تأثیر تنظیم کننده رشد سالیسیلات بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در شرایط تنش خشکی

زهرا شهریور، فائزه السادات ابطحی* و مهرناز حاتمی

ایران، اراک، دانشگاه اراک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه گیاهان دارویی

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۴ تاریخ پذیرش: ۹۸/۶/۱۶

چکیده

نعناع فلفلی با نام علمی *Mentha piperita* L. با خواص دارویی متعدد یکی از مهمترین گیاهان خانواده نعناعیان است. به منظور بررسی اثرات تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر گیاه دارویی نعناع فلفلی، آزمایشی بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در چهار تکرار در دانشگاه اراک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی در گلخانه تحقیقاتی گیاهان دارویی در سال ۹۶ اجرا شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل تنش خشکی ۳۵، ۶۵، ۹۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و اسید سالیسیلیک در سطوح ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر بودند. نتایج نشان داد که اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) موجب بهبود اکثر صفات فیزیولوژیکی شامل شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب، کلروفیل a، b و کلروفیل کل، کاروتنوئیدها، محتوای فنل و فلاونوئید، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، نشت یونی و مالون دی آلدهید گردید. بیشترین میزان نشت یونی و مالون دی آلدهید در تیمار ترکیبی ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر سالیسیلیک اسید و تنش ۳۵ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد. حداکثر میزان محتوای فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی اکسیدانی در تیمار ترکیبی اسید سالیسیلیک (۱۵۰ میلی گرم بر لیتر) و تنش خشکی ۹۵ درصد مشاهده شد. بنابراین به کارگیری این تنظیم کننده رشد در سطح ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر در تخفیف تنش خشکی در گیاه دارویی نعناع فلفلی می تواند مفید باشد.

واژه های کلیدی: اسید سالیسیلیک، کم آبی، نعناعیان، اسانس

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۸۶۳۲۷۶۰۱۰۵ ، پست الکترونیکی: f-abtahi@araku.ac.ir

مقدمه

تنش کم آبی یکی از مهمترین عوامل محیطی محدود کننده رشد گیاه و شایعترین مورد کاهش عملکرد محصول به علت افزایش دما و کاهش آب در دسترس گیاه است و بر روابط آبی، فتوسنتز، تغذیه، متابولیسم، رشد و عملکرد گیاه تاثیر بسزایی دارد (۱۲). ارزیابی تحمل گیاهان به تنشهای محیطی عامل مهمی در انتخاب آنها برای کشت در شرایط مختلف جغرافیایی می باشد. عوامل محیطی به ویژه شرایط تنش زا، نقش عمده ای در کمیت و کیفیت زراعی و دارویی به عهده دارند. اسید سالیسیلیک از ترکیبات فنلی است که در تعداد زیادی از گیاهان به وسیله سلول های ریشه تولید می شود و به عنوان ماده ای شبه هورمونی، نقش مهمی در رشد و نمو گیاهان ایفا می کند (۳۶).

همچنین نقش محوری در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف مانند رشد و نمو گیاه، جذب یون‌ها، فتوسنتز و جوانه زنی، رسیدگی و پاسخهای دفاعی ایفا می کند (۴۲) و ویژگی های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان تحت تنشهای غیر زیستی را تنظیم نموده و نیز سبب مقاومت آنها در برابر بیماری‌ها می شود (۲۹) و در تنش‌های غیر زیستی به ویژه تنش خشکی در گیاهان افزایش پیدا می کند و سبب افزایش محتوای رنگیزه ها در شرایط تنش می شود (۲۸).

مکانیسم عمل اسید سالیسیلیک در برابر تنش ها به نقش آن در تنظیم آنزیمهای آنتی اکسیدانی و ترکیبات دارای

گونه های فعال اکسیژن در گیاه برمی گردد (۱۸). گزارش نمودند که کاربرد اسید سالیسیلیک بر گیاهان ریحان رشد یافته در شرایط تنش کم آبی، سبب افزایش شاخص های رشد، میزان کلروفیل و محتوای نسبی آب بافت‌ها و همچنین کاهش میزان پرولین و نشت الکترولیتی شده است (۳۸). دلاوری پاریزی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند که محلول پاشی اسیدسالیسیلیک موجب کاهش فعالیت مالون دی آلدئید و همچنین غلظت سدیم و پتاسیم در برگ و ریشه گیاهان ریحان سبز رشد یافته تحت شرایط تنش شوری شد که نشان دهنده تعدیل اثر تنش می باشد. در گندم، تیمار اسید سالیسیلیک سبب افزایش محتوای رطوبتی بافت، وزن خشک، واکنش کربوکسیلاتی روبیسکو، فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز و محتوای کلروفیل کل در طی تنش در مقایسه با دانهال های شاهد شده است (۵۰). هدف از این پژوهش بررسی محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و تعیین غلظت مناسب این هورمون بر رشد و خصوصیات بیوشیمیایی گیاه دارویی نعناع فلفلی تحت سطوح مختلف تنش خشکی می باشد.

مواد و روشها

کشت گلدانی و اعمال تیمارهای آزمایش: این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی گروه گیاهان دارویی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اراک انجام شد. جهت انجام آزمایش گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۲۶ سانتیمتر و ارتفاع ۲۵ سانتیمتر و وزن خالی ۲۹۵ گرم انتخاب شدند. در مجموع ۶۴ گلدان مورد استفاده قرار گرفت و کف گلدان‌ها سنگریزه به وزن ۲۰۰ گرم برای زهکشی مناسب ریخته شد، سپس گلدانها به میزان مناسب از خاک مورد نظر مخلوطی از خاک مزرعه و شن به نسبت ۲ به ۱ پر گردیدند. وزن هر گلدان حاوی خاک به ۸ کیلوگرم رسید. برای جلوگیری از ورود آب از کف گلخانه به داخل گلدان‌ها از زیر گلدانی استفاده گردید. خاک از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مورد آنالیز قرار گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف اسید سالیسیلیک بر شاخصهای فیزیولوژیکی گیاه دارویی نعناع فلفلی تحت تنش خشکی

منابع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)						
		شاخص کلروفیل	نشت یونی	محتوای نسبی آب	کاروتنوئید	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
اسید سالیسیلیک (S)	۳	۴۰/۳۳*	۱۰۸/۸۱**	۱۲۶/۹۵**	۱۸۴۶۸/۹۰*	۷۵۲۷۰/۶۳*	۱۶۶۵۱/۲۸*	۸۱۵۰۶/۴۲**
تنش خشکی (D)	۳	۴۷/۰۲*	۸۰/۷۸**	۹/۱۷ ns	۱۲۵۷۲/۵۹*	۷۴۳۳۳/۶۵*	۱۶۴۱۰/۹۶*	۹۶۴۲۹/۵۵**
اثر متقابل S × D	۹	۴۰/۹۹*	۵۰/۴۱**	۱۹/۹۶*	۸۷۲۰/۳۹*	۷۳۸۹۸/۳۵*	۱۹۳۷۰/۹۵*	۱۱۳۱۲۵/۵۴*
خطای آزمایش	۴۸	۱۵/۵۸	۱۶/۸۵	۷/۴۳	۴۵۹۷/۸۹	۴۳۴۸۹/۲۳	۱۱۱۱۸/۹۲	۶۴۵۴۸/۶۵
CV (٪)	-	۹/۹۸	۱۵/۵۸	۳/۰۹	۲۳/۴۷	۲۵/۳۴	۱۳/۸۰	۲۲/۰۱

ns : غیرمعنی دار، * و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ ٪ و ۱٪.

بلافاصله پس از پر کردن گلدان‌ها دو تا سه ریزوم یکسان نعناع فلفلی از نظر اندازه در عمق یک سانتی‌متری از سطح خاک گلدان‌ها کاشته شدند. گلدان‌ها در شرایط یکسان در دمای روزانه ۲۵ تا ۳۰ و شبانه ۱۸ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. آبیاری بصورت روزانه طوری که خاک گلدان‌ها مرطوب باشد، انجام شد. پس از دو ماه که رشد گیاه ها به حد مطلوب رسید تیمارها اعمال شدند. اسید سالیسیلیک در یک مرحله رشدی گیاه قبل از گلدهی به صورت محلولپاشی برگی بر روی گیاه اعمال شد. در گیاهان شاهد نیز از آب مقطر به عنوان محلول پاشی استفاده شد. محلول پاشی گیاهان صبح زود انجام شد به طوری که سطح تحتانی و فوقانی برگ ها با محلول آغشته

شد. بعد از گذشت ۲۱ روز، اعمال تنش خشکی براساس ظرفیت زراعی (FC) به صورت وزنی انجام شد. تنش خشکی در چهار سطح ۳۵، ۶۵، ۹۵، ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد. بدین منظور در کف گلدانها به وزن ۲۰۰ گرم سنگریزه جهت زهکشی ریخته شد و سپس به آنها خاک اضافه شد تا به وزن ۸ کیلوگرم برسند سپس در فواصل زمانی چند ساعته در روزهای اول و در روزهای بعدی هر روز گلدان‌ها وزن گردید تا به یک وزن و رطوبت ثابت رسیدند، سپس تیمارهای آبیاری در طی دوره رشد با توجه به وزن FC بدست آمده اعمال شدند. محاسبات آماری حاصل از آزمایش با استفاده از نرم افزار آماری SAS نسخه ۱/۹ انجام گرفت. برای مقایسه میانگین، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ۰/۰۱ استفاده شد. همچنین برای رسم نمودار از نرم افزار EXCEL سری ۲۰۱۰ استفاده گردید.

