تاثیر محلول‌پاشی مواد آلی بر برخی خصوصیات کمی و کیفی رازیانه (*Foeniculum vulgar* L.) در سطوح مختلف آبیاری

محدثه شمس‌الدین سعید[۱]، روح اله مرادی[۱*]

تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۱٤ تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۲۱

۱-استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی برد سیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان
*مسئول مکاتبه: Email: roholla18@gmail.com

چکیده

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید، اسپرمیدین و متانول بر عملکرد، اجزای عملکرد، محتوی پرولین و کمیت و کیفیت اسانس گیاه رازیانه در سطوح مختلف آبیاری، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی مرکز آموزش عالی بردسیر در سال زراعی ۱۳۹٦-۱۳۹۵ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح مختلف کم آبیاری شامل ۲۵، ۵۰ و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی، به عنوان عامل اصلی و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید با غلظت یک میلی‌مولار، اسپرمیدین با غلظت ۰/۲ میلی‌مولار و متانول با غلظت ۳۰ درصد حجمی به عنوان عامل فرعی بود. نتایج نشان داد افزایش سطوح تنش خشکی، منجر به افزایش معنی‌دار درصد اسانس و محتوی پرولین، و کاهش معنی‌دار دیگر صفات مورد بررسی شد. بیشترین درصد اسانس (۲/۸٦) در آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و کمترین آن (۱/۸٤ درصد) در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بدست آمد. به استثنای درصد اسانس، کلیه صفات مورد بررسی تحت تاثیر تیمار محلول‌پاشی ($P\leq0.01$) قرار گرفتند. برهمکنش دو تیمار بر تعداد شاخه فرعی، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، عملکرد اسانس و میزان پرولین معنی‌دار بود. نتایج نشان داد در آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین عملکرد دانه (۱۰۸۱ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد بیولوژیک (٥٤۱۳ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد اسانس (۲۰/٦٥ کیلوگرم در هکتار) و میزان پرولین (۳۲/۸۷ میکرومول) با محلول‌پاشی متانول حاصل شد. در حالیکه، در سطوح ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی، بیشترین مقدار این صفات در محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بدست آمد. در کلیه صفات، اختلاف معنی‌داری بین محلول‌پاشی اسپرمیدین و عدم محلول‌پاشی در سطوح مختلف آبیاری مشاهده نشد. بطور کلی، نتایج تایید نمود که محلول‌پاشی متانول برای شرایط عدم تنش مفید بوده و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بخوبی توانست اثرات منفی تنش خشکی بر رازیانه را تعدیل نماید.

واژه های کلیدی: اسانس، اسپرمیدین، پرولین، تنش خشکی، سالیسیلیک اسید، متانول

Effect of Organic Amendments on Some Quantitative and Qualitative Characteristics of Fennel (*Foeniculum vulgar* L.) as Affected by Different Irrigation Levels

Mohadeseh Shamsaddin Saied[1], Roholla Moradi1[*]

Received: December 5, 2017 Accepted: December 5, 2018
1-Assist. Prof., Dept. of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.
*Corresponding Author: E-mail: roholla18@gmail.com

Abstract

In order to study the effect of salicylic acid, spermidine and methanol on yield, yield components, proline content, and essential oil quantity and quality of fennel in different levels of irrigation, an experiment was conducted as a split-plot based on randomized complete block design with three replications at Farm Research Station of the College of Agriculture in Bardsir in 2016. The experimental treatments were deficit irrigation levels (90%, 50% and 25% of the field capacity) assigned to main plot and foliar application of salicylic acid (1 mM), spermidine (0.2 mM) and methanol (30% vol) as subplots. The results showed that increased levels of drought stress resulted in significant increase of essential oil percentage and proline content, and significant decrease of other studied traits. The highest percentage of essential oil (2.86) was assigned to irrigation at 25% of the field capacity and the lowest (1.84) in 90% of the field capacity. All the studied traits were affected by foliar application ($P\leq0.01$), except for essential oil percentage. The interaction effect of the treatments on number of branches, number of umbel per plant, number of seeds per umbel, 1000-seed weight, biological yield, seed yield, essential oil yield and proline content were significant. In irrigation at 90% of the field capacity, the highest seed yield (1081 $kg.ha^{-1}$), biological yield (5413 $kg.ha^{-1}$), essential oil yield (20.65 $kg.\ ha^{-1}$) and proline (32.87 µmol) was related to methanol foliar application. However, at levels of 50 and 25% of the field capacity irrigation, the highest amount of these traits was found in salicylic acid foliar application. In all the traits, no significant difference was observed between spermidine foliar application and control treatment at all the irrigation levels. In general, the results confirmed that methanol foliar application was beneficial for non stress conditions, and the salicylic acid foliar application could satisfactory mitigate the negative effects of drought stress on fennel.

Keywords: Drought, Essensial Oil, Methanol, Prolin, Salysilic Acid, Spermidine

مقدمه

رازیانه (*Foeniculum vulgar* L.) گیاهی چند ساله و متعلق به تیره چتریان می‌باشد که از مهمترین و پرمصرف‌ترین گیاهان دارویی این تیره به شمار می‌آید و عمدتا به منظور استفاده از اسانس حاصل از آن در صنایع مختلف دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی مورد کشت قرار می‌گیرد (امید بیگی ۲۰۰۷).

بر اساس گزارشات متعدد میزان اسانس تولیدی در گیاهان داروئی تحت تاثیر تنش های محیطی از جمله تنش خشکی قرار می گیرد (یوسف پور ۲۰۱٤). تنش خشکی موجب تولید گونه های اکسیژن فعال در گیاهان و موجب خسارت به مولکول های حیاتی گیاهان نظیر لیپیدها، پروتئین ها و اسید های نوکلئیک می‌شوند (کاراسنکی و جوناک ۲۰۱۲) کاربرد خارجی برخی از مواد در بهبود رشد گیاهان در شرایط تنش موثر می‌باشد. سالیسیلیک اسید یا اورتوهیدروکسی بنزوئیک اسید به گروه ترکیبات فنلی تعلق دارند (ال-تایب ۲۰۰۵)، که در ایجاد تحمل در برابر تنش خشکی در گیاهان موثر بوده (مردانی و همکاران ۲۰۱۱) و به عنوان هورمون گیاهی و تنظیم کننده رشد گیاه محسوب می‌شود (حیات و احمد ۲۰۰۷). سالیسیلیک اسید به عنوان تنظیم کننده داخلی رشد گیاه، بر طیف وسیعی از واکنش های متابولیکی و فیزیولوژیکی رشد و نمو گیاه تاثیر می‌گذارد (حیات و همکاران ۲۰۱۰). در بررسی بهرام نژاد و صفاری (۲۰۱٤) پیش تیمار بذور با سالیسیلیک اسید اثرات منفی تنش خشکی بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد و میزان اسانس رازیانه را در اثر کاربرد این تیمار کاهش داد، و در شرایط بدون تنش این تیمار تاثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشت. جامی و همکاران (۲۰۱۵) اظهار داشتند، محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی سبب افزایش ۷۹/۰۵ درصدی عملکرد دانه سیاهدانه گردید و در شرایط تنش متوسط غلظت ۱۰ میکرومولار اسید سالیسیک سبب افزایش ۱۵۰ درصدی مقدار اسانس شد.

احتمالا ترکیبات ضداکسایشی و عوامل ضد اتیلن موجب حفظ غشاء و عملکرد فیزیولوژیکی آنها در شرایط تنش خشکی می‌شوند (اسلام و همکاران ۲۰۰۳). پلی آمین ها از جمله اسپرمیدین بازدارنده تولید اتیلن هستند (لی و همکاران ۲۰۱۵). نتایج بررسی فرجادی شکیب و همکاران (۲۰۱۳) بیانگر تاثیر مطلوب محلول‌پاشی اسپرمیدین بر خصوصیات گلدهی و رویشی گل سیکلامین ایرانی بوده ومحلول‌پاشی خصوصیات گلدهی همچون طول دوره گلدهی، عمر گل و تعداد گل تا سطح ۱۰ میلی‌مولار و خصوصیات رویشی همچون سطح و تعداد برگ تا سطح ۲۰ میلی‌مولار بهبود یافتند. نیاکان و همکاران (۲۰۱۱) گزارش دادند محلول‌پاشی با اسپرمیدین تحت شرایط تنش شوری اثرات بازدارنده تنش شوری بر پارامترهای درصد جوانه زنی، طول ریشه چه و اندام هوایی، وزن تر و وزن خشک و میزان تنظیم کننده های اسمزی در دانه رست های گندم به طور چشمگیری کاهش یافت. برخی از گزارشات نقش سالیسیلیک اسید را در کنترل اثرات تنش خشکی بسیار موفق تر از اسپرمیدین معرفی کردند. ایزدی و تدین (۲۰۱۵) در مطالعه گیاه کرچک تحت تاثیر تیمارهای تنش رطوبتی، نشان دادند که محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید تاثیر بهتری نسبت به اسپرمین بر عملکرد و اجزای عملکرد کرچک تحت تاثیر تیمارهای تنش خشکی داشته است.

