یافته های نوین کشاورزی
سال یازدهم- شماره۲- زمستان ۱۳۹۵

بررسی اثرات تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر برخی صفات رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

سعید فتاحی سیاه کمری، کارشناس ارشد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
حمیده آزاد قوجه‌بیگلو، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی زابل
علی صالحی ساردویی*، گروه علوم باغبانی، دانشکده تولیدات گیاهی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
هاجر معتمدی شارک، گروه علوم باغبانی، دانشکده تولیدات گیاهی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
خیرالله بابایی، کارشناس ارشد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر سالیسیلیک اسید بر صفات رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان اسانس نعناع فلفلی تحت تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل تنش خشکی در چهار سطح (۹۰ (شاهد)، ۷۵، ٤٥ و ۲۵٪ ظرفیت زراعی) و سالیسیلیک اسید در دو سطح (صفر (شاهد) و ٦۰ پی پی ام) بود. صفات مورد ارزیابی شامل ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی، طول شاخه فرعی، تعداد گره، وزن تر و خشک گیاه، وزن تر و خشک ریشه، کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئیدها، درصد و عملکرد اسانس بود. اندازه‌گیری رنگیزه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتری و اسانس توسط دستگاه اسانس‌گیر آنالیز گردید. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که اثر تنش خشکی بر تمام صفات مورد مطالعه در سطح احتمال آماری یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل تنش خشکی در هورمون اسید سالیسیلیک برای صفات طول شاخه فرعی، وزن تر و خشک بوته، کلروفیل a، b، و کل، درصد و عملکرد اسانس معنی‌دار بود. تنش موجب کاهش تمامی صفات (به جز وزن تر و خشک ریشه) شد و کاربرد اسید سالیسیلیک موجب کاهش اثرات تنش شده به‌طوری که بالاترین مقدار این صفات از ٦۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک به‌دست آمد با توجه به اثرات متقابل بیشترین مقدار درصد و عملکرد اسانس از ۹۰٪ ظرفیت زراعی و کاربرد اسید سالیسیلیک حاصل گردید. در مجموع کاربرد این هورمون سبب بهبود خصوصیات کمی و کیفی نعناع فلفلی تحت تنش خشکی گردید.

واژه های کلیدی: اورتو هیدروکسی بنزوئیک اسید، خشکی، صفات رویشی، عملکرد اسانس

---

* نویسنده مسئول: E-mail :alisalehisardoei@gau.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۱۱/۲۸

مقدمه

گیاهان دارویی و ادویه‌ای از گیاهان اقتصادی مورد استفاده بشر هستند که مواد شیمیایی مخصوص و فعال مفیدی با مقادیر بسیار کم در پیکره خود تولید و ذخیره می‌کنند و سهم بزرگی از فرآوردهای دارویی تجاری را به خود اختصاص می‌دهند (۲۸). با توجه به اثرات سوء ناشی از مصرف داروهای شیمیایی، در سال‌های اخیر توجه زیادی به کشت گیاهان دارویی شده که با افزایش مصرف آنها نیاز به توسعه کشت، مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح می‌باشد (٤).

نعناع فلفلی با نام علمی *Mentha piperita* L. گیاهی علفی چند ساله اسانس‌دار از خانواده نعناعیان (Lamiaceae) می‌باشد که در طب سنتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۸).

اسانس نعناع فلفلی برای طعم‌دار کردن داروها و مواد خوراکی مانند شربت‌های سرفه، خمیر دندان و شوینده‌های دهان، آدامس و شیرینی‌جات مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله اثرات دارویی این گیاه رفع دردهای روده، محرک عالی معده و کمک‌کننده به هضم غذا، تقویت‌کننده معده، ضد نفخ، ضدعفونی-کننده، رفع دل پیچه، رقیق کننده صفرا و کاهش کلسترول خون، رفع سردرد، از بین بردن گلو درد و رفع گرفتگی بینی در سرماخوردگی است (۱۳ و ۱۵). یکی از مهم‌ترین زمینه‌های تحقیقی در مورد گیاهان دارویی، بررسی شرایط مختلف محیطی تأثیرگذار بر میزان عملکرد کمی و کیفی این گیاهان است. بنابراین بررسی و به‌دست آوردن بهترین شرایط محیط کشت که بتواند منجر به تولید گیاهی با بیشترین درصد متابولیت‌های ثانویه گردد از مهم‌ترین اهداف در تحقیقات مربوط به کشت گیاهان دارویی می‌باشد (۲۳).

عوامل محیطی به‌ویژه شرایط تنش‌زا، نقش عمده‌ای در کمیت و کیفیت گیاهان زراعی و دارویی به‌عهده دارند (٤۰). تنش خشکی شایع‌ترین تنش محیطی است که به‌طور تقریبی موجب محدودیت تولید در ٪۲۵ زمین‌های دنیا شده است (۱۸). این تنش‌ها باعث کاهش فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، بیوماس، رشد و درنهایت عملکرد گیاه می‌شود (۱ و ۵). در آزمایشی که بر گیاه دارویی شوید انجام شد نشان داد سطوح مختلف تنش خشکی باعث کاهش وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع و عملکرد اسانس شد اما باعث افزایش درصد اسانس شد (۱٦). با توجه به آزمایش ابراهیمی و همکاران (۸) بر گیاه همیشه بهار، با افزایش خشکی، میزان کاروتنوئیدها، کلروفیل a و b به دلیل خسارت به غشاهای کلروپلاستی کاهش یافت. همچنین وزن خشک، ارتفاع تعداد شاخه جانبی، تعداد گل و عملکرد گل همیشه‌بهار کاهش یافت. از روش‌های فیزیولوژیکی که در سال‌های اخیر برای تخفیف تنش‌های محیطی روی گیاهان مختلف استفاده شده است کاربرد خارجی مواد تخفیف دهنده تنش است (٤۱). از جمله این مواد می‌توان به سالیسیلیک اسید اشاره کرد که یکی از مولکول‌های پیام‌رسان مهم است و باعث عکس‌العمل گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شود و همانند یک آنتی‌اکسیدانت غیر آنزیمی نقش مهمی در تنظیم فرایند

