

اثر متیل جاسمونات بر برخی پارامترهای فتوستنتزی گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) در شرایط شور

معصومه خالوندی^۱، محمدرضا عامریان^۱، همت‌اله پیردشتی^{۲*}، مهدی برادران فیروزآبادی^۱ و احمد غلامی^۱
^۱ گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شهرورد، ^۲ گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۲۳، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۶/۰۲)

چکیده

به منظور بررسی کاربرد متیل جاسمونات به عنوان راه حلی زیستی جهت ارزیابی تحمل گیاه دارویی نعناع فلفلی به شوری، آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال زراعی ۱۳۹۳ اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل محلول پاشی متیل جاسمونات (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میکرومولار) و تنش شوری (صفر، ۳، ۶، ۹ دسی‌زیمنس بر متر) بود. نتایج نشان داد با افزایش شوری سرعت تعرق، کلروفیل a، کلروفیل b، وزن خشک برگ و بوته، ETR، Fm، Fv/Fm، Y(II) محتوای نسبی آب برگ و هدایت روزنایی کاهش یافت و موجب افزایش صفات آنتوسبیانین، Fo و NPQ شد. صفات مورد بررسی تحت تاثیر سطوح مختلف متیل جاسمونات قرار گرفتند. به طوریکه در شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر، کاربرد غلظت ۷۵ میکرومولار متیل جاسمونات، موجب افزایش هشت درصدی آنتوسبیانین و کاهش ۳۵ درصدی نشت الکتروولیت‌های غشا و از طرفی موجب کاهش اثرات منفی شوری بر هدایت روزنایی (۵۴ درصد افزایش)، ETR (۱۰ درصد افزایش) و محتوای نسبی آب برگ (۶ درصد افزایش) شد. در سطح بالای متیل جاسمونات (غلظت ۱۵۰ میکرومولار) اثر بازدارنده‌گی آن بر میزان هدایت روزنایی، ETR و کلروفیل a مشاهده شد. در مجموع، کاربرد متیل جاسمونات با بهبود روابط آبی گیاه و افزایش هدایت روزنایی، موجب افزایش سرعت انتقال الکترون و کارایی فتوسیستم II می‌شود که می‌تواند بیانگر نقش مثبت متیل جاسمونات در شرایط شور باشد. بنابراین به نظر می‌رسد کاربرد غلظت ۷۵ میکرومولار متیل جاسمونات بتواند با افزایش مقاومت به شوری تا حدود زیادی ویژگی‌های رشدی گیاه دارویی نعناع فلفلی را در چنین شرایطی بهبود بخشد.

کلمات کلیدی: فلورسانس، کلروفیل برگ، وزن خشک برگ، هدایت روزنایی.

مقدمه

منابع آبی با کیفیت پایین و شور مانند آب دریا و رودخانه‌ای شور در کشاورزی می‌باشد (سپهری و همکاران، ۱۳۸۸). شوری به عنوان یکی از این عوامل مهم محدود کننده تولید محصول بالغ بر ۳۲ میلیون هکتار از مساحت

تنش‌های محیطی از عوامل مهم کاهش عملکرد محصولات زراعی در سطح جهان به شمار می‌رond (Shannon, 1997). و بشر برای تأمین امنیت غذایی خود مجبور به استفاده از

در عکس العمل گیاهان به تنش‌های زنده و غیرزنده را القا می‌کنند (سلیمی و همکاران، ۱۳۹۳)، و خسارت ناشی از کم آبی، سرما و شوری را کاهش می‌دهند (سلیمی و همکاران، ۱۳۹۳). گزارش شده که کاربرد متیل جاسمونات در تنش شوری باعث کاهش اثر بازدارندگی NaCl روی رشد، محتوای کلروفیل، سرعت ثبت CO₂، سرعت فتوستتر و تعرق برگ در گیاه سویا شد (Yoon *et al.*, 2009). همچنین باعث افزایش تولید آنتی‌اکسیدان‌ها شده که می‌تواند مقاومت گیاه در برابر تنش‌های مختلف محیطی را بهبود بخشد (Jamalomidi *et al.*, 2013). در برگ گندم و نخود نیز بسته شدن وزنه، کاهش سرعت تعرق و فتوستتر در کاربرد محلول‌پاشی متیل جاسمونات گزارش شده است (Pospisilova, 2003). کاهش اثر تنش شوری در کاربرد جاسمونات‌ها توسط سایر پژوهشگران در گیاه فلفل (Fedina and Tsonev, 1997)، نخود (Rezai *et al.*, 2013) و گلرنگ (Ghassemi and Hosseinzadeh, 2015) نیز گزارش شده است.

گیاهان دارویی و معطر در زمینه‌های مختلف از جمله مواد غذایی، کشاورزی، عطر، صنایع دارویی و محصولات طبیعی آرایشی و بهداشتی مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند (Olfa *et al.*, 2009). گیاه دارویی نعناع فلفلی با نام علمی Peppermint و نام رایج *Mentha piperita* گیاهی علفی و چند ساله به عنوان یک گیاه دارویی و معطر در نظر گرفته شده است و به طور گسترده برای صنایع دارویی و محصولات غذایی تولید می‌شود (Roodbari *et al.*, 2013). از نظر مصارف داروئی نیز به عنوان اسپاسمولتیک، ضد باکتری و کمک‌کننده هضم غذا می‌باشد (کاظم‌الوندی و همکاران، ۱۳۸۹). استفاده از فناوری‌های مختلف کشت و کار که افزایش راندمان و بهبود عملکرد گیاهان را موجب می‌شود اجتناب‌ناپذیر است. احتمالاً بتوان از طریق یک مدیریت ایده‌آل با استفاده از آب شور در مسیر افزایش غذا گام جدی برداشت. استفاده از آب شور، برای آبیاری می‌تواند یک مدیریت ایده‌آل برای پاسخگویی به افزایش تقاضا برای مواد غذایی باشد. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر متیل جاسمونات بر بهبود ویژگی‌های رشدی گیاه

خاک‌های ایران را تحت تأثیر قرار داده است که نزدیک به ۲۰ درصد از سطح کل کشور و ۵۵ درصد اراضی قابل کشت را شامل می‌شود (فضائلی و همکاران، ۱۳۸۹). که این مسئله منجر به کاهش میزان تولید محصول از طریق کاهش رشد گیاه و کاهش توسعه فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی Hager *et al.*, 2006) تنش شوری با ایجاد تنش خشکی، منجر به بسته شدن روزن‌ها در گیاه تحت تنش به دلیل مقابله با اتلاف بیشتر آب و کاهش پتانسیل آب بافت‌های تحت تأثیر شوری می‌شود (جوادی‌پور و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین میزان تجمع کلروفیل در برگ‌ها کاهش می‌باید و باعث محدود شدن فلورسانس فتوسیستم II می‌شود و هم زمان نمو طبیعی کلروفیل‌پلاست نیز مختلف می‌شود (امیرجانی، ۱۳۸۹). در چنین شرایطی، به دنبال کاهش فتوستتر و کاهش مصرف فرآورده‌های انتقال الکترون یعنی ATP و NADPH در چرخه کالوین، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II کاهش پیدا می‌کند یکی از روش‌های مطالعه این فرآیند، بررسی فلورسانس کلروفیل است. چرا که جریان الکترون در فتوسیستم شاخصی برای میزان کلی فتوستتر می‌باشد و اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل تخمینی از نحوه عمل فتوستتر را برای ما امکان‌پذیر می‌سازد (Maxwell and Johnson, 2005). در اثر کاهش جذب آب در شوری بالا میزان سطح برگ کاهش می‌باید. تنش شوری علاوه بر کاهش سطح برگ موجب کاهش وزن خشک گیاه می‌شود که این امر دلیلی بر کاهش سطح فتوستتر کننده و نیز بهم خوردن تعادل هورمونی درون گیاه است (سلیمی و همکاران، ۱۳۹۳).

امروزه کاربرد جاسمونات‌ها به عنوان یکی از مهمترین تنظیم کننده‌های رشد گیاهی اثرات متفاوتی روی مورفولوژی، فیزیولوژی و فرایندهای بیوشیمیایی دارد (Rezai *et al.*, 2013) و به عنوان انتقال‌دهنده پیام در شرایط تنش (سلیمی و همکاران، ۱۳۹۳) این ماده در پاسخ به تنش‌های محیطی از قبیل خشکی، دمای پایین و شوری، مکانیسم دفاعی گیاه را فعال می‌کنند (Wasternack and Parthier, 1997) و ژن‌های دخیل

دارویی نعناع فلفلی در شرایط شور طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان واقع در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (تحت شرایط نور طبیعی و شرایط کنترل شده دمای روز و شب به ترتیب 28 ± 2 و 15 ± 2 درجه سانتیگراد و رطوبت حدود 70 ± 5) به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و دو فاکتور شامل محلول‌پاشی متیل جاسمونات (سطح صفر و 75 و 150 میکرو مولار) و چهار سطح شوری (آبیاری با آب شور حاوی مخلوط آب دریای خزر (جدول ۱) و آب معمول شامل چهار سطح صفر، سه، شش و نه دسی‌زیمنس بر متر) اجرا شد. خاک گلدان‌ها از ماسه و خاک زراعی (به نسبت ۱:۲) تشکیل شد. ریزوم‌ها در عمق یک سانتیمتری خاک در گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه 27 سانتیمتری و با گنجایش 8 کیلو گرم خاک کاشته شد. پس از رشد برگ‌ها (در مرحله چهار برگی)، گلدان‌ها با محلول آماده شده متیل جاسمونات قبل از طلوع آفتاب محلول‌پاشی شدند و بلافاصله به منظور جذب سریعتر، گلدان‌ها آبیاری شدند. آبیاری گلدان‌ها تا مرحله شش برگی با آب مقطر انجام و پس از آن تنش شوری برای هر تیمار اعمال گردید. برای ایجاد زهکشی مناسب و جلوگیری از تجمع نمک، سوراخ‌هایی در ته هر کدام از گلدان‌ها تعییه و در بستر هر گلدان به ارتفاع 3 سانتی‌متر سنگریزه ریخته شد. آبیاری گلدان‌ها به منظور رساندن میزان رطوبت خاک در حد ظرفیت مزروعه هر سه روز یکبار صورت گرفت. به منظور جلوگیری از تنش ناگهانی به گیاهچه‌ها آبیاری با آب شور به صورت تدریجی با سطح 2 دسی‌زیمنس بر متر صورت گرفت و در هر آبیاری به میزان یک دسی‌زیمنس بر متر به شوری آب افزوده شد تا به سطح نهایی مورد نظر رسید. برای آبیاری گلدان‌های شاهد، از آب مقطر استفاده شد. به منظور کنترل شوری با استفاده از دستگاه EC متر ($CON 410$ ، ساخت کشور سنگاپور) مقدار هدایت الکتریکی خاک گلدان‌ها کنترل گردید.