اندازه گیری محتوای نسبی آب (RWC): نمونه برداری به طور تصادفی در ساعت ۱۰ صبح از آخرین برگ کاملاً توسعه یافته سالم و میانی گیاهان انجام شد. بلافاصله بعد از نمونه برداری، وزن تر برگ‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱گرم اندازه گیری شد. سپس برگ‌ها در آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و نور کم برای محاسبه وزن اشباع، غوطه‌ور شدند پس از این مدت نمونه‌ها سریع و با دقت با دستمال کاغذی خشک و وزن اشباع آنها اندازه‌گیری شد سپس برگ‌ها در آون ۷۵ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شد و دوباره وزن شدند، بدین ترتیب محتوای نسبی آب برگ‌ها از طریق رابطه زیر محاسبه شد (۲۷).

$$RWC\% = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100$$ **فرمول (۱)**

که در آن FW وزن تر، DW وزن خشک، TW وزن آماس برگ می باشد.

اندازه گیری نشت یونی: از برگ گیاهان تحت تیمارهای مختلف اسید سالیسیلیک قطعات مربعی به میزان یکسان تهیه شد سپس نمونه‌ها در آب مقطر و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده شدند. بعد از گذشت ۲۴ ساعت، هدایت الکتریکی هر نمونه با استفاده از EC متر مدل (Lutron) اندازه‌گیری شد (EC_1). به منظور اندازه‌گیری میزان کل نشت یونی در اثر مرگ سلول‌ها، لوله‌های آزمایش در دستگاه بن ماری در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد به مدت ۹۰ دقیقه قرار داده شدند و پس از سرد شدن لوله‌ها، مجددا هدایت الکتریکی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (EC_2) سپس درصد نشت یونی با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (۳۵).

$$\frac{EC1}{EC2} \times 100$$ نشت یونی (درصد)

شاخص محتوای کلروفیل قرائت (SPAD): به طور تصادفی از نواحی مختلف بوته‌ها، برگ‌های سالم و برگ‌های میانی کاملا توسعه یافته به تعداد ۱۰ برگ از هر گلدان انتخاب شد با استفاده از دستگاه کلروفیل متر (مدل KONICA MINOLTA 502, JAPAN) تعیین شد. سپس با محاسبه میانگین اعداد به دست آمده از هر پنج برگ، شاخص کلروفیل هر گیاه مشخص گردید (۳۹).

اندازه‌گیری محتوای رنگیزه‌های گیاهی (کلروفیل و کارتنوئید): استخراج و سنجش کلروفیل های a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید برگ با استفاده از روش Lichtenthaler و Wellburn (۱۹۸۳) انجام شد نیم گرم برگ تازه از هر تیمار در هاون چینی با ۱۰ میلی لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد. عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه سانتریفوژ با دور ۱۰۰۰ rpm قرار داده شد، از محلول رویی به مقدار سه میلی لیتر داخل کووت ریخته شد و مقدار جذب در سه طول موج ۶۶۳، ۶۴۶ و برای تعیین میزان کاروتنوئید در طول موج ۴۷۰ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر (مدلSPECORD 200 PLUS)

قرائت گردید. از روابط زیر برای غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید استفاده شد:

$$\text{Chlorophyll a } \left(\frac{mg}{gFW}\right) = [12/21\ A_{663} - 2/81\ A_{646}] \quad \text{فرمول (۱)}$$

$$\text{Chlorophyll b } \left(\frac{mg}{gFW}\right) = [20/13\ A_{646} - 5/03\ A_{663}] \quad \textbf{فرمول (۲)}$$

$$\text{Carotenoids } \left(\frac{mg}{gFW}\right) = \frac{[1000\ A470 - 3/27chl\ a - 104\ chl\ b]}{229} \quad \textbf{فرمول (۳)}$$

که در آن A_{663}، A_{646} و A_{470} به ترتیب مقدار جذب قرائت شده در طول موج های ۶۶۳، ۶۴۶، ۴۷۰ نانومتر می باشد. نتایج حاصل از اندازه گیری مقدار رنگیزه های فتوسنتزی بر حسب میلی گرم در گرم وزن تر محاسبه و ارائه گردید.

تعیین مقدار فلاونوئید کل: میزان فلاونوئید تام از روش رنگ سنجی کلرید آلومینیوم ($AlCl_3$) با استفاده از کوئرستین به عنوان استاندارد اندازه گیری شد. اصول رنگ سنجی آلومینیوم کلرید، تشکیل کمپلکس های اسیدی آلومینیوم کلرید با گروه کتون و یا گروه هیدورکسیل فلاونوئیدهاست که این ترکیبات بیشترین جذب را در طول موج ۴۱۵ نانومتر دارند. در این روش دو میلی لیتر از هر یک از عصاره‌های رقیق شده متانولی (۱:۴) با ۲ میلی لیتر کلرید آلومینیوم ۲ درصد داخل لوله آزمایش تیره ترکیب شدند و به منظور ترکیب بهتر از ورتکس استفاده شد. بعد از نگهداری نمونه‌ها در دمای اتاق به مدت ۱۵ دقیقه، جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۱۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. از کوئرستین به منظور رسم منحنی استاندارد استفاده شد ($y = 0.0112x + 0.075, R^2 = 0.997$). نتایج بر حسب میلی‌گرم کوئرسیتین در هر گرم عصاره گیاهی بیان شد. بدین صورت که محلول پایه ای از این ماده با غلظت ۱۰۰۰ میکروگرم بر میلی لیتر تهیه گردید و از این محلول پایه غلظتهای مختلف ۲/۵، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰، ۱۶۰ و ۳۲۰ میکرو گرم بر لیتر در متانول تهیه و پس از انجام مراحل مختلف بر طبق روش بالا جذب نمونه ها خوانده شد. پس از رسم منحنی استاندارد کوئرستین، با قرار دادن مقدار جذب نمونه ها در معادله خطی از منحنی استاندارد، مقدار فلاونوئید تام موجود در عصاره محاسبه شد. در نهایت داده ها بر اساس میلی گرم کوئرستین بر گرم عصاره بیان گردید (۴۰).

اندازه گیری میزان کل ترکیبات فنلی: جهت اندازه‌گیری ترکیبات فنلی کل از معرف فولین سیوکالتو استفاده شد جهت انجام این آزمایش به ۴۰۰ میکرولیتر از عصاره رقیق شده (۱:۵) مقدار دو میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالتو (۱:۱۰) اضافه شد، پس از ۵ دقیقه، ۱/۶میلی لیتراز محلول ۷۵ گرم بر لیتر کربنات سدیم به آن اضافه شد. بعد از نیم ساعت مقدار جذب مخلوط در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در مقابل بلانک قرائت شد. اسید گالیگ به عنوان استاندارد برای رسم منحنی کالیبراسیون به کار رفت ($y = 0.0091x + 0.096, R^2 = 0.999$). برای رسم منحنی استاندارد اسید گالیک، محلول پایهای به غلظت ۱۰۰۰ میکروگرم بر میلی لیتر تهیه گردید سپس از این محلول پایه، محلول هایی با غلظتهای مختلف ۲/۵، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰، ۱۶۰ و ۳۲۰ میکرو گرم بر لیتر آماده گردید. پس از رسم منحنی استاندارد اسید گالیک، با قرار دادن مقدار جذب نمونه ها در معادله خطی مربوط به منحنی استاندارد، مقدار فنل تام موجود در عصاره محاسبه شد. در نهایت داده ها بر حسب میلی گرم اسید گالیک بر گرم وزن خشک بیان شد (۵۲).

سنجش فعالیت آنتی اکسیدانی به روش DPPH: این روش برای سنجش مهار فعالیت رادیکال‌های آزاد عصاره گیاه به کار می‌رود. در این روش از ۲ و ۲ -دی فنیل-۱ -

پیکریل هیدرازیل(DPPH) که یک رادیکال چربی دوست است به عنوان رادیکال آزاد استفاده می‌شود. گروه‌های هیدروکسیل ترکیبات آنتی‌اکسیدان با دادن H به مولکول‌های رادیکال آزاد DPPH منجر به کاهش این مولکول می‌گردند که این واکنش با تغییر رنگ محلول از بنفش تیره به زرد همراه است. در نتیجه جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر کاهش می یابد. برای انجام آزمایش محلول چهار درصد رادیکال پایدار DPPH تهیه شد و ۲۸۰۰ میکرولیتر از این محلول با ۲۰۰ میکرولیتر حجم نهایی ۳ میلی‌لیترعصاره رقیق شده را در لوله‌های آزمایش تیره ترکیب گردید و بعد از ۱۵ دقیقه جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت گردید و در نهایت با استفاده از فرمول زیر درصد مهار رادیکال‌های آزاد DPPH محاسبه شد (۱۴).

$$\text{درصد مهار رادیکال‌های آزاد (DPPH)} = \left[\frac{\text{Ablank}-\text{Asample}}{\text{Ablank}}\right] \times 100$$