فیزیولوژیکی در گیاه می‌شود. همچنین در افزایش تحمل به تنش‌های محیطی از روش‌های مختلف به-نژادی و به‌زراعی استفاده می‌شود. امروزه استفاده از هورمون‌ها و شبه هورمون‌هایی مانند اسید سالیسیلیک به دلیل ارزانی و کاربرد ساده آن‌ها مورد توجه قرار گرفته است (۷). اسید سالیسیلیک یا اورتو هیدروکسی بنزوئیک اسید، از ترکیبات فنلی می‌باشد که در تعداد زیادی از گیاهان وجود دارد، این ترکیب به‌عنوان ماده‌ای هورمونی شناخته شده و نقش اساسی در تنظیم فعالیت‌های فیزیولوژیکی مختلف مانند رشد، تکامل گیاه، جذب یون، فتوسنتز و جوانه‌زنی بذور تحت تنش‌های خشکی و شوری نشان داده شده است (۹، ۲۰ و ۲٤).

اسید سالیسیلیک بر رشد و عملکرد گیاهان تأثیر زیادی داشته است از اینرو این ماده به عنوان یک راهکار ارزشمند به‌ویژه در عرصه فعالیت‌های نوین کشاورزی در خصوص گیاهان دارویی می‌تواند مطرح گردد. این اسید نقش مهمی در رشد و نمو گیاهان دارد (۲٤، ۳۰ و ۳۸). غریبی (۱۱) اثر اسید سالیسیلیک را بر دو گیاه ریحان و مرزنجوش مورد مطالعه قرار داد و طبق نتایج افزایش ارتفاع گیاه، تعداد (شاخه، گره و برگ) در بوته، سطح برگ، وزن خشک و تر و کربوهیدرات کل در غلظت $۱۰^{-٤}$ مولار اسید سالیسیلیک حاصل گردید. همچنین کاربرد اسید سالیسیلیک در همین غلظت باعث افزایش کمیت و کیفیت اسانس ریحان شد. طبق نتایج مرتضوی و همکاران (۳۲) بکارگیری اسید سالیسیلیک تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر صفات ارتفاع گیاه، میزان آنتوسیانین، میزان کلروفیل، وزن تر ریشه داشت. همچنین اسید سالیسیلیک بیوسنتز اتیلن و حرکت روزنه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد، افزایش سطح کلروفیل و رنگیزه کاروتنوئیدها، سرعت فتوسنتز و تغییر فعالیت آنزیم‌های مهم از دیگر نقش‌های سالیسیلیک است (۱۲). با توجه به آزمایش نعمت‌الهی و همکاران (۳۳) بر گیاه آفتابگردان محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید با غلظت ۱۰۰ میکرومولار از طریق افزایش معنی‌دار جذب عناصر غذایی ماکرو و رنگدانه‌های فتوسنتزی، سبب کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی در هر دو رقم آفتابگردان گردید.

مطالعه پژوهش‌های انجام شده در کشور حاکی از آن است که تحقیقات ارزشمندی در زمینه تأثیر کاربرد اسید سالیسیلیک جهت کاهش اثرات سوء ناشی از شرایط تنش محصولات زراعی انجام شده است. اما در خصوص تأثیر اسید سالیسیلیک بر رشد و اسانس گیاهان دارویی به‌خصوص در گیاه دارویی نعناع فلفلی تحقیقات زیادی انجام نگرفته است. با توجه به ارزش دارویی و غذایی این گیاه و همچنین اثرات سوء تنش‌های محیطی مانند خشکی، انجام تحقیق به‌منظور ارزیابی کاربرد اسید سالیسیلیک بر گیاه مذکور در کاهش اثرات کم‌آبی در کشور امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. به همین دلیل این پژوهش با هدف بررسی محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر رشد رویشی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد اسانس در گیاه دارویی نعناع فلفلی تحت تنش خشکی انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹٦ به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (با موقعیت جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳٦ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳٦ درجه و ۱٦ دقیقه شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایش شامل تنش خشکی در چهار سطح (۹۰، ۷۵، ٤۵ و ۲۵٪ ظرفیت زراعی) و دو سطح اسید سالیسیلیک (صفر (شاهد) و ٦۰ پی‌پی‌ام) بود. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده شده در گلدان‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک	نیتروژن (ppm)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	اسیدیته	ماده آلی (%)	هدایت الکتریکی (ds/m)
لوم- سیلتی	۱۵	۱۳	۱۱۹	۷/٤۷	۰/۰۳	۱/۲

آزمایش در گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر و عرض ۳۰ سانتی‌متر اجرا شد. نشاهای نعناع فلفلی از قبل در خزانه مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد آماده و بعد از ٦ برگی به گلدان منتقل شد. در هر گلدان ۸ بوته کاشته شد. تا زمان سبز شدن، آبیاری به صورت روزانه و سطحی انجام شد و بعد از استقرار گیاه تیمار تنش خشکی اعمال شد. برای تیمارهای که اسید سالیسیلیک استفاده می‌شد در هر مرتبه آبیاری سالیسیلیک اسید (سالیسیلیک اسید مورد استفاده مربوط به شرکت مرک بوده) هم با غلظت ٦۰ پی‌پی‌ام به‌کار برده شد. محلول مورد نظر با توجه به اندازه گیاه در حجم مناسب تهیه شد.

برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی از نمونه‌های ترکیبی (دو برگ بالایی، دو برگ میانی و دو برگ پایینی) و به روش لیخن تایر (۲۷) استفاده شد.