پس از گذشت این مدت و اطمینان از اثربخشی تیمار شوری تا ابتدای مرحله گلدنه با آب شور آبیاری شدند، نمونه برداری‌ها برای صفات مورد نظر (در شروع مرحله گلدنه) آغاز شد.

پس از اعمال تنش شوری، اندازه‌گیری هدایت روزنامه‌ای در آخرین برگ توسعه یافته با استفاده از دستگاه پرومتر (مدل ELE- انگلستان) بین ساعت $12\text{--}10$ صبح صورت گرفت.

محاسبه غلظت کلروفیل‌ها و کاروتونئید از برگ‌های کاملاً توسعه یافته با استفاده از روش لیچتن تالر و ولبرن (۱۹۹۴) انجام شد و میزان جذب نور توسط عصاره استخراج شده در طول موج‌های 663 ، 646 و 470 نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شد.

میزان آنتوسیانین بر طبق روش کریزک و همکاران (۱۹۹۹) اندازه‌گیری شد، برای این منظور مقدار $0/2$ گرم از بافت تازه برگی در هاون چینی با 10 میلی لیتر متانول اسیدی (متیل الکل و کلریدریک اسید خالص با نسبت حجمی $1:99$) کاملاً ساییده شد و پس از سانتریفیوژ، محلول روئی به مدت 1 شب در تاریکی قرار داده شد. با اندازه‌گیری میزان محلول بالایی در طول موج 550 نانومتر و با استفاده از فرمول $A = \epsilon b c$ مقدار آنتوسیانین قرائت، محاسبه و ثبت شد. در این رابطه، A : شدت جذب، b : عرض کوت برابر با 1 سانتی متر، c : غلظت آنتوسیانین (mol/g) و ϵ : ضریب خاموشی برابر با $33000 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ است.

به منظور اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل در آخرین برگ توسعه یافته با استفاده از دستگاه فلورومتر، PAM 2500-Walz (Germany) و بر اساس روش Genty و همکاران (۱۹۸۹) صورت گرفت. بدین منظور، برگ‌ها با استفاده از گیره‌های مخصوص برگ (Walz 2030-B, Walz) به مدت 20 دقیقه در تاریکی قرار گرفتند. سپس سرعت انتقال الکترون (ETR)، فلورسانس حداقل (Fo) با همه مرکز واکنشی باز فتوسیستم II و فلورسانس حداکثر (Fm) با همه مرکز واکنشی بسته فتوسیستم II در برگ‌های سازگار به تاریکی تعیین شد. با استفاده از پارامترهای تعیین شده در برگ‌های سازگار به تاریکی و روشنایی، میزان فلورسانس متغیر (Fv)، حداکثر کارایی کوانتمی فتوسیستم II (Fv/Fm)، کارایی کوانتمی

جدول ۱- تجزیه شیمیایی آب دریا

پارامتر	هدایت الکتریکی (EC)	اسیدیته (pH)	سالیم	پتاسیم	کلسیم	منیزیم
*	۱۵	۸/۲	۳۷۶۸/۴۸	۷۷/۱۱	۱۷	۵۴/۵
واحد مقدار	میلی گرم در لیتر	*	**	**	**	**

* دسیزیمنس بر متر ، ** میلی گرم در لیتر

جدول ۲- مؤلفه های بیوفیزیکی اندازه گیری شده فلورسانس کلروفیل و معادلات مربوط به آنها

معادله	شناخت	مؤلفه	
Fm-Fo	Fv	Variable fluorescence	فلورسانس متغیر
(Fm-Fo)/Fm	Fv/Fm	Maximum photochemical quantum yield of photosystem II	حداکثر کارایی کوانتمی فتوسیستم II
(Fm-Ft)/Fm'	Y(II)	Effective photochemical quantum yield of photosystem II	کارایی کوانتمی فتوشیمیایی مؤثر فتوسیستم II
(Ft/Fm') - (Ft/Fm)	Y(NPQ)	Quantum yield of regulated non-photochemical	کارایی کوانتمی غیرفتوشیمیایی تنظیم شده فتوسیستم II
Ft/Fm	Y(NO)	Quantum yield of non-regulated non-photochemical	کارایی کوانتمی غیرفتوشیمیایی تنظیم نشده فتوسیستم II
Fm-Fm'/Fm'	NPQ	Non-photochemical quenching	خاموشی غیرفتوشیمیایی
(Fm' - Fs')/(Fm' - F ₀ ')	qP	Photochemical quenching	خاموشی فتوشیمیایی

نمونه های برگ درون آب مقطر با حجم ۱۵ سی سی و به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی قرار گرفت پس از آن هدایت الکتریکی اولیه به وسیله دستگاه EC متر اندازه گیری شد. سپس نمونه ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد اتوکلاو شد و سپس میزان هدایت الکتریکی به وسیله دستگاه EC متر اندازه گیری شد.

$$\text{درصد نشت یونی} = \frac{\text{EC}_2 / \text{EC}_1}{\text{EC}_2} \times 100$$

سپس با نرم افزار آماری SAS آنالیز آماری نتایج انجام شد و آزمون مقایسه میانگین ها نیز با روش آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. شکلها با استفاده از نرم افزار اکسل رسم شدند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که سطوح

فتوشیمیایی مؤثر فتوسیستم II [Y(II)] و خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ) بر اساس جدول ۲ محاسبه گردید. برای اندازه گیری محتوای نسبی آب برگ، شش دیسک برگی به قطر یک سانتی متر از قسمت میانی پهنک برگ تهیه و پس از توزین به لوله های درب دار حاوی آب مقطر منتقل و به مدت بیست و چهار ساعت در دمای چهار درجه سانتیگراد و در تاریکی قرار گرفتند. پس از آن دیسک های برگی از آب خارج و جهت حذف رطوبت اضافی بین دو لایه کاغذ صافی خشک و سپس وزن آamas آنها اندازه گیری شد. سپس نمونه ها به آون ۷۰ درجه سانتیگراد منتقل و پس از گذشت ۴۸ ساعت وزن خشک آنها تعیین و در نهایت محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

$$\text{RWC} = \frac{(\text{وزن خشک} - \text{وزن آamas})}{(\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})} \times 100$$

جهت اندازه گیری درصد نشت الکتروولیت ها از سلول

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد بررسی بر رنگیزهای فتوسترزی و صفات فیزیولوژیک گیاه نعناع فلفلی

منابع تغییر	بلوک	شوری (S)	متیل جاسمونات (MJ)	S×MJ	خطای آزمایشی	(درصد)
وزن خشک برگ	۰/۱۹۵	۸/۵۵**	۰/۹**	۰/۴ns	۰/۰۷	۹/۱
وزن خشک بوته	۲/۰۳	۱۴۰/۰۰۷**	۵۲/۵۹**	۷/۶۴**	۱/۰۲	۹/۴
هدایت روزنه ای	۱/۰۹	۱۵۴/۸**	۱۶۲/۱۸**	۰/۰۰۱ns	۰/۹۱	۱۳/۱
تعرق	۰/۰۰۲	۰/۰۴۲**	۰/۰۳**	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۷	۱/۱
آنتوسیانین	۰/۱۵	۲۸/۸۶**	۴/۱۱**	۰/۰۵**	۰/۱۶	۷/۲
کلروفیل a	۰/۰۴۲	۹/۱۴**	۳/۵۳**	۰/۰۸ns	۰/۰۴	۴
کلروفیل b	۰/۰۰۶	۴/۲۴**	۱/۴۱*	۰/۰۶ns	۰/۱	۷
کلروفیل کل	۰/۰۸	۲۵/۹۵**	۹/۳۱**	۰/۲۸ns	۰/۱۸	۴/۴
کاروتینوئید	۰/۰۰۲	۰/۱۱**	۰/۰۳۲ns	۰/۰۰۴ns	۰/۰۱	۱۶/۲
محتوای نسبی آب برگ	۷/۸۸	۱۸۵۶/۱**	۳۲۱/۱۵**	۲۹/۶۱**	۲/۴۲	۲
نشست الکتروولیت	۱/۸۹۳	۸۷۴/۴۲**	۸۳/۸	۲۳/۱۸**	۲/۳۲	۷

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۴- جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد بررسی بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل در گیاه نعناع فلفلی

منابع تغییر	بلوک	شوری (S)	متیل جاسمونات (MJ)	S×MJ	خطای آزمایشی	(درصد)
Fo	۰/۰۰۵	۰/۵۷**	۰/۰۶**	۰/۰۱*	۰/۰۰۷	۷/۱
ETR	۰/۴۴	۲۷۳/۴**	۲۸/۰۲**	۷/۴۵**	۱/۶۲	۸/۹۸
Fm	۰/۴۳	۹/۴۹**	۰/۶۴*	۰/۱ns	۰/۱۳	۷/۴۸
Fv	۰/۵۲	۱۴/۵۶**	۱/۰۹**	۰/۱ns	۰/۱۳	۸/۷۱
Fv/Fm	۰/۰۰۱	۰/۰۷۴**	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۰۷ns	۰/۰۰۰۴	۲/۷۸
Y(II)	۰/۰۰۰۷	۰/۰۲۳**	۰/۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۰۴	۱/۲۸
NPQ	۰/۰۰۱	۰/۱۸**	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۳ns	۰/۰۰۱	۴/۱

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

متقابل سطوح متیل جاسمونات و شوری نیز در صفات هدایت روزنه‌ای، (Y(II)، Y(NPQ)، آنتوسیانین، محتوای نسبی آب برگ و نشت الکتروولیت ($P < 0.01$) و Fo ($P < 0.05$) معنی دار شد.

