

Zaman, S. (2008). *Medicinal Plants*. 368 Pages. Ghoghnoos Publications. [In Persian with English Abstract].

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 25 (3):404-422 (2024)
Research article

Effects of Methyl Jasmonate on Some Physiological and Biochemical Parameters of peppermint (*Mentha piperita* L.) under Salinity Stress Condition

Ghasem Akhbarfar*, Parvan Aghdak, Morteza Eskandari and Syrus Ghobadi
Department of Horticulture, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
*Corresponding Author, Email: (g.akhbarfar@ag.iut.ac.ir)

A pot experiment was conducted to study the effects of methyl jasmonate (MJ) in alleviating NaCl-induced salt stress on peppermint plantlets. The experiment was arranged in a factorial experiment based on the completely randomized design with two factors including NaCl concentration (0, 3 and 6 dS/m) and MJ at three levels (0, 0.25 or 0.5 mM). The results showed that salt stress decreased fresh and dry weight, concentration of potassium and K/Na ratio of aerial, RWC, chlorophyll content, total protein and Fv/Fm. Parameters such as ion leakage, sodium concentration of shoot and root, CAT and APX activity, essential oil percentage and antioxidant capacity increased by salinity stress. Application of MJ decreased ion leakage and sodium of aerial, improved fresh and dry weight of aerial, RWC, K/Na ratio, antioxidant capacity and CAT and APX activity. Improved stress indexes in MJ-treated plantlets showed that the application of MJ ameliorated the adverse effects of injury caused by salt stress.
Keywords: Salinity Stress, Peppermint, Methyl Jasmonate, Physiological and Biochemical Parameters.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]