وزن تر و خشک هم با استفاده از ترازوی دیجیتال با ۰/۰۰۰۱ خطا اندازه‌گیری شد. برای این کار پنج بوته از هر کدام از گلدان‌ها انتخاب و وزن تر و خشک بوته اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه و بوته ابتدا در آون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک کرده بعد از چهار ساعت وزن آن اندازه-گیری شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع هم پنج بوته انتخاب و ارتفاع آنها را اندازه‌گیری و ارتفاع پنج بوته را با هم جمع کرده و تقسیم بر پنج شد و در نتیجه اندازه ارتفاع هر گلدان به‌دست آمد.

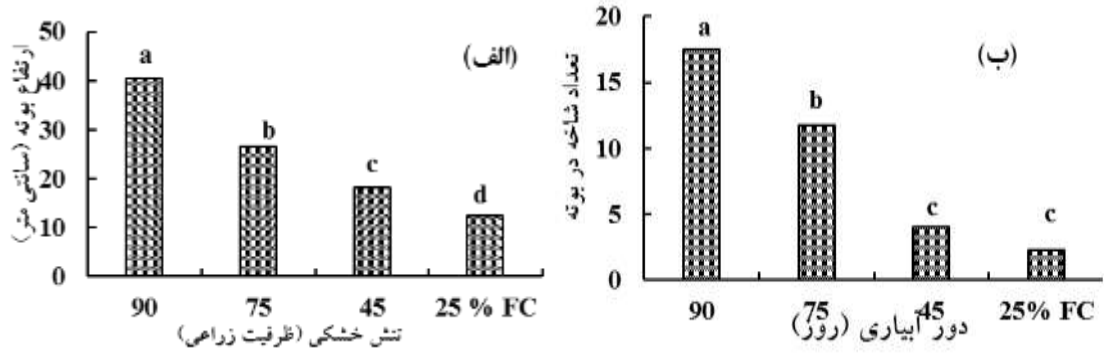
عمل استخراج اسانس از شاخه و برگ خشک گیاه نعناع فلفلی و توسط دستگاه اسانس‌گیر و از روش آرزمجو (۲) استفاده سپس بر حسب وزن خشک گیاه، درصد اسانس تعیین شد. عملکرد اسانس نیز از حاصل‌ضرب درصد اسانس در وزن خشک شاخه و برگ گیاه محاسبه شد.

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به وسیله نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ محاسبه شدند. میانگین داده-ها با استفاده از آزمون دانکن و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

صفات رشدی

ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی بوته: بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌های ارتفاع و تعداد شاخه فرعی گیاه تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند این در حالی بود که اثر ساده اسید سالیسیلیک و اثرات متقابل تنش خشکی و هورمون بر صفات مذکور معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد در طی تنش خشکی ارتفاع و تعداد شاخه فرعی گیاه کاهش یافت. به‌طوری که بیشترین ارتفاع و تعداد شاخه فرعی به‌ترتیب ٤٠/٦٦ سانتی متر و ۱۷/۵۰ به‌دست آمد و با افزایش ظرفیت زراعی مقادیر کاهش یافتند (شکل ۱-الف و ب).



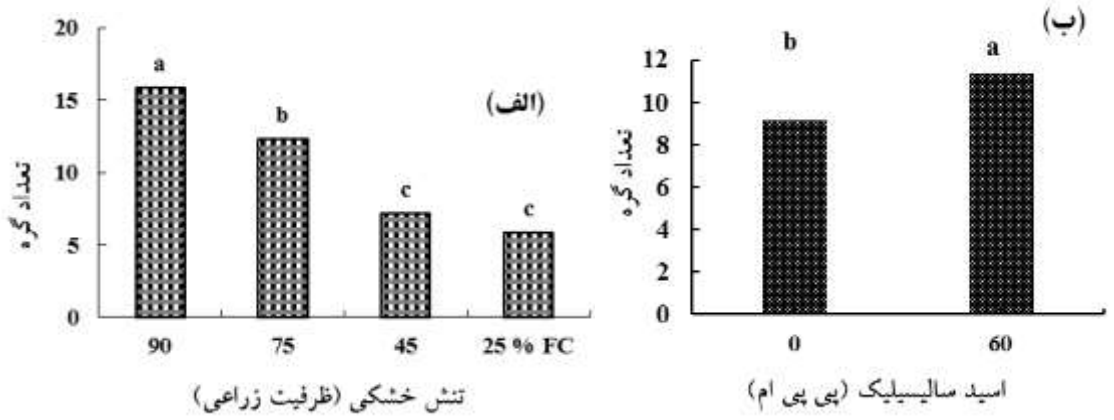
شکل ۱: مقایسه میانگین اثر ساده تأثیر تنش خشکی بر ارتفاع بوته (الف) و تعداد شاخه در بوته (ب) در نعناع فلفلی (تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

طول شاخه فرعی

نتایج نشان داد طول شاخه فرعی گیاه در سطح آماری یک درصد تحت تأثیر اثرات ساده تنش خشکی و اسید سالیسیک و در سطح ۵٪ تحت تأثیر اثرات متقابل تنش خشکی×سالیسیلیک اسید قرار گرفت (جدول۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بر هم‌کنش تنش خشکی در اسید سالیسیلیک، بیشترین طول شاخه فرعی بوته (٥/٦٦ سانتی‌متر) در شرایط ۹۰٪ ظرفیت زراعی و کاربرد اسید سالیسیلیک و کمترین طول شاخه فرعی (۱/۱٦ سانتی‌متر) در شرایط ۲۵٪ ظرفیت زراعی و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک حاصل گردید (جدول ٤).

تعداد گره

نتایج تجزیه واریانس صفت تعداد گره در سطح یک درصد فقط تحت تأثیر اثر ساده تنش و هورمون قرار گرفت (جدول۲). نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش تعداد گره نعناع فلفلی شده به‌طوری‌که بیشترین (۱۵/۸۳) و کمترین (۵/۸۳) تعداد گره به ترتیب مربوط شرایط طبیعی (۹۰٪ ظرفیت زراعی) و ۲۵٪ ظرفیت زراعی بود. همچنین مقایسه میانگین اثر ساده اسید سالیسیلیک نشان‌دهنده افزایش تعداد گره نعناع فلفلی نسبت به کاربرد اسید سالیسیلیک بود (شکل ۲-ب).



