

ارزیابی اثرات مصرف اسید سالیسیلیک بر رشد، عملکرد و برخی خصوصیات بیوشیمیایی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) تحت سه رژیم آبیاری مختلف

حسین سرتیپ^{۱*}، علیرضا سیروس مهر^۲

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی تولید، گروه علوم باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی.

۲. استادیار گروه زراعت، گرایش فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل.

تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۲۳

چکیده

استفاده از اسید سالیسیلیک برای کاهش صدمات ناشی از تنش خشکی و بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه در مناطق خشک و نیمه‌خشک از مدیریت‌های مفید جهت کشت گیاهان دارویی از جمله زیره سبز است. از این رو آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی شامل سه سطح فراهمی آب، ۵۰ (شاهد)، ۱۰۰ و ۱۵۰ (تنش خشکی) میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A به‌عنوان عامل اصلی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (صفر به‌عنوان شاهد، ۱ و ۳ میلی‌مولار) به‌عنوان عامل فرعی در سه تکرار انجام گردید. نتایج نشان داد که سطوح مختلف فراهمی آب، اسید سالیسیلیک و اثر متقابل آن‌ها بر رشد و نمو گیاه زیره سبز مؤثر بودند. تنش خشکی سبب کاهش میزان رنگیزه کلروفیل a گردید، در حالی که میزان پرولین و کربوهیدرات را افزایش داد. کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش صفاتی مانند رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و هیدرات‌های کربن گردید. اثر متقابل فراهمی آب و اسید سالیسیلیک بر تمامی صفات به‌جز هیدرات‌کربن و کلروفیل a معنی‌دار شد و بیشترین عملکرد دانه (۹۸/۹ گرم در مترمربع) در تیمار انجام آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به دست آمد. با توجه به مشاهدات این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از اسید سالیسیلیک راهکاری مناسب به‌منظور افزایش مقاومت گیاه زیره سبز در برابر تنش خشکی است.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تشتک تبخیر، رنگیزه فتوسنتزی، عملکرد دانه، کلروفیل a

مقدمه

مصرف زیره سبز سبب افزایش ترشح آنزیم‌های صفراوی می‌گردد و به هضم بهتر چربی‌ها کمک می‌کند (Platel, 2002). سطح زیر کشت این گیاه دارویی در ایران در سال ۱۳۹۳ حدود ۱۸ هزار هکتار بوده است (www.medplant.ir, 2014).

تنش خشکی به‌عنوان یک عامل کاهنده رشد و عملکرد گیاهان در بسیاری از مناطق جهان به شمار می‌آید که تولید محصولات زراعی را به‌طور جدی محدود کرده و وقوع تغییرات اقلیمی در کل جهان، این وضعیت را جدی‌تر ساخته است (Anjum et al., 2011). در مطالعات مختلفی

زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) از خانواده چتریان، گیاهی است یک‌ساله با شاخه‌های نازک و معطر که ارتفاع آن بسته به شرایط محیطی بین ۱۵ تا ۵۰ سانتی‌متر متغیر است (Kafi et al., 2002). زیره سبز دارای تانن، روغن، رزین و اسانس است. بوی زیره سبز مربوط به آلدئیدی بنام کومینول است. مقدار کومینول در زیره بسته به محل کشت آن بین ۳۰ تا ۵۰ درصد است (Tarzi, 1995). از زیره سبز در درمان بیماری‌های مختلف به‌عنوان ضد صرع، ضد تشنج، تقویت‌کننده معده، ادرارآور، ضد نفخ و سوءهاضمه و محرک تعریق استفاده می‌شود (Hagir Alsadat et al., 2011).

Ashoor Abadi, 2004). نتایج تحقیقی نشان داد که در گیاه زیره سبز صفاتی نظیر تعداد دانه در چتر و تعداد دانه در بوته در گیاهانی که با اسید سالیسیلیک محلول‌پاشی شده بودند، افزایش یافتند (Asfani Farahani et al., 2013). گزارش شده که کاربرد اسید سالیسیلیک در گوجه‌فرنگی می‌تواند با برطرف کردن تنش خشکی وضعیت رشدی گیاه را بهبود بخشد (Senaratna et al., 2000). افزایش میزان اسید سالیسیلیک باعث افزایش وزن خشک بوته در گیاه همیشه‌بهار گردید. همچنین اثر متقابل اسید سالیسیلیک و کم‌آبیاری بر میزان کلروفیل برگ معنی‌دار بود و بالاترین میانگین شاخص کلروفیل از تیمار ۲۰۰ میلی مولار اسید سالیسیلیک به همراه آبیاری پس از رسیدن به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد (Moradi Marjaneh and Goldani, 2012).

بیش از ۸۲ درصد از اراضی زراعی ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک دنیا قرار گرفته است و متوسط بارندگی سالیانه ایران در حدود ۲۵۰ میلی‌متر، یعنی یک‌سوم متوسط بارندگی سالیانه دنیا (۸۶۰ میلی‌متر) است (Heydari, 2006). بنابراین مدیریت منابع محدود آب با کمک روش‌های به‌زراعی از جمله کاشت گیاهان دارای نیاز آبی کم مانند زیره سبز (Kafi et al., 2002) و استفاده از ترکیباتی که مقاومت گیاه به تنش خشکی را بهبود می‌بخشند، دارای اهمیت است. بر این اساس، پژوهش حاضر باهدف تعیین اثر استفاده از اسید سالیسیلیک روی برخی از صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه زیره سبز تحت رژیم‌های مختلف فراهمی آب انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در طی سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل و با هدف بررسی تأثیر تعدیل‌کنندگی مصرف اسید سالیسیلیک بر رشد و عملکرد گیاه زیره سبز در شرایط تنش خشکی اجرا گردید. این پژوهشکده در موقعیت جغرافیایی ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی در ارتفاع ۴۸۱ متر از سطح دریا قرار دارد. آب‌وهوای منطقه بر اساس طبقه‌بندی کوپن در اقلیم خشک بسیار گرم، با تابستان‌های گرم و خشک است و بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه نیز جزء مناطق گرم و خشک قرار می‌گیرد. بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی زابل میانگین

موضوع تأثیر تنش خشکی بر رشد و عملکرد گیاهان دارویی موردتوجه قرار گرفته است. در تحقیقی کاهش و تخریب رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی در گیاه ریحان گزارش شد (Khalil et al., 2010). اعمال تنش خشکی در گیاه دارویی ریحان سبب کاهش مقدار کلروفیل، وزن خشک اندام هوایی و عملکرد و افزایش مقدار پروتئین و قندهای محلول شد (Hassani et al., 2004).

