نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد سیزدهم، شماره ۲(۵۰)، تابستان ۱۳۹۸، صفحه ۲۱۶-۱۹۳

اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بر عملکرد و اجزای عملکرد، رنگیزه‌های فتوسنتزی و متابولیت‌های سازگاری رازیانه (*Foeniculum vulgare* P. Mill.) در شرایط اقلیمی سیستان

براتعلی فاخری[۱]، فروزان حیدری[۲]*، نفیسه مهدی‌نژاد[۳]، و ایمان شاهرخی ساردویی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۶ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۲۵

چکیده

استفاده از سالیسیلیک اسید در تغذیه گیاهان دارویی تحت شرایط تنش رطوبتی، نقش قابل ملاحظه‌ای را در کاهش اثرات سوء تنش آبی و بهبود عملکرد گیاه دارد. بدین منظور آزمایشی در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل انجام شد. تنش خشکی شامل سه سطح آبیاری (۹۰ ،نرمال، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) به‌عنوان عامل اصلی، سه سطح محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید (صفر، شاهد، ۲/۵ و ۵ میلی‌مولار) و رقم‌های اصفهان، همدان و نهاوند به‌عنوان عامل‌های فرعی بودند. صفات مورد بررسی شامل ارتفاع بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، دانه در چترک، تعداد ساقه فرعی، قطر ساقه، وزن تر گیاه، عملکرد اقتصادی و بیولوژیکی، وزن هزار دانه، کلروفیل a، b، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها، آنتوسیانین، قندهای محلول و پرولین بودند. نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش صفات مورد بررسی گردید. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید باعث افزایش برخی از پارامترها ازجمله ارتفاع نهایی بوته، تعداد چتر، تعداد دانه در چترک، وزن تر ساقه، عملکرد دانه و بوته، کلروفیل a، b، قندهای محلول و پرولین گردید. بیشترین عملکرد دانه از محلول‌پاشی ۵ میلی‌مولار و رقم اصفهان در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه به‌دست آمد. با توجه به این نتایج، بهترین رقم از نظر عملکرد دانه، رقم اصفهان و با محلول‌پاشی ۵ میلی‌مولار در شرایط آبیاری کامل بود.

واژگان کلیدی: ارقام رازیانه، تنش خشکی، سالیسیلیک اسید، عملکرد اقتصادی، محلول‌پاشی.

۱- استاد اصلاح نباتات، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۲- مربی اصلاح نباتات، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۳- استادیار اصلاح نباتات، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
نگارنده‌ی مسئول heidarif.65@gmail.com

مقدمه

اقلیم ایران خشک بوده و نوسانات شدید بارندگی در مقیاس‌های روزانه، فصلی و سالانه موجب عدم اطمینان کافی نسبت به دریافت حداقل بارش مورد نیاز جهت مصارف کشاورزی می‌شود (Hamedi *et al*., 2005). استفاده بهینه از آب دارای اهمیت بسزایی می‌باشد بخصوص در مناطقی که شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک بر آن حاکم است که حدود دو سوم ایران را در بر می‌گیرد. اقتصاد و مدیریت منابع آب ایجاب می‌کند که از واحد حجم آب حداکثر بهره‌برداری صورت می‌گیرد. در چنین شرایطی که کمبود آب آبیاری وجود دارد، اطلاع از واکنش گیاهان و تعیین میزان حساسیت مراحل مختلف به کم‌آبی از اهمیت بسزایی برخوردار است (Shahram and Daneshi, 2005).

رازیانه با نام علمی *Foeniculum vulgare* P. Mill گیاهی علفی و چند ساله از تیره‌ی چتریان[۱] است (Oktay *et al*., 2003; Bruyas-Bertholon *et al*., 2012). این گیاه بومی جنوب اروپا و منطقه مدیترانه می‌باشد (Diaaz-Maroto *et al*., 2006). امروزه رازیانه یکی از محبوب‌ترین گیاهان دارویی (مخصوصاً دانه آن) است که این دانه‌ها به طور معمول در قفسه ادویه در سراسر دنیا یافت می‌شوند. رازیانه با طعم و عطر جالب و مختلف دارای جایگاهی مهم در آشپزی مدرن و پزشکی دارد (Khan and Mosharaf, 2014). به‌منظور حصول عملکرد بالا و کیفیت مطلوب گیاهان تولید شده، ارزیابی سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای گیاه دارای اهمیت می‌باشد. با روش صحیح حاصل‌خیزی خاک و تغذیه گیاه می‌توان ضمن حفظ محیط‌زیست، افزایش کیفیت آب، کاهش فرسایش و حفظ تنوع زیستی، کارآیی نهاده‌ها را افزایش داد. همچنین، می‌توان با اجتناب از کاربرد غیرضروری و بی‌رویه‌ی عناصر غذایی هزینه تولید را به حداقل کاهش داد، که این امر می‌تواند گامی به‌سوی کشاورزی پایدار باشد (Hasanzadeh Ghourt-tapeh *et al*., 2001; Rezaenejad and Afyuni, 2001). کاربرد تنظیم کننده‌های رشد به‌صورت برون‌زا، در بسیاری از موارد در کاهش آثار تنش‌ها مؤثر بوده است. نقش سالیسیلیک اسید و ترکیبات وابسته به آن در کاهش آثار بسیاری از