تحقیقات متعددی نشان می‌دهد مصرف متانول در اغلب گیاهان زراعی موجب افزایش راندمان مصرف آب، کاهش تنفس نوری، افزایش سطح و دوام برگ و در نهایت افزایش عملکرد می‌شود . بنسون و همکاران (۲۰۰٤) اظهار داشتند متانول به عنوان منبع کربن برای گیاهان زراعی قابل استفاده بوده و گیاهان می‌توانند از طریق برگ‌ها به‌راحتی متانول محلول‌پاشی شده را جذب نمایند. داونی و همکاران (۲۰۰٤) نیز اظهار داشتند مولکول متانول نسبت به دی اکسید کربن کوچکتر و در نتیجه به راحتی توسط گیاهان جذب و مورد استفاده قرار می‌گرد. تحقیقات در باره تاثیر محلول‌پاشی متانول در شرایط تنش آبی حاکی است با مصرف متانول بیوماس گیاهان تحت تنش افزایش می‌یابد (رامیرز ۲۰۰٦).

با توجه به موقعیت کشور که در اقلیمی خشک و نیمه خشک قرار گرفته، جلو گیری و یا کاهش خسارت ناشی از وقوع تنش خشکی در دوره رشدی گیاهان از اهمیت بالایی برخوردار بوده و در این پژوهش تاثیر

سالیسیلیک اسید، متانول و اسپرمیدین در سطوح مختلف تنش خشکی بر گیاه رازیانه مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مرکز آموزش عالی کشاورزی بردسیردر سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. عامل اصلی شامل دور آبیاری ۱۰، ۱۵ و ۲۰ روز بود. ۱- آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی ،۲- آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و ۳- آبیاری در ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و عامل فرعی شامل محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید با غلظت یک میلی‌مولار (سالارپورغربا و فرحبخش ۲۰۱٤)، اسپرمیدین با غلظت ۰/۲ میلی‌مولار (لی و همکاران ۲۰۱۵) متانول با غلظت ۳۰ درصد حجمی (اِحیایی و همکاران ۲۰۱۰) بود.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک مزرعه

اسیدیته	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	پتاسیم (ppm)	فسفر (ppm)	نیتروژن (%)	بافت	نمونه
۷/۳	۱/۲۸	۲۷۷	۱۹/۳	۰/۰۷	لومی-شنی	خاک مزرعه

پس از شخم زمین مرزعه در اسفندماه با استفاده از دستگاه لولر عملیات تسطیح و کرت‌بندی زمین انجام گرفت. سپس کرت هایی به ابعاد ۳×٤ متر ایجاد گردید. در هر کرت ٦ ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سامتی متر از یکدیگر ایجاد شده و بذور رازیانه از توده بومی مشهد انتخاب و به فاصله ۱۵ سانتی متر روی ردیف ها و در عمق ۲-۳ سانتی متر، وفاصله بین کرت های اصلی ۲ متر در نظر گرفته شد. زمان کاشت ۲۰ اسفند ماه ۱۳۹۵ بود وآبیاری بلا فاصله بعد از کاشت و بعد از آن هر ۱۰ روز یکبار بصورت نشتی صورت گرفت. سبز شدن اولیه گیاه حدود ۱۰ روز پس از کاشت بود و با رسیدن گیاه به ارتفاع ۵ سانتی متر برای حصول تراکم مناسب مزرعه تنک گردید جهت اعمال تیمارهای تنش خشکی، ده روز بعد از سبز شدن و استقرار کامل گیاهچه‌ها، با استفاده از دستگاه TDR[1] ساخت شرکت اکل کمپ هلند با پروب های سطحی با طول ۳۰ سانتی متر، میزان رطوبت خاک تعیین و آبیاری بر اساس تیمارهای مورد نظر در کل دوره رشد انجام گرفت (کالامیتا و همکارن ۲۰۱۲). با رسید میزان رطوبت خاک به هر یک از مقادیر مشخص شده ، آبیاری توسط سیفون انجام می‌شد. مبارزه با علف هرز توسط وجین دستی در ۳ نوبت انجام گرفت. همراه با اعمال تیمارهای تنش آبی، محلول‌پاشی به فاصله هر ١٤ روز در ابتدای صبح با استفاده از سمپاش پشتی کتابی با نازل نوع سیلابی انجام گرفت. حجم پاشش برای هر کرت فرعی دو لیتر و تهیه محلول تیمارهای مورد نظر با آب مقطر انجام شد.

اندازه گیری مقدار پرولین گیاه در مرحله ۷۵ درصد گلدهی با روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳) انجام شد. در این روش ۲۰۰ میلی گرم برگ تازه از گیاه را پودر و در ۱۰ میلی لیتر سولفوسالسیلیک اسید ۳ درصد حل شد. محلول حاصل با استفاده از کاغذ صافی صاف و ۲ میلی لیتر از محلول صاف شده به همراه ۲ میلی لیتر از محلول اسید نایین هیدرین و ۲ میلی لیتر اسید استیک در یک لوله آزمایش ریخته شد، (محلول نایین هیدرین اسید از ترکیب ۱/۲۵ گرم اسید نایین هیدرین با ۳۰ میلی لیتر استیک اسید بدست می‌آید که پس از حرارت دادن محلول و خنک شدن

[1] Time Domain Reflectometry

در دمای محیط، ۲۰ میلی لیتر اسید اورتوفسفریک به آن اضافه می‌شود). محلول حاصله را به خوبی تکان داده و به‌مدت یک ساعت در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد درون بن‌ماری قرار گرفت. در پایان، لوله‌های حاوی محلول را بلافاصله در آب صفر درجه گذاشته و پس از هم دما شدن محلول با محیط، ٤ میلی لیتر تولوئن به محلول اضافه شد. به منظور تهیه محلول کالیبره کننده[1] از ۲ میلی لیتر اسید سولفوسالسیلیک ۳ درصد به همراه ۲ میلی لیتر محلول نین هیدرین و ۲ میلی لیتر اسیداستیک استفاده شد. پس از کالیبره کردن دستگاه، قرائت نمونه‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر صورت گرفت (کالیبره کردن دستگاه اسپکتروفتومتر در ۵۲۰ نانومتر توسط یک میلی لیتر از محلول کالیبره صورت می‌گیرد). میزان پرولین بدست آمده پس از تبدیل واحد، بر اساس میکروگرم پرولین در گرم برگ تازه گزارش گردید.

قبل از برداشت در نیمه دوم شهریور، تعداد ۵ بوته بطور تصادفی انتخاب و صفات و ویژگی هایی از جمله: ارتفاع بوته، اجزای عملکرد دانه از قبیل تعداد شاخه فرعی در هر بوته، تعداد چتر در هر بوته، تعداد دانه در هر چتر و وزن هزار دانه بررسی گردید. برای تعیین عملکرد نهایی در هر کرت دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و نیم متر از انتهای کرت بعنوان اثر حاشیه ای حذفو در سطح ٦ متر مربع باقیمانده عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه (اقتصادی) تعیین شد.

مقدار ۵۰ گرم از دانه تولید شده در هر کرت بصورت تصادفی انتخاب و توسط دستگاه کلونجر (کلونجر ۱۹۲۸) با استفاده از روش تقطیر با آب، اسانس گیری شد. به این منظور هر نمونه ابتدا کاملاً آسیاب و سپس درون بالن یک لیتری ریخته و ۷۵۰ میلی‌لیتر آب به آن اضافه گردید، سپس به مدت ٤ ساعت در دستگاه کلونجر قرار داده و پس از رطوبت‌زدایی اسانس توسط سولفات سدیم با استفاده از روش گونتر (گونتر ۱۹٦۱) درصد اسانس تعیین شد. عملکرد اسانس از حاصل ضرب عملکرد دانه و درصد اسانس محاسبه شد.

تجزیه آماری داده‌های آزمایش از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ و رسم نمودار از نیز با استفاده از نرم-افزارExcel صورت گرفت. مقایسه میانگین ها نیز با آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: بر اساس نتایج تجزیه واریانس ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر اثرات ساده سطوح مختلف آبیاری و محلول‌پاشی قرار گرفت ولی برهمکنش این دو تیمار تاثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته نداشت (جدول ۲).

بیشترین ارتفاع بوته رازیانه متعلق به تیمار عدم تنش (آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی) بود و با افزایش شدت تنش خشکی (کاهش میزان آبیاری) ارتفاع بوته به ترتیب به میزان ۲۳/۸۷ و٤۳/۱۷ درصد کاهش یافت (جدول ۳). اولین اثر محسوس کم آبی بر گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع تشخیص داد (سالارپور غربا و فرحبخش ۲۰۱٤). ارتفاع بوته تا حد بسیار زیادی تحت تاثیر ویژگی‌های ژنتیکی قرار می‌گیرد (نیکان و همکاران ۲۰۱۱). با این وجود، شرایط محیطی از جمله تنش خشکی، ارتفاع بوته را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تحقیقات نشان داده است که با افزایش تنش آب و کاهش فشار تورژسانس سلول‌های محافظ روزنه، هدایت روزنه‌ها کاهش یافته و سرعت رشد، فتوسنتز و خصوصیات مورفولوژیکی نیز نقصان می‌یابد (بولوم ۲۰۰۵). از آنجا که رشد گیاه با افزایش اندازه سلول‌ها همراه بوده و این حساسترین فرایند در گیاهان نسبت به تنش آب می باشد، در شرایط بدون تنش آب، افزایش رشد و سطح برگ بر افزایش جذب انرژی خورشیدی تأثیر مستقیمی داشته و منجر به افزایش ارتفاع گیاه می‌گردد. هر گونه

[1] Blank

کمبود آب در طول رشد و نمو گیاه تاثیر منفی بر پارمترهای رشدی گیاه دارد (پسرکلی ۱۹۹۹ و رضائی چیانه ۲۰۱۲). عسکری و احسان زاده (۲۰۱۵) نیز گزارش نمودند که اعمال آبیاری در زمان تخلیه ۷۵ و ۸۵ درصد رطوبت خاک، منجر به کاهش ۲۰ و ۳۱ درصدی ارتفاع بوته رازیانه نسبت به آبیاری در زمان ۳۵ درصد تخلیه رطوبت خاک شد. کوچکی و همکاران (۲۰۰٦) نیز گزارش نمودند که با افزایش دور آبیاری از ۱۰ به ۲۰ و ۳۰ روز، ارتفاع بوته رازیانه کاهش معنی‌داری نشان داد. مشخص شده است که تنش خشکی از طریق کاهش سرعت رشد گیاه باعث کاهش ارتفاع گیاه می شود (آرمند و همکاران ۲۰۱۵).