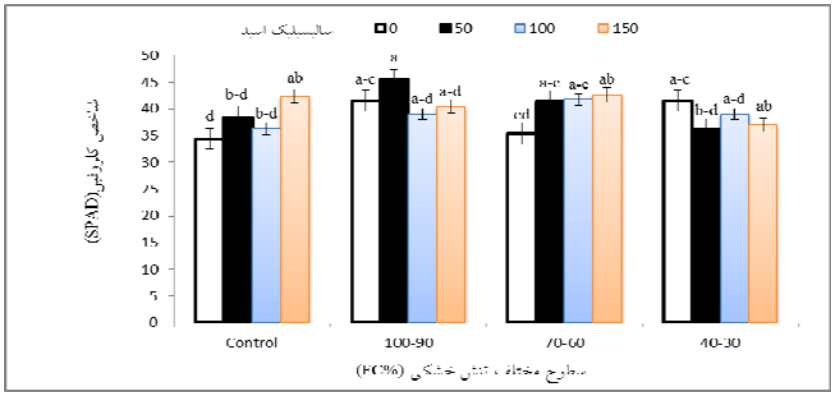
در این فرمول blank:A جذب شاهد جذب نوری کنترل منفی فاقد عصاره و sample:A بیانگر جذب نوری غلظت‌های مختلف عصاره گیاه را بیان می کند. از منحنی استاندارد محلول اسید آسکوربیک برای محاسبه مقدار آنتی‌اکسیدان هر یک از نمونه‌ها استفاده شد .غلظتهای مختلف۲/۵، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰، ۱۶۰ و ۳۲۰ میکرو گرم بر لیتر از این محلول تهیه گردید و پس از انجام مراحل مختلف مطابق روش ذکر شده در بالا مقدار جذب نمونه ها خوانده شد. سپس درصد مهارکنندگی با استفاده از فرمول محاسبه گردید و پس از رسم منحنی استاندارد اسید آسکوربیک، با قرار دادن مقدار درصد مهار رادیکال آزاد عصاره ها در معادله خطی، میزان فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره ها محاسبه شد. در نهایت داده های آنتی اکسیدان بر اساس معادل میلی‌گرم اسید آسکوربیک بر گرم ماده خشک محاسبه گردید.

اندازه‌گیری غلظت مالون دی آلدهید: اندازه‌گیری مقدار مالون دی آلدهید (MDA) به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپید غشاء طبق روش Heath and Packer (۱۹۶۸) صورت گرفت .بدین منظور ۰/۲ گرم از بافت فریز شده برگ با ۵ میلی لیتر تری کلرواستیک اسید (TCA)۰/۱ درصد هضم شد. عصاره حاصل به مدت ۵ دقیقه در ۱۰۰۰ دور سانتریفوژ شد. به ۲ میلی‌لیتر از محلول رویی حاصل از سانتریفوژ، ۴ میلی‌لیتر محلول تری‌کلرواستیک‌اسید (TCA) ۲۰ درصد که حاوی نیم درصد تیوباربیتوریک اسید (TBA) بود اضافه شد .مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد در حمام آب گرم (بن ماری) حرارت داده شد .سپس نمونه ها بلافاصله در یخ سرد شد و دوباره مخلوط به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور سانتریفوژ گردید. شدت جذب این محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. برای محاسبه غلظت MDA از ضریب خاموشی معادل Mm^{-1} ۱۵۵CM^{-1} استفاده شد و با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد .نتیجه حاصل از اندازه گیری بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تازه محاسبه گردید.

$$MDA\ (\mu mol\ g\text{-}1\ Fw) = [A532\text{-}A600/155] \times 1000$$

نتایج

شاخص کلروفیل (SPAD): طبق نتایج تجزیه واریانس جدول(۱) اثر متقابل محلول پاشی اسید سالیسیلیک و تنش خشکی در سطح احتمال پنج درصد بر میزان شاخص کلروفیل معنی دار بود. مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین شاخص کلروفیل برگ با میانگین ۴۲/۴۵ در اثر متقابل اسید سالیسیلیک با غلظت 50 میلی گرم بر لیتر و تنش ملایم خشکی (95%) ظرفیت زراعی بدست آمد که نسبت به شاهد افزایش 15/32 درصدی را نشان داد و کمترین مقدار این صفت نیز با میانگین ۳۷/۳۴ سانتیمتر مکعب در شاهد حاصل شد (نمودار ۱، جدول۲).



نمودار ۱- اثر متقابل سطوح مختلف اسید سالیسیلیک بر شاخص کلروفیل نعناع فلفلی تحت تنش خشکی. حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد در بین میانگینها براساس آزمون دانکن می‌باشد.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف اسید سالیسیلیک بر شاخص های فیزیولوژیکی گیاه دارویی نعناع فلفلی تحت تنش خشکی

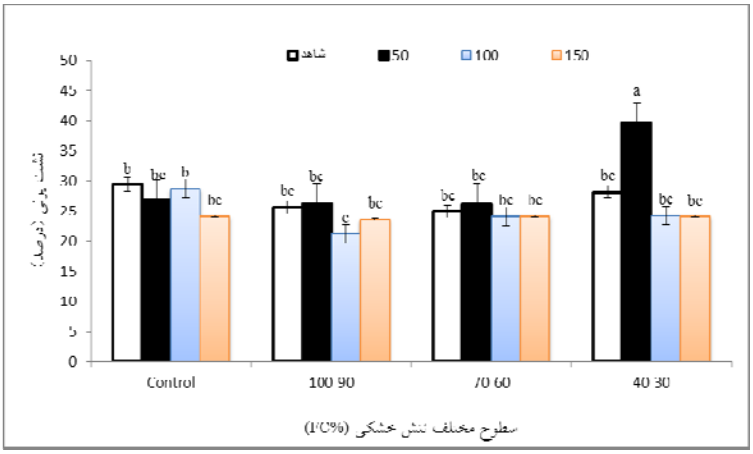
اسید سالیسیلیک (mg/l)	تنش خشکی (FC)	شاخص کلروفیل	نشت یونی (درصد)	محتوای نسبی آب (درصد)	کلروفیل (mg/gDW)a	کلروفیل (mg/gDW)b	کلروفیل کل (mg/gDW)	کاروتنوئید (mg/gDW)
۰	٪۱۰۰	۳۴/۳۷^{d}	۲۹/۴۳^{b}	۹۰/۴۳ $^{a-c}$	۸۹۱/۱۰^{ab}	۳۵۱/۵۷$^{a-c}$	۱۲۴۲/۷۰^{a}	۱۴۳/۳۳^{c}
	٪۹۰-۱۰۰	۴۱/۵۲ $^{a-c}$	۲۵/۶۵^{bc}	۸۴/۹۱^{d}	۸۷۱/۰^{ab}	۲۹۶/۱۱ $^{a-c}$	۱۱۶۷/۱۰^{ab}	۲۱۹/۱۱$^{a-c}$
	٪۶۰-۷۰	۳۵/۴۰ ^{cd}	۲۴/۹۴^{bc}	۸۴/۳۲^{d}	۷۶۴/۰^{ab}	۳۶۳/۷۲$^{a-c}$	۱۱۲۷/۷۰^{ab}	۱۷۰/۵۴^{bc}
	٪۳۰-۴۰	۴۱/۵۲$^{a-c}$	۲۸/۲۲^{bc}	۸۶/۳۱^{cd}	۶۸۶/۹^{ab}	۴۰۰/۰۲$^{a-c}$	۱۰۸۶/۹۰^{ab}	۱۳۲/۵۳^{c}
۵۰	٪۱۰۰	۳۸/۴۷ $^{b-d}$	۲۶/۸۴^{bc}	۸۵/۷۸^{d}	۹۲۸/۹^{a}	۳۰۸/۳۰$^{a-c}$	۱۲۳۷/۲۰^{a}	۲۴۶/۰۲$^{a-c}$
	٪۹۰-۱۰۰	۴۵/۴۲ ^{a}	۲۶/۲۱^{bc}	۸۷/۲۶ $^{b-d}$	۸۹۸/۱۰^{ab}	۴۳۹/۷۵^{a}	۱۳۳۷/۹۰^{a}	۲۰۹/۲۱$^{a-c}$
	٪۶۰-۷۰	۴۱/۳۵$^{a-c}$	۲۶/۱۶^{bc}	۸۵/۰^{d}	۶۷۳/۱۰^{ab}	۲۵۸/۱۲ ^{bc}	۹۳۱/۲۰^{ab}	۱۹۲/۵۵ $^{a-c}$
	٪۳۰-۴۰	۳۶/۱۳ $^{b-d}$	۳۹/۶۶^{a}	۸۷/۵۸$^{b-d}$	۶۵۶/۰^{b}	۲۲۲/۵۷^{c}	۷۸۷/۶۰^{b}	۱۶۰/۵۵^{c}
۱۰۰	٪۱۰۰	۳۶/۳۲ $^{b-d}$	۲۸/۷۲^{b}	۸۴/۵۴^{d}	۶۷۹/۳۰^{ab}	۴۰۴/۶۷^{ab}	۱۰۸۴/۰^{ab}	۱۴۰/۴۹^{c}
	٪۹۰-۱۰۰	۳۹/۰ $^{a-d}$	۲۱/۲۷^{c}	۹۱/۰۲^{ab}	۸۰۲/۶۰^{ab}	۲۶۶/۶۰$^{a-c}$	۱۰۶۹/۲۰^{ab}	۲۴۵/۵۴ $^{a-c}$
	٪۶۰-۷۰	۴۱/۷۵ $^{a-c}$	۲۴/۱۴^{bc}	۸۶/۷۵ $^{b-d}$	۹۹۲/۰^{a}	۳۲۶/۳۳ $^{a-c}$	۱۳۱۸/۳۰^{a}	۲۹۳/۰۹ ^{a}
	٪۳۰-۴۰	۳۹/۰$^{a-d}$	۲۴/۲۶^{bc}	۸۶/۳۱^{cd}	۹۳۳/۱۰^{a}	۳۷۴/۱۳ $^{a-c}$	۱۳۰۷/۲۰^{a}	۱۹۷/۴۶ $^{a-c}$
۱۵۰	٪۱۰۰	۴۲/۳۰^{ab}	۲۴/۱۵^{bc}	۹۱/۱۰^{ab}	۱۰۰۳/۰^{a}	۳۳۴/۶۹ $^{a-c}$	۱۳۳۷/۷۰^{a}	۳۰۴/۶۸^{a}
	٪۹۰-۱۰۰	۴۰/۴۰ $^{a-d}$	۲۳/۶۴^{bc}	۹۳/۰^{a}	۹۳۷/۷۰^{a}	۳۴۷/۹۶ $^{a-c}$	۱۲۸۵/۶۰^{a}	۲۷۵/۵۷ ^{ab}
	٪۶۰-۷۰	۴۲/۶۷^{ab}	۲۴/۱۲^{bc}	۹۲/۷۰^{a}	۷۸۵/۳۰^{ab}	۲۶۳/۸۸$^{a-c}$	۱۰۴۹/۲۰^{ab}	۲۱۷/۹۴ $^{a-c}$
	٪۳۰-۴۰	۳۷/۰$^{b-d}$	۲۴/۱۰^{bc}	۹۲/۳۴^{a}	۷۵۲/۸۰^{ab}	۳۴۶/۳۱ $^{a-c}$	۱۰۹۹/۱۰^{ab}	۱۹۲/۵۰ $^{a-c}$