تغییرات آنتوسیانین در سطوح مختلف تیمار متیل جاسمونات در پاسخ به افزایش شوری آب آبیاری به صورت

تنش شوری بر محتوای آنتوسانین، کاروتونوئید، غلاظت کلروفیل (a+b)، وزن خشک برگ و بوته، محتوای نسبی آب برگ، نشت الکتروولیت، هدایت روزنه‌ای و تعرق (جدول ۳) و پارامترهای فلورسانس (جدول ۴) در سطح احتمال یک درصد معنی دارد. سطوح متیل جاسمونات نیز بر تمام صفات مورد اندازه‌گیری بجز کاروتونوئید اختلاف معنی داری نشان داد. اثر

۱۱/۸۷ به ۷/۹۶ (میلی گرم بر گرم وزن تر) به ترتیب از تیمار شاهد به تیمار شوری نه دسیزیمنس بر متر کاهش یافت. نتایج نشان داد که بین میزان کلروفیل a و کلروفیل b ($0/۹۲^{**}$) و همینطور بین کلروفیل a و کاروتونوئید ($0/۷۰^{**}$) همبستگی وجود دارد. زیرا کلروفیل b و کاروتونوئیدها به عنوان رنگدانه‌های کمکی و حفاظتی از کلروفیل a، واقع در فتوسیستم‌های کلروپلاست عمل کرده و در جذب و انتقال انرژی نورانی دریافتی به کلروفیل a نقش موثری دارند (آذری و همکاران، ۱۳۹۱). کاروتونوئیدها از طریق دفع انرژی به صورت گرما یا واکنش‌های شیمیایی بی ضرر از فتوسیستم (I) و (II) موجب حفظ غشاهای کلروپلاستی شده، و از طریق چرخه گزانوفیل باعث مصرف اکسیژن و حفاظت از کلروفیل در مقابل فتواسیداییون می‌شوند (دانشمند و همکاران، ۱۳۹۳).

کاهش کلروفیل a و b در اثر نش شوری توسط سایر پژوهشگران در پنبه (Saleh, 2012)، کلزا (آذری و همکاران، ۱۳۹۱) و توتون (حاجی‌بلند و ابراهیمی، ۱۳۹۰) نیز گزارش شده است. طبق نتایج بدست آمده از محققین مهمترین علت کاهش میزان کلروفیل، به ویژه در شرایط نش شدید، می‌توان به کاهش فعالیت آنزیم‌های موثر در سنتز کلروفیل (ALA-دهیدروژناز) (Viera Santo, 2004)، اسیداییون نوری سریع‌تر کلروفیل نسبت به سنتز آن (امیرجانی، ۱۳۸۹) و تخریب رنگدانه‌های کمکی نسبت داد.

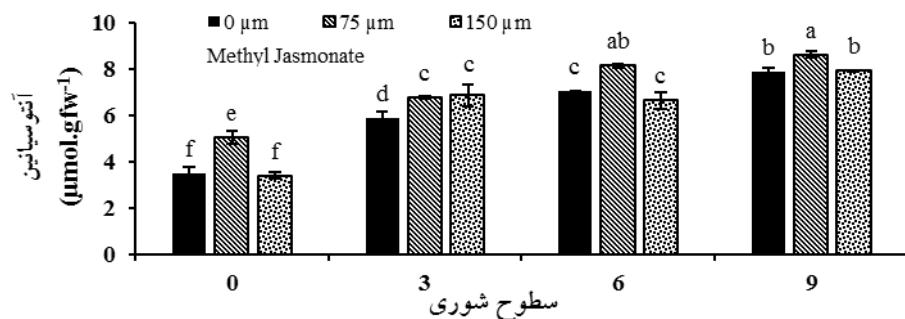
میزان کلروفیل به‌طور متفاوتی به کاربرد متیل جاسمونات واکنش نشان داد. با کاربرد سطوح پایین متیل جاسمونات ۷۵ میکرومولار، میزان کلروفیل a به طور معنی‌داری افزایش یافت. اما در سطوح بالای متیل جاسمونات اثر بازدارندگی آن بر میزان کلروفیل a مشاهده شد. بطوریکه غلظت ۱۵۰ میکرومولار میزان کلروفیل a را نسبت به شاهد کاهش داد. سطوح بالای جاسمونات با بالابردن سطح اسید آبسیزیک برگ و نهایتاً کاهش آنزیم روپیسکو و کلروفیل باعث اختلال در فتوسنتز می‌شود (صفاری و همکاران، ۱۳۹۱).

در این بررسی مقدار کلروفیل b با کاربرد غلظت ۷۵

افزایشی بود با این وجود، عکس‌العمل آنتوسیانین نسبت به تنش شوری در سطوح مختلف تیمار متیل جاسمونات به‌طور معنی‌داری ($P < 0/۰۱$) متفاوت بود. شکل ۱ نشان داد که بیشترین تغییرات میزان آنتوسیانین در کاربرد متیل جاسمونات ۷۵ میکرو مولار در سطوح شوری شش و نه دسیزیمنس بر متر (به ترتیب حدود ۸/۶۳ و ۸/۱۴ میکرو مول بر گرم وزن تر) بود. روند تغییرات غلظت بالاتر متیل جاسمونات (۱۵۰ میکرو مولار) در سطوح شوری شش و نه دسیزیمنس بر متر تقریباً ثابت بوده در حالی که تفاوت معنی‌داری بین کاربرد غلظت ۱۵۰ میکرومولار متیل جاسمونات با عدم کاربرد متیل جاسمونات در سطوح صفر، شش و نه دسیزیمنس بر متر مشاهده نشد، که نشان‌دهنده تحریک وابستگی به غلظت متیل جاسمونات می‌باشد. نتایج ارائه شده در پژوهش حاضر نشان می‌دهد که کاربرد متیل جاسمونات (۷۵ میکرو مولار) در سطوح شوری مختلف سبب افزایش تجمع آنتوسیانین‌ها در گیاه شد.

متیل جاسمونات مولکول‌های سیگناال مطرحی هستند که بخشی از سیستم پاسخ‌های دفاعی گیاه را تشکیل می‌دهند و می‌توانند در گیاه بیوستز متابولیت‌های ثانویه را از طریق مسیرهای سیگنالینگ مجزا تحریک کنند (اسماعیل‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴) و باعث افزایش متابولیت‌های ثانویه مانند آنتوسیانین‌ها و فنل‌ها شود. آنتوسیانین‌ها خاصیت آنتی‌اسیدانی دارند و از گیاه در برابر واکنش‌های فتوبدینامیک آسیب رسانده، با سرکوب کردن گونه‌های فعال اکسیژن، حفاظت می‌کنند (قناطی و همکاران، ۱۳۸۹) و در شرایط نش آبی یا شوری به عنوان یک محلول سازگارکننده اسمزی عمل کنند (چاپارزاده و زرندی، ۱۳۹۰). تجمع آنتوسیانین در کاربرد متیل جاسمونات در توت فرنگی (Lolaei *et al.*, 2013) گزارش شده‌است و این می‌تواند در مطالعه حاضر کاربرد متیل جاسمونات را در افزایش میزان آنتوسیانین در شرایط شور در گیاه نعناع فلفلی را توضیح دهد.

مقدار کلروفیل و کاروتونوئید با افزایش شوری به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۵). به‌طوری که میزان کلروفیل a از ۶/۳۵ به ۴ و کلروفیل b از ۵/۵۲ به ۳/۹۲ کل از



شکل ۱- برهmekنیش متیل جاسمونات و شوری بر میزان آنتوسیانین نعناع فلفلی. در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی دار (LSD) در سطح ۵ درصد می‌باشد.

جدول ۵- اثر متیل جاسمونات و تنش شوری در تعرق، کلروفیل، کاروتینوئید، وزن خشک برگ و بوته نعناع فلفلی

تیمار	سرعت تعرق	کلروفیل (mg.g ⁻¹ FW)	وزن خشک برگ (g)			بوته (g)	کاروتینوئید (mg.g ⁻¹ FW)
			a	b	a+b		
۰	۰/۲۸ ^a	۵/۵۲ ^a	۷/۳۵ ^a	۴/۸ ^b	۱۱/۸۷ ^a	۱۴/۳۷ ^a	۰/۶۷ ^a
۳	۰/۲۳ ^b	۴/۱۰ ^b	۵/۵۹ ^{ab}	۴/۶۷ ^c	۹/۰۰ ^c	۱۲/۱۲ ^b	۰/۴۸ ^{bc}
۶	۰/۱۸ ^c	۷/۹۶ ^d	۴/۳۳ ^c	۴/۰۳ ^d	۱۰/۹۰ ^d	۸/۹ ^c	۰/۴۸ ^{bc}
۹	۰/۱۲ ^d	۷/۹۶ ^d	۳/۹۲ ^d	۴/۰۳ ^d	۱۱/۸۷ ^a	۵/۳۱ ^d	۰/۴۲ ^c
متیل جاسمونات (μM)							
۰	۰/۱۶ ^c	۹/۶۵ ^b	۰/۵۸ ^a	۰/۱۰ ^b	۴/۵۵ ^b	۱۲/۱۶ ^a	۲/۷۸ ^b
۷۵	۰/۲۳ ^a	۱۰/۷۳ ^a	۰/۵۱ ^a	۰/۷ ^a	۵/۰۵ ^a	۷/۹۹ ^a	۲/۹۴ ^c

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

سدیم و کلر توسط ریشه مانع انتقال سدیم به اندام هوایی شده و از آسیب این یون بر اندام هوایی ممانعت می‌کند (Kang *et al.*, 2005; Fedina& Dimova, 2000) و با بیان ژن آنزیم‌های کلیدی دخیل در بیوستر کلروفیل موجب تحریک تشکیل ۵-آمینو لوولنیک (دستجردی و همکاران، ۱۳۹۳) و تجمع رنگدانه‌های کلروفیل می‌شوند.