اسید سالیسیلیک به دلیل تأثیر بر تعدادی از فرایندهای فیزیولوژیکی رشد، به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد گیاهی شناخته شده است (Zavala et al., 2004). اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک شبه هورمون فنولیک، تنظیمات درونی گیاه را انجام می‌دهد و نقش آن در سیستم دفاعی در مقابل تنش‌های زیستی (عوامل بیماری‌زا) و غیر زیستی (خشکی، شوری، عناصر سنگین و آزون) به‌خوبی مشخص شده است (Klessig and Malamy, 1994). این ماده سبب افزایش مقاومت به کمبود آب در گندم شده است (Bezorkova et al., 2001). اسید سالیسیلیک تأثیر خود را بر فتوسنتز از طریق بسته شدن روزنه، کاهش تعرق، سنتز کلروفیل، ممانعت از بیوسنتز اتیلن و جذب و انتقال عناصر غذایی اعمال می‌کند (Ghai et al., 2002). استفاده از اسید سالیسیلیک همراه با تنش خشکی باعث افزایش بعضی از عملکردهای فیزیولوژیکی می‌گردد که می‌تواند بر میزان مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی بیفزاید. در پژوهشی افزودن اسید سالیسیلیک در غلظت‌های مختلف سبب افزایش مقدار پروتئین و بهبود مقاومت گیاه دارویی مرزه در شرایط تنش خشکی گردید (Yazdanpanah et al., 2010).

جانگیر و سینگ (Jangir and Singh, 1996) با بررسی اثر ۴، ۵ و ۶ بار آبیاری در طی فصل رشد بر عملکرد زیره سبز نتیجه گرفتند که رژیم آبیاری کامل (۶ بار آبیاری) اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه و اجزاء عملکرد زیره سبز داشت. در تحقیق دیگری با اعمال تیمارهای آبیاری ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی روی گیاهان اسفرزه (*Plantago ovate* L.)، بومادران (*Achillea millefolium* L.)، مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.)، همیشه‌بهار (*Calendola officinalis* L.) و بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) مشخص شد که با تشدید تنش خشکی، وزن اندام هوایی و ارتفاع بوته در تمام گیاهان مورد مطالعه کاهش پیدا کرد (Lebaschi and Sharifi

صورت گرفت. میزان جذب نمونه‌ها برای کلروفیل a, b و کارتنوئیدها به ترتیب در طول موج‌های ۶۴۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ با استفاده از اسپکتروفوتومتر (مدل Hamburg 22331) صورت گرفت.

$$\text{Chlorophyll a} = (12.25 (A_{663})) - ((2.79) (A_{645})) \quad [1]$$

$$\text{Chlorophyll b} = 21.5 A_{645} - 5.1 A_{663} \quad [2]$$

$$\text{Carotenoides} = (1000A_{470} - 1.82 \text{ chl a} - 85.25 \text{ chl b})/198 \quad [3]$$

در روابط فوق A شدت جذب در طول موج‌های مربوط برحسب نانومتر است.

اندازه‌گیری پرولین و هیدرات‌های کربن محلول

اندازه‌گیری پرولین با استفاده از روش بیئتس و همکاران (Bates et al., 1973) و هیدرات‌های کربن محلول به روش کلس و آنسل (Keles and Oncel., 2004) انجام گردید.

عملکرد دانه

برداشت زیره سبز جهت محاسبه عملکرد دانه در مرحله رسیدگی دانه‌ها (اواخر فروردین) انجام شد، بدین‌صورت که در هر کرت، نمونه‌گیری از ۵ ردیف وسط و پس از حذف اثرات حاشیه‌ای انجام گرفت. به‌منظور تعیین عملکرد دانه از سطحی معادل ۱/۵ مترمربع بوته‌ها برداشت و عملکرد دانه محاسبه گردید.

محاسبات آماری

محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت و میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

ارتفاع و وزن خشک بوته

نتایج نشان داد که اثر متقابل فراهمی آب در سطوح مختلف اسید سالیسیلیک بر روی ارتفاع بوته در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین ارتفاع بوته در تیمار انجام آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به دست آمد. با افزایش تنش کم‌آبی از میزان ارتفاع بوته

درازمدت (۳۰ ساله) بارندگی در منطقه ۶۳ میلی‌متر است. میانگین درازمدت درجه‌حرارت منطقه نیز ۲۳ درجه سانتی‌گراد و حداقل حرارت مطلق ۷- درجه است (Kiyani and Firoozi Jahan Tigh, 2011). خاک محل اجرای آزمایش دارای بافت لومی-شنی و میزان pH آن برابر با ۷/۸ بود.