در هر ستون، میانگین¬های دارای حروف متفاوت با یکدیگر اختلاف معنی¬داری دارند

رنگیزه‌های فتوسنتزی: طبق نتایج تجزیه واریانس جدول(۱) اثر متقابل محلول پاشی اسید سالیسیلیک و تنش خشکی در سطح احتمال پنج درصد بر میزان رنگیزه های فتوسنتزی معنی دار بود. مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان محتوای کلروفیل a با میانگین ۰/۱۰۰۳ میلی گرم بر گرم در اثر متقابل تیمار اسید سالیسیلیک با غلظت 150میلی گرم بر لیتر و بدون اعمال تنش خشکی بدست آمد که نسبت به شاهد افزایش 56/12 درصدی را نشان داد و کمترین مقدار این صفت نیز با میانگین ۰/۶۵۶ میلی گرم بر گرم در تیمارهای ترکیبی اسید سالیسیلیک با غلظت 50

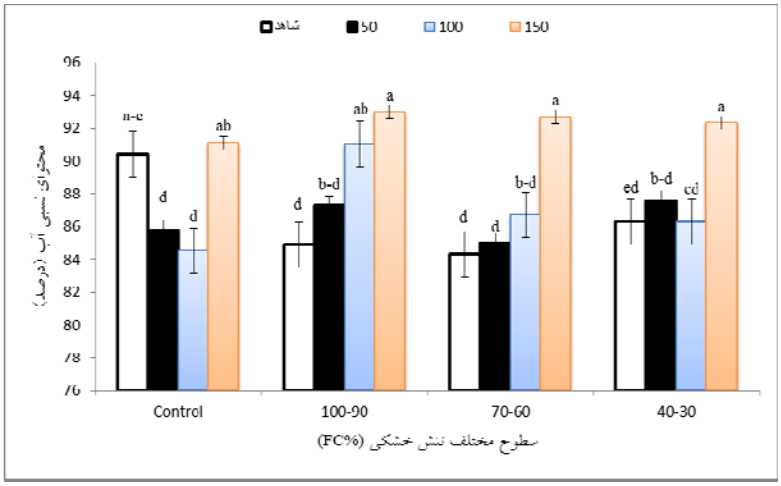
میلی‌گرم بر لیتر و تنش شدید خشکی (35درصد) ظرفیت زراعی حاصل شد که نسبت به شاهد کاهش 38/26 درصدی را نشان داد (جدول ۲) . بیشترین میزان محتوای کلروفیل b با میانگین ۷۵/۴۳۹ میلی گرم بر گرم در اثر متقابل اسید سالیسیلیک با غلظت 50 میلی گرم بر لیتر و تنش ملایم خشکی ۹۵٪ ظرفیت زراعی بدست آمد که نسبت به شاهد افزایش ۲۵/۰۸ درصدی را نشان داد و کمترین مقدار این صفت نیز با میانگین ۵۷/۲۲ میلی گرم بر گرم در تیمارهای ترکیبی اسید سالیسیلیک با غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر و تنش شدید خشکی ۳۵٪ ظرفیت زراعی حاصل شد که نسبت به شاهد کاهش ۳۶/۷ درصدی را نشان داد. بیشترین میزان محتوای کلروفیل کل با میانگین ۹۰/۱۳۳۷ میلی گرم بر گرم در اثر متقابل تیمار اسید سالیسیلیک با غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر و تنش ملایم خشکی ۹۵٪ ظرفیت زراعی بدست آمد که نسبت به شاهد افزایش ۱۰۷/۶۶ درصدی را نشان داد (جدول۲) و کمترین مقدار این صفت نیز با میانگین ۶۰/۷۸۷ میلی گرم بر گرم در تیمارهای ترکیبی اسید سالیسیلیک با غلظت 50 میلی گرم بر لیتر و تنش شدید خشکی 35% ظرفیت زراعی حاصل شد که نسبت به شاهد کاهش 62/36 درصدی را نشان داد. بیشترین درصد محتوای کاروتنوئیدها با میانگین ۶۸/۳۰۴ میلی گرم بر گرم در اثر متقابل تیمار اسید سالیسیلیک با غلظت 150 میلی گرم بر لیتر و بدون اعمال تنش خشکی بدست آمد که نسبت به شاهد افزایش 57/12 درصدی را نشان داد و کمترین درصد این صفت نیز با میانگین ۵۳/۱۳۲ میلی گرم بر گرم در تیمارهای ترکیبی بدون محلولپاشی اسید سالیسیلیک و تنش شدید خشکی 35 درصد ظرفیت زراعی حاصل شد که نسبت به شاهد کاهش 54/7 درصدی را نشان داد.

نشت یونی: طبق نتایج تجزیه واریانس جدول (۱) اثر متقابل تیمار محلولپاشی اسید سالیسیلیک و تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد بر میزان نشت یونی معنی دار بود .بیشترین درصد نشت یونی با میانگین ۴۰/۳۹ درصد در اثر متقابل اسید سالیسیلیک با غلظت 50 میلی گرم بر لیتر و تنش شدید خشکی 35% ظرفیت زراعی بدست آمد که نسبت به شاهد افزایش 76/34 درصدی را نشان داد و کمترین مقدار این صفت نیز با میانگین ۲۱/۳۱ درصد در تیمارهای ترکیبی اسید سالیسیلیک با غلظت 100 میلی گرم بر لیتر و تنش ملایم خشکی 95% ظرفیت زراعی حاصل شد که نسبت به شاهد کاهش 72/27 درصدی را نشان داد (نمودار ۲).



نمودار ۲- اثر متقابل سطوح مختلف اسید سالیسیلیک بر نشت یونی نعناع فلفلی تحت تنش خشکی. حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد در بین میانگینها براساس آزمون دانکن می باشد

محتوای نسبی آب: طبق نتایج تجزیه واریانس جدول (۱) اثر متقابل تیمار محلولپاشی اسید سالیسیلیک و تنش خشکی در سطح احتمال پنج درصد بر محتوای نسبی آب معنی دار بود. بیشترین درصد محتوای نسبی آب با میانگین ۰/۹۳ درصد در اثر متقابل اسید سالیسیلیک با غلظت 150 میلی گرم بر لیتر و تنش ملایم خشکی 95% ظرفیت زراعی بدست آمد که نسبت به شاهد افزایش 84/2 درصدی را نشان داد(نمودار ۳) و کمترین درصد این صفت نیز با میانگین ۳۲/۸۴ درصد در تیمارهای ترکیبی بدون محلولپاشی اسید سالیسیلیک و تنش ملایم خشکی 95% ظرفیت زراعی حاصل شد که نسبت به شاهد کاهش 76/6 درصدی را نشان داد (نمودار ۳).