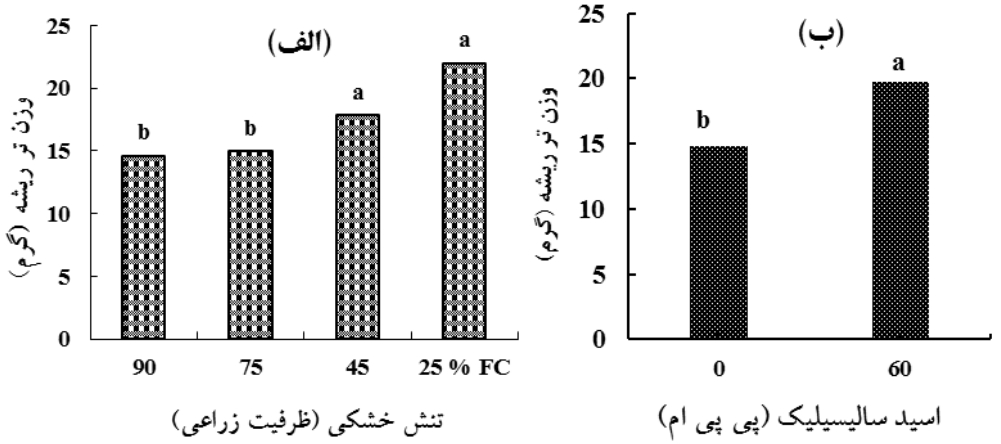
شکل ۲: مقایسه میانگین اثر ساده تأثیر تنش خشکی (الف) و اسید سالیسیلیک (ب) بر تعداد گره نعناع فلفلی (تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

وزن تر و خشک بوته

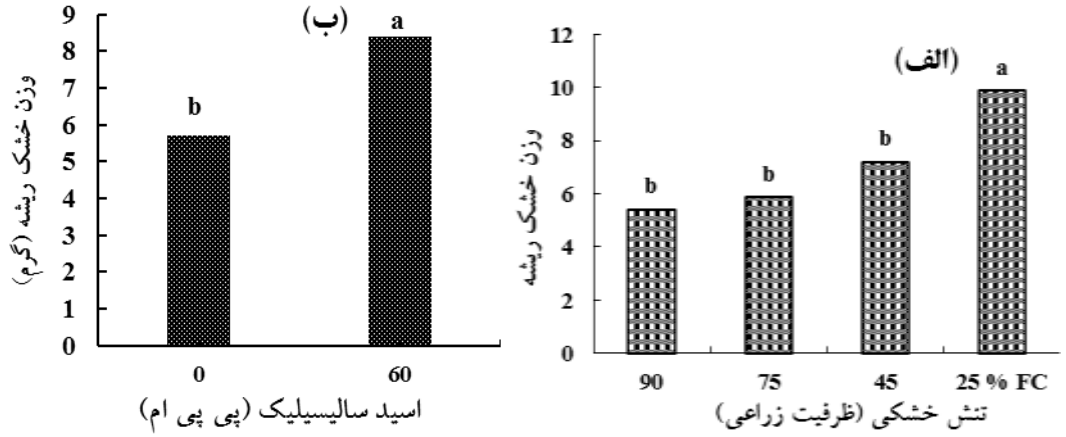
بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها وزن تر و خشک گیاه تحت تأثیر اثر ساده تنش خشکی و اسید سالیسیلیک و اثرات متقابل تنش× اسید سالیسیلیک قرار گرفتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد بالاترین وزن تر و خشک گیاه به ترتیب با میانگین ٤٠ و ۱۰ گرم در شرایط ۹۰٪ ظرفیت زراعی و کاربرد هورمون به‌دست آمد (جدول ٤).

وزن تر و خشک ریشه

بیشترین مقدار وزن تر و خشک ریشه مربوط به تیمار ۲۵٪ ظرفیت زراعی و کمترین مقدار نیز مربوط به تیمار ۹۰٪ ظرفیت زراعی بود که با تیمارهای ۷۵، ٤٥ و ۲۵٪ ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل۳-الف و ٥-ب). که با نتایج سودائی‌زاده و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد.



شکل ۳: مقایسه میانگین اثر ساده تأثیر تنش خشکی (الف) و اسید سالیسیلیک (ب) بر وزن تر ریشه نعناع فلفلی (تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)



شکل ٤: مقایسه میانگین اثر ساده تأثیر تنش خشکی (الف) و اسید سالیسیلیک (ب) بر وزن خشک ریشه نعناع فلفلی (تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

رنگیزه‌های فتوسنتزی

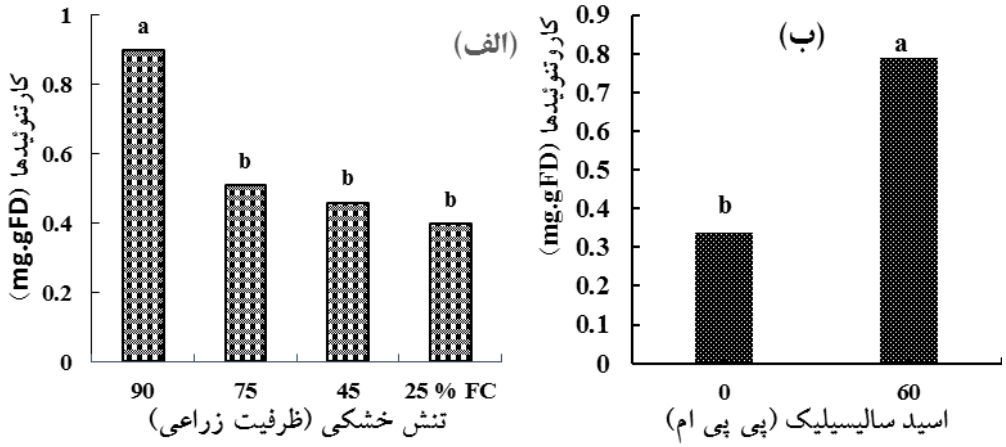
کلروفیل a، b و کل

رنگدانه‌های فتوسنتزی نیز مانند سایر صفات تحت تأثیر تنش و هورمون قرار گرفتند (جدول ۳). با توجه به اثرات متقابل تنش و اسید سالیسیلیک، بیشترین مقدار کلروفیل a (۹/۱۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، b (٦/۱۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کل (۱۵/۲۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از ۹۰٪ ظرفیت زراعی و کاربرد اسید سالیسیلیک به دست آمد (جدول ٤).