آزمایش به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فراهمی آب در سه سطح ۵۰ (شاهد)، ۱۰۰ و ۱۵۰ (تنش خشکی) میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A به‌عنوان عامل اصلی و سطوح محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک [صفر (عدم محلول‌پاشی)، ۱ و ۳ میلی‌مولار] به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. تنش خشکی پس از استقرار کامل بوته‌ها و در مرحله ۸ برگی اعمال گردید. پس از انجام عملیات خاک‌ورزی، کرت‌هایی با ابعاد ۳×۳/۵ متر، ایجاد گردید. بذرهای زیره سبز (رقم محلی کرمان) روی ردیف در ۱۰ دی‌ماه ۱۳۹۳ کاشته شدند. هر کرت شامل ۷ ردیف کاشت با فاصله بین ردیفی ۳۵ سانتی‌متر بود. پس از اطمینان از سبز شدن بذرها و استقرار گیاهچه‌ها عمل تنک کردن در چند مرحله انجام شد و نهایتاً فاصله روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر انتخاب شد. اولین محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک ۶۰ روز پس از کشت در تاریخ ۱۰ اسفند ۱۳۹۳ در مرحله رشد رویشی و دومین محلول‌پاشی ۱۰ روز بعد از اولین محلول‌پاشی صورت گرفت.

اندازه‌گیری ارتفاع و وزن خشک

در مرحله گلدهی کامل، طول ساقه ۸ بوته به‌صورت تصادفی از طوقه تا انتهای بلندترین ساقه اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به‌عنوان ارتفاع گیاه برای هر تیمار لحاظ گردید. این کار با خط‌کش استاندارد انجام شد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک بوته از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم استفاده گردید. پس از قطع نمودن ۸ بوته از سطح خاک، وزن خشک بوته‌ها تعیین شد. اندازه‌گیری وزن خشک، پس از قرار گرفتن نمونه‌های تر در آن به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت.

اندازه‌گیری غلظت کلروفیل a و کارتنوئید

غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی به روش لیچنتال (Lichtenthaler, 1994) و با استفاده از معادلات زیر

در نتیجه سلول‌ها چروک‌خورده و دیواره سلولی پایداری خود را از دست می‌دهد (Tiaz and Zeigger, 1998) و در نهایت رشد رویشی گیاه نیز در اثر کمبود آب کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه در این آزمایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط کم‌آبی کاهش یافتند (شکل‌های ۳ و ۴ و جدول ۲)، وزن خشک اندام هوایی نیز به دنبال آن کم شد. در شرایط آبیاری کامل فراهم بودن آب و مواد غذایی، رشد رویشی و زایشی مطلوب را به دنبال دارد و از این طریق اندام‌های زایشی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در پژوهشی در گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) آبیاری مناسب منجر به رشد رویشی و به دنبال آن رشد زایشی بهتر شد (Buchanan-Wollaston et al., 2003). اسید سالیسیلیک از طریق افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و محتوای کلروفیل، میزان فتوسنتز را افزایش می‌دهد (Sing and Usha, 2003).

کاسته شد، ولی در شرایط کاربرد اسید سالیسیلیک، میزان کاهش ارتفاع کمتر بود (شکل ۱). اثر متقابل فراهمی آب و اسید سالیسیلیک در سطح احتمال ۵ درصد بر وزن خشک بوته معنی‌دار شد (جدول ۱). بیشترین مقدار وزن خشک بوته (۶/۷۹ گرم) در تیمار آبیاری پس از تبخیر ۵۰ میلی‌متر از تشتک و محلول‌پاشی ۳ میلی مولار اسید سالیسیلیک به دست آمد. به‌طور کلی با افزایش تنش کم‌آبی در سطوح کاربرد اسید سالیسیلیک، از وزن خشک بوته کاسته شد، ولی با افزایش میزان کاربرد اسید سالیسیلیک، کاهش وزن خشک در سطوح تنش کمتر شد (شکل ۲).

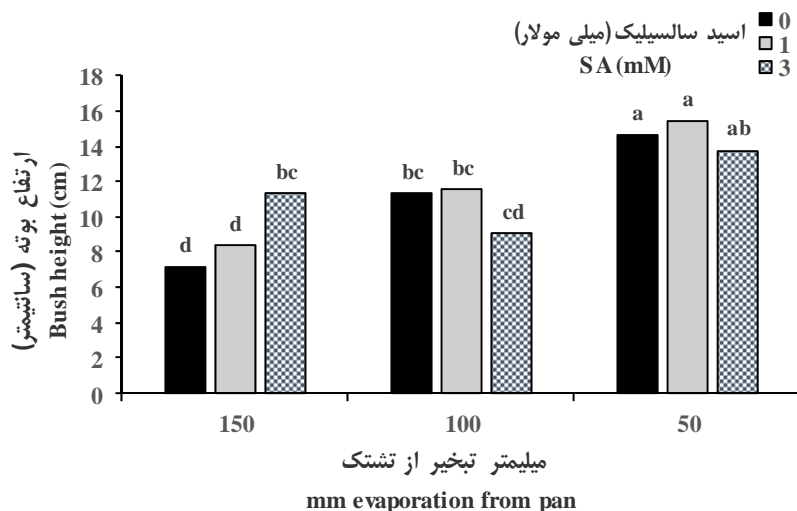
کاهش میزان رشد در شرایط تنش خشکی، یک حالت سازگارکننده برای زنده ماندن گیاه در شرایط تنش است، به این دلیل که گیاه، مواد غذایی و انرژی را به‌جای استفاده برای رشد شاخساره، به سمت مولکول‌های نگهداری‌کننده در برابر تنش هدایت می‌کند (Khalid, 2006). تنش خشکی باعث کاهش محتوای آب برگ گیاه می‌شود،

جدول ۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد ارزیابی زیره سبز تحت سطوح مختلف آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک
Table 1. Analysis of variance mean squares of cumin traits under different irrigation levels and salicylic acid spray