نمودار ۳- اثر متقابل سطوح مختلف اسید سالیسیلیک بر محتوای نسبی آب گیاه دارویی نعناع فلفلی تحت تنش خشکی. حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد در بین میانگین ها براساس آزمون دانکن میباشد

فنل و فلاونوئید کل: طبق نتایج تجزیه واریانس جدول(۳) اثر ساده محلولپاشی اسید سالیسیلیک و تنش خشکی برمیزان فنل کل در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بودند. بیشترین میزان محتوای فلاونوئید کل با میانگین ۵۸/۴۵ میلی گرم بر گرم وزن خشک در اثر متقابل اسید سالیسیلیک با غلظت 150 میلی گرم بر لیتر و تنش ملایم خشکی 95% ظرفیت زراعی بدست آمد که نسبت به شاهد افزایش 84/25 درصدی را نشان داد و کمترین مقدار این صفت نیز با میانگین ۸۲/۲۵ میلی گرم بر گرم وزن خشک در تیمارهای ترکیبی اسید سالیسیلیک با غلظت 50 میلیگرم بر لیتر و بدون اعمال تنش خشکی حاصل شد که نسبت به شاهد کاهش 71/28 درصدی را نشان داد (جدول ۴).

جدول۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف اسید سالیسیلیک بر شاخصهای فیزیولوژیکی گیاه دارویی نعناع فلفلی تحت تنش خشکی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		فلاونوئید کل	فنل کل	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی	میزان مالون دی آلدئید
اسید سالیسیلیک (S)	۳	۱۵۶/۹۷*	۴۸/۴۲*	۱۵۰۷/۷۹**	۲۹/۰۴**
تنش خشکی (D)	۳	۱۵۹/۱۹**	۴۸/۴۵*	۸۸۸/۵۸*	۳/۴۹ns
اثر متقابل S × D	۹	۸۶/۳۰ ns	۲۴/۲۹ ns	۴۴۳/۶۷ ns	۱/۹۹ns
خطای آزمایش	۴۸	۵۵/۰۷	۱۵/۸۶	۲۹۶/۸۴	۳/۰۶
CV (٪)	–	۲۰/۶۹	۱۹/۹۶	۲۰/۵۰	۲۳/۷۲

ns : غیرمعنی دار، * و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ ٪ و ۱٪.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف اسید سالیسیلیک بر شاخصهای فیزیولوژیکی گیاه دارویی نعناع فلفلی تحت تنش خشکی

اسید سالیسیلیک (mg/l)	تنش خشکی (FC)	محتوای فلاونوئید کل (mg/g DW)	محتوای فنل کل (mg/g DW)	ظرفیت آنتی اکسیدانی (mg/g DW)	مالون دی آلدئید (nmol/g FW)
۰	٪۱۰۰	۳۶/۲۲ $^{a-d}$	۱۹/۳۶ ^{bc}	۷۲/۸۷ ^{bc}	۸/۰۲$^{a-c}$
	٪۹۰-۱۰۰	۳۵/۸۳$^{a-d}$	۱۹/۵۱ ^{bc}	۸۱/۵۷ ^{bc}	۸/۳۶$^{a-c}$
	٪۶۰-۷۰	۳۳/۰۶$^{a-d}$	۱۷/۰۰^{bc}	۶۵/۵۹ ^{c}	۸/۰۴ $^{a-c}$
	٪۳۰-۴۰	۲۸/۹۷^{cd}	۱۸/۳۵^{bc}	۸۲/۰۵ ^{bc}	۸/۰۵$^{a-c}$
۵۰	٪۱۰۰	۲۵/۸۲^{d}	۱۹/۷۳ $^{a-c}$	۸۰/۲۷ ^{bc}	۸/۵۷$^{a-c}$
	٪۹۰-۱۰۰	۳۷/۴۳ $^{a-d}$	۲۱/۵۵ $^{a-c}$	۸۰/۶۲ ^{bc}	۷/۷۴$^{a-c}$
	٪۶۰-۷۰	۴۱/۶۴^{ab}	۲۳/۰۶$^{a-c}$	۸۹/۸۹ ^{bc}	۸/۶۸ ^{ab}
	٪۳۰-۴۰	۳۳/۲۱ $^{a-d}$	۱۹/۸۰$^{a-c}$	۷۹/۴۱ ^{bc}	۸/۹۱ ^{a}
۱۰۰	٪۱۰۰	۳۲/۰۶ $^{b-d}$	۱۷/۷۳ ^{bc}	۷۲/۱۳ ^{bc}	۷/۶۷$^{a-c}$
	٪۹۰-۱۰۰	۳۴/۱۵ $^{a-d}$	۱۶/۸۵ ^{c}	۷۴/۰۸ ^{bc}	۶/۷۴$^{a-d}$
	٪۶۰-۷۰	۳۴/۰۱ $^{a-d}$	۱۸/۵۶^{bc}	۸۵/۴۱ ^{bc}	۶/۸۲$^{a-d}$
	٪۳۰-۴۰	۳۹/۳۶ $^{a-c}$	۲۰/۳۷$^{a-c}$	۸۸/۹۱ ^{bc}	۹/۳۵ ^{a}
۱۵۰	٪۱۰۰	۳۸/۴۲ $^{a-c}$	۲۰/۴۰ $^{a-c}$	۹۶/۳۱ ^{ab}	۴/۱۵^{d}
	٪۹۰-۱۰۰	۴۵/۵۸ ^{a}	۲۳/۷۶^{ab}	۱۱۸/۳۵ ^{a}	۵/۶۶$^{b-d}$
	٪۶۰-۷۰	۴۳/۹۰^{ab}	۲۶/۲۵^{a}	۹۴/۸۲ $^{a-c}$	۵/۵۷ ^{cd}
	٪۳۰-۴۰	۳۳/۹۸$^{a-d}$	۱۶/۸۵^{c}	۸۲/۲۰ ^{bc}	۶/۳۰$^{a-d}$

ظرفیت آنتی اکسیدانی: طبق نتایج تجزیه واریانس جدول (۳) اثر ساده تیمار محلول پاشی اسید سالیسیلیک و تنش خشکی بر ظرفیت آنتی اکسیدانی به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی دار بودند .همچنین براساس نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل محلولپاشی اسید سالیسیلیک و تنش خشکی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نبود .اثر ساده اسید سالیسیلیک با غلظت50 و 100 میلیگرم بر لیتر بر صفت ظرفیت آنتی اکسیدانی معنی‌دار نبود .اثر ساده تنش متوسط و شدید خشکی بر صفت ظرفیت آنتی اکسیدانی معنیدار نبود .بیشترین درصد ظرفیت آنتی اکسیدانی با میانگین ۳۵/۱۱۸ میلیگرم بر گرم وزن خشک در اثر متقابل اسید سالیسیلیک با غلظت 150 میلیگرم بر لیتر و تنش ملایم خشکی 95%) ظرفیت زراعی (بدست آمد که نسبت به شاهد افزایش 41/62 درصدی را نشان داد و کمترین درصد این صفت نیز با میانگین ۵۹/۶۵ میلی گرم بر گرم وزن خشک در تیمارهای ترکیبی بدون محلولپاشی اسید سالیسیلیک و تنش متوسط خشکی (۶۵٪ ظرفیت زراعی) حاصل شد که نسبت به شاهد کاهش10 درصدی را نشان داد (جدول ۷).

میزان مالون دی آلدهید (MDA): طبق نتایج تجزیه واریانس اثر ساده تیمار محلولپاشی اسید سالیسیلیک بر میزان مالون دی آلدهید در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود .اثر متقابل محلولپاشی اسید سالیسیلیک و تنش خشکی در سطح احتمال پنج درصد معنی دار نبود. ولی اثر ساده اسید سالیسیلیک با غلظت 50 و 100 میلی گرم بر لیتر بر صفت مالون دی آلدهید معنی دار بود. بیشترین میزان مالون دی آلدهید با میانگین ۳۵/۹ در اثر متقابل تیمار اسید سالیسیلیک با غلظت 50 میلی گرم بر لیتر و تنش شدید خشکی 35% ظرفیت زراعی بدست آمد که نسبت به شاهد افزایش 29/16 درصدی را نشان داد و کمترین مقدار این صفت نیز با میانگین ۱۵/۴ در تیمارهای ترکیبی اسید سالیسیلیک با غلظت 150 میلیگرم بر لیتر و بدون اعمال

تنش خشکی حاصل شد که نسبت به شاهد کاهش 38/48 درصدی را نشان داد (جدول ۴).

بحث و نتیجه گیری

اسید سالیسیلیک فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاهان را تنظیم و عوارض جانبی تنش را کاهش داده و میتواند اثر نامطلوب تنش را بهبود بخشد (۱۴). بر اساس نتایج این پژوهش میزان شاخص کلروفیل با محلولپاشی اسید سالیسیلیک افزایش پیدا کرد. اثرات افزایش دهنده اسید سالیسیلیک بر ظرفیت فتوسنتزی می تواند به اثرات تحریکی فعالیت روبیسکو و محتوای رنگدانه ها نسبت داده شود. زمان نمونه برداری و نحوه اعمال تنش در پاسخ گیاه و نیز در میزان قرائت دستگاه کلروفیل متر نیز بسیار مهم است. اگر نمونه برداری در زمانی که مقدار کلروفیل برگ در حداکثر است انجام شود، نتایج متفاوتی نسبت به زمانی حاصل خواهد شد که نمونه برداری قبل و یا بعد از این دوره انجام شود (۴۵). کلروفیل در گیاهان از نظر جذب و به کارگیری انرژی نورانی در فتوسنتز نقش اساسی دارد لذا تأثیر مواد تنظیم کننده رشد گیاهی روی بیوسنتز و تجزیه کلروفیل به طور مستقیم روی فتوسنتز مؤثر واقع می شود (۱۰). با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی به ویژه کلروفیل و همچنین تقسیمات سلولی در گیاه لوبیا افزایش یافته و سبب افزایش ارتفاع بوته در لوبیا می شود (۷) که با یافته های تحقیق حاضر مطابقت دارد. اسید سالیسیلیک میزان فتوسنتز را در ذرت و سویا افزایش می دهد (۱۹). گزارش شده است که ترکیبات فنولیکی اسید سالیسیلیک موجب تسهیل در جذب عناصر غذایی میشوند و نقش مثبتی در فعالیتهای فتوسنتزی، آنزیم های مربوط با فتوسنتز دارند و سبب شکل گیری پکتین دیواره سلولی، انتقال قندها و آنزیم ها می شوند (۴۱).