نتایج این آزمایش حاکی از روند کاهشی در پارامترهای ETR, Fv/Fm و Fv در سطوح مختلف شوری بود (جدول ۶). با بررسی جدول ۶ می‌توان مشاهده کرد که افزایش میزان شوری تا سطح نه دسی زیمنس بر متر، پارامترهای فلورسانس متغیر، حداقل کارایی فتوشیمیایی فتوستز II و فلورسانس حداقل به ترتیب ۴۹/۸۲، ۲۵ و ۲۰

میکرومولار متیل جاسمونات به طور معنی داری افزایش یافت اما در غلظت ۱۵۰ میکرومولار تفاوت معنی داری با شاهد مشاهده نشد. افزایش میزان کلروفیل a و b در کاربرد متیل جاسمونات به وسیله محققان دیگر در گیاه تربچه (دستجردی و همکاران، ۱۳۹۳)، بابونه آلمانی (سلیمی و همکاران، ۱۳۹۳) و توتوون (Jamalomidi *et al.*, 2013) گزارش شده است. در شرایط شوری بالا، کاهش میزان کلروفیل یک مکانیزم تطبیقی برای مقابله با تنش شوری است، چرا که منجر به کاهش بیشتر انتقال الکترون فتوستزی و کاهش تولید گونه‌های اکسیژن فعلی شود. این امر باعث کاهش فتوستز و آسیمیلاسیون CO₂ می‌شود (Eisa *et al.*, 2012). در واقع به نظر می‌رسد متیل جاسمونات با ممانعت از جذب

جدول ۶- اثر متیل جاسمونات و تنش شوری در فلورسانس کلروفیل برگ نعناع فلفلی

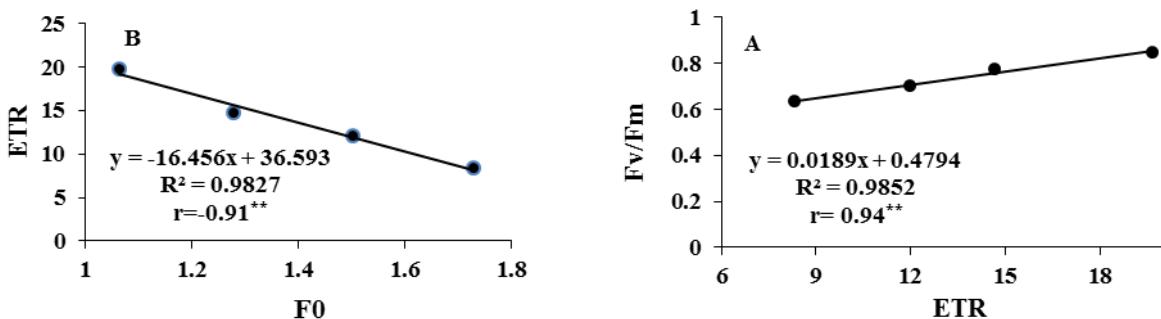
تیمار	شوری (dS.m ⁻¹)	Fm	FV/Fm	FV	NPQ
۰	۰/۸۴ ^a	۷/۷۹ ^a	۵/۷۲ ^a	۰/۷۹ ^d	۰/۷۹ ^d
۳	۰/۷۷ ^b	۶/۰۷ ^b	۴/۷۲ ^b	۰/۸۷ ^c	۰/۸۷ ^c
۶	۰/۷ ^c	۴/۹۷ ^c	۳/۵ ^c	۰/۹۶ ^b	۱/۱۲ ^a
۹	۰/۶۳ ^d	۴/۵۲ ^d	۲/۸۷ ^d	۰/۱۲ ^a	۰/۹۱ ^b
متیل جاسمونات (μM)					
۰	۰/۷۳ ^b	۵/۵ ^b	۴/۱۱ ^b	۰/۹۳ ^b	۰/۹۳ ^b
۷۵	۰/۷۶ ^a	۵/۸۵ ^a	۴/۵۴ ^a	۰/۹۶ ^a	۰/۹۱ ^b
۱۵۰	۰/۷۱ ^b	۵/۴۲ ^b	۳/۹۶ ^b	۰/۹۱ ^b	

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

آب و همچنین چرخه انتقال الکترون در درون یا اطراف فتوسیستم II مرتبط باشد (Chaves *et al.*, 2009) که موجب کاهش و اختلال در واکنش‌های فتوشیمیایی در شرایط تنش شوری شده است.

کاربرد متیل جاسمونات به طور قابل توجهی با افزایش کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II، موجب بهبود فلورسانس کلروفیل گیاه شد. کاربرد غلظت ۷۵ میکرومولار متیل جاسمونات میزان Fm را هفت درصد نسبت به شاهد افزایش داد در حالی که تفاوت معنی داری بین کاربرد غلظت ۱۵۰ میکرومولار متیل جاسمونات با شاهد مشاهده نشد. از جمله مطالعات انجام شده در این زمینه توسط دانشمندان می‌توان به گزارش‌های قاسمی و حسینزاده (۲۰۱۵) بر روی گیاه آفتابگردان اشاره نمود. افزایش راندمان فتوسیستم II ممکن است با اثرات متیل جاسمونات بر تراکم مراکز واکنش در هر آتنن کلروفیل فتوسیستم II عملکرد کوانتمومی برای انتقال الکترون و تغییرات ساختاری در پروتئین D₁ مرتبط باشد که موجب تغییرات در کارکرد و میزان راندمان الکترون فتوسیستم II می‌شود (Ghassemi and Hosseinzadeh, 2015). بنابراین، می‌توان چنین بیان کرد که کاربرد متیل جاسمونات می‌تواند موجب حفظ غلظت کلروفیل مراکز واکنش شود و از این طریق موجب بهبود سرعت انتقال الکترون و افزایش کارایی

۳۳/۱۶ درصد کاهش یافت. تنش شوری با تغییرات ساختاری در فتوسیستم II، به خصوص در پروتئین D₁، بازدارندگی نوری و کاهش پذیرنده‌های الکترون موجب افزایش تولید رادیکال آزاد می‌شود، که می‌تواند منجر به صدمات اکسیداتیو، تخریب کلروفیل، افزایش آسیب اجزای فتوسیستم II و غیرفعال شدن آنزیم کلروپلاست شود (Cui *et al.*, 2006). می‌توان گفت آبیاری با سطوح بالای آب دریا از طریق آسیب به زنجیره انتقال الکترون منجر به اختلال و کاهش ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون شده و فلورسانس متغیر را کاهش دهد. تنش شوری با تاثیر بر فتوسیستم (II) باعث کاهش Fv/Fm می‌شود و این اشاره به کاهش سرعت انتقال الکترون در زنجیره انتقال الکترون کلروپلاستی و کاهش پذیرنده‌های الکترون دارد که ممکن است باعث افزایش احتمال تولید رادیکال‌های واکنش پذیر شود، این رادیکال‌های آزاد می‌توانند به اجزا فتوسیستم (II) آسیب وارد نماید (دانشمند و همکاران، ۱۳۹۳). در همین رابطه پژوهش‌ها نشان داد که تنش شوری در گیاه برنج (Moradi and Cha-um *et al.*, 2009) و ارقام مختلف گندم (Ismaili, 2007) عملکرد کوانتمومی فتوسیستم II را کاهش داد. همچنین تنش شوری موجب کاهش پارامتر فلورسانس حداکثر شد. این کاهش ممکن است با اکسیداسیون کمتر (Wilson and QA, 1993)، کاهش فعالیت کمپلکس آنزیم Greaves, 1993 تجزیه کننده



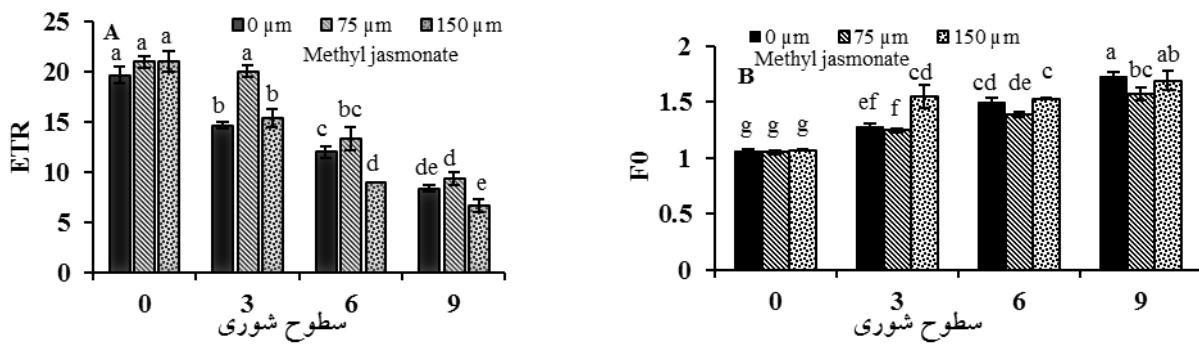
شکل ۲ - رابطه بین سرعت انتقال الکترون با حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (A)، فلورسانس حداقل با سرعت انتقال الکترون (B) در برگ نعناع فلفلی.