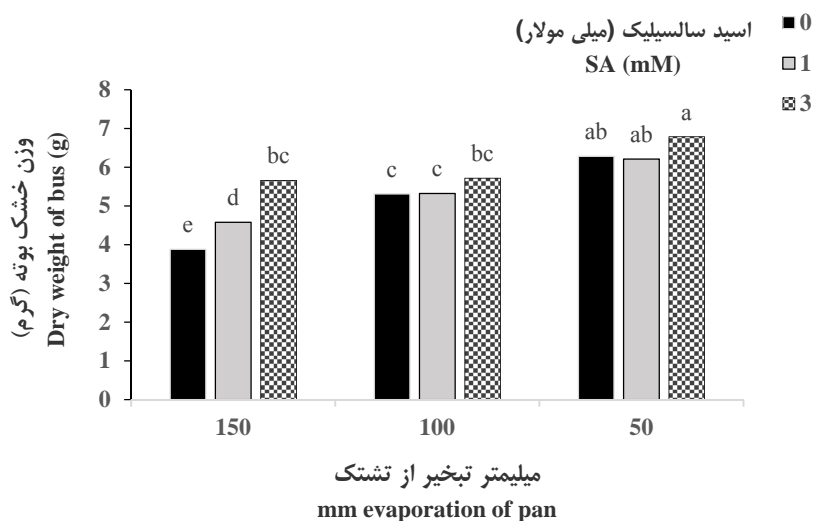
منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک بوته Plant Dry weight	عملکرد دانه Seed Yield	پروترین Proline	کربوهیدرات Carbohydrate	کلروفیل a Chl. a	کلروفیل b Chl. b	کارتنوئید Carotenoids
تکرار Replication	2	0.041	0.09	79.61	0.41	1.2	0.97	0.042	0.61
تنش خشکی Drought stress (D)	2	76.13**	6.72**	2723.8**	28.79**	65.92**	36.2**	11.13**	21.32**
خطای اصلی Error (a)	4	2.17	0.21	29.04	0.1	1.62	1.09	0.086	0.53
اسید سالیسیلیک Salicylic acid (S)	2	1.23 ^{ns}	1.98**	82.43 ^{ns}	0.19 ^{ns}	9.64**	10.32**	3.08**	3.53**
تنش خشکی * اسید سالیسیلیک D*S	4	10.14*	0.44*	129.8*	0.76**	0.067 ^{ns}	0.4 ^{ns}	0.86*	3.75**
خطای فرعی Error (b)	12	2.26	0.13	39.35	0.11	11.07	1.03	0.19	0.039
ضریب تغییرات CV%	-	13.02	6.64	7.84	5.86	8.82	6	7.76	6.28

- ns, ** و * به ترتیب بدون اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد.

- ns, ** and *, are non-significant, significant at 1% and, significant at 5% level of probability respectively.



شکل ۱. اثر متقابل فراهمی آب و محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر ارتفاع بوته در زیره سبز
Fig. 1. Interaction effect of water availability and salicylic acid spraying on height in cumin



شکل ۲. اثر متقابل فراهمی آب و محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر وزن خشک بوته زیره سبز
Fig. 2. Interaction effect of water availability and foliar application of salicylic acid on dry weight of cumin

پس از انجام ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) حاصل شد. همچنین بیشترین مقدار کلروفیل a (۱۷/۹۶ میلی‌گرم بر گرم) در بین تیمارهای محلول پاشی اسید سالیسیلیک مربوط به تیمار ۳ میلی‌مولار بود (جدول ۲ و ۳). اثر متقابل فراهمی آب در اسید سالیسیلیک بر محتوی کلروفیل b در سطح ۵ درصد و بر کارتنوئید برگ در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل b (۱۲/۱۱ میلی‌گرم بر گرم) و بیشترین مقدار کارتنوئید برگ (۷/۱۸ میلی‌گرم بر گرم) در

رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a کلروفیل b و کارتنوئید)

نتایج نشان داد که اثر ساده فراهمی آب و اسید سالیسیلیک باعث معنی‌دار شدن میزان کلروفیل a در برگ گیاه زیره سبز در سطح احتمال ۱ درصد شدند (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل a برگ (۱۸/۹۳ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و کمترین مقدار آن (۱۴/۹۲ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار تنش خشکی (آبیاری

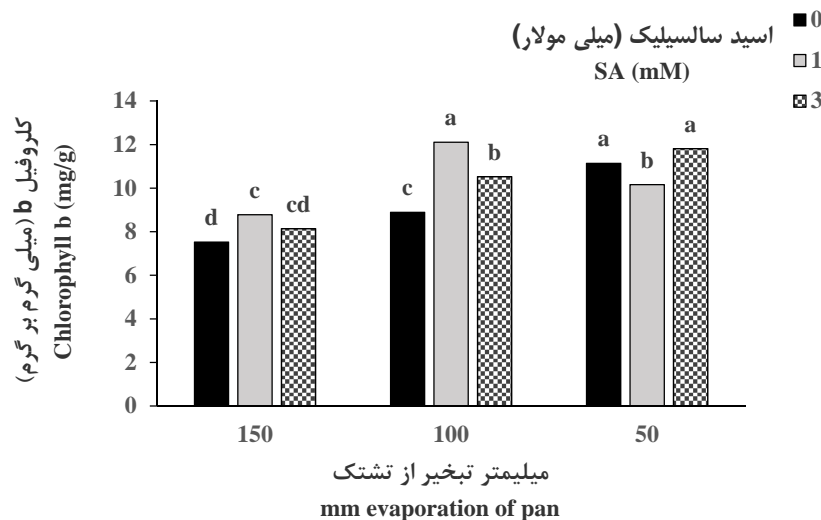
روبیسکو و افزایش کلروفیل، میزان فتوسنتز کل را افزایش می‌دهد (Sing and Usha, 2003). افزایش محتوای کلروفیلی و کارتنوئیدی در شرایط محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) نیز گزارش شده و نتیجه این امر را افزایش سرعت فتوسنتز دانسته‌اند (El-Tayeb, 2005)؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که حفظ غلظت کلروفیل در شرایط دشوار محیطی، به ثبات فتوسنتز کمک کرده و سبب کاهش خسارت‌های وارده به گیاه در تنش‌های محیطی می‌گردد.