یکی دیگر از پارامترهای فیزیولوژیکی متأثر از تنش خشکی محتوای کلروفیل و کاروتنوئید برگ است برخی از گیاهان در طول تنش خشکی کلروفیل خود را حفظ می‌کنند و برخی دیگر کلروفیل خود را از دست می دهند (۴۳). احتمالا کاهش رنگیزه های فتوسنتزی طی تنش خشکی به دلیل ناپایداری کمپلکس های پروتئینی و تخریب کلروفیل با افزایش فعالیت آنزیم های تخریب کننده کلروفیل و کلروفیلاز می باشد (۳۸). نتایج Azar Ahmadi و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد تحت تنش خشکی شاخص کلروفیل در گیاه دارویی پنیرک ابتدا روند کاهشی داشت ولی با افزایش سطح تنش، افزایش پیدا کرد.تنش خشکی میتواند بسیاری از جنبه های متابولیسم و رشد گیاه را تحت تأثیر قرار دهد.

همچنین افزایش مقدار کلروفیل می تواند با اکسیداسیون متانول در شرایط کمبود آب مرتبط باشد. از آنجا که گیاه در شرایط کمبود آب با تنش اکسیداتیو روبرو می شود، در چنین شرایطی متانول به فرمالآلدئید اکسید می شود که این موضوع تا حد زیادی توسط کاتالاز انجام می شود. بعبارت دیگر آنزیم کاتالاز به طور غیر مستقیم از تخریب کلروفیل جلوگیری می کند (۴۴) تنش کمبود آب با بستن روزنه ها و تخریب کلروفیل و کلروپلاست باعث کاهش فتوسنتز می شود (۵۳).

Daneshmand و همکاران (۲۰۰۹) عنوان نمودند که هم شوری و هم خشکی می تواند سبب پراکسیده شدن چربیهای غشا و افزایش نشت الکترولیت در گیاهان گردد. در این مطالعه تیمار اسید سالیسیلیک موجب کاهش نشت یونی گردید که خود نشان دهنده افزایش یکپارچگی غشا و کاهش تنش اکسیداتیو در نتیجه تیمار اسید سالیسیلیک بوده است. در مورد نقش اسید سالیسیلیک بر نشت یونی گزارشات متعددی وجود دارد از جمله اینکه اسید سالیسیلیک در غلظت ۰/۱ میلی مولار سبب کاهش نشت یونی در گوجه فرنگی نسبت به شاهد شد (۵۰). در پژوهش های مرتبط با تنش های گیاهی، اندازه گیری نشت یونی به عنوان معیاری برای ارزیابی سلامت غشای سلولی انجام می شود. تنش خشکی با القای تنش اکسیداتیو و تولید

رادیکالهای آزاد اکسیژن، سبب پراکسیداسیون اسیدهای چرب غشاهای سلولی شده و نفوذپذیری غشاء و نشت یونی را افزایش می دهد. طی گزارش های زیادی ثابت شده است که وقتی گیاهان در شرایط رشد نامطلوب و تنشهای محیطی قرار می گیرند تغییرات ساختاری و فیزیولوژیکی متفاوتی را از خود نشان می دهند. برخی از این تغییرات شامل تغییر در میزان نشت یونی در بافت گیاهی و یا تغییر در ویژگیهای روزنه در گیاه است (۲۴). تنش خشکی باعث ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاهان در اثر تولید رادیکالهای آزاد اکسیژن در طی فرآیند فتوسنتز و تنفس میگردد (۱۵). این رادیکالهای آزاد اکسیژن مستقیماً به پروتئینها، چربیها، اسیدهای نوکلئیک و از همه مهمتر به غشا سلولی حمله کرده و سبب مرگ سلولی می شوند. تحقیقات Huang and Fu (2001) نشان داد که تنش خشکی می تواند باعث ناکارآمدی غشای سلولی در برگ شود و به دنبال آن افزایش نفوذپذیری غشا برای الکترولیتها را سبب گردد. نتایج به دست آمده در این پژوهش که نشان دهنده افزایش نشت یونی در اثر تنش خشکی می باشد، با سایر تحقیقات در این زمینه مطابقت دارد (۱۱ و ۲۶). محتوای نسبی آب یکی از خصوصیات فیزیولوژیکی پاسخ دهنده به تنش خشکی است که همبستگی خوبی با تحمل به خشکی نشان می دهد (۲۲) محلولپاشی برگی اسید سالیسیلیک با افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ منجر به حفظ تورم و حجم برگ می شود و غشای سلولی را محافظت می کند. همچنین با افزایش رنگدانه های فتوسنتزی و حفظ آنها تحت تنش خشکی موجب بهبود صفات فیزیولوژیکی گیاه شده و در نهایت مقاومت گیاه را به تنش خشکی افزایش می دهد. کمبود آب با تأثیر بر آماس سلولی و باز و بسته شدن روزنه ها، می تواند فرآیند فتوسنتز، تنفس و تعرق را تحت تأثیر قرار داده و از طرف دیگر با تأثیر بر فرآیندهای آنزیمی که به طور مستقیم با پتانسیل آب کنترل می شوند، بر رشد گیاه اثر منفی بگذارد (۵۱). با افزایش شدت تنش کم آبی، شرایط جذب آب برای گیاهان مشکل تر شده و در نتیجه مقدار آب موجود در یاخته های گیاهی از حالت تورژسانس فاصله گرفته و کاهش محتوای نسبی آب باعث تأثیر منفی بر تقسیم سلولی و رشد و نمو گیاه می شود (۱۳). مطالعات نشان داده است که میزان محتوای نسبی آب برگ با افزایش سطح تنش خشکی در گیاه دارویی بادرشبویه، کاهش پیدا کرد (۴۶). با افزایش شدت کمبود آب از محتوای نسبی آب برگ مرو تلخ (چگینی و همکاران، ۱۳۹۵)، انیسون (۳۱) Liu و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که میزان بالای محتوای نسبی آب در درختان سیب، بیانگر تحمل آن به خشکی است. تنش خشکی به طور معنی داری محتوی نسبی آب و پتانسیل آب برگ ارقام انجیر را کاهش داد (۴۹). تحقیقات نشان داده که یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار در میزان متابولیتهای ثانویه موجود درگیاهان، تنشهای محیطی اعمال شده بر آنها است. یکی از وظایف مهم متابولیت های ثانویه در گیاهان نقش محافظتی آنها در در برابر تنش است. این ترکیبات به گیاهان کمک می کنند تا بتوانند در مقابل عوامل خارجی مانند آفات و عوامل بیماریزا و شرایط نامساعد محیطی مانند خشکی و یا شرایط نامساعد خاک مقاومت کنند و به حیات خود ادامه دهند. شواهد زیادی بر افزایش چند برابری متابولیتهای ثانویه تحت تنشهای محیطی وجود دارد، اما برخی تحقیقات نیز نشان میدهد که این تأثیر همیشگی نیست و در مواردی حتی کاهش میزان متابولیتهای ثانویه تحت شرایط تنشهای محیطی دیده میشود (۴۷). در پژوهش حاضر، ترکیبات فنلی مانند فنل کل و فلاونوئید با محلول پاشی اسید سالیسیلیک نسبت به نمونه های شاهد افزایش معنی داری نشان دادند. این افزایش می تواند به دلیل تولید ROS توسط اسید سالیسیلیک با توجه به نقش آن در پیام رسانی در گیاه باشد. گیاهان برای مقابله با تنشها از سازوکارهای مختلفی مانند افزایش متابولیتهای ثانویه شامل فلاونوئید و آنتوسیانین استفاده میکنند.تعدادی از محققان اظهار کردند مسیر فنیل پروپانوئید مسئول سنتز طیف متفاوتی از متابولیتهای فنولیک است که اغلب آنها در اثر تنش تولید

می شوند و دارای پیش سازها و مواد حد واسط مشترکی اند (۳۲). افزایش ترکیبات فنلی تحت تنشهای غیرزیستی در فلفل نیز گزارش شده است (۳۷).