کاروتنوئیدها

کاروتنوئیدها نیز تحت تأثیر تنش خشکی و اسید سالیسلیک اسید در سطح یک درصد قرار گرفت این در حالی است که تحت تأثیر اثرات متقابل قرار نگرفت (جدول ۳). با توجه به مقایسه میانگین تنش موجب کاهش کاروتنوئیدها شد به‌طوری که بیشترین مقدار کاروتنوئیدها در شرایط ۹۰٪ ظرفیت زراعی حاصل

گردید این در حالی است که سطوح دیگر تنش تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۵- الف). بیشترین مقدار کاروتنوئیدها از کاربرد ٦۰ پی‌پی‌ام اسید سالیسیلیک مشاهده گردید (شکل ۵-ب).



شکل ۵: مقایسه میانگین اثر ساده تأثیر تنش خشکی (الف) و اسید سالیسیلیک (ب) بر کاروتنوئیدهای نعناع فلفلی (تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

درصد و عملکرد اسانس

نتایج نشان داد درصد و عملکرد اسانس در سطح آماری یک درصد تحت تأثیر اثرات ساده و اثرات متقابل قرار گرفتند (جدول ۳). نتایج برهم‌کنش اثرات دوگانه تنش در اسید سالیسیلیک نشان داد، در شرایط تنش ۹۰٪ ظرفیت زراعی و کاربرد اسید سالیسیلیک، بالاترین درصد و عملکرد را موجب شد ولی با افزایش تنش درصد و عملکرد سانس کاهش یافت (جدول ٤).

جدول ۲: تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر صفات رشدی نعناع فلفلی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		ارتفاع بوته	تعداد شاخه در بوته	طول شاخه فرعی	تعداد گره	وزن تر بوته	وزن خشک بوته	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
بلوک	۲	۱۲/۸۷^{ns}	۲/۱٦^{ns}	۰/۳۰^{ns}	۰/۲۹^{ns}	٦/٦۱^{ns}	۰/۹۳^{ns}	٤۲/۱۳^{ns}	۰/۰۲^{ns}
تنش خشکی	۳	۹۰۰/۳۳**	۳۰۱/۸۸**	۱۱/۷۸**	۱۲۹/۰٤**	٥٦۰/۰۷**	۳۱/۸٥**	۷۰/٤٤*	۲٤/۱۲**
اسید سالیسیلیک	۱	۲۰/۱٦^{ns}	۱٦/٦٦^{ns}	٤/٥۰**	۳۰/۳۷**	۲٥۸/٥۲**	۹/۳٥**	۱٤٤/۳٥*	٤۲/٦٤**
تنش خشکی × اسید سالیسیلیک	۳	۱۷/۱٦^{ns}	۰/٥٥^{ns}	۲/٥۹*	۸/۷۰^{ns}	٥٤/۱۳*	۰/۳۲**	۸/٥٦^{ns}	۱/٤۹^{ns}
خطای آزمایشی	۱٤	۷/٥٤	۳/۷۸	۰/٥۲	۳/۱۹	۱۰/٤۳	۰/۸۳	۱۷/۷۰	۲/۳۷
ضریب تغییرات (٪)		۱۱/۲۰	۲۲/۰۲	۳۱/٦۰	۱۷/۳۷	۱٥/٤۰	۱٥/۲۰	۲٤/۲۹	۲۱/۸۱

**، * و ns: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ ، ۵٪ و غیر معنی‌دار

جدول ۳: تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و اسانس نعناع فلفلی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئیدها	درصد اسانس	عملکرد اسانس
بلوک	۲	۰/۶۲^{ns}	۰/۷۳^{ns}	۰/۶۶*	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۱۴^{ns}	۱۴/۸۴^{ns}
تنش خشکی	۳	۱۱/۴۵**	۴/۴۵**	۲۷/۹۸**	۰/۳۰**	۶/۱۸**	۷۹۵/۱۵**
اسید سالیسیلیک	۱	۱۲/۷۰**	۱/۳۹^{ns}	۲۲/۴۲**	۱/۲۴**	۱/۱۹**	۱۱۸/۱۹**
تنش خشکی × اسید سالیسیلیک	۳	۳/۸۰**	۵/۵۴**	۱۸/۱۲**	۰/۰۲^{ns}	۰/۴۲**	۵۰/۲۱*
خطای آزمایشی	۱۴	۰/۴۹	۰/۶۰	۰/۱۹	۰/۰۵	۰/۰۳	۱۳/۱۷
ضریب تغییرات (درصد)	–	۱۰/۵۲	۱۹/۷۰	۳/۳۶	۴۰/۹۶	۹/۳۸	۲۲/۷۹

**، * و ns: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ ، ۵٪ و غیر معنی‌دار

جدول ٤: مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر صفات اندازه‌گیری شده نعناع فلفلی