پروکلین برگ

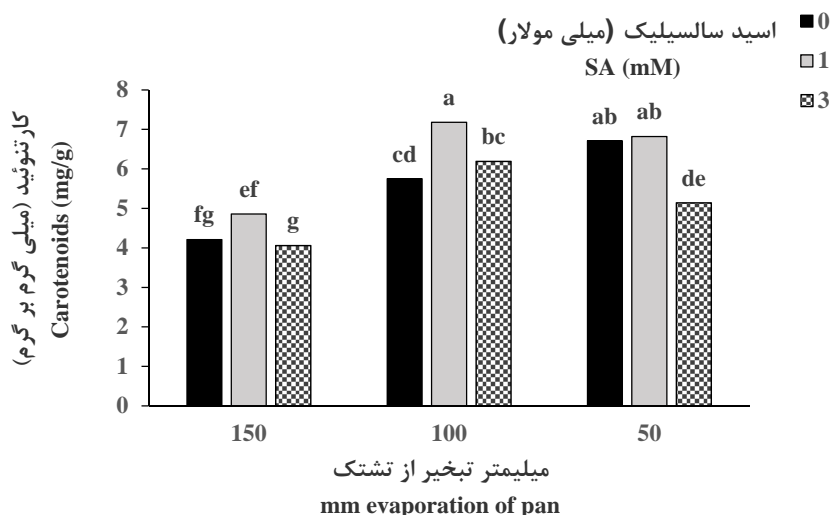
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل فراهمی آب در اسید سالیسیلیک بر میزان پروکلین گیاه زیره سبز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین مقدار پروکلین برگ (۷/۷۸ میکرو مول بر گرم) مربوط به تیمار انجام آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و محلول‌پاشی ۳ میلی مولار اسید سالیسیلیک بود که نسبت به تیمار شاهد (آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک) افزایش ۹۶/۹۶ درصدی نشان داد (شکل ۵).

تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک به همراه محلول‌پاشی ۱ میلی مولار اسید سالیسیلیک به دست آمد (شکل ۳ و ۴). به نظر می‌رسد که دلیل کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش کم‌آبی، افزایش تخریب این رنگیزه‌ها و یا کاهش ساخت آن‌ها و نیز اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی باشد (Sarima et al., 1998). کاهش فعالیت فتوسیستم II، کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو و مهار سنتز ATP، باعث می‌شود که تشکیل گونه‌های اکسیژن آزاد در کلروپلاست‌ها افزایش یابد. در تنش خشکی، کمبود آب باعث تجزیه کلروفیل گردیده و گلوتامات که پیش‌ماده کلروفیل و پروکلین است در اثر خشکی به پروکلین تبدیل شده و در نتیجه از محتوی کلروفیل کاسته می‌شود (Lawlor and Cornic, 2002). کمبود ملایم آب باعث افزایش کارتنوئیدها می‌شود، در حالی که کمبود شدید آب موجب کاهش کارتنوئیدها علاوه بر کاهش کلروفیل می‌شود (Jeyaramraja et al., 2005) که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

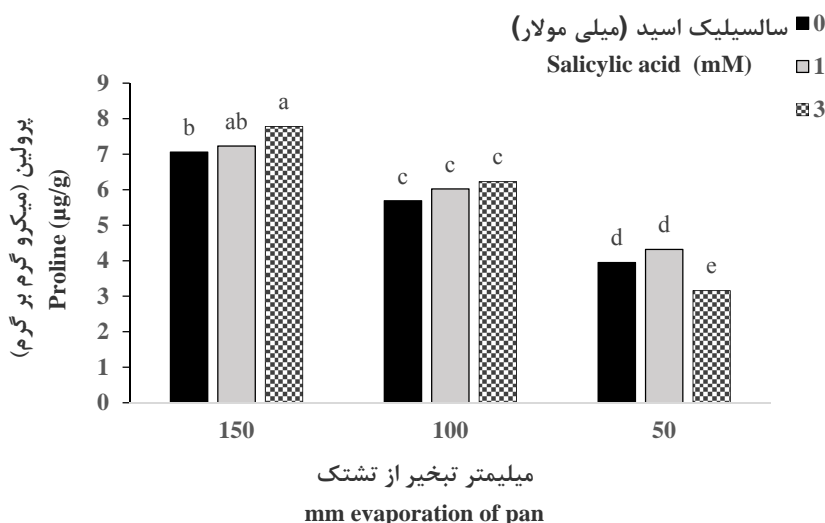
تیمار اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری بر میزان رنگ‌دانه‌ها داشت و سبب افزایش آن‌ها در شرایط تنش گردید. اسید سالیسیلیک از طریق افزایش فعالیت آنزیم



شکل ۳. اثر متقابل فراهمی آب و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر کلروفیل b برگ گیاه زیره سبز
Fig. 3. Interaction effect of water availability and salicylic acid spray on chlorophyll b of cumin leaf



شکل ۴. اثر متقابل فراهمی آب و محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر محتوای کارتنوئید برگ در گیاه زیره سبز
 Fig. 4. Interaction effect of water availability and salicylic acid spraying on carotenoids content of cumin leaf



شکل ۵. اثر متقابل فراهمی آب و محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر محتوای پرولین برگ در گیاه زیره سبز
 Fig. 5. Interaction effect of water availability and salicylic acid spraying on the proline content of cumin leaf

منجر به تجمع پرولین در گیاه می‌شود (Yoshiba et al., 2005). در آزمایش مشابهی سطوح آبیاری، اسید سالیسیلیک و تأثیر متقابل این دو متغیر شاخص پرولین برگ گیاه قره داغ (*Nitraria shoberi* L.) را به میزان مثبت و معنی‌داری متأثر ساختند (Bayan et al., 2014). نتایج تحقیق دیگری نیز نشان داد که مصرف اسید سالیسیلیک در غلظت ۱ میلی مولار بیشترین اثر را بر تجمع