در پژوهشی نشان داده شده است که مقدار فلاونوئید در اثر افزایش تنش در گیاه کتان بالا رفت، زیرا زمانی که گیاه در معرض تنش قرار می گیرد مقدار زیادی از گونه های فعال اکسیژن مانند آنیون سوپراکسید و رادیکال هیدروکسیل و پراکسید هیدروژن تولید میشود. در بسیاری از گیاهان سیستمهای آنزیمی برای از بین بردن این رادیکالها فعال می شوند (۳۴) همچنین، افزایش میزان ترکیبات فنلی تحت تأثیر اسید سالیسیلیک در گیاه مریم گلی نیز مشاهده شد (۲۵). گزارش شده است که تولید فلاونوئید در گیاه انیسون (۱۶)، کدو تخمه کاغذی (۵) و مرو تلخ (۴) با افزایش تنش خشکی افزایش یافت. اسید سالیسیلیک از طریق فعالسازی سیستم آنتی اکسیدانی سبب جلوگیری از افزایش اکسیژنهای فعال شده و همچنین مقاومت غشا را افزایش میدهد و از این طریق سبب مقاومت گیاه به تنش و افزایش رشد میگردد (۶). لذا احتمال میرود با افزایش شدت تنش خشکی، با تحریک سایر مکانیسمهای آنتی اکسیدانی گیاه، سهم فلاونوئیدها در خنثی کردن ترکیبات اکسیداتیو کاهش یافته و درنتیجه از میزان این ترکیبات کاسته شده است. در این راستا، گیاهان با تولید ترکیبات آنتی اکسیدانی نظیر ترکیبات فنلی و کاروتنوئیدها از ساختارهای سلولی خود در برابر رادیکالهای فعال تولید شده در شرایط تنش محافظت می کنند (۲۰). در این پژوهش بیشترین تولید ترکیبات آنتی اکسیدانی در تنش خشکی ملایم مشاهده شد که با افزایش سطح تنش، میزان این صفت کاهش یافت که مطابق با نتیجه ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴) بر کلزا است. Asadi Kavan و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی اثر تنش خشکی بر ترکیبات آنتی اکسیدان گیاه دارویی کتان از جمله فلاونوئیدها، به نتایجی مطابق با نتایج این مطالعه دست یافتند. Rebey و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه ای اثر تنش خشکی را بر ترکیبات بیوشیمیایی و فعالیت آنتی اکسیدانی بذور گیاه زیره سبز مطالعه و افزایش قابل توجهی را در کل ترکیبات فنولیک با شدت بخشیدن میزان تنش مشاهده نمودند. آنها همچنین از چهار روش برای بررسی اثر تنش خشکی بر خاصیت آنتی اکسیدانی استفاده کردند که در این بین آزمون DPPH نشان داد که بیشترین ظرفیت آنتی اکسیدانی در شاهد و کمترین آن در تیمار تنش شدید می باشد. گزارش شده است که اسید سالیسیلیک با مهار گونه های اکسیژن واکنشگر باعث کاهش آسیب به غشای سلولی و کاهش نشت یونی و مالون دی آلدهید می شود (۱۷). در این تحقیق اسید سالیسیلیک سطح ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر باعث کاهش میزان مالون دی آلدهید شد که احتمالاً به علت کاهش اثرات مخرب رادیکالهای آزاد و حفاظت از غشاء توسط اسید سالیسیلیک باشد که بدین وسیله از صدمه به اسیدهای چرب غیر اشباع و کاهش نفوذپذیری غشاء جلوگیری میشود. پراکسیداسیون لیپیدها و تولید مالون دی آلدهید، شاخصی برای میزان خسارت تنش اکسیداسیو می باشد. گزارش شده که اسید سالیسیلیک ممکن است با پاکسازی رادیکالهای آزاد، از پراکسیداسیون چربیها جلوگیری نموده و مانع افزایش مالون دی آلدهید شود؛ اما در پژوهشی موحدی دهنوی و همکاران (۱۳۹۶) گزارش نمودند که این اثر در تنش شدید خشکی تا حدودی مشاهده شد. در این پژوهش محتوای مالون دی آلدهید با افزایش خشکی نسبت به شاهد افزایش معنی داری نشان داد ولی اسید سالیسیلیک نتوانست از افزایش مالون دی آلدهید جلوگیری کند (۱۲) که با نتایج این تحقیق مطابقت نداشت. زمانی که تنش اکسیداتیو ایجاد میشود، رادیکالهای آزاد باعث تخریب پروتئینها شده، اسیدهای آمینه مختلف آزاد میشوند و از اتصال دو اسید آمینه تیروزین از محل اکسیژنهایشان یک دی پپتید بنام دی تیروزین ایجاد میگردد که این ماده نشانهای از جمله رادیکالهای آزاد در هنگام تنش خشکی به پروتئینها و تخریب آنها میباشد. در واقع در هنگام تنش با توجه به اینکه میزان رادیکالهای آزاد اکسیژن بیشتر

می شود، پروتئینها بیشتر در معرض تخریب قرار گرفته و میزان تولید دی تیروزین نیز بالا می رود از اندازه گیری میزان تولید این ماده میتوان به این نکته پی برد که تنش اکسیداتیو افزایش یافته است. در شرایط تنش و با تشکیل رادیکالهای آزاد که منجر به صدمات و نابودی سلولها می شود میزان تخریب لیپیدها بیشتر شده و تولید MDA نیز افزایش می‌یابد.

منابع

۱- ابراهیمی ف، حسنی کومله ح، اعلمی ع و رضادوست م ح (۱۳۹۴). تأثیر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان دو رقم کلزا (*Brassica napus*). فرآیند و کارکرد گیاهی، ۴(۱۴): ۹۱-۷۸.

۲- اصل زعیم, فاطمه, نیکنام, وحید, ابراهیم زاده, حسن, شریفی, گل اندام. (۱۳۹۷). 'مقایسه تاثیر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر روی جمعیت‌های مختلف زعفران مزروعی (*Crocus Sativus* L.). مجله پژوهشهای گیاهی، ۳۱(۳) :۵۵۴-۵۶۹.

۳- ترابی پاشایی س، نیکنام و، ابراهیم زاده ح و شریفی گ ا (۱۳۹۵). بررسی مقایسه‌ای پاسخ‌های بیوشیمیایی جمعیت‌های مختلف زعفران مزروعی به تنش شوری و نقش سالیسیلیک اسید در بهبود اثر تنش. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)، ۲۹(۴): ۱۳-۱.

۴- چگینی ا (۱۳۹۵). تأثیر نانولوله‌های کربنی چند دیواره روی صفات فیزیومورفولوژیک و متابولیتی گیاه مرو تلخ (*Salvia mirzayanii*) در شرایط نرمال و تنش خشکی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اراک، ۱۳۱.

۵- زینالی م، ملکی زنجانی ب, مرادی پ و شکاری ف (۱۳۹۸). 'اثر تنش خشکی روی برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای آن در چهار رقم کدوی تخمه کاغذی (*Cucurbita pepo* L). مجله پژوهشهای گیاهی, ۳۲(۲): ۴۳۹-۴۵۲.

۶- دلاوری پاریزی م، باقی زاده ا، انتشاری ش و منوچهری کلانتری خ (۱۳۹۰). مطالعه تأثیر اسید سالیسیلیک بر مقاومت و القای تنش اکسیداتیو در گیاه ریحان سبز (*Ocimum basilicum* L.) تحت تنش شوری. مجله زیست‌شناسی گیاهی، ۴: ۳۶-۲۵.

۷- سپهری ع، عباسی ر و کرمی ا (۱۳۹۴). اثر تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیا قرمز. مجله به زراعی کشاورزی، ۱۷(۲): ۵۱۶-۵۰۳.

۸- شبیری س، حبیبی د، کاشانی ع، پاک نژاد ف و جعفری ح (۱۳۹۴). بررسی صفات فیزیولوژیکی خلر و جو در کشت خالص و مخلوط در شرایط آبی و دیم، نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی). ۱۰۷: ۸-۱.

۹- گلدانی م و سروآزاد ن (۱۳۹۰). اثر تنش خشکی بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی اندام هوایی و ریشه و ماده موثره، همایش ملی گیاهان دارویی.

۱۰- مجیدیان ن، نادری ر، خلیقی ا و مجیدیان م (۱۳۹۰). تأثیر تنظیم کننده‌های رشد جیبرلین و بنزیل آدنین بر تولید گیاه گلدانی شیپوری رقم چایلدسیانا. نشریه علوم باغبانی، ۲۵(۴): ۳۶۸-۳۶۱.

۱۱- ملا احمد نالوسی ا، حاتم زاده ع، قاسم نژاد م و بیگلویی م ح (۱۳۹۲). اثر محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید بر مقاومت به خشکی چمن اگروستیس و فستوکای بلند. مجله علوم و فنون باغبانی ایران. ۱۴(۴): ۴۳۸-۴۲۷.

۱۲- موحدی دهنوی م، نیکنام ن، بهزادی ی، محتشمی ر و باقری ر (۱۳۹۶). مقایسهٔ پاسخ‌های فیزیولوژیک کتان (*Linum usitatissimum* L.) به تنش خشکی و شوری و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک. مجله زیست شناسی گیاهی ایران. ۳۳: ۳۹-۶۲.

13-Ahmadi Azar F, Hasanloo T, Imani A and Feiziasl V (2015). Water stress and mineral zeolite application on growth and some physiological characteristics of Mallow *(Malva sylvestris*). Iranian Journal of Biology, 28: 459-474.