تنش خشکی (ظرفیت زراعی)	اسید سالیسیلیک (پی پی ام)	طول شاخه فرعی (سانتی متر)	وزن تر بوته (گرم)	وزن خشک بوته (گرم)	کلروفیل a (میلی گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم وزن تر)	درصد اسانس (گرم)	عملکرد اسانس (گرم در وزن خشک بوته)
۹۰	کاربرد	۵/۶۶^{a}	۳۹/۴۲^{a}	۹/۹۰^{a}	۹/۱۰^{a}	۶/۱۸^{a}	۱۵/۲۸^{a}	۳/۸۳^{a}	۳۸/۰۸^{a}
	عدم کاربرد	۲/۹۶^{b}	۲۷/۸۶^{b}	۸/۰۳^{b}	۸/۲۷^{ab}	۳/۷۸$^{b-d}$	۱۲/۰۵^{b}	۳/۹۳^{a}	۲۶/۲۰^{b}
۷۵	کاربرد	۶۰/۲^{bc}	۲۸/۷۷^{b}	۶/۷۱^{bc}	۵/۵۴^{d}	۳/۰۲^{de}	۸/۵۶^{d}	۲/۷۰^{b}	۱۸/۲۶^{c}
	عدم کاربرد	۱/۶۶^{cd}	۱۶/۸۰^{c}	۵/۹۷^{cd}	۷/۱۸^{bc}	۴/۴۶^{bc}	۱۱/۶۵^{b}	۲/۶۱^{b}	۱۲/۱۹^{cd}
۴۵	کاربرد	۱/۵۰^{cd}	۱۶/۹۱^{c}	۵/۷۷^{cd}	۴/۶۱^{d}	۳/۱۸$^{c-e}$	۷/۸۰^{e}	۱/۲۴^{d}	۱۱/۰۶^{de}
	عدم کاربرد	۱/۶۶^{cd}	۱۵/۳۰^{c}	۴/۵۶^{de}	۶/۸۲^{c}	۴/۶۶^{b}	۱۱/۴۸^{b}	۲/۳۰^{bc}	۱۰/۴۵^{de}
۲۵	کاربرد	۱/۱۶^{d}	۱۱/۹۱^{cd}	۴/۰۷^{fe}	۴/۴۶^{d}	۲/۱۸^{e}	۶/۶۴^{f}	۱/۳۵^{d}	۵/۱۵^{e}
	عدم کاربرد	۱/۱۶^{d}	۱۰/۷۹^{d}	۲/۹۰^{f}	۷/۲۵^{bc}	۳/۵۹$^{b-d}$	۱۰/۸۴^{c}	۲/۰۶^{c}	۵/۹۷^{de}

در هر ستون و در هر عامل آزمایشی میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

نتایج آزمایشی بر گیاه زینتی دارویی پروانش نشان داد که غلظت‌های ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک بیشترین تأثیر را روی ارتفاع گیاه داشت. گزارش شده است که اسید سالیسیلیک تقسیم سلولی را درون مریستم رأسی گیاهچه افزایش می‌دهد و از این طریق رشد گیاه را بهبود می‌بخشد (٦). حسین و همکاران (۲۰۰۷) یک افزایش در ارتفاع گیاهچه، تعداد برگ و وزن خشک ریشه و ساقه گیاه ذرت در تیمار با اسید سالیسیلیک مشاهده کردند که با نتایج ما مطابقت داشت. همچنین نتایج ما با نتایج

مردانی و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت داشت. آنها گزارش کردند افزایش غلظت اسید سالیسیلیک در تنش خشکی باعث افزایش ارتفاع گیاه شد. احتمال می‌رود اسید سالیسیلیک باعث افزایش جذب عناصر شود که در نهایت موجب افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (٦). نتایج مقایسه میانگین تیمارها بر آفتابگردان نشان داد که بیشترین ارتفاع ساقه مربوط به دور آبیاری ۵۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر بود (۷). نتایج آزمایش چمنی و همکاران (۲۰۱٦) بر گیاه زینتی دارویی پروانش نشان داد که تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک با بیشترین تأثیر روی قطر ساقه اصلی (به میزان ٦/۷۲ میلی‌متر) به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد دارای اثرات مثبت و قابل توجهی بود. این نتایج نشان می‌دهد که رفتار ریشه گیاه متأثر از تنش رطوبتی خاک بوده و با افزایش تنش رطوبتی به عنوان عامل محدود کننده، ریشه‌ها به دنبال رطوبت بوده و در اعماقی که رطوبت بیشتری در دسترس بوده است، توسعه بیشتری یافته‌اند و به طبع آن وزن ریشه هم بیشتر می‌شود (۳٤). همچنین بیشترین وزن تر و خشک ریشه از کاربرد هورمون اسید سالیسیلیک به دست آمد (شکل ۳-الف و ٤-ب).

کلروفیل‌ها مهم‌ترین رنگدانه‌های جذب کننده نور در غشاهای تیلاکوئیدی می‌باشند. علاوه بر کلروفیل‌ها، گیرنده‌های مکمل نوری دیگری به نام کاروتنوئیدها وجود دارند که پلی هیدروکربن‌های اشباع نشده‌ای می‌باشند که ۲ تا ٤٪ وزن خشک کلروپلاست‌ها را تشکیل داده و قادر به جذب نور در طول موجی هستند که توسط کلروفیل‌ها جذب نمی‌شوند (۱۷). یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش کلروفیل، تخریب آن‌ها توسط گونه‌های فعال می‌باشد. کاهش فعالیت فتوسیستم II، کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو و مهار سنتز ATP، باعث می‌شود که تشکیل گونه‌های اکسیژن آزاد در کلروپلاست‌ها افزایش یابد (۲٦). ال تایپ (۲۰۰۵) از افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیلی و کاروتنوئیدی در شرایط محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید گزارش کرده و نتیجه این امر را افزایش سرعت فتوسنتز دانسته است. می‌توان نتیجه گرفت که حفظ غلظت کلروفیل در شرایط دشوار محیطی، به ثبات فتوسنتز در این شرایط کمک کرده و سبب کاهش خسارت‌های وارده به گیاه در تنش‌های محیطی می‌گردد. در آزمایشی که بر گیاه انیسون انجام شد نشان داد با پیشرفت تنش، محتوای کلروفیل و نسبت کلروفیل a به کلروفیل b کم شد (۳).