جاسمونات روی گیاه در سطوح تنفس شوری با تخفیف تنفس و بهبود سرعت انتقال الکترون بوده است.

نتایج داده‌ها (جدول ۴ و شکل ۲) نشان داد که افزایش سطوح شوری موجب افزایش حداقل فلورسانس، در سطح احتمال یک درصد شد. افزایش F در تنفس شوری به دلیل افزایش بازدارندگی نوری فتوسیستم II (جوادی‌پور و همکاران، ۱۳۹۲) و آسیب زنجیره انتقال الکترون فتوسیستم II در اثر کاهش ظرفیت کوئینون آ (QA) و عدم اکسیداسیون کامل آن به دلیل جریان کند الکترون در طول مسیر فتوسیستم Zlatev II و در مجموع غیرفعال شدن فتوسیستم II می‌باشد (Zlatev, 2004 and Yordanov, 2004). شکل ۲ بیانگر این است که استفاده از غلاظت ۷۵ میکرومولار متیل جاسمونات در سطوح مختلف تیمار شوری موجب کاهش Fo شد. بر اساس نتایج آزمون همبستگی و روابط رگرسیونی (شکل ۳)، رابطه‌ی خطی منفی و بالایی (-0.91^{**}) بین سرعت انتقال الکترون و حداقل فلورسانس کلروفیل مشاهده شد که بیانگر اختلال در زنجیره انتقال الکترون فتوسیستم II در شرایط شوری بالا می‌باشد. به نظر می‌رسد کاربرد محلول‌پاشی متیل جاسمونات در شرایط تنفس از طریق کاهش Fo، موجب حفاظت مراکز فتوسیستم II شده است که این امر باعث افزایش سرعت انتقال و تحمل بیشتر در شرایط تنفس شوری شود.

در پژوهش حاضر پارامتر خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ) در گیاهان تیمار شده با آب شور (جدول ۶)، در تمام سطوح شوری نسبت به شاهد افزایش یافت به طوریکه بیشترین میزان

فتوسیستم II شود. شکل ۲ نشان داد که کاربرد متیل جاسمونات و شوری روی ETR موجب بهبود یا تعدیل شرایط تنفس شوری شد، در این بررسی سرعت انتقال الکترون در کاربرد متیل جاسمونات با غلاظت ۷۵ میکرومولار در تیمار شوری ۳ و ۶ دسی زیمنس بر متر به طور معنی‌داری بیشتر از سطوح دیگر این هورمون بود. در تنفس شوری، یون‌ها از طریق تخریب لایه لیپید یا ترکیب لیپید- پروتئین روی غشای تیلاکوئید تأثیر گذاشته و از طریق آسیب به فتوسیستم II سایر اجزای زنجیره انتقال الکترون موجب اختلال یا کاهش شدید انتقال الکترون فتوستترزی می‌شود (Kanwal *et al.*, 2013). نتایجی نیز مبنی بر کاهش انتقال الکترون در فتوسیستم II در آرابیدوپسیس (Arabidopsis) (Stepien and Johnson, 2009) و آفتتابگردان (Ghassemi and Hosseinzadeh, 2015) در پاسخ به تنفس شوری گزارش شده است. به طور مشابهی قاسمی و حسین‌زاده (2015) گزارش کردند که کاربرد جاسمونیک اسید منجر به افزایش ETR در گیاه آفتتابگردان تحت تنفس شوری شد. همچنین همبستگی مثبت (0.94^{**}) بین سرعت انتقال الکترون با حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (شکل ۲) شاید به این دلیل باشد که نسبت بالای Fv/Fm توانایی گیاه را در محافظت نوری در شرایط تنفس افزایش می‌دهد. هرگاه شرایط لازم برای انتقال الکترون از فتوسیستم II مهیا باشد ظرفیت انتقال الکترون فتوسیستم II بالا خواهد رفت و سرعت انتقال الکترون در زنجیره انتقال الکترون کلروفیل‌استی افزایش می‌یابد. در مطالعه حاضر، به نظر می‌رسد که اثر متیل



شکل ۳- برهمکنش متیل جاسمونات و شوری برسرعت انتقال الکترون (A)، حداقل فلورسانس (Fo) (B) نعناع فلفلی. در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه پیانگر عدم اختلاف معنی دار (LSD) در سطح ۵ درصد می‌باشد.

میکرومولار) را می‌توان به دلیل افزایش ظرفیت چرخه گرانتوفیل و توانایی گیاه در دفع تنفس از طریق هدر دادن انرژی به صورت گرمایی دانست (Chaves *et al.*, 2009). و در نتیجه موجب افزایش عملکرد فلورسانس کلروفیل و بهبود حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II در گیاه نعناع فلفلی شد.

بر اساس یافته‌ها، روند تغییرات کارایی کوانتومی فتوشیمیایی مؤثر فتوسیستم II [Y(II)]، بطور معنی‌داری ($P < 0.01$) تحت تأثیر اثر متقابل متیل جاسمونات و شوری قرار گرفت (جدول ۵). میزان (II) Y در اثر تنفس شوری کاهش یافت، و با افزایش میزان شوری از صفر به نه دسی‌زیمنس بر متر این کاهش، شدت یافت (شکل ۵). این کاهش احتماً بیانگر کاهش فرآیند فتوسترنزی و آسیمیلاسیون CO_2 در اثر تنفس شوری می‌باشد. از سوی دیگر، کاربرد متیل جاسمونات بطور متفاوتی میزان (II) Y را تحت تأثیر قرار داد. غلظت بالای متیل جاسمونات نسبت به عدم کاربرد آن در سطوح شوری صفر تا شش دسی‌زیمنس بر متر به صورت کاهشی و سپس در سطح نه دسی‌زیمنس بر متر تقریباً ثابت بود. طبق نمودار (۵) بیشترین میزان (II) Y در تیمار متیل جاسمونات ۷۵ میکرومولار در شرایط بدون تنفس (۷ درصد نسبت به شاهد) مشاهده شد.

از دیگر ویژگی‌های مورد بحث در این تحقیق هدایت روزنه‌ای است که بطور معنی‌داری ($P < 0.01$) تحت تأثیر اثر متقابل متیل جاسمونات و شوری قرار گرفت (جدول ۳). در

خاموشی فتوشیمیایی در سطح شوری نه دسی‌زیمنس بر متر (با ۴ درصد افزایش نسبت به شاهد) مشاهده شد. در شرایط تنفس میزان پارامتر خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ) افزایش یافت به این دلیل که در شرایط تنفس فعالیت چرخه گرانتوفیل سبب افزایش اتلاف انرژی به صورت گرمایی و افزایش NPQ می‌شود (Chaves *et al.*, 2009). این پارامتر از بیش برانگیختگی فتوسیستم II و خسارت به دستگاه فتوسترنزی ممانعت به عمل می‌آورد (اسدی و همکاران، ۱۳۹۴). بر اساس نتایج آزمون همبستگی و روابط رگرسیونی (شکل ۴)، رابطه خطی منفی و بالای بین پارامتر خاموشی غیرفتوشیمیایی و حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (-0.83^{***}) بیانگر این است که افزایش NPQ (اتلاف انرژی به صورت گرمایی) برای مصرف انرژی مازاد و حفظ اکسیداسیون پذیرنده‌های الکترون فتوسیستم II ناکافی بوده (Ort and Baker, 2002) و این امر می‌تواند علت کاهش حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II را در شرایط تنفس شوری در گیاه نعناع فلفلی توضیح دهد. در گیاهان تیمار شده با سطوح مختلف متیل جاسمونات میزان پارامتر NPQ بطور معنی‌داری ($P < 0.01$) بیشتر از شاهد بود. بطوریکه بیشترین اثر مثبت متیل جاسمونات در غلظت ۷۵ میکرومولار (با ۳ درصد افزایش نسبت به شاهد) به دست آمد. از طرف دیگر کاهش معنی‌داری در میزان NPQ با کاربرد غلظت ۱۵۰ میکرومولار متیل جاسمونات با شاهد مشاهده شد، که نشان دهنده تحریک وابسته به غلظت متیل جاسمونات می‌باشد. افزایش NPQ در کاربرد متیل جاسمونات (۷۵

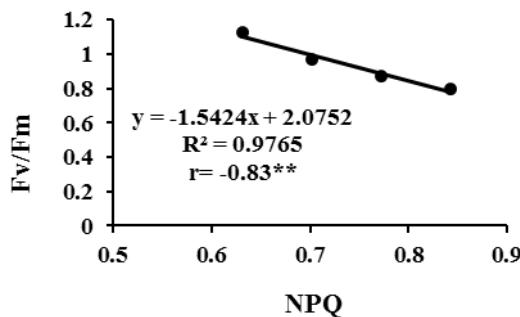
روابط آبی گیاه و افزایش هدایت روزنه‌ای، سرعت انتقال الکترون و کارایی فتوسیستم II افزایش می‌یابد در نتیجه میزان دی‌اکسید کربن برای استفاده در فتوستز، بیشتر می‌شود. افزایش میزان شوری در این مطالعه موجب کاهش معنی‌دار ($P<0.01$) سرعت تعرق در نعناع فلفلی شد به‌طوری که با افزایش شوری از صفر به نه دسی‌زیمنس بر متر سرعت تعرق برگ $\frac{56}{49}$ درصد کاهش یافت (جدول ۴). می‌تواند بیان کننده این نکته باشد که با افزایش میزان شوری، گیاه جهت کاهش اثرات تنفس شوری، و حفظ تعادل آب برگ، اقدام به بستن روزنها و کاهش خروج آب از گیاه به صورت تعرق نموده است. در مطالعه انجام شده روی ارقام کلزا در شرایط شور در محیط رشد ریشه، کاهش نسبت تعرق و هدایت روزنه‌ای مشاهده شد (Qasim *et al.*, 2003) با این وجود، در گیاهان تیمار شده با سطوح مختلف متیل جاسمونات میزان تعرق بطور معنی‌داری ($P<0.01$) بیشتر بود. به‌طوریکه بیشترین اثر مثبت متیل جاسمونات در غلاظت ۷۵ میکرومولار (با ۳۶ درصد افزایش نسبت به شاهد) بدست آمد. این حالت را میتوان به تأثیر متیل جاسمونات در روابط آبی و توان افزایش فشار اسمزی سلول‌ها و در نتیجه جذب آب از محیط مرتبط دانست (تنوری و همکاران، ۱۳۹۳).