پرولین به خاطر ایفای نقش اسمزی، اثرات مفیدی را در گیاهان تحت تنش ایفا می‌کند. یکی از این راهکارهای گیاهان در شرایط تنش خشکی، افزایش تجمع مواد آلی و معدنی در سلول‌های گیاه به منظور جذب بیشتر آب از طریق پدیده اسمزی است. افزایش پرولین در گیاه هنگام تنش نوعی مکانیسم دفاعی است (Kuznetsov and Shevyankova, 1997). اسید سالیسیلیک با القای برهمکنش‌های حفاظتی با واسطه هورمون اسید آبسازیک

معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین عملکرد دانه ۹۸/۹ گرم بر مترمربع) از تیمار آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۱ میلی مولار حاصل شد (شکل ۶). به‌طور کلی تنش خشکی با اثر بر روی صفاتی مانند ارتفاع بوته (شکل ۱) موجب کاهش اندام دریافت‌کننده نور و با اثر روی میزان کلروفیل‌های a و b (شکل ۳) منجر به کاهش میزان فتوسنتز و در نتیجه کاهش وزن خشک بوته شده و در مجموع برآیند اثرات خشکی در طول دوره رشد بر روی عملکرد دانه منعکس شده و کاهش عملکرد را به دنبال داشته است. افزایش عملکرد دانه در شرایط آبیاری بیشتر همراه با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک را می‌توان به افزایش فتوسنتز و ماده سازی نسبت داد که در این شرایط مواد فتوسنتزی و مواد غذایی بیشتری از برگ به دانه انتقال یافته و باعث افزایش عملکرد دانه شده است. در آزمایشی مشابهی نیز محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۰/۷ میلی‌مولار اثرات مثبت معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز داشت (Asfani Farahani et al., 2013).

عملکرد اسید سالیسیلیک به‌گونه‌ای است که در غلظت‌های مختلف واکنش‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهد. در حالی که در برخی غلظت‌ها عملکردهای مطلوبی را از طریق تأثیر بر عملکرد هورمون آبسزیک اسید (ABA) و کنترل تنفس سلول که موجب افزایش برخی از اجزای عملکرد در گیاه می‌شود، از خود بروز می‌دهد، می‌تواند در غلظت بالاتر با توقف تنفس سلول و جلوگیری از انتقال الکترون باعث مرگ و از بین رفتن سلول گردد (Abrahimi and Jafari Hagigi, 2012). کواکیک و همکاران (Kovacic et al., 2009) گزارش کردند که گیاهان بابونه آلمانی کشت‌شده در غلظت‌های ۱ و ۲ میلی مولار اسید سالیسیلیک از بین رفتند. آن‌ها بیان داشتند که تأثیر اسید سالیسیلیک وابسته به نوع گیاه، مرحله نمو گیاه و غلظت آن است و زمانی که در غلظت بالاتر استفاده می‌شود، عامل سمی برای گیاه محسوب می‌شود. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که اثر اسید سالیسیلیک در غلظت ۱ میلی‌مولار به همراه آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک بر عملکرد دانه مفیدتر از غلظت ۳ میلی‌مولار به همراه آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک بوده است. این موضوع نشان می‌دهد که واکنش گیاه به مصرف این ترکیب هورمونی وابسته به غلظت آن است.

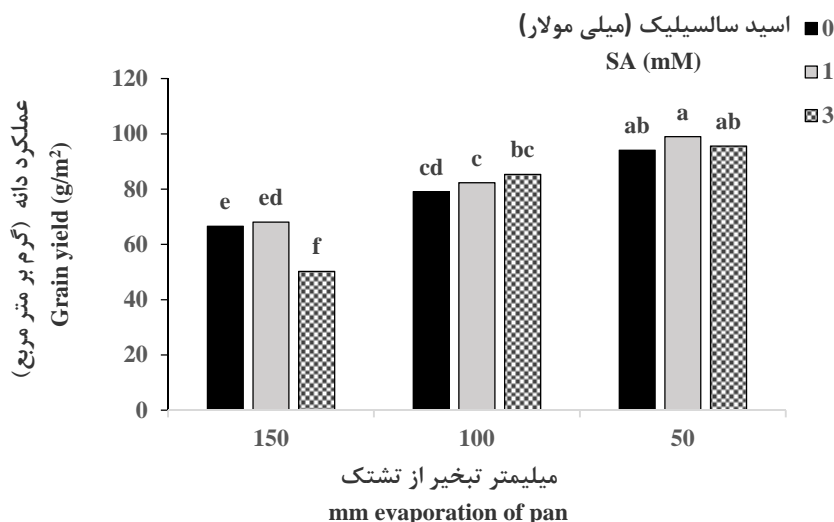
پرولین در گیاه ذرت داشت (Abrahimi and Jafari Hagigi, 2012).