14-Akowuah GA, Ismail Z, Norhayati I and Sadikun A (2005). The effects of different extraction solvents of varying polarities on polyphenols of orthosiphon stamineus and evaluation of the free radical. Scavenging activity Journal of Food Chemistry, 93: 311-317.

15-Asada K (1999). The waterewater cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 50: 601-639.

16-Asadi Kavan Zh, Ghorbanli M and Sateei A (2012). The effect of drought stress and exogenous ascorbate on photosynthetic

pigments, flavonoids, phenol compounds and lipid peroxidation in *Pimpinella anisum* L. Iranian J of Medicinal and Aromatic Plants, 25(4) : 457-469.

17-Ashraf M, Akram N A, Arteca R N and Foolad M R (2010). The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. Crit. Rev. Plant Sci. 29:162–190.

18-Bayat H, Mardani H, Arouie H and Salahvarzi Y (2011). Effects of salicylic acid on morphological and physiological characteristics of cucumber seedling (*Cucumis sativus* cv. Super Dominus) under drought stress. Journal of Plant Production, 18(3): 63-76.

19-Behera RK, Mishra PCH, and Choudhury NK (2002). High irradiance and water stress induce alteration in pigment composition and chloroplast activities of primary wheat leaves. Journal of Plant Physiology, 159(1): 967-973.

20-Bettaieb I, Jabri-Karoui I, Hamrouni-Sellami I, Bourgou S, Limam F and Marzouk B (2012). Effect of drought on the biochemical composition and antioxidant activities of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds. Industrial Crops and Products, 36(1): 238-245.

21- Bhardwaj J and Yadav SK (2012). Comparative study on biochemical parameters and antioxidant enzymes in drought tolerant and a sensitive variety of Horse gram (*Macrotyloma uniflorum*) under drought stress. American Journal of Plant Physiology, 7(1): 17-29.

22- Colom MR and Vazzana C (2003). Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought sensitive weeping love grass plants. Environmental and Experimental Botany, 49: 135-144.

23- Daneshmand FM, Arvin J and Kalantari K (2009). Effect of acetylsalicylic acid (aspirin) on Salt and osmotic stress tolerance in *Solanum bulbocastanum* in vitro enzymatic antioxidants. American Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 6: 92-99.

24- Duan B, Yang Y, Lu Y, Korpelainen H, Berninger F and Li C (2007**).** Interaction between drought stress, ABA and genotypes in *Picea asperata*. Journal of Experimental Botany, 58: 3025-3036.

25- Dong J, Wan G and Liang Z (2010). Accumulation of salicylic acid-induced phenolic compounds and raised activities of secondary metabolic and antioxidative enzyme in *Salvia miltiorrhiza* cell culture. Biotechnol, 148(2-3): 99-104.

26- Farooq M, Basra SMA, Wahid A, Ahmad N and Saleem B A (2009). Improving the drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous application of salicylic acid. Journal of Agronomy and Crop Science, 195: 237-246.

27- Ferrat IL and Lova CJ (1999). Relation between relative water content, Nitrogen pools and growth of *Phaseolus vulgaris* L. and *P. acutifolius*, A. Gray during water deficit**.** Crop Science, 39: 467-474.

28- Ghai N, Setia RC and Setia N (2002). Effect of paclobutrazol and salicylic acid on chlorophyll content, hill activity and yield components in *Brescia napus* L. (cv. GSL-1) Phytomorphol, 52: 83-87.

29- Hashempour A, Ghasemzhade M, Fotouhi G and Sohani MM (2014). The physiological and biochemical response to freezing stress olive plants treated with salicylic acid. Russian Journal Plant Physiology, 61(4): 443-450.

30- Heath RL and Packer L (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Arch Biochem Biophys 125: 180-198.

31- Heidari N, Pouryousef M and Tavakoli A (2014). Effects of drought stress on photosynthesis, its parameters and relative water content of anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Biology, 27 : 829-839.

32- Hernandez I, Alegre L and Munne-Bosch S (2004). Drought-induced changes in flavonoids and other low molecular weight antioxidants in *Cistus clusii* grown under Mediterranean field conditions. Tree Physiology, 24: 1303-1311.

33- Huang B and Fu J (2001). Growth and physiological responses of tall fescue to surface soil drying. International Turfgrass Society Research Journal, 9: 291-296.

34- Jubany-Marí T, Munné-Bosch S and Alegre L (2010). Redox regulation of water stress responses in field-grown plants. Role of hydrogen peroxide and ascorbate. Plant Physiology and Biochemistry, 48(5): 351-358.

35- Karlidag H, Yildirim E and Turan M (2009). Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. Journal Agriculture Science, 66(2): 271-278.

36- Khan MI, Fatma M, Per TS, Anjum NA and Khan NA (2015). Salicylic acid-induced abiotic

stress tolerance and underlying mechanisms in plants. Plant science Journal, 6: 462.

37- Koc E, İslek C and Üstun AS (2010). Effect of cold on protein, proline, phenolic compounds and chlorophyll content of two pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties. Gazi University Journal of Science, 23: 1-6.

38- Kordi S, Saidi M and Ghanbari F (2013). Induction of drought tolerance in Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) by Salicylic Acid. International Journal of Agricultural and Food Research, 2:18-26.

39- Lopez-Bellido RJ, Shepherd CE, Barraclough PB (2004). Predicting post-anthesis N requirements of bread wheat with a Minolta SPAD meter. European Journal of Agronomy. 20(3):313-20.

40- Lamaison JL and Carnat A (1990). Content of principal flavonoids of the flowers and leaves of Crataegus monogyna Jacq. and Crataegus laevigata (Poiret) DC. (Rosaceae). Pharm Acta Helv, 65:315–320.

41- Mashayekhi K and Atashi S (2012). The effect of foliar application of boric acid and sucrose on some biochemical properties of strawberry plants cv. Camarosa. Journal of Plant Production Research, 19(4): 157-172.

42- Miura K and Tada Y (2014). Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. Plant Science Journal, 5: 410.

43- Muller T, Luttchwager D and Lentzsch P (2010). Recovery from drought stress at the shooting stage in oilseed rape (*Brassica napus* L.). Journal of agronomy and Crop Science, 196: 81-89.

44- Nadeali E, Paknejad F, Moradi F, Naseri M and Pazuki A (2011). Effects of methanol application on sugar beet relative water content, chlorophyll content and chlorophyll fluorescence parameters under drought stress conditions. Iranian Journal Filed Crop Science, 41: 731-740.

45- Ommen OE, Donnelly A, Vanhoutvin S, Van Oijen M, Manderscheid R (1999). Chlorophyll content of spring wheat flag leaves grown under elevated CO2 concentrations and other environmental stresses within the 'ESPACE-wheat'project. European Journal of Agronomy. 10(3-4):197-203.

46- Rahbarian P, Afsharmanesh G and Shirzadi MH (2010). Effects of drought stress and manure on relative water content and cell membrane stability in dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). Plant Ecophysiol, 2: 13-19.

47- Ramakrishna A and Ravishankar GA (2011). Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. Plant Signaling and Behavior, 6: 1720-1731.

48- Rebey IB, Zakhama N, Karoui IJ and Marzouk B (2012). Polyphenol composition and antioxidant activity of cumin (Cuminum cyminum L.) seed extract under drought. Journal of Food Science, 77(6): 734-739.

49- Rostami A and Rahemi M (2013). Responses of caprifig genotypes to stress and recovery. Biological and Environmental Sciences, 21: 131-139.

50- Singh B and Usha K (2003). Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Plant Growth Regulation, 39: 137-141.

51- Singh J and Patal A (1996). Water statues, gaseous exchange, proline accumulation and yield of wheat in response to water stress. Annahs of Biology (Ludhiana), 12: 77-81.

52- Singleton VL and Rossi JA (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture, 16: 144–153.

53- Waraich EA, Ahmad R, Ashraf MY and Ahmad M (2011). Improving agricultural water use efficiency by nutrient management. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science, 61(4): 291-304.

Effect of growth regulator salicylate on some physiological and biochemical parameters of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress

Shahrivar Z., Abtahi F.S. and Hatami M.

Dept. of Medicinal Plants, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, I.R. of Iran

Abstract

Peppermint (*Mentha piperita* L.), with numerous medicinal properties is one of the most important plants from Lamiaceae family. To investigate the effects of drought stress and salicylic acid on peppermint, an experiment was conducted as factorial based on completely randomized design with four replications in the greenhouse of Medicinal Plants Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University during 2017. Studied factors included drought stress (35%, 65%, 95% and 100% of field capacity) and salicylic acid (0, 50, 100 and 150 mg/l). Results showed that salicylic acid (concentration) improved most physiological traits including chlorophyll index, relative water content, chlorophyll a, b and total chlorophyll, carotenoids, phenol and flavonoid content, antioxidant capacity, ion leakage and malondialdehyde. The highest level of ionic leakage and malondialdehyde was obtained in combination treatments of 50 mg/L and 35% FC. Maximum total flavonoid content and antioxidant capacity were observed in the combination treatment of salicylic acid (150 mg/L) and 95% drought stress. Therefore, application of this growth regulator at the level of 100 mg/L can be helpful in alleviating drought stress in peppermint.

Key words: Salicylic acid- water shortage- lamiaceae- Essential oil percentage.