نتایج نشان داد با افزایش شوری محتوای نسبی آب برگ کاهش معنی‌داری در همه تیمارهای اعمال شده در گیاه نعناع فلفلی داشت (شکل ۶). این کاهش به طور عمدۀ در ارتباط با کاهش میزان هدایت روزنه‌ای است و به دنبال آن، با بسته شدن روزنها و کاهش تعرق، منجر به کاهش جذب آب از ریشه‌ها می‌شود. در نعناع فلفلی‌های تیمار شده با متیل-جاسمونات این کاهش شدت کمتری داشت به‌طوریکه بر اساس نتایج حاصل، بیشترین و کمترین میزان محتوای نسبی آب برگ به ترتیب در تیمار $MJ_2 \times S_0$ (۹۹/۳۶ درصد) و $MJ_3 \times S_9$ (۶۰ درصد) به‌دست آمد. به این ترتیب، غلاظت ۷۵ میکرومولار متیل جاسمونات در سطوح شوری مختلف عملکرد بهتری در مقایسه با غلاظت‌های دیگر این هورمون از خود نشان داد و از طریق حفظ محتوای نسبی آب برگ موجب

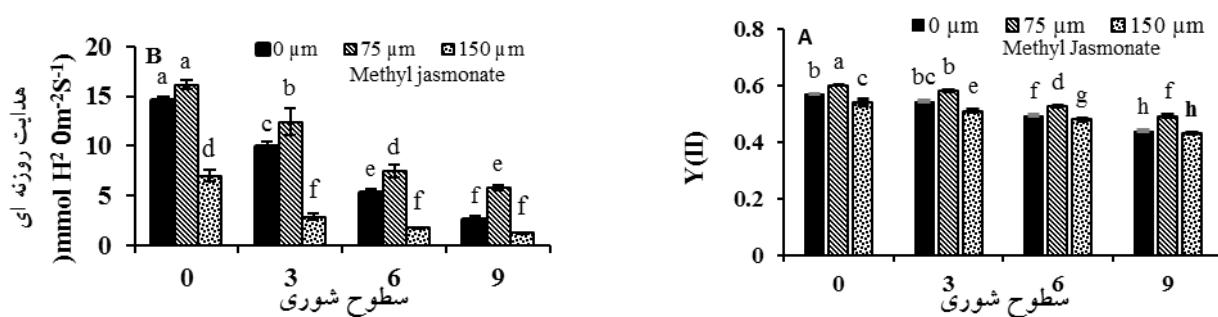
پژوهش حاضر، تحت تأثیر غلاظت ۷۵ میکرومولار متیل جاسمونات، هدایت روزنه‌ای گیاهان تیمار شده با آب شور افزایش یافت و اثرات مخرب شوری بر هدایت روزنه‌ای به طور معنی‌داری کمتر بود (شکل ۵). به عنوان مثال هدایت روزنه‌ای گیاه تیمار شده با $MJ_2 \times S_0$ (۱۰ درصد نسبت به شاهد) و $MJ_2 \times S_4$ (۵۸ درصد نسبت به $MJ_0 \times S_4$) افزایش نشان داد. به طور کلی، می‌توان گفت که نسبت‌های بالای متیل جاسمونات اثرات معکوسی بر میزان هدایت روزنه‌ای داشت، به طوریکه کمترین میزان هدایت روزنه‌ای (۹۱ درصد کاهش نسبت به شاهد) در شوری نه دسی‌زیمنس بر متر و غلاظت ۱۵۰ میکرومولار متیل جاسمونات دیده شد.

در مطالعه حاضر، به نظر می‌رسد که آبیاری با آب شور، با افزایش فشار اسمزی محلول اطراف ریشه موجب کاهش پتانسیل آب در اطراف ریشه و کاهش جذب آب توسط ریشه شده و کاهش جذب آب موجب القای پاسخ‌های روزنه‌ای می‌شود. کاهش هدایت روزنه‌ای در شرایط شور قبل از آفتتابگردن (Shahbaz *et al.*, 2011) برنج (Naheed *et al.*, 2011) گزارش شد.

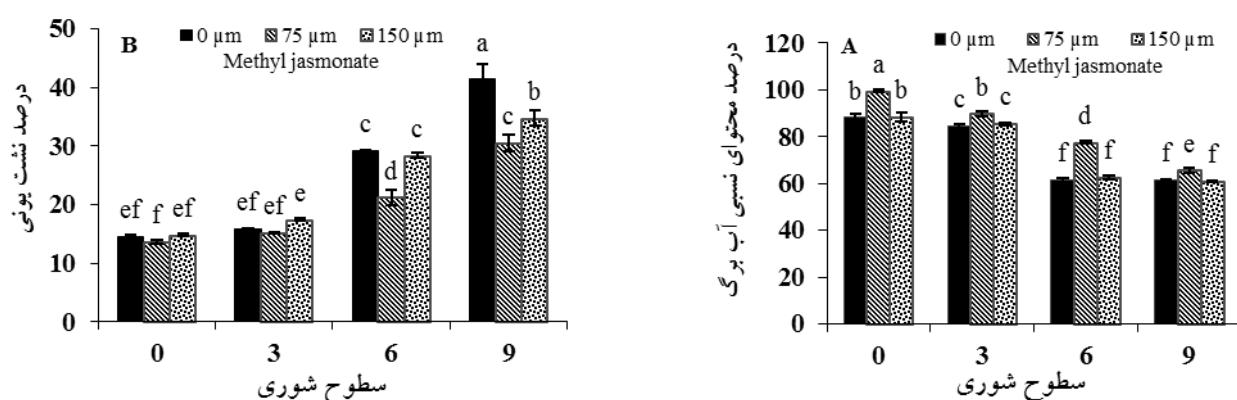
همان‌گونه با این آزمایش نتایج کاربرد جاسمونیک اسید قبل از تیمار شوری در گیاه جو که موجب کاهش اثر بازدارندگی NaCl بر هدایت روزنه‌ای و سرعت تعرق می‌شود در آزمایش پوسپیسلووا قبلاً گزارش شده است (Pospisilova, 2003) به نظر می‌رسد با شدت یافتن تنش، متیل جاسمونات برای تخفیف دادن به اثرات مضر شوری، باعث القای بسته شدن روزنها می‌گردد (سلیمی و همکاران ۱۳۹۳). مکانیسم احتمالی فعالیت متیل جاسمونات در باز کردن روزن‌هه احتمالاً شبیه به آبسزیک اسید در جلوگیری از خروج H^+ و نفوذ K^+ است (Pospisilova, 2003). همبستگی مثبت و معنی‌دار بین هدایت روزنها و کارایی فتوسیستم II (0.82^{***})، محتوای نسبی آب برگ (0.79^{**}) گیاه نعناع فلفلی می‌تواند به این دلیل باشد که گیاه با مساعدت متیل جاسمونات از سازوکارهای نظیر جلوگیری از ورود نمک و جذب ترجیحی K^+ در شوری‌های ملایم بهره گرفته باشد (سلیمی و همکاران، ۱۳۹۰) و با بهبود



شکل ۴ - رابطه بین پارامتر خاموشی غیرفتوشیمیایی با حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II در برگ نعناع فلفلی



شکل ۵- برهمکنش متیل جاسمونات و شوری بر (Y II) (A)، هدایت روزنای (B) نعناع فلفلی. در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی دار (LSD) در سطح ۵ درصد می‌باشد.

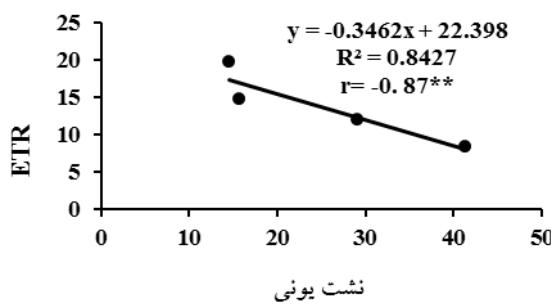


شکل ۶- برهمکنش متیل جاسمونات و شوری بر محتوای آب برگ (A)، نشت یونی (B). در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی دار (LSD) در سطح ۵ درصد می‌باشد.

MJ₂ × S₀ (۱۳/۵۹ درصد) بود. که بیانگر اثر مثبت متیل جاسمونات در کاهش آسیب به غشای سلول و کاهش میزان نشت یونی بود. در این بین غلظت ۷۵ میکرومولار متیل جاسمونات برتری قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با سطوح دیگر این هورمون در شرایط نتش شوری و عدم نتش از خود نشان داد. بر اساس نتایج آزمون همبستگی و روابط رگرسیونی

تداوم رشد گیاه می‌شود.