کربوهیدرات برگ

اثرات ساده اسید سالیسیلیک و فراهمی آب تأثیر معنی‌داری بر تجمع کربوهیدرات در برگ زیره سبز داشتند (جدول ۱). بیشترین میزان کربوهیدرات (۱۳/۹۷ میکرو مول بر گرم) در تیمار تنش خشکی یعنی آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک مشاهده گردید (جدول ۲). همچنین در بین تیمارهای محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بیشترین میزان کربوهیدرات (۱۱/۷۵ میکرو مول بر گرم) مربوط به محلول‌پاشی با غلظت ۳ میلی مولار بود (جدول ۳). علت زیاد شدن هیدرات‌کربن در اثر تنش خشکی این است که گیاه فشار اسمزی داخلی خود را بالا می‌برد تا بتواند از خاک مواد غذایی و آب جذب کند. توزیع مواد هیدروکربنی به‌طور مستقیم تحت تأثیر تنش‌ها مانند کمبود آب و به‌طور غیرمستقیم تحت تأثیر هورمون‌های گیاهی قرار می‌گیرند. تجمع ترکیبات آلی مانند هیدرات‌کربن و آمینواسیدها در سیتوپلاسم نقش مهمی در تنظیم فشار اسمزی گیاهان دارند (Flagella et al., 1995). به نظر می‌رسد که اسید سالیسیلیک با افزایش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی، کاهش تنش اکسیداتیو و حفاظت از غشاهای کلروپلاستی و سلولی و حفاظت از ماکرومولکول‌هایی مانند پروتئین‌ها، موجب افزایش میزان قندهای موجود در گیاهان می‌شود. همچنین اسید سالیسیلیک از طریق تأثیر بر آنزیم‌های هیدرولیزکننده پلی‌ساکاریدها منجر به افزایش مقدار قندها شده یا اینکه تشکیل قندهای محلول از پلی ساکاریدها را تسریع می‌نماید. افزایش کربوهیدرات در گزارش بیان و همکاران (Bayan et al., 2014) در گیاه قره داغ (*Nitraria shoberi* L.) تحت تنش خشکی و اسید سالیسیلیک و همچنین افزایش میزان کربوهیدرات و پرولین تحت تنش خشکی نیز در مطالعات آرزمجو و همکاران (Arazmjju et al., 2009) در گیاه دارویی بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) گزارش گردیده که با مشاهدات این تحقیق در یک راستا قرار دارند.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس دادها نشان داد که اثر متقابل تیمارهای آزمایش بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۵ درصد



شکل ۶. اثر متقابل فراهمی آب و محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر عملکرد دانه در گیاه زیره سبز
 Fig. 6. Interaction effect of water availability and salicylic acid spray on cumin seed yield.

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر فراهمی آب روی غلظت کلروفیل a و میزان کربوهیدرات برگ در زیره سبز
 Table 2. Mean comparison of water availability on the chlorophyll a and carbohydrates amount in the cumin leaf

فراهمی آب (میلی متر تبخیر از تشتک) Drought stress (mm evaporation of pan)	کلروفیل a (میلی گرم بر گرم) Chlorophyll a (mg/g)	کربوهیدرات (میکرو مول بر گرم) Carbohydrates ($\mu\text{mol/g}$)
50	18.93a	8.71b
100	16.78b	12.46a
150	14.92c	13.97a

حروف یکسان در هر ستون نشانه عدم تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن است.
 Means with the same letters within column are not significantly different at $p < 0.05$ using Duncan's Multiple Range Test.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر اسید سالیسیلیک روی میزان کلروفیل a و کربوهیدرات در برگ زیره سبز
 Table 3. Mean comparison of salicylic acid on chlorophyll a and carbohydrates amount in the cumin leaf

اسید سالیسیلیک (میلی مولار) Salicylic acid (mm)	کلروفیل a (میلی گرم بر گرم) Chlorophyll a (mg/g)	کربوهیدرات (میکرو مول بر گرم) Carbohydrates ($\mu\text{mol/g}$)
0	15.81c	10.66b
1	16.86b	12.73a
3	17.96a	11.75a

حروف یکسان در هر ستون نشانه عدم تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن است.
 Means with the same letters within column are not significantly different at $p < 0.05$ using Duncan's Multiple Range Test.

کاهش کمتر عملکرد دانه، رنگیزه‌های کلروفیل b و کارتنوئید این گیاه در شرایط کاهش فراهمی آب گردیده است و اثرات مخرب تنش را بهبود می‌بخشد. با توجه به نتایج این تحقیق استفاده از اسید سالیسیلیک به صورت محلول‌پاشی در مرحله رشد رویشی (ساقه‌روی) در شرایط تنش خشکی برای حفظ عملکرد مطلوب در گیاه زیره سبز پیشنهاد می‌شود.

نتیجه‌گیری

کاهش فراهمی آب با اثر بر صفاتی مانند ارتفاع بوته و کلروفیل a و b موجب کاهش عملکرد خشک بوته و در نهایت کاهش عملکرد دانه زیره سبز شده است. گیاه زیره سبز به هنگام مواجهه با تنش خشکی، مکانیسم تنظیم اسمزی را با افزایش تجمع پرولین و قندهای محلول به کار گرفته و از این طریق شرایط کمبود آب را تا حدی تحمل می‌کند. محلول‌پاشی ۱ میلی مولار اسید سالیسیلیک سبب

منابع

- Abrahimi, M., Jafari Hagigi, B., 2012. The effect of salicylic acid using on yield and yield components of corn under drought stress. *Journal of Plant Ecophysiology*. 4, 1-13. [In Persian with English Summary].
- Anjum, S., Xie, X.Y., Wang, L.C., Saleem, M. F., Man, C., Wang, L., 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *Africa Agriculture Journal*. 6(9): 2026-2032.
- Arazmj, A., Heydari, M., Ganbari, A., 2009. Effect of drought stress and three types of fertilizers on flower yield, physiological parameters and nutrient uptake in chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 25(4): 428- 494. [In Persian with English Summary].
- Asfini Farahani, M., Paknejad, F., Bakhtiari Moghadam, M., Alavi, S., Hasibi, A., 2013. Effect of different application methods and rates of salicylic acid on yield and yield components of cumin. *Agronomy and Plant Breeding Journal*. 8(3): 69- 77. [In Persian].
- Bates, L. S., Waldren, S. P., Teare, I. D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*. 39: 205-207.
- Bayan, M., Amini, F., Askari, M., 2014. Effect of salicylic acid on organic osmolites accumulation and antioxidant activity of nitraria shoberi under drought stress conditions. *Journal of Plant Production*. 20 (4): 177- 188. [In Persian with English Summary].
- Bezorkova, M., Sakhabutdinova, V., Fatkhutdinova, R., Kyldirova, R. A., Shakirova, I., Sakhabutdinova, F. A. R., 2001. The role of hormonal changes in protective action of salicylic acid on growth of wheat seedling under water deficit. *Agrochemiya*. 2: 51-54.
- Buchanan-Wollaston, V., Earl, S., Harrison, E., Mathas, E., Navabpour, S., Page, T., Pink, D., 2003. The molecular analysis of leaf senescence— a genomics approach. *Plant Biotechnology Journal*. 1: 3-22.
- El-Tayeb, M. A., 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation*. 45(3): 215-224.
- Flagella, Z., Pastore, D., Campanile, R. G., Fonzo, N. D., 1995. The quantum yield or photosynthetic application to precision agriculture and crop physiology. *The Journal of Agricultural Science*. 170: 224-233.
- Ghai, N., Setia, R.C., Setia, N., 2002. Effect of paclobutrazol and salicylic acid on chlorophyll content, hill activity and yield components in *Brescia napus* L. (cv.GSL-1). *Phytomorphology*. 52: 83-87.
- Hagir Alsadat, F., Vahidi, E., Saboor, M., Azim Zadeh, M., Kalantar, M., Sharifaldini, M., 2011. Evaluation the active compounds and the antioxidant properties of native cumin of Yazd. *Journal of Shahid Sadoughi University of Medical Sciences*. 19(4): 472- 481. [In Persian].
- Hassani, A., Omidbaigi, R., Heidari Sharif Abad, H., 2004. Study of some drought resistance indices in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agricultural Science Natural Resources* 10: 65-74. . [In Persian].
- Jangir, R. P., Singh, R., 1996. Effect of irrigation and nitrogen on seed yield of cumin