همواره همراه با افزایش شدت تنش، میزان اسانس افزایش نمی‌یابد، زیرا در تنش‌های شدیدتر، گیاه بیشتر مواد فتوسنتزی خود را صرف تولید ترکیب‌های تنظیم کننده اسمزی از جمله پرولین، گلایسین، بتائین و ترکیب‌های قندی مانند ساکارز، فروکتوز و فروکتان‌ها می‌کند تا شرایط لازم برای ادامه حیات آن فراهم شود (۲).

تحقیقات نشان داده که اعمال تنش خشکی در دو گونه ریحان شیرین و آمریکایی، درصد اسانس افزایش می‌یابد. تنش خشکی درصد اسانس غالب گیاهان دارویی را افزایش می‌دهد، چون در زمان تنش متابولیت‌های بیشتری تولید شده و این مواد باعث جلوگیری از اکسیداسیون در سلول می‌شوند (۱۰).

افزایش مؤلفه‌های رویشی مانند تعداد برگ و سطح برگ و فعالیت‌های فتوسنتزی شدید در برگ‌های جوان منجر به افزایش دسترسی مسیرهای بیوسنتزی تولید کننده اسانس به فیتوآسیمیلات‌ها و در نهایت افزایش محتوا و عملکرد اسانس خواهد شد (۳٦). نتایج مشابهی در ارتباط با اثر فاکتورهای مؤثر بر رشد رویشی و ارتباط آنها با افزایش عملکرد و محتوای اسانس توسط حسن‌پور اقدم و همکاران (۱۹) گزارش شده است. افزایش میزان اسانس در اثر محلول‌پاشی گیاهان با اسید سالیسیلیک ممکن است در اثر افزایش رشد رویشی، جذب مواد غذایی بیشتر توسط ریشه‌ها به دلیل افزایش فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه و همچنین تغییر در جمعیت غده‌های تولید کننده اسانس در برگ و گل‌ها باشد (۱۱). در آزمایش حسن‌زاده و همکاران (۲۱) بر گیاه دارویی بادرنجبویه در بین غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک، عدم کاربرد اسید سالیسیلیک کمترین درصد اسانس و غلظت ۲-۱۰ مولار اسید سالیسیلیک دارای بیشترین درصد اسانس (۰/٤۲۹٪)، در بین تیمارها بود. 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 (۳۵).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این آزمایش نشان داد تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، طول شاخه فرعی، وزن تر و خشک بوته، کلروفیل a، کلروفیل b، کل و کاروتونئیدها و درصد اسانس و عملکرد اسانس نعناع فلفلی شده و کاربرد اسید سالیسیلیک توانست اثرات تنش خشکی را کاهش دهد و تأثیر مثبتی بر این صفات داشته باشد. در مجموع با توجه به نتایج حاصله به نظر می‌رسد کاربرد هورمون سالیسیلیک می‌تواند سبب بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی نعناع فلفلی باشد. همچنین کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط وجود تنش خشکی منجر به دستیابی به بالاترین میزان درصد اسانس گردید. به طوری که کاربرد اسید سالیسیلیک و تنش ۹۰٪ ظرفیت زراعی بالاترین میزان درصد اسانس و عملکرد اسانس را داشت.

منابع

1- Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Somasundaram R. and Panneerselvam, R. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture and Biology, 11: 100-105.

2- Arazmjoo, A., Heidari, M. And Ghanbari, A. 2010. Effect of drought stress and fertilization on yield and quality of German chamomile. Iranian Journal of Crop Sciences, 12(2): 100-111.

3- Asadi Kawan, J., Ghorbali, M. and Sataee A. 2010. Effect of drought stress and external ascorbate on photosynthetic pigments, flavonoids, phenolic compounds and lipid peroxidation in anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 25 (4): 456-469.

4- Atanassova, M., Georgieva, S. and Ivancheva, K. 2011. Total phenolic and total flavonoid contents, antioxidant capacity and biological contaminants in medicinal herbs. Journal of the University ofChemical Technology and Metallurgy, 46 (1): 81-88.