مقایسه میانگین اثرات متقابل متیل جاسمونات و شوری در صفت نشت یونی دارای اختلاف معنی‌داری بود. به‌طور کلی با اعمال نتش، میزان نشت یونی در تمام تیمارها افزایش پیدا کرد به طوریکه بیشترین میزان نشت یونی (شکل ۶) مربوط به تیمار MJ₀ × S₀ (۴۱/۴ درصد) و کمترین آن هم مربوط به تیمار



شکل ۷ - رابطه بین سرعت انتقال الکترون با نشت یونی در برگ نعناع فلفلی

میکرومولار متیل جاسمونات دارای تفاوت معنی‌داری با شاهد بود و میزان وزن خشک را ۱۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. اما وزن خشک کل بوته در کاربرد متیل جاسمونات کاهش یافت. همبستگی مثبت بین میزان وزن خشک برگ و محتوای آبی آب برگ (0.72^{**}) و همبستگی مثبت بین وزن خشک برگ و سرعت انتقال الکترون (0.77^{**}) وجود داشت. زیرا متیل جاسمونات از طریق افزایش میزان فتوستز موجب افزایش وزن خشک می‌شود. این حالت را می‌توان به توانایی متیل جاسمونات در ارتباط با تعادل آبی سلول و افزایش تورژسانس سلول‌ها (تنوری و همکاران، ۱۳۹۳) و در نهایت افزایش رشد برگ مرتبط دانست. کاربرد متیل جاسمونات از طریق افزایش سطح برگ و دریافت نور بیشتر و حفظ میزان کلروفیل موجب افزایش فتوستز و افزایش وزن خشک می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

سطح مختلف شوری باعث ایجاد آثار منفی بر کلیه صفات مؤثر بر رشد گیاه نعناع فلفلی شد. با این وجود، کاربرد غلاظت ۷۵ میکرومولار متیل جاسمونات تاثیر منفی بر صفات فلورسانس، آنتوسیانین و میزان کلروفیل گیاه نعناع فلفلی داشت. چنین به نظر می‌رسد متیل جاسمونات از طریق پایداری بیشتر غشاهای فتوستزی، حفظ کلروفیل و افزایش کارایی فتوسیستم II موجب افزایش فتوستز و توسعه رشد گیاهی و در نهایت موجب تحمل در برابر شوری می‌شود.

(شکل ۷)، رابطه‌ی خطی منفی و بالایی (-0.87^{**}) بین سرعت انتقال الکترون و نشت یونی مشاهده شد. به نظر می‌رسد که تیمار متیل جاسمونات با افزایش توان آنتی‌اکسیدانی سلول از جمله آنتوسیانین‌ها موجب افزایش میزان محتوای آب نسبی و کاهش مقدار نشت یونی شده و موجب حفاظت بیشتر از غشاهای سلولی شده و از تخریب کلروفیل ممانعت می‌کند، و شرایط مناسب را برای انتقال الکترون فراهم می‌کند. با توجه به نتایج، وزن خشک برگ و بوته تحت تاثیر اثر مقابل شوری و متیل جاسمونات قرار نگرفت (جدول ۳ و جدول ۵) و روند تغییرات وزن خشک برگ و بوته به شوری، به طور معنی‌داری ($P < 0.01$) کاهشی بود. به‌طوری که با افزایش میزان شوری این کاهش شدت یافت و به حداقل میزان خود (به ترتیب $55/14$ و 63 درصد نسبت به شاهد) رسید. آبیاری با آب دریا منجر به اختلال در جذب مواد معدنی، کاهش فتوستز، سنتز پروتئین و یا متابولیسم کربوهیدرات‌های شود. تنفس شوری از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای موجب افزایش غلاظت دی‌اکسیدکربن درون روزنه‌ای می‌شود و با جلوگیری از فرآیندهای بیوشیمیایی و سنتز ساکاروز، موجب تقلیل وزن خشک گیاه می‌شود (سلیمی و همکاران ۱۳۹۳) این نتایج با کاهش وزن خشک برگ و بوته در تنفس شوری در گیاه Munns and James, 2004 (Ashraf and McNeilly, 2004)، گندم (Sharifi et al., 2007) و سویا (Sharifi et al., 2007) همخوانی داشت. وزن خشک برگ و بوته گیاه نعناع فلفلی تحت تاثیر کاربرد متیل جاسمونات قرار گرفت که به میزان غلاظت متیل جاسمونات بستگی داشت. و در وزن خشک برگ تنها غلاظت ۷۵

منابع

- اسدی صنم، س.، زواره، م. پیردشتی، ه. ا. سفیدکن، ف. و نعمت زاده، ق. (۱۳۹۴). بررسی پاسخ‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* (L) Moench) به تنش دمای پایین. فرآیند و کارکرد گیاهی ۱۲: ۱۱-۲۸.
- اسماعیل‌زاده بهبادی، ص.، رضایی نودهی، آ. و نجفی، ش. (۱۳۹۴). اثر نیتریک اکساید بر میزان رشد و برخی شاخص‌های فیزیولوژیک گیاهچه‌های بادرنجبویه کشت شده در شرایط *In vitro*. مجله سلول و بافت ۲: ۱۹۵-۲۰۳.
- امیرجانی، م. ر. (۱۳۹۱). بررسی مقایسه‌ای برداری دو واریته گندم (*Triticum aestivum*) در تولید کلروفیل انتقال الکترون نسبت به تنش شوری، مجله علمی پژوهشی سلول و بافت ۲: ۵۷-۶۷.
- آذری، آ.، مدرس ثانوی، س. ع.، عسکری، ح.، قناتی، ف.، ناجی، ا. م. و علیزاده، ب. (۱۳۹۱). اثر تنش شوری بر صفات مورفو‌لولوژیک و فیزیولوژیک دو گونه کلزا و شلغم روغنی (*Brassica napus* and *B. Rapa*), مجله علوم زراعی ایران ۲: ۱۲۱-۱۳۵.
- تنوری، آ.، قاسم‌نژاد، ع. و علیزاده، م. (۱۳۹۳). تأثیر متیل‌جامسونات و اسید سالیسیلیک بر صفات مورفو‌لولوژیکی و رنگدانه‌های درونی کالوس کنگر فرنگی. به زراعی کشاورزی ۱۶: ۸۵۷-۸۶۹.
- جوادی‌پور، ز.، موحدی‌دهنوی، م. بلوجچی، ح. ر. (۱۳۹۲). ارزیابی پارامترهای فتوستزی، محتوا و فلورسانس کلروفیل برگ ارقام گلرنگ تحت تنش شوری، مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی ۲: ۳۵-۳۶.
- چاپارزاده، ن. و زرندی میاندوآب، ل. (۱۳۹۰). اثر شوری بر محتواهای رنگدانه‌های و رشد دو رقم گیاه کلزا (*Brassica napus*). زیست‌شناسی گیاهی ۹: ۱۳-۲۶.
- حاجی‌بلند، ر. و ابراهیمی، ن. (۱۳۹۰). تأثیر پلی‌آمین‌های اگزوژن بر رشد، فتوستز و متابولیسم فنل‌ها در گیاه توتون تحت تنش شوری، زیست‌شناسی گیاهی ۸: صفحه ۱۳-۲۶.
- دستجردی، ز.، صفائی‌پور افشار، ا. و سعید نعمت پور، ف. (۱۳۹۴). اثر متیل‌جامسونات بر جذب و تجمع سرب در گیاه تربچه (*Raphanus sativus*, L)، فرآیند و کارکرد گیاهی ۱۱: ۵۹-۶۵.
- سپهری، م.، صالح راستین، ن. حسینی سالکده، ق. خیام نکویی، م. (۱۳۸۸). بررسی تأثیر قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* بر بهبود رشد و افزایش مقاومت گیاه جو (*Hordeum vulgare* L) به تنش شوری، مجله علمی پژوهشی مرتع ۳: ۵۰۸-۵۱۸.
- سلیمی، ف.، شکاری، ف. حمزه‌نی، ج. (۱۳۹۳). تاثیر تنش شوری و محلول‌پاشی متیل‌جامسونات بر سرعت فتوستز، هدایت روزنه‌ای، کارائی مصرف آب و عملکرد باونه آلمانی، نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۲: ۳۲۸-۳۳۴.
- سلیمی، ف.، شکاری، ف. عظیمی، م. ح. زنگانی، ا. (۱۳۹۰). نقش متیل‌جامسونات در بهبود مقاومت به شوری از طریق تأثیر بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک در گیاه باونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L), ۴: ۷۱۱-۷۰۰.
- صفاری، ر.، مقصودی مود، ع. ا. و صفاری، و. ر. (۱۳۹۲). اثر تنش شوری بر فلورسانس کلروفیل و عملکرد دانه برخی ارقام آفتابگردان (*Helianthus annus* L), مجله بهزایعی نهال و بذر ۱: ۱۰۹-۱۳۰.
- دانشمند، ف.، آروین، م. ج. کرامت، ب. (۱۳۹۳). تغییرات ایجاد شده توسط سالیسیلیک اسید در گیاهان گلرنگ *Carthamus tinctorius* L. تحت تنش شوری، مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران) ۲: ۲۰۴-۲۱۵.
- صفاری، غ.، الهدادی، ا. آروین، س. م. ج. (۱۳۹۱). تأثیر برخی تنظیم کننده‌های رشد بر خصوصیات جوانهزنی و رشد اولیه گیاهچه کلزا (*Brassica napus* L.), نشریه علوم و فناوری بذر ایران ۲: ۱۸۵-۱۹۲.
- فضائلی، ع.، بشارتی، ح. و پیروی بیرانوند، ن. (۱۳۸۹). تأثیر شوری بر کارایی همزیستی سینوریزوبیومیلیوتی با ارقام مختلف یونجه، مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) ۳: ۲۵۳-۲۶۳.