محلول‌پاشی متانول و سالیسیلیک اسید نسبت به تیمار شاهد و اسپرمیدین باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته شدند (جدول ۳). این افزایش در ارتفاع بوته با محلول پاشی متانول ۱۳/٦۸ درصد و با محلول‌پاشی اسید سالیسیک ۱۵/۳۳درصد نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ۳). حدود ۹۰ درصد وزن خشک گیاهان ناشی از آسیمیلاسیون CO_2 توسط فتوسنتز بوده و افزایش سرعت فتوسنتز برای بالا بردن ظرفیت تولید گیاهان زراعی می‌تواند مفید باشد (اِحیایی و همکاران ۲۰۱۰). متانول جز ساده ترین فرآورده های گیاهی بوده که توسط گیاهان خصوصا طی رشد برگ ها و در اثر دمتیلاسیون پکتین در دیواره های سلولی آنها تولید می‌شود (ویشکایی و همکاران ۲۰۰۷). پس از تولید این ماده آلی فرار در داخل گیاهان، مقداری از آن از برگ ها خارج و وارد لایه مرزی و سپس اتمسفر می‌شود و بخش دیگر آن ابتدا به فرم آلدئید و سپس به اسید فورمیک و در نهایت به CO_2 تبدیل می‌شود. این CO_2 تولید شده می‌تواند بر روی اسیمیلاسیون CO_2 در گیاهان اثر بگذارد و انرژی مصرفی گیاه برای جذب CO_2 را کاهش دهد (نادعلی و همکاران ۲۰۱۰). به عبارت دیگر گیاهان می‌توانند متانول محلول پاشی شده روی آنها را به راحتی جذب نموده و به عنوان منبع کربنی مورد استفاده قرار دهند. آرمند و همکاران (۲۰۱۵) نیز تایید نمودند که محلول‌پاشی متانول باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته لوبیا شد. سالارپور غربا و فرحبخش (۲۰۱٤) نیز گزارش نمودند که افزایش سطوح سالیسیلیک اسید از صفر به یک میلی‌مولار باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته رازیانه شد. ایشان اظهار داشتند که سالیسیلیک اسید باعث افزایش تقسیم سلولی در مریستم گیاه شده و از این طریق ارتفاع بوته را افزایش می‌دهد. نتایج تحقیق دیگری نشان داد که سالیسیلیک اسید با افزایش فعالیت آنزیم رابیسکو سبب بهبود فتوسنتز و رشد گیاه می‌شود (گوتیارز-کورونادو ۱۹۹۸). به نظر می‌رسد سالیسیلیک اسید از طریق سنتز پروتئین های خاصی به نام پروتئین کیناز که وظیفهٔ تنظیم تقسیم، تمایز و ریخت زایی سلول را بر عهده دارد، فرایندهای فیزیولوژیکی مختلف مثل رشد و تکامل گیاه را تنظیم کرده و نقش مؤثری در افزایش ارتفاع گیاه دارد.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات مربوط به رشد و اجزاء عملکرد رازیانه تحت تاثیر میزان آبیاری و محلول‌پاشی

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد شاخه فرعی	تعداد چتر در بوته	تعداد دانه در چتر	وزن هزاردانه
تکرار	۲	٦/٦٤^{ns}	۰/۳۰^{ns}	۵/٤۷^{ns}	۱٤/۰۰^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}
آبیاری (A)	۲	٤٦۱٦/۰**	۲۰۸/۲**	۷۸۱/۸**	٦۱۱٤۳/۱**	۱۰/۲۸**
اشتباه اول	٤	۲۷/۲۸	۰/۲۲	۳/۰٤	۱٤۳/٦	۰/۱٦۳
محلول‌پاشی (B)	۳	۲۲۰/۵**	۱۰/۰۳**	۳٦/۰٤**	٤۲٦۵/۹**	۲/۸۳**
A×B	٦	٤٦/۹٤^{ns}	۳/۸۸**	۱٤/۹۱*	۱۰۲۲/۳*	۰/۵۸**
خطای دوم	۱۸	۳۳/٤۲	۰/۱۱	٤/۳۱	۳٦۷/۳	۰/۱۱

*، ** و ^{ns}: به ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری می باشد.

جدول ۳- تاثیر میزان آبیاری و نوع محلول بر صفات ارتفاع بوته، شاخص برداشت و درصد اسانس رازیانه

تیمار		ارتفاع بوته (cm)	شاخص برداشت (%)	درصد اسانس
آبیاری	۹۰ درصد ظرفیت زراعی	۹۰/۶۸^{a}	۱۸/۱۴^{a}	۱/۸۴^{c}
	۵۰ درصد ظرفیت زراعی	۶۹/۰۳^{b}	۱۸/۷۶^{a}	۲/۳۲^{b}
	۲۵ درصد ظرفیت زراعی	۵۱/۵۳^{c}	۱۲/۴۱^{b}	۲/۸۶^{a}
محلول‌پاشی	شاهد	۶۵/۱۷^{b}	۱۵/۴۸^{b}	۲/۲۸^{a}
	اسپرمیدین	۶۷/۲۵^{b}	۱۵/۳۷^{b}	۲/۳۸^{a}
	سالیسیلیک اسید	۷۵/۱۶^{a}	۱۷/۷۷^{a}	۲/۳۹^{a}
	متانول	۷۴/۰۹^{a}	۱۷/۱۲^{a}	۲/۳۲^{a}

میانگین های با حروف مشترک برای هر تیمار در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن نمی‌باشد.

اجزای عملکرد

کلیه صفات مرتبط با اجزای عملکرد شامل تعداد شاخه فرعی، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و وزن هزار دانه بطور معنی‌داری تحت تاثیر اثر متقابل آبیاری و محلول‌پاشی قرار گرفتند (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد گیاهان تحت تیمار عدم تنش (آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی) نسبت به سایر تیمارهای تنش آبی (متوسط و شدید) در محلول‌پاشی با متانول بیشترین تعداد شاخه فرعی را دارا بودند و با افزایش شدت تنش میزان این صفت در کلیه روش های محلول‌پاشی بطور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ٤). نتایج نشان داد که در شرایط عدم تنش، در بین تیمارهای محلول‌پاشی، محلول‌پاشی با متانول بیشترین تعداد شاخه جانبی را دارا بود و مقدار این صفت را در رازیانه ۹/۰۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (جدول ٤). با افزایش شدت تنش آبی، از تاثیر متانول کاسته شد و محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید توانست به طور معنی‌داری باعث افزایش تعداد شاخه فرعی نسبت به تیمار شاهد و سایر تیمارهای محلول‌پاشی شود (جدول ٤). استفاده از سالیسیلیک اسید در ظرفیت زراعی ۵۰٪ توانست ۳٤/۹ درصد و در ظرفیت زراعی ۲۵ درصد، ۷۷/۵۸ درصد تعداد شاخه های فرعی را نسبت به تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) افزایش دهد (جدول ٤).

جدول ۴- برهمکنش میزان آبیاری و نوع محلول بر صفات مربوط به رشد، اجزاء عملکرد و عملکرد بیولوژیک رازیانه

تیمار		تعداد شاخه فرعی	تعداد چتر در بوته	تعداد دانه در چتر	وزن هزاردانه (g)	عملکرد بیولوژیک ($kg.ha^{-1}$)
آبیاری	محلول					
۹۰ درصد ظرفیت زراعی	شاهد	۱٤/۵۵^{b}	۲۷/۱۲^{b}	۲۳٦^{a}	۵/۷۷^{ab}	۵۲۰٤^{a}
	اسپرمیدین	۱٤/۳٦^{b}	۲٦/۳۲^{bc}	۲۳۸^{a}	۵/۷٤^{ab}	۵۲٤۰^{a}
	سالیسیلیک اسید	۱٤/۲۱^{b}	۲۷/۹۸^{ab}	۲۳۹^{a}	۵/۹۹^{a}	۵۲۱۲/۱^{a}
	متانول	۱۵/۸۷^{a}	۳۱/۲^{a}	۲٦۱^{a}	٦/۰۹^{a}	۵٤۱۳/۱^{a}
۵۰ درصد ظرفیت زراعی	شاهد	۹/۱٤^{f}	۲۰/۳۱^{de}	۱۳۳^{c}	۵/۱۷^{bc}	۳۵٦۲^{c}
	اسپرمیدین	۱۰/۲٤^{e}	۱۹/۸۷^{de}	۱۳۲^{c}	۵/۰۸^{c}	۳٦۷۷/٦^{c}
	سالیسیلیک اسید	۱۲/۳۳^{c}	۲۳/۱۸^{cd}	۱۹۸^{b}	٦/۰۱^{a}	٤۵۲۱/۵^{b}
	متانول	۱۱/۰۲^{d}	۲۱/۵۸^{d}	۱۷۷^{b}	۵/۹۸^{a}	٤۲۷۷/٦^{b}
۲۵ درصد ظرفیت زراعی	شاهد	۵/۱۳^{h}	۹/٦٤^{f}	۸۲^{d}	۳/۱۱^{d}	۱۸۷۹^{d}
	اسپرمیدین	۵/۱۱^{h}	۹/٦۱^{f}	۸۰^{d}	۳/٤٤^{d}	۱۸۵۸^{d}
	سالیسیلیک اسید	۹/۱۱^{f}	۱۷/۱۳^{e}	۱٤٤^{c}	۵/۰٤^{c}	۳۳٦۲/۳^{c}
	متانول	٦/۳۲^{g}	۱۱/۸۸^{f}	۱۰۰^{d}	۵/۰۲^{c}	۳۲۲۰^{c}

میانگین های با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن نمی‌باشد.