5- Bhatt, R. M. and Srinivasa-Rao, N. K. 2005. Influence of podload response of okra to water stress. Indian Journal Plant Physiology, 10: 54-59.
6- Chamani, A., Bonyadi, M. and Ghanbari, R. 2016. Effect of salicylic acid and humic acid on vegetative Indices of ornamental Plant (*Catharanthus roseus* L.). Journal of Horticulture. 29 (4): 631-641.
7- Dolat Abadi, S., Armin, M. and Fillakash, A. 2014. Effect of time of foliar application of salicylic acid on sunflower yield in drought stress conditions. Journal of Agricultural Research, 5 (2): 177-189.
8- Ebrahimi, M., Zamani, G. and Alizadeh, V. Z. 2018. Effect of drought stress on physiological traits and yield (*Calendula officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal Plants and Herbs Research Journal, 33 (3): 492-508.
9- EL-Tayeb, M. A. 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation, 45:215-224.
10- Farahani, H. A., Valadabadi, A. and Rahmani, N. 2008. Effects of nitrogen on oil yield and its component of Calendula (*Calendula officinalis* L.) in drought stress conditions. African Journal of Traditional. Complementary and Alternative medicines. Abstracts of the World Congress on Medicinal and Aromatic Plants. Cape Town November, 364p. (In Persian).
11- Gharib, F. A. E. 2007. Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. Inter. Journal of Agricultural Biology, 9: 2. 294-301.
12- Gregg, A. and Howe, B. 2010. The rololes of hormones in defense against insect and disease. Plant Hormones springer, 646-680.
13- Gul, P. 1994. Seasonal variation of oil and menthol content in Mentha arvensis Linn. Pakistan Journal of Forestry, 44: 16-20.
14- Gunes A., Inal, A. and Alpaslan, M. 2005. Effects of exogenously applied salicylic acid on the induction of multiple stress tolerance and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.). Archives Agronomy Soil Science, 51: 687-695.
15- Gupta, R. 1991. Agrotechnology of Medicinal Plants. In Wijesekera ROB (ed) The Medicinal Plant Industry CRC Press, pp, 43-57.
16- Haghshenas, G. And Eskandari, M. 2012. 28-hoborazinolide Effect on growth parameters and essential oil yield of dill. Journal of Plant Ecophysiology, 41-29.
17- Harmut, K. L. and Babani, F. 2000. Detection of photosynthetic activity and water stress by imaging the red chlorophyll fluorescence. Plant Physiol. Biochem. 38: 889-895.
18- Hashemi-Dezfouli, A., Koucheki, A. and Banayan, M. 1995. Increase crops yield. Mashhad University, Press, 287 p.
19- Hassanpouraghdam, M. B., Tabatabaie, S. J. and Nazemiyeh, H. and Aflatuni, A. 2008. N and K nutrition levels affect growth and essential oil content of costmary (*Tanacetum balsamita* L.). Journal of Food, Agriculture and Environment, 6 (2): 145-149.
20- Hassanzadeh, K., Ahmadi, M. and Shaban, M. 2014. Effect of pre-treatment of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) seeds on seed germination and seedlings growth under salt stress. Inter. Journal Plant, Ani. Environ Science, 4: 3. 260-265.
21- Hassanzadeh, K., Hemmati, K. and Alizadeh, M. 2017. Effect of organic and salicylic acid on yield and some secondary metabolites of *Melissa officinalis* L. Journal of Plant Production Research, 23 (1): 107-130.
22- Hussein, M .M., Balbaa, L. K. and Gaballah, M. 2007. Salicylic acid and salinity effects on growth of maize plants. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 3: 321-328.
23- Jaafar, H. Z. E., Ibrahim, M. H. and Fakri, N. F. M. 2012. Impact of soil field water capacity on secondary metabolites, phenylalanine ammonia-lyase (PAL), maliondialdehyde (MDA) and photosynthetic responses of alaysian kacip fatimah (*Labisia pumila*). Molecules, 17: 7305-7322.
24- Kang, G. 2003. Salicylic acid changes activities of H_2O_2 metabolizing and increase the chilling tolerance of banana seedling. Envi. Exper. Botany, 50: 9-15.
25- Kovacik, J., Gruz, J., Backor, M., Strand, M. and Repcak, M. 2009. Salicylic acid induced changes to growth and phenolic metabolism in *Matricaria chamomilla* plant. Plant cell Rep, 28: 135-143.
26- Lawlor, D. W. and Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants affected by N fertilization. Agronomy Journal, 73-583-587.
27- Lichtenthaler, H. K. 1982. Synthesis of prenyllipids in vascular plants (including chlorophylls, carotenoids, prenylquinones). In CRC Handbook of Biosolar Resrouces, Vol. I, part I: Basic Prin-ciples (*A. Matsui* and C.C. Black, eds.) pp. 405-421. CRC Press, Boca Raton, Fla.
28- Majnoun Hosseini, N. and Devazdah Imami, S. 2008. Farming and production of some medicinal and medicinal herbs. Tehran University Press.
29- Mardani H. and Azizi, M. 2011. Effects of Salicylic acid Application on Morphological and Physiological Characteristics of Cucumber Seedling (Cucumis sativus cv. Super Dominus) under drought Stress. Journal of horticulture science. 25(3):320-326 (in Persian with English abstract).

30- Martin-Mex R. and Larqué-Saavedra, A. 2001. Effect of salicylic acid in clitoria (*Clitoria ternatea* L.) bioproductivity in Yucatan, México. 28th Annual Meeting. Plant Growth Regulation Society of America. Miami Beach Florida, USA. July 1-5.

31- Mona, Y., Kandil, M. A. M. and Swaefy Hend, M. F. 2008. Effect of three different compost levels on fennel and salvia growth character and their essential oils. Reserch Journal Agricultural Biology Science, 4: 34-39.

32- Mortazavi, S. N., Khodabandlu, F. and Azamii, M. H. 2017. Effect of Different Concentrations of Cyocelle and Salicylic Acid on Morphophysiological Traits of Cauliflower Ornamental. Journal of Horticultural Science. 30 (4): 590-596.

33- Nematollahi, A., Jafari, A. R. and Bagheri, A. R. 2014. Effect of drought stress and salicylic acid on photosynthetic pigments and nutrient uptake of sunflower cultivars (*Helianthus annuus* L.). Journal of Plant Ecophysiology, 5 (12): 37-51.

34- Rad, M., Mirhosseini, S. R., Meshkouh, M. A. and Soltani, M. 2009. Effect of soil moisture on the development of *haloxylon spp*. Journal of Forest and Poplar Research, 16: 112-123.

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

36- Sifola, M. I. and Barbieri, G. 2006. Growth, yield and essential oil content of three cultivars of basil grown under different levels of nitrogen in the field. Scientia Horticulturae, 108: 408-413.

37- Sodaee Zadeh, H., Shamsai, M., Tumilian, M., Mirmohammadi Meybodi, S. A. M. And Hakim Zadeh, M. A. 2017. Effect of Drought stress on some morphological and physiological traits of satureja (*Satureja hortensis*). Process and Plant Function, 5 (15): 1-12.

38- Vikrant, V., Grover, J. K., Tandon, N., Rathi, S. S. and Gupta, N. 2006. Treatment with extracts of Momoridca charantia and Eugenia jambolana prevents hyperglycemia and hyperinsulinemia in fructose fed rats. Journal of Ethnopharmacology, 76(2): 139-43.

39- Wendell, K. L., Wilson, L. and Jordan, M. A. 1993. Mitotic block in hela cells by vinblastine: ultrastructural changesin kinotochore-microtubule attachment and centrosomes. Journal Cell Science, 104: 261-274.

40- Xu, L., Han, L. and Huang, B. 2011. Antioxidant Enzyme Activities and Gene Expression Patterns in Leaves of Kentucky bluegrass in Response to Drought and Post-drought Recovery. Journal of the American Society for Horticultural Science, 136(4):247–261.

41- Yuan, S. and Lin, H. H. 2008. Role of salicylic acid in plant abiotic stress. Z. Naturforsc, 63: 313-320.