- قناطی، ف.، بختیاریان، س. و عبدالمالکی، پ. (۱۳۸۹). تأثیر متیل جاسمونات بر متابولیت‌های ثانویه گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.). علوم و فناوری زیستی مدرس ۱: ۲۱-۳۳.
- کاظم‌الوندی، ر.، شریفان، ا. آقازاده مشگی، م. (۱۳۸۹). بررسی ترکیب شیمیایی و اثر ضدمیکروبی اسانس گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita*)، مجله علمی پژوهشی پاتوبیولوژی مقایسه‌ای ۴: ۳۵۵-۳۶۴.
- کرمی، ع. و زارع، م. ج. (۱۳۹۳). پاسخ فیزیولوژیک و تغذیه‌ای گیاه یونجه (*Medicago sativa. cv hamedani*) در تلقیح با قارچ درونزی *Azospirillum Spp* و باکتری *Piriformospora indica* تحت تنش شوری، نشریه تولید گیاهان زراعی ۱: ۱۰۹-۱۲۹.
- Ashraf, M., and McNeilly, T. (2004) Salinity tolerance in Brassica oilseeds. Critical Review of Plant Science. 2: 157-174.
- Cui, L., Li, J. Fan, Y. Xu, S. and Zhang, Z. (2006) High temperature effects on photosynthesis, PSII functionality and antioxidant activity of two *Festuca arundinacea* cultivars with different heat susceptibility. Botanical Studies. 47: 61-69.
- Eisa, S., Hussin, S. Geissler, N. Koyro, H.W. (2012). Effect of NaCl salinity on water relations, photosynthesis and chemical composition of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as a potential cash crop halophyte. Australian Journal of Crop Sciences. 2:357-368.
- Cha-Um, S., Supaibulwattana, K. and Kirdmanee, C. (2009) Comparative effect of salt stress and extreme pH stress combined on glycinebetaine accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of two rice genotypes. Rice Science 16(4): 247-282.
- Chaves, M., Flaxes, J. and Pinheiro, C. (2009) Photosynthesis under drought and salt stress regulation mechanism from whole plant to cell. Annals of Botany 103: 551-556.
- Fedina, I.S., and Dimova, L .M. (2000) Methyl jasmonate-induced polypeptides in *Pisum sativum* roots soluble proteins. Physiol des plantes, 10: 59-65.
- 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.
- Ghassemi-Golezani, K., Hosseinzadeh-Mahootchi, A. (2015) Improving physiological performance of safflower under salt stress by application of salicylic acid and jasmonic acid. WALIA. S1: 104-109.
- Hajer, A. S., Malibari, A. A. Al-Zahrani, H. S. and Almaghrabi, O. A. (2006) Responses of three tomato cultivars to sea water salinity. Effect of salinity on the seedling growth. African Journal of Biotechnology. 5: 855-861.
- Jamalomidi, F. Sarmad, J. Jamalomidi, M. (2013) Changes caused by Methyl Jasmonate in Cocker 347- a cultivar of tobacco (*Nicotine tabacum* L.) under salinity stress. International Research Journal of Applied and Basic Sciences. 5: 1139-1145.
- Kang, D.J., Seo, Y.J. Lee, J.D. Ishii, R. Kim, K.U. Shin, D.H. Park, S.K. Jang, S.W. and Lee, I.J. (2005) Jasmonic acid differentially affects growth, ion uptake and abscisic acid concentration in salt-tolerant and salt-sesitive rice cultivars. Journal of Agronomy and Crop Science, 4: 273-282.
- Kanwal, S., Ashraf, M. Shahbaz, M. and Yasir Iqbal, M. (2013). Influence of saline stress on growth, gas exchange, mineral nutrients and non-enzymatic antioxidants in Mungbean [(*Vigna Radiata* (L.) WILCZEK)]. Pakistan Journal of Botany. 3: 763-771.
- Lichtenthaler, H. K. Wellburn, A. R. (1983) Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions. 11:591–592
- Lolaei, A., Zamani, S. Ahmadian, E. and Mobasher, S. (2013). Effect of Methyl Jasmonate on the Composition of Yield and Growth of Strawberry (Selva and Queen Elisa). International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 3: 200-206.
- Maxwell, K. and Johnson, G. N. (2005) Chlorophyll fluorescence-a practical guide. Journal of Experimental Botany 51(345): 659-668.
- Moradi, F. and Ismaeil M. (2007) Responses of photosynthesis, chlorophyll fluorescence and ROS-scavenging systems to salt stress during seedling and reproductive stages in rice. Annals of Botany 99: 1161-1173.
- Munns, R., and James, R. A. (2003) Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. Plant and Soil. 253: 201-218.
- Naheed, G., Shahbaz, M. Latif, A. and Rha, E. S. (2007) Alleviation of the adverse effects of salt stress on rice (*Oryza sativa* L.) by phosphorus applied through rooting medium: growth and gas exchange characteristics. Pakistan Journal of Botany. 39: 729-737.
- Olfa Baatour, R., Kaddour, W. Aidi Wannes, M. and Lachaal Marzouk, B. (2009) Salt Effects on the Growth, Mineral Nutrition, Essential oil Yield and Composition of Marjoram (*Origanum majorana*). Acta Physiologiae Plantarum. 10: 0374.

- Ort, D. R. and Baker, N. R. (2002) A photoprotective role for O₂ as an alternative electron sink in photosynthesis. *Current Opinion in Plant Biology* 5: 193–198.
- Pospisilova, J. (2003) Participation of phytohormones in the stomatal regulation of gas exchange during water stress. *Biologia Plantarum*. 4: 491-506.
- Qasim, M, Ashraf M, Jamil M A, Ashraf M Y, Rehman S U and Rha E S (2003) Water relations and leaf gas exchange properties in some elite canola (*Brassica napus* L.) lines under salt stress. *Annual Application of Biology*. 142: 307-316.
- Rezai, S., Orojloo, M. Shirani Bidabadi, S., Soleimanzadeh, M. (2013) Possible Role of Methyl Jasmonate in Protection to NaCl – Induced Salt Stress in Pepper cv. "Green Hashemi". *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 17: 1235-1238.
- Roodbari, N., Roodbari, S. Ganjali, A. and Ansarifar, M. (2013) The Effect of Salinity Stress on Growth Parameters and Essential oil percentage of Peppermint (*Mentha piperita* L.). *International Journal of Basic and Applied Science*. 1: 294-299.
- Saleh, B. (2012) Salt stress alters physiological indicators in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Journal of Soil Environment*. 2: 113-118.
- Shahbaz, M., Ashraf, M. Akram, N. A. Hanif, A. Hameed, S. Joham, S. and Rehman, R. (2011) Salt-induced modulation in growth, photosynthetic capacity, proline content and ion accumulation in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Acta Physiologiae Plantarum*. 33: 1113-1122.
- Shannon, MC. (1997) Adaptation of plants to salinity. *Advances in Agronomy*. 60: 75–120
- Sharifi, M., Ghorbanli, M. Ebrahimzadeh, H. (2007) Improved growth of salinity-stressed soybean after inoculation with salt pre-treated mycorrhizal fungi. *Journal of Plant Physiology*. 9: 144-151.
- Stepien, P., and Johnson, G. N. (2009). Contrasting Responses of Photosynthesis to Salt Stress in the Glycophyte *Arabidopsis* and the Halophyte *Thellungiella*: Role of the Plastid Terminal Oxidase as an Alternative Electron Sink. *Journal of Plant Physiology*. 149: 1154–1165.
- Viera Santo, C. (2004) Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Scientia Horticulturae*. 1: 93-99.
- Wasternack, C. and Parthier, B. (1997) Jasmonate-signalled plant gene expression. *Trends Plant Sci*. 2: 302–307.
- Wilson, J.M., Greaves, J. A. (1993) Development of fluorescence based screening programs for temperature and water stress in crop plant. In: *Adaptation of food crop to temperature and water stress*. Pp.389-398.
- Yoon, J. Y., Hamayun, M. Lee, S. K. Lee, I. J. (2009) methyl jasmonate alleviated salinity stress in soybean. *Journal of Crop Science and Biotechnology*. 2: 63 – 68.
- Zlatev, Z. and Yordanov, T. (2004) Effect of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. *Bulgarian Journal of Plant Physiology* 30(3-4): 3-18.

Effects of methyl jasmonate on some photosynthetic parameters of peppermint (*Mentha piperita*) in saline conditions

Masome khalvandi¹, Mohamad reza Amerian¹, *Hematollah Pirdashti², Mahdi baradaran¹, Ahmad Gholami¹

¹Department of Agronomy, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Shahrood University of Technology, ²Department of Agronomy, Genetic and Agricultural Biotechnology Institute Tabarestan, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari.

(Received: 11/04/2016, Accepted: 23/08/2016)

Abstract

The present study was aimed to evaluate a biological solution to improve peppermint plant growth and production in the salt-affected soil. The experiment was arranged in a factorial experiment based on completely randomized design with three replications in the greenhouse under controlled conditions (28/15 °C in day/night). Three levels of methyl jasmonate (0, 75 and 150 µM) and four levels of sea water (0, 3, 6, 9 dS/m) were the treatments. After nine weeks, ETR, Fv/ Fm, Fm, transpiration, RWC, chlorophyll a, chlorophyll b, stomatal conductance and leaf dry weight were measured. The results showed that salinity decreased ETR, Fv/ Fm, Fm, transpiration, RWC, chlorophyll a, chlorophyll b, stomatal conductance and leaf dry weight while increased anthocyanins, Fo and NPQ. The measured traits were influenced by the different levels of methyl jasmonate. Where plants grown at salinity of 9 dS/m and sprayed with 75 µM of methyl jasmonate, anthocyanin increased up to 8% while the membrane electrolyte leakage decreased by 35%. Methyl jasmonate also ameliorate the negative effects of salinity on stomatal conductance (54%), ETR (10%) and leaf relative water content (6%). Higher levels of methyl jasmonate (150 µM), however, had an inhibitory effect on stomatal conductance, chlorophyll a and ETR. Overall, it seems that methyl jasmonat had a positive role under salt conditions due in particular to improving plant water relations, stomatal conductance and therfore, increasing electron transfer rate and the photosystem II efficiency. In conclusion, spraying of methyl jasmonate at the rate of 75 µM improved growth parameters of peppermint medicinal plant under salt cnditions.

Keywords: Leaf dry weight, Leaf chlorophyll, Fluorescence parameters, Stomatal conductance.

*Corresponding Author, Email: pirdasht@yahoo.com