- (*Cuminum cyminum* L.). Indian Journal of Agronomy. 41: 140-143.
- Jeyaramraja, P. R., Meenakshi, S. N., Kumar, R. S., Joshi, S. D., Ramasubramanian, B., 2005. Water deficit induced oxidative damage in tea (*Camelia sinensis* L.) plants. Journal of Plant Physiology. 162: 413-419.
- Heydari, M., 2006. The response of plants to environmental stresses. Aras Publishing Computer. 96 p.
- Kaffi, M., Rashed Mohasel, M., Koochaki, E., Molla Fillabi, E., 2002. Cumin, production and processing technology, press Institute of Ferdusi Mashhad University. 73- 78. [In Persian].
- Keles, y., Oncel, I., 2004. Growth and solute composition on two wheat species experiencing. Crop Science. 40: 470 - 475.
- Khalid, K. A., 2006. Influence of water stress on growth, essential oil and chemical composition of *Ocimum* sp. International Agro Physiology. 20: 289- 296.
- Khalil, S. E., Nahed, G., Azizi, A., Bedour, L. A. H., 2010. Effect of water stress and ascorbic acid on some morphological and biochemical composition of *Ocimum basilicum* L. plant. The Journal of American Science. 12: 33-43.
- Kiyani, A., Firoozi Jahan Tigh, S., 2011. Organizing and empowering the 13 th district of Zabol city using GIS. National Seminar on the Application of GIS in Economic, Social and Urban Planning. Tehran. May 2011. 1-18. [In Persian].
- Klessig, D. F., Malamy, J., 1994. The salicylic acid signal in plants. Plant Molecular Biology. 26: 1439-1458.
- Kovacik, J., Gruz, J., Backor, M., Strnad, M., Repečak, M., 2009. Salicylic acid acidinduced changes to growth and phenolic metabolism in *Matricaria chamomilla* L. plants. Plant Cell Reports. 28: 135-143.
- Kuznetsov, W., Shevyankova, N. L., 1997. Stress responses of tobacco cells to high temperature and salinity. Proline accumulation and phosphorylation of polypeptides. Physiologia Plantarum. 100: 320-326.
- Lawlor, D. W., Cornic, G., 2002. Photosynthetic carbon associated metabolism in relation to water deficits in higher plants affected by N fertilization. Agronomy Journal. 73.583-587.
- Lebaschi, M. H., Sharifi Ashoor Abadi, A., 2004. Growth indexes of some medicinal plants under different drought stress conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 20(3): 241- 269. [In Persian with English Summary].
- Lichtenthaler, H. K., 1994. Chlorophylls and carotenoids pigments of photosynthetic. Biology Membrane. Methods in enzymology. 148: 350 – 382.
- Moradi Marjaneh, A., Goldani, M., 2012. Evaluation of different salicylic acid levels on some growth parameters of Marigold (*Calendula officinalis* L.) under low irrigation conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences. 4(1): 33- 45.
- Platel, K., 2002. Digestive stimulant action of three Indian spices mixes in experimental rats. Nahrung. 46:394-398.
- Sarima, R.K., Deshmokh, P.S., Saxna, D.C., 1998. Role of antioxidant systems in wheat genotype tolerance to water stress. Biologia Plantrum. 41(3): 387-394.
- Senaratna, T., Touchell, D., Bun, E., Dixon, K., 2000. Acetyl salicylic acid and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato. Plant Growth Regulation. 30 :157-161.
- Singh, B., Usha, K., 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Plant Growth Regulation. 39: 137-141.
- Tarzi, A., 1995. The effect of salinity on volatile compounds in cumin in tissue culture. Master's thesis of Plant Sciences, Tehran University. [In Persian with English Summary].
- Tiaz, L., Zeiger, E., 1998. Plant Physiology. (2nd). Sinauer Associates Inc., Massachusetts. www. Medplant.ir. 2014.
- Yazdanpanah S., Abasi F., Baghzadeh, A., 2010. Effect of salicylic acid and ascorbic acid on proline, sugar and protein content in *Satureja hortensis* L. under aridity stress. Proceeding of The First National Conference of Environmental Stress in Agricultural Science. 28-29 Jan 2010. The University of Birjand. [In Persian].
- Yoshiba, Y., Yamada, M., Morishita, H., Uran, K., Shiozaki, N., Yamaguchi, K., Shinozaki, K., 2005. Effects of free proline accumulation

- in petunias under drought stress. *Experimental Botany*. 56(417):1975-1986.
- Zavala, J. F. A., Wang, S.Y., Wang, C.Y., Aguilar, G. A. G., 2004. Effects of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. *Food Science and Technology*. 37: 687-695.