اثرات ساده و متقابل تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی تاثیر معنی داری بر تعداد چتر در بوته داشتند (جدول ٤). بیشترین تعداد چتر در بوته (۳۱/۲) در شرایط عدم تنش در تیمار محلول‌پاشی متانول مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۱۵/۰٤ درصد افزایش داشت. در تیمارهای تنش متوسط و شدید، اسید سالیسیلک باز هم توانست تعداد چتر در بوته را نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱٤/۱۳ درصد و ۷۷/۵۹ درصد افزایش دهد (جدول ٤). در مجموع تعداد چتر در بوته با افزایش تنش خشکی کاهش معنی‌داری نشان داد به گونه ای که بیشترین تعداد چتر در بوته متعلق به تیمار محلول‌پاشی متانول در آبیاری در ظرفیت زراعی ۹۰ درصد بود و کمترین آن متعلق به تیمار محلول‌پاشی اسپرمیدین و شاهد در تیمار تنش شدید (آبیاری در ظرفیت زراعی ۲۵ درصد) بود که نسبت به بیشترین تعداد چتر در بوته کاهش ٦۹/۲۱ درصدی را نشان داد.

با افزایش شدت تنش آبی تعداد دانه در چتر نیز در کلیه تیمارهای محلول‌پاشی کاهش یافت (جدول ٤). اختلاف بین بیشترین (۲٦۱) تعداد دانه در چتر که متعلق به تیمار محلول‌پاشی با متانول در شرایط عدم تنش (آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی) بود، با کمترین آن که به تیمار شاهد (۳/۱۱) در تنش شدید (آبیاری در ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) تعلق داشت، ٦۹/۳۵ درصد بود. استفاده از محلول‌پاشی های مختلف در تیمار عدم تنش نتوانست اختلاف معنی‌داری در تعداد دانه در چتر رازیانه نسبت به تیمارهای تنش آبی ایجاد نماید، در تنش متوسط و شدید محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید، تعداد دانه در چتر به ترتیب ٤۸/۸۷ درصد و ۷۵/٦۱ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. بعبارتی نتایج تایید نمود که در شرایط عدم تنش، محلول‌پاشی با متانول و در شرایط تنش، محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بهترین تیمار مورد استفاده بودند.

وزن هزاردانه در تیمار تنش آبی ۵۰ درصد و محلول‌پاشی با متانول و سالیسیلیک اسید نسبت به شاهد و تیمار اسپرمیدین بیشتر بود. در تیمار عدم تنش (آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی) اختلاف معنی‌داری بین وزن هزار دانه در تیمارهای محلول‌پاشی مشاهده نشد (جدول ٤). در تیمارهای تنش متوسط و شدید (آبیاری در ۵۰ درصد و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) استفاده از محلوپاشی با اسید سالیسیسک به ترتیب باعث افزایش وزن هزار دانه به میزان ۱٦/۲٤ و ٦۲/۰٦ درصد نسبت به تیمار شاهد گردید. در این تیمارها اختلاف معنی‌داری بین محلوپاشی با متانول و اسیدسالیسیلیک مشاهده نشد و در آبیاری ظرفیت زراعی ۵۰ درصد و ۲۵ درصد وزن هزار دانه در تیمار متانول نسبت به تیمار شاهد ۱۵/۷ درصد و ٦۱/٤ درصد افزایش نشان داد (جدول ٤).

کاهش اجزای عملکرد رازیانه تحت شرایط تنش خشکی توسط محققین مختلف (کوچکی و همکاران ۲۰۰٦، موسوی و همکاران ۲۰۱۲، رضائی چیانه و همکاران ۲۰۱۲ و یوسف پور ۲۰۱٤) تایید شده است. شاید بتوان اختلال در گرده افشانی در نتیجه کمبود آب طی مرحله گلدهی و از طرفی عقیم شدن تعدادی از چترهای در حال شکل گیری را به عنوان دلایل اصلی کاهش اجزای عملکرد رازیانه مطرح کرد (موسوی و همکاران ۲۰۱۲). بنظر می‌رسد نقش متانول بیشتر تغذیه ای بوده و سالیسیلیک اسید در مقاومت رازیانه به تنش خشکی نقش پررنگتری داشته است. احتمالا متانول با افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه، افزایش تولید سیتوکنین و تحریک رشد گیاه، افزایش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز، افزایش متابولیسم نیتروژن و کاهش تنفس نوری (دورادو ۲۰۰۱) در افزایش رشد و در نتیجه بهبود اجزای عملکرد رازیانه تاثیر داشته است (آدام و همکاران ۱۹۹۷). بر اساس گزارش دیگر، محلول پاشی متانول در گیاهان باعث جلوگیری و کاهش تنش های القاء شده به گیاه در اثر انجام تنفس نوری در

آنهاست (بلوت و همکاران ۲۰۰۲). علت کاهش تنفس نوری در گیاهان تیمار شده با متانول، اکسیداسیون سریع متانول به دی اکسید کربن و ترکیب شدن آن با ریبولوز ۱-۵ بیس فسفات کربوکسیلاز و کم شدن رقابت اکسیژن ذکر شده است (نادعلی و همکاران ۲۰۱۰). در مواردی بهبود محتوای کلروفیل گیاه در اثر محلول پاشی متانول گزارش شده است. بعنوان مثال تیمار برگ توتون با متانول سبب افزایش محتوای کلروفیل برگ این گیاه شد (کانتلیف و همکاران ۲۰۰۲). تاثیر مثبت متانول بر رشد گیاهان مختلف در شرایط تنش خشکی توسط محققین زیادی (زبیک و همکاران ۲۰۰۳، فاور و گریک ۲۰۰۶، نادعلی و همکاران ۲۰۱۰، اِحیایی و همکاران ۲۰۱۰ و حسین زاده و همکاران ۲۰۱۵) تایید شده است.

عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک نیز در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر اثرات متقابل تیمارهای محلول‌پاشی و آبیاری (تنش آبی) قرار گرفت (جدول ۵). افزایش تنش آبی سبب کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک در کلیه تیمارهای محلول‌پاشی گردید (جدول ٤). تنش خشکی باعث کاهش فشارآماس سلولی و به دنبال آن کاهش نمو سلول و رشد اندام های گیاه می‌شود. از طرف دیگر، تنش میزان جذب آب و عناصر غذایی، سطح برگ، سرعت رشد گیاه، طول دوره رشد گیاه و سطح فتوسنتزی گیاه را کاهش داده و این عوامل در نهایت منجر به کاهش تولید ماده خشک می‌شوند (گلدانی و رضوانی مقدم ۲۰۰۵).

در تیمار عدم تنش آبی (ظرفیت زراعی ۹۰ درصد) استفاده از محلوپاشی تاثیری بر میزان عملکرد بیولوژیک نداشت و اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف محلول‌پاشی در این سطح آبیاری مشاهده نشد. بالاترین عملکرد بیولوژیک گیاه (٥٤١٣ کیلوگرم در هکتار) در محلول‌پاشی با متانول در شرایط عدم تنش مشاهده شد. تیمار سالیسیلیک اسید در تیمارهای تنش متوسط (٤٥٢١ کیلوگرم در هکتار) و شدید (٣٣٦٢ کیلوگرم در هکتار) بیشترین عملکرد بیولوژیک را تولید نمود که اختلاف معنی‌داری بین تیمار محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید و متانول در شرایط تنش مشاهده نشد (جدول ٤). در تیمار تنش متوسط محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید ، عملکرد بیولوژیک را ٢٦/٩ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (جدول ٤). در تیمار تنش شدید نیز افزایش ٧٨/٩ درصدی با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در عملکرد بیولوژیک مشاهده گردید (جدول ٤).

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد کمی و کیفی و محتوی پرولین رازیانه تحت تاثیر میزان آبیاری و محلول‌پاشی

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت	درصد اسانس	عملکرد اسانس	میزان پرولین
تکرار	۲	٤١٠٤٥/٢^{ns}	٣٦٢/٤	٠/٨٨٥^{ns}	٠/٠٠٧^{ns}	٠/٨٠٨^{ns}	٤/٤٤^{ns}
آبیاری (A)	۲	٢١٦٩٧٢٥٩/٢**	١٢٢٥٥٨٠/٩**	١٤٧/٣**	٣/٢٢**	٢٦٣/٥٩**	٢١١٩/٢**
اشتباه اول	٤	١٢٦٢٢/١	١٨٤/٢	٠/٧٩٢	٠/٠٣٤	٠/٣٥١	٨/١٣
محلول‌پاشی (B)	۳	١٧٦١٠٧٢/٩**	١٠٨٩١٨/٨**	١٢/٨٧**	٠/٠٢٥^{ns}	٨٠/٤٨**	٦٩/٤٦**
A×B	٦	٤٧٣٢٦٠/٩**	١٢٩٨٥/٤**	٣/٢٢^{ns}	٠/٠٢٧^{ns}	١٠/٨٨**	٢٤/٨٣*
خطای دوم	١٨	٧٩٩٤٤/٧	٢٩٧٩/٥	٢/٤٥	٠/٠٣٥	١/٣٩	٨/٤٤

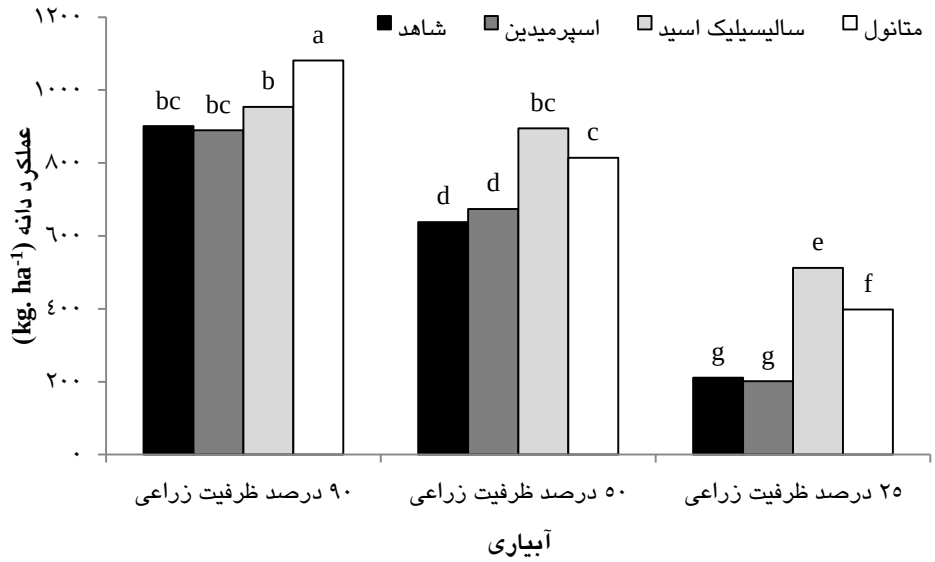
*، ** و ^{ns}: به ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری می باشد.

آزمایشات دیگر نیز تاثیر مثبت متانول را بر بهبود وزن خشک تایید کرده اند. بطوریکه، فاور و همکاران (۲۰۰٦) در بررسی تاثیر متانول بر گیاه پنبه اعلام داشتند که برخی از خصوصیات زراعی از جمله وزن خشک گیاه افزایش نشان داد. زبیک و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که لوبیا، کلزا، گوجه فرنگی و چغندرقند تحت تیمار متانول، حساسیت کمتری نسبت به کمبود آب داشته و تولید یکسانی با گیاهان شاهد داشتند. سالیسیلیک اسید با بهبود فتوسنتز گیاه باعث رشد ریشه گیاه در شرایط تنش خشکی می‌شود (هامادا و الحکیمی ۲۰۰۱) و این افزایش رشد سیستم ریشه ای و حفظ سلامت آن به وسیله سالیسیلیک اسید باعث جذب بیشتر آب و مواد غذایی شده که در نهایت منجر به افزایش بیوماس گیاه می‌گرد.

عملکرد دانه

اثرات متقابل آبیاری و محلول‌پاشی به طور معنی‌داری عملکرد دانه رازیانه را در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر قرار دادند (جدول ٥). با افزایش شدت تنش خشکی میزان عملکرد دانه در کلیه تیمارهای محلول‌پاشی کاهش معنی‌داری یافت (شکل ۱). سالارپور غربا و فرحبخش (۲۰۱٤) نیز گزارش کردند عملکرد دانه رازیانه در سطوح ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به آبیاری کامل به ترتیب ۲۲/۳ و ۵۱ درصد کاهش نشان داد. ایشان اظهار داشتند که با افزایش سطوح تنش خشکی، پارامترهای رشدی گیاه نیز کاهش یافته و مجموعه این عوامل در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه رازیانه شده است.

استفاده از محلول‌پاشی متانول در شرایط عدم تنش و اسیدسالیسیلیک در شرایط تنش توانست عملکرد دانه را به طور معنی‌داری بهبود دهد (شکل ۱). بیشترین میزان عملکرد دانه (۱۰۸۱ کیلوگرم در هکتار) متعلق به تیمار محلول‌پاشی متانول در تیمار عدم تنش و کمترین آن (۲۰۱ کیلوگرم در هکتار) مربوط به محلول‌پاشی اسپرمیدین در تیمار آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی بود. با افزایش شدت تنش خشکی، نقش سالیسیلیک اسید در تولید دانه رازیانه بیشتر بود. بطوری که، اختلاف بین عملکرد دانه تیمار شاهد و سالیسیلیک اسید در شرایط عدم تنش، ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب حدود ٦، ۲۹ و ۹۲ درصد بود (شکل ۱). در شرایط تنش نیز متانول باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی و اسپرمیدین شد. در کلیه تیمارهای آبیاری اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی اسپرمیدین مشاهده نگردید. بطورکلی، محلول‌پاشی متانول در شرایط عدم تنش و سالیسیلیک اسید در شرایط تنش بالاترین عملکرد دانه را شامل شدند (شکل۱). محتشم و همکاران (۲۰۱۵) نیز نقش محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید را در شرایط تنش خشکی روی عملکرد دانه رازیانه موثر معرفی نمودند.



شکل ۱- برهمکنش میزان آبیاری و نوع محلول‌پاشی بر عملکرد دانه رازیانه

بنظر می‌رسد همانطور که قبلا نیز ذکر شد مصرف متانول بر روی گیاه رازیانه بیشتر نقش تغذیه ای داشته است. گیاهان می‌توانند متانول محلول‌پاشی شده بر روی برگ‌ها را به راحتی جذب کرده و آن را به عنوان منبع کربنی اضافه بر کربن اتمسفر مورد استفاده قرار دهند. متانول در مقایسه با CO_2 مولکول نسبتا کوچکتری است که به راحتی توسط گیاه جذب شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد (نادعلی و همکاران ۲۰۱۰). افزایش عملکرد دانه در اثر مصرف متانول در بسیاری از گیاهان گزارش شده است (زبیک و همکاران ۲۰۰۳، اِحیایی و همکاران ۲۰۱۰، نادعلی و همکاران ۲۰۱۰، حسین زاده و همکاران ۲۰۱۵ و عمارت پرداز و همکاران ۲۰۱۵).

به نظر می‌رسد سالیسیلیک اسید نیز با تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی طی دوره رشد گیاه در مواجه با تنش های زنده و غیرزنده، باعث افزایش قابل توجهی در عملکرد و اجزای عملکرد گیاه می‌شود (سالارپور غربا و فرحبخش، ۲۰۱٤). سالیسیلیک اسید بر فتوسنتز و رشد گیاه تحت شرایط تنش اثر مثبت داشته و از طریق توسعهٔ واکنش‌های بهبود دهده مقاومت گیاه به تنش، نظیر افزایش تجمع پرولین، باعث تسریع در بهبود رشد پس از رفع تنش می‌شود (سینگ و یوشا ۲۰۰۳). نقش مثبت سالیسیلیک اسید بر بهبود عملکرد گیاهان مختلف در شرایط تنش توسط محققین مختلف به اثبات رسیده است (ساین و یوشا ۲۰۰۳، یوردانو و همکاران ۲۰۰۳، حیات و همکاران ۲۰۱۰ و کادیوگلو و همکاران ۲۰۱۱).

شاخص برداشت

شاخص برداشت رازیانه تحت تاثیر اثرات ساده تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی قرار گرفت ($P\leq0.05$)، ولی برهمکنش دو تیمار تاثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ٥).

مقایسه میانگین تیمار آبیاری نشان داد که بیشترین شاخص برداشت (۱۸/۷٦ درصد) در تیمار آبیاری ٥۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با شرایط عدم تنش (۱۸/۱٤ درصد) نداشت (جدول ۳). کمترین میزان شاخص برداشت (۱۲/٤۱ درصد) نیز در شرایط آبیاری ۲٥ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با آبیاری ۹۰ و ٥۰ درصد ظرفیت زراعی دارا بود. بروز تنش کم آبی بخش زایشی گیاه را به طور مؤثرتری نسبت به بخش رویشی تحت تأثیر قرار

می‌دهد (موسوی و همکاران ۲۰۱۲). احتمالاً به دلیل نقش مهم آب در انتقال مواد به دانه ها، کمبود آب در زمان پر شدن دانه ها کاهش یا حتی توقف انتقال مواد فتوسنتزی را به دنبال داشته که حاصل آن کاهش شاخص برداشت می‌باشد . تنش خشکی در مرحله شروع گلدهی از طریق کاهش تعداد دانه در بوته باعث کاهش عملکرد دانه و در نتیجه شاخص برداشت دانه می‌شود.

مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی بر شاخص برداشت نیز نشان داد که استفاده از سالیسیلیک اسید و متانول باعث افزایش معنی‌دار شاخص برداشت رازیانه نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی شده و کاربرد اسپرمیدین اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان نداد (جدول ۳). محلول‌پاشی متانول و اسیدسالیسیلیک توانست میزان شاخص برداشت را نسبت به تیمار شاهد۱/٦٤ و ۲/۲۹ درصد و نسبت به محلوپاشی اسپرمیدین ۱/۷۵ و۲/٤ درصد افزایش دهد (جدول ۳).

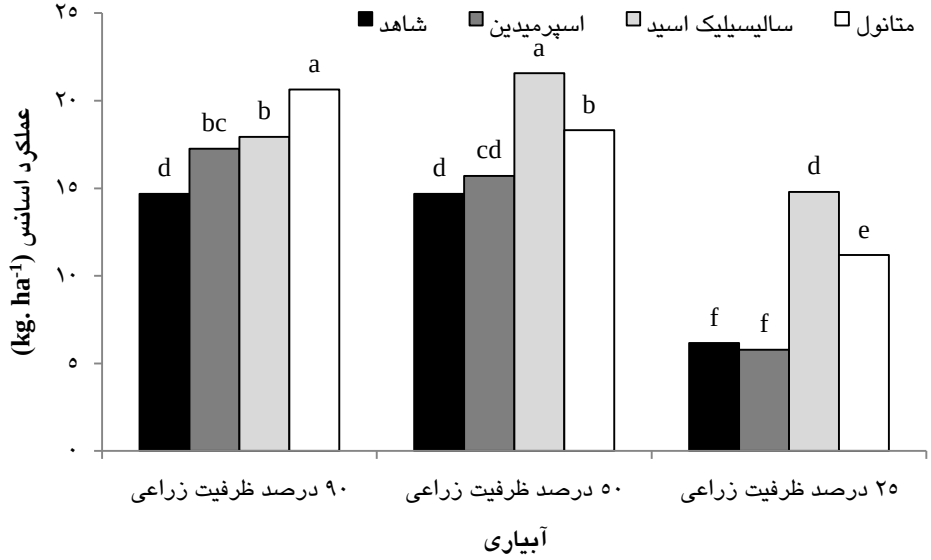
درصد اسانس

درصد اسانس دانه تحت تاثیر تیمارهای آبیاری در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ٥). با افزایش شدت تنش خشکی، درصد اسانس گیاه بطور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ٤). بطوریکه، کمترین (۱/۸٤ درصد) و بیشترین (۲/۸٦ درصد) میزان این صفت به ترتیب در تیمار عدم تنش و آبیاری در سطح ۲۵ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد (جدول ٤). میزان این شاخص در آبیاری ٥۰ درصد ظرفیت زراعی (۲/۳۲ درصد) نیز بطور معنی‌داری بیشتر از شرایط عدم تنش بود. نتایج تحقیقات انجام شده در مورد گیاهان مختلف دارویی نیز مؤید این مطلب است که با اعمال تنش خشکی و کاهش آب آبیاری درصد اسانس افزایش می‌یابد (امیدبیگی و همکاران ۲۰۰۳، ابرو و همکاران ۲۰۰٤ و بناییان و همکاران ۲۰۰۸). تا زمانی که آب و در نتیجه عناصر غذایی در دسترس گیاه است گیاه کربن را ترجیحاً برای رشد اختصاص می‌دهد ولی با کاهش آب آبیاری میزان دسترسی به عناصر غذایی کمتر شده و رشد گیاه بیش از فتوسنتز محدود می‌شود و در نتیجه بخش بیشتری از مواد فتوسنتزی به تولید متابولیت های ثانویه و اسانس ها اختصاص می‌یابد(گرشنزون ۱۹۸٤ و یوسف پور ۲۰۱٤). از آنجاییکه، اسانس ها جزئی از متابولیت های ثانویه‌ی گیاهی بوده و گیاه معمولا در هنگام دریافت تنش محیطی، میزان این مواد را در اندام خود افزایش می‌دهد (مرادی و همکاران ۲۰۱۱)، در آزمایش حاضر نیز بنظر می‌رسد قرار گیری گیاه در شرایط تنش خشکی باعث افزایش متابولیت های ثانویه گیاه رازیانه از جمله درصد اسانس شده است.

عملکرد اسانس: عملکرد اسانس تحت تاثیر اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی ($P\leq0.05$) قرار گرفت (جدول ۲). بطورکلی، در تمامی روش های محلول‌پاشی، با افزایش شدت تنش خشکی میزان عملکرد اسانس کاهش معنی‌داری نشان داد (شکل۲). در شرایط عدم تنش، تیمار محلول‌پاشی متانول بالاترین میزان عملکرد اسانس (۲۰/٦٤ کیلوگرم در هکتار) را دارا بود. ولی در هر دو شرایط تنش ٥۰ درصد و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی، استفاده از سالیسیلیک اسید بالاترین عملکرد اسانس را به ترتیب با ۲۱/٥٦ و ۱٤/۷۹ کیلوگرم در هکتار شامل شد (شکل۲). بیشترین عملکرد اسانس دانه رازیانه متعلق به تیمار آبیاری در سطح ٥۰ درصد ظرفیت زراعی همراه با محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار محلول‌پاشی با متانول در شرایط عدم تنش نداشت (شکل ۲). محلول‌پاشی با متانول و اسیدسالیسیلیک در شرایط تنش خشکی اثر مثبتی بر میزان عملکرد اسانس داشتند اما محلول‌پاشی با اسیدسالیسیلک بهتر از تیمار متانول عمل نمود و باعث افزایش بیش از ۲ برابری میزان عملکرد اسانس در شرایط آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی نسبت به عدم محلول‌پاشی شد (شکل ۲). بطورکلی، محلول‌پاشی متانول در شرایط عدم تنش و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در

شرایط تنش خشکی برای حصول بالاترین عملکرد اسانس قابل توصیه می‌باشند.

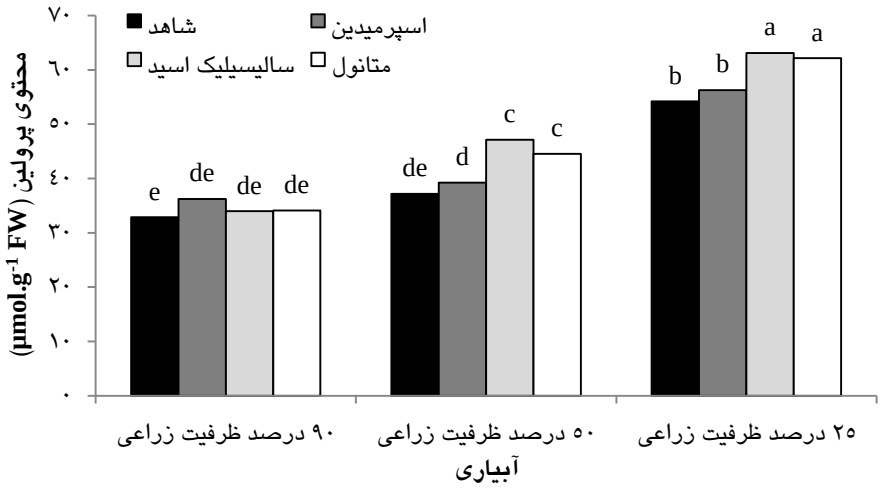
از آنجاییکه، عملکرد اسانس برآیندی از درصد اسانس و عملکرد دانه می‌باشد (تانو و همکاران ۲۰۰٤). می‌توان دریافت که علت اصلی بالا بودن عملکرد اسانس در شرایط عدم تنش خشکی و کاربرد متانول و سالیسیلیک اسید اسید، بالا بودن عملکرد دانه در این تیمارها بوده است. در شرایط تیمار تنش آبی، با وجود اینکه درصد اسانس افزایش یافته بود ولی مقدار کاهش عملکرد دانه به قدری بود که عملکرد اسانس نیز به تبع آن کاهش یافت و به عبارتی کاهش عملکرد اسانس تحت تیمار تنش در مرحله پر شدن دانه را می‌توان به کاهش عملکرد دانه تحت تاثیر تنش خشکی نسبت داد. بتاآیب و همکاران (۲۰۱۱) گزارش نمودند که تنش آبی با اینکه باعث افزایش درصد اسانس زیره سبز شد ولی به دلیل کاهش میزان عملکرد دانه در تیمار کم آبی، میزان عملکرد اسانس در این شرایط نسبت به تیمار آبیاری کامل کاهش معنی‌داری یافت. کاهش عملکرد اسانس گیاه رازیانه در اثر تنش خشکی گزارش شده است (درزی و حاج سیدهادی ۲۰۰۵، میرشکاری و فرح وش ۲۰۱۱، بهرام نژاد و صفاری ۲۰۱٤ و یوسف پور ۲۰۱٤).



شکل ۲- برهمکنش میزان آبیاری و نوع محلول‌پاشی بر عملکرد اسانس دانه رازیانه

محتوای پرولین

محتوای پرولین تحت تاثیر اثرات متقابل تیمار آبیاری و محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۲). با افزایش شدت تنش میزان پرولین در کلیه تیمارهای محلول‌پاشی افزایش معنی‌داری نشان داد (شکل ۳). نتایج موید رابطه مستقیم بین شدت تنش موجود و سطح پرولین بود. افزایش میزان پرولین در سیتوپلاسم گیاه باعث تنظیم اسمزی، حفظ تورم و کاهش خسارت غشاء سلولی شده و به عنوان منبع انرژی، کربن و نیتروژن در گیاهان به شمار می‌رود (اشرف و فولاد ۲۰۰۷). همچنین، پرولین می‌تواند حلالیت پروتئین‌های مختلف را تحت تأثیر قرار داده و از تغییر ماهیت آنها و درنتیجه صدمه به ساختار سلول جلوگیری کند. آنزیم ها نیز به دلیل ساختمان پروتئینی خود تحت تأثیر این سازوکار پرولین قرار گرفته و محافظت می‌شوند (کوزنتزو شویکووآ ۱۹۹۹). با مکانیسم تنظیم اسمزی تحمل گیاهان به تنش خشکی افزایش یافته و در نتیجه به حفظ و پایداری سلول ها کمک می‌کند. نتایج تحقیق تایید می‌کند که گیاه رازیانه با بکارگیری راهبرد مناسب جهت پاسخ به خشکی می‌تواند به عنوان یک گیاه متحمل به خشکی مدنظر قرار گیرد (رضائی چیانه و همکاران ۲۰۱۲).



شکل ۳- برهمکنش میزان آبیاری و نوع محلول‌پاشی بر محتوی پرولین رازیانه

در شرایط عدم تنش، محتوی پرولین بین ۳۲/۸۷ تا ۳۶/۲۵ میکرومول در گرم وزن تر متغیر بود و اختلاف معنی‌داری از نظر این شاخص بین انواع مختلف محلول‌پاشی مشاهده نشد. دهد که میزان پرولین در شرایط عدم تنش تحت تاثیر مواد محلول‌پاشی شده قرار نمی‌گیرد. در آبیاری در سطح ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، محتوی پرولین در دو تیمار متانول (٤٤/٥٤ میکرومول در گرم وزن تر) و سالیسیلیک اسید (٤٧/١٢ میکرومول در گرم وزن تر) بطور معنی‌داری بیشتر از شاهد (٣٧/١٤ میکرومول در گرم وزن تر) و اسپرمیدین (٣٩/٢٥ میکرومول در گرم وزن تر) بود (شکل ۳). در تیمار آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی نیز محتوی پرولین در تیمار شاهد (٥٤/٢١ میکرومول در گرم وزن تر) بطور معنی‌داری کمتر از مقدار آن در تیمارهای سالیسیلیک اسید (٦٣/١١ میکرومول در گرم وزن تر) و متانول (٦٢/١٤ میکرومول در گرم وزن تر) بود (شکل ۳). بطور کلی، بنظر می‌رسد در شرایط کم آبی، دو ماده سالیسیلیک اسید و متانول باعث تحریک افزایش غلظت پرولین در گیاه رازیانه شده و ازین طریق مقاومت گیاه به تنش خشکی را بهبود بخشیده اند. رابطه مثبت محتوی پرولین گیاه در شرایط تنش خشکی با سالیسیلیک اسید (دلاوری و همکاران ۲۰۱۰) و متانول (حسین زاده و همکاران ۲۰۱۵) گزارش شده است. متانول محلول پاشی شده بر روی برگ توسط آنزیم متانول اکسیداز و با از دست دادن $2H^+$ تبدیل به فرمات (متانوئیک اسید) می‌شود. فرمات در مرحله بعد توسط آنزیم فرمات دهیدروژناز تبدیل به CO_2 و H^+ می‌شود (ننمورا و بنسون ۱۹۹۲). از طرف دیگر، گزارش شده آنزیم پیرولین ۵-کربوکسیلات سنتتاز در شرایط اسیدی بیشترین فعالیت را دارد (یوردانوو و همکاران ۲۰۰۳). بنابراین، بنظر می‌رسد متانول با کاهش pH در گیاه منجر به افزایش فعالیت آنزیم پیرولین ۵-کربوکسیلات سنتتاز شده و در نهایت باعث تجمع پرولین در گیاه شده است. نقش سالیسیلیک اسید به عنوان یک ماده تنظیم کننده رشد در القای تحمل به تنش خشکی تایید شده است. در این رابطه سالیسیلیک اسید بعنوان یک ملکول سیگنال در نظر گرفته می‌شود (سنارانتا و همکاران ۲۰۰۳). میرسا و ساکسنا (۲۰۰۹) اثبات کرده اند که سالیسیلیک اسید اسید

با تاثیر مثبت بر دو آنزیم γ-گلوتامیل کیناز[1] و γ-گلوتامیل فسفات ردوکتاز[2] و که نقش مستقیم در تولید آنزیم پیرولین ۵-کربوکسیلات سنتتاز و در نتیجه پرولین در گیاه را دارند، باعث افزایش تولید پرولین گیاه در شرایط تنش های محیطی می‌شود. بنظر می‌رسد این موضوع برای تحقیق حاضر نیز صدق می‌کند.

نتیجه گیری کلی

نتایج تحقیق نشان داد که کاهش میزان آبیاری از ۹۰ به ۲۵ درصد ظرفیت زراعی ارتفاع بوته، اجزای عملکرد، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و عملکرد اسانس رازیانه را کاهش معنی‌داری داد. اما درصد اسانس و میزان پرولین با افزایش شدت تنش خشکی افزایش معنی‌داری نشان داد. مقایسه میانگین تیمارهای مختلف محلول‌پاشی نشان داد که بطور میانگین بیشترین میزان ارتفاع بوته (۷۵/۱۶ سانتی متر)، شاخص برداشت ۱۷/۷۷ درصد) و درصد اسانس (۲/۳۹) در محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بدست آمد. برهمکنش تیمارهای تنش خشکی و محلول‌پاشی نشان داد که در سطح آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی، محلول‌پاشی متانول بشترین تعداد شاخه فرعی (۱۵/۸۷)، تعداد چتر در بوته (۳۱/۲۰)، تعداد دانه در چتر (۲۶۱)، وزن هزار دانه (۶/۰۹ گرم)، عملکرد بیولوژیک (۵۴۱۳ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه (۱۰۸۱ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد اسانس (۲۰/۶۵ کیلوگرم در هکتار) را شامل شد. با اعمال تنش خشکی نقش متانول کم رنگ شده و در سطوح ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی، بالاترین مقدار صفات ذکر شده در زمان محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بدست آمد. نتایج نشان داد که با اعمال تنش خشکی کاربرد سالیسیلیک اسید باعث افزایش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد رازیانه نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی شد. بطور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که بنظر می‌رسد محلول‌پاشی متانول بیشتر نقش تغذیه ای برای گیاه رازیانه داشته و در شرایط تنش کارایی سالیسیلیک اسید را نداشته واسید سالیسلیک بخوبی توانست اثرات منفی شرایط تنش خشکی را تعدیل نماید و برای زراعت رازیانه در مناطق با کمبود آب قابل توصیه می‌باشد.

منابع مورد استفاده

Abreu IN, Porto ALM, Marsaioli AJ and Mazzafera P. 2004. Distribution of bioactive substance from *Hypercium brasilians* during plant growth. Plant Science, 167: 949-954.

Adam NR, Wall GW, Brooks TJ, Lee TD, Kimball BA, Pinter PJ and Lamort RL. 1997. Changes in photosynthetic apparatus of spring wheat in respons to CO_2-enrichment and nitrogen stress. In: Annual Research Report.75-77.

Armand N, Amiri H and Semaili A. 2015. Effect of methanol on morphological characteristics of bean plant under drought stress. Iranian Journal of Agricultural Research, 13: 863-854. (In Persian).

Ashraf M and Foolad MR. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany, 59: 206–216.

Askari E and Ehsanzadeh P. 2015. Osmoregulation-mediated differential responses of field-grown fennel genotypes to drought. Industrial Crops and Products, 76: 494–508.

Bahram Nejad R and Safari M. 2014. The effect of different seed pritreatment on morphological characteristics, yield, yield components and essential oil of fennel in water stress conditions. Scientific Journal of Irrigation and Water Engineering, 17: 29-14. (In Persian).

[1] γ-glutamyl kinase

[2] γ-glutamyl phosphate reductase

Bannayan M, Nadjafi F, Azizi M, Tabrizi L and Rastgoo M. 2008. Yield and seed quality of *Plantago ovata* and *Nigella sativa* under different irrigation treatments. Industrial Crops and Products, 27: 11-16.

Bates LS, Waldern RW and Treare LD. 1973. Rapid determinatation of free proline for stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207.

Bettaieb I, Knioua S, Hamrouni I, Limam F and Marzouk B. 2011. Water-Deficit Impact on Fatty Acid and Essential Oil Composition and Antioxidant Activities of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) Aerial Parts. Journal Agricultural and Food Chemistry, 59: 328–334.

Benson AA and Nonomura AM. 2007. The path of carbon in photosynthesis: methanol inhibition of glycolic acid accumulation. Photosynthesis Research, 34: 196.

Blum A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential-are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? Australian Journal of Agricultural Research, 56: 1159–1168.

Bolot I, Guleryus M and Pirlak L. 2002. Effect of som growing media on the growth of strawberry cv. Also. Bohce, 21: 55-60.

Calamita G, Brocca L, Perrone A, Piscitelli S, Lapenna V, Melone F and Moramarco T. 2012. Electrical resistivity and TDR methods for soil moisture estimation in central Italy test-sites. Journal of Hydrology, 455: 101–112.

Cantliffe D J, Funes J, Jovicich E, Paranjpe A, Rodriguez J and Shaw N. 2002. Media and containers for greenhouse soilless grown cucumber, melon, peppers, and strawberry. University of Florida, Horticutural Science Department. Po Box 110690, Gainesville, FL 32611-0690, USA.

Clevenger J H. 1928. Apparatus for the determination of volatile oil. Journal of the American Pharmaceutical Association, 17: 345- 349.

Darzi MT and Haj seyedaddi MR. 2005. Study of planting date and plant density on the quality of grain and effective materrial of fennel under drought conditions. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding, 31: 27-2. (In Persian).

Delavari PM, Baghizadeh A, Enteshari Sh, Kalantari KHM, Yazdanpanah A, Mousavi EA .2010. The effects of salicylic acid on some biochemical and morphological characteristic of *Ocimum basilicum* under salinity stress. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 10: 4832-4845.

Dourado A. 2001. Statistic department at reading university, report strawberry cultivar trial. RHS Fruit Trial Sub Committee.

Downie AS, Miyazaki H, Bohnert P, John J, Coleman M, Parry and Haslam R. 2004. Expression profiling of the response of *Arabidopsis thaliana* to methanol stimulation. Phytochemistry Journals, 65: 2305–2316.

Ehyayi H, Parsa M, Kofi M and Nusayri Mahallati M. 2010. Effect of methanol solution and irrigation on yield and yield components of two chickpea cultivars. Iranian Journal of Cereals Research, 2: 47-38. (In Persian).

El-Tayeb MA. 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation, 45: 215-225.

Emarat Pardaz J, Hami A and Davati Kazemnia H. 2015. Effect of foliar application of metanol on Yield Components of Chitney Beans under Water stress Conditions. Special Issue for Agricultural Science and Sustainable Production. (In Persian).

Farajadi Shakib M, Naderi R and Mashhadi Akbar Boujar M. 2013. Effect of spraying on spermidine on morphological, physiological and biochemical characteristics of Iranian cyclamen persicum Miller. Herbal Ecophysiology Magazine, 13: 113-96. (In Persian).

Faver KL and Gerik TJ. 2006. Foliar-applied methanol effects on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) gas exchange and growth. Field Crops Research, 47: 227–234.

Gershenzon J. 1984. Changes in levels of plant secondary metabolites under water and nutrient stress. Phytochemical Adaptation to Stress: Recent Advances in Phytochemistry, 18: 273-320.

Goldani M and Rezvani Moghadam P. 2005. The effects of drought and planting date on yield and yield components of rainfed and irrigated varieties of chickpea in Mashhad. Iranian Journal Field Crop Research, 2(2): 1-12. (In Persian).

Guenther E. 1961. The essential oils. D. von Nostrand Comp. Press, New York.

Gutierrez-Coronado M, Trejo C L, Larque-Saavedra A. 1998. Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. Plant Physiology and Biochemistry, 36: 563-565.

Hamada AM and Al-Hakimi AMA. 2001. Salicylic acid versus salinity drought induced stress on wheat seedlings. Rostlina Vyroba, 47: 444-450.

Hayat S and Ahmad A. 2007. Salicylic Acid: A Plant Hormone. Springer. Pp. 97-99.

Hayat Q, Hayat S, Irfan M and Ahmad A. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. Environmental and Experimental Botany, 68: 14–25.

Hossein Zadeh S R, Salimi A, Ganjali A and Ahmadpour R. 2015. Effect of methanol application on some biochemical characteristics and antioxidant enzymes activity in chickpea under drought stress. Journal of Plant Physiology and Biochemistry of Iran, 1: 30-17. (In Persian).

Kadioglu A, Saruhan N, Saglam A, Terzi R and Acet T E. 2011. Exogenous salicylic acid alleviates effects of long term drought stress and delays leaf rolling by inducing antioxidant system. Plant Growth Regulators, 64: 27-37.

Kochaki A, Nasiri mahalati M and Azizi K. 2006. Effect of different irrigation intervals and density on yield and yield components of two fennel native populations. Iranian Journal of Agricultural Research, 1: 140-131. (In Persian).

Islam MA, Blake TJ, Ferit Kocacinar F and Rajasekaran L. 2003. Ambiol, spermine and aminoethoxyvinylglycine prevent water stress and protect membranes in *Pinus strobus* L. under drought. Trees, 17:278-284.

Izadi Z and Tedin M. 2015. Effect of salicylic acid and spermine on yield and components of grain yield of *Ricinus communis* L. under drought stress conditions. Journal of Environmental Tensions in Crop Science, 8 (2): 167-159. (In Persian).

Jami N, Mousavi Nik S and Naghizadeh M. 2015. Effect of drought stress and foliar application by salicylic acid on quantitative and qualitative yield of *nigella sativa* in Kerman climatic conditions. Agricultural Crop Managment, 17(3): 840-827. (In Persian).

Karasensky J and jonak C. 2012. Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. Experimental Botany, 63:1593-1608.

Kuznetsov VI and Shevykova N I. 1999. Proline under stress: biological role, metabolism, and regulation. Russian Journal of Plant Physiology, 46: 274-287.

Li Z, Zhou H, Peng Y, Zhang X, Ma X, Huang L and Yan Y. 2015. Exogenously applied spermidine improves drought tolerance in creeping bentgrass associated with changes in antioxidant defense, endogenous polyamines and phytohormones. Plant Growth Regulators, 76: 71–82.

Mardani H, Bayat H and Azizi M. 2011. Effect of foliar application of salicylic acid on morphological and physiological parameters of cucumber (*Cucumis sativus*) under drought stress. Journal of Horticultural Science, 25: 320-326. (In Persian).

Misra N and Saxena P. 2009. Effect of salicylic acid on proline metabolism in lentil grown under salinity stress. Plant Science, 177:181–189.

Mirhshekari B and Farahvash F. 2011. Nitrogen irrigation and nitrogen fertilization management in fennel plant under semi-arid climates. Scientific and Research Journal of Iranian Medicinal and Aromatic Plants, 27: 550-541. (In Persian).

Mohtasham SF, Pouryosef M, Andalibi B, and SHekkari F. 2015. Effect of spraying and pre-treatment with salicylic acid on the yield and essential oils of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress conditions. Biomedical Journal of Iranian Herbs and Medicinal Herbs Research, 31(5): 852-841. (In Persian).

Moradi R, Rezvani Moghaddam P, Nasiri Mahallati M and Nezhadali A. 2011. Effects of organic and biological fertilizers on fruit yield and essential oil of sweet fennel (*Foeniculum vulgare* var. dulce). Spanish Journal Agricultural Research, 9(2): 546-553. (In Persian).

Mousavi S GH, Seghatoleslami MJ and Mousavi SM. 2012. Effect of drought stress and nitrogen levels on yield and water use efficiency of fennel. Journal of Environmental Tensions in Crop Sciences, 5: 145-135. (In Persian).

Nadali A, Pak nejad F, Moradi F, Wazan S, Soqani M and Pazoki A. 2010. Effects of methanol spraying on relative water content, chlorophyll content and chlorophyll fluorescence of sugar beet leaves under water stress condition. Quarterly journal of ecophysiology of Crops, 2: 27-16. (In Persian).

Niakan M, Sadeghi S and Gorbanli M. 2011. Effect of spermidine, salinity stress on germination percentage, growth parameters, osmotic regulators, sodium and chlorine content of wheat straw. Quarterly Journal of Plant Science Research, 21(1): 89-78. (In Persian).

Nonomura AM and Benson AA. 1992. The path of carbon in photosynthesis: Improved crop yields with methanol. National Academy Science, 89: 9794-9798.

Omid Beigi R. 2007. Production and processing of medicinal plants. Fourth edition. Astan Quds Razavi Publishing House. Iran, 438 pages. (In Persian).

Omid beigi R, Hassani A and Sefidkon F. 2003. Essential oil content and composition of sweet basil (*Ocimum basilicum*) at different irrigation regimes. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 6(2): 104-108.

Pessarakli M. 1999. Hand book of plant and crop stress. Marcel Dekker. Inc. New York, 1056 p.

Ramirez IF, Dorta V, Espinoza E, Jimenez A, Mercado and Pen a-Cortes H. 2006. Effects of foliar and root applications of methanol on the growth of Arabidopsis, tobacco and tomato plants. Journal of Plant Growth Regulation, 25: 30–44.

Rezaei Chiane A, Zahtab Salmasi S, Ghasemi Golazani K and Del Azar AS. 2012. Effect of irrigation treatments on yield and yield components of three fennel native populations. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 22: 70-57. (In Persian)

Salarpour Ghorba F and Frahbakhash H. 2014. Effect of drought stress and salicylic acid on physical and physiological traits of fennel. Aagricultural Crop Managment, 16: 778-765. (In Persian).

Senaratna T, Merrit D, Dixon K, Bunn E, Touchell D and Sivasithamparam K. 2003. Benzoic acid may act as the functional group in salicylic acid and derivatives in the induction of multiple stress tolerance in plants. Plant Growth Regulators, 39: 77-81.

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

Tanu A, Prakash A and Adholeya A. 2004. Effect of different organic manures/composts on the herbage and essential oil yield of *Cymbopogon winterianus* and their influence on the native AM population in a marginal alfisol. Bioresource Technology, 92: 311–319.

Vishkaei M, Nourmohammadi GH, Majidi A and Rabiei B .2007. Effect of methanol on peanut growth and yield. Specialty Letter to the Journal of Agricultural Sciences, 13 (1): 87-102. (In Persian).

Yordanov I, Velikova V and Tsonev T. 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. Bulgharestan Journal of Plant Physiology, 2: 187-206.

Yousefpour M. 2014. Effect of seasonal drought stress and harvest time on grain yield and content =of fennel essential oil. Bimonthly Scientific and Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants of Iran, 30: 987-889. (In Persian).

Zbiec I, Karczmarczyk S and Podsiało C. 2003. Response of some cultivated plants to methanol as compared to supplemental irrigation. Electronic Journal of Polish Agriculture University, 6 (1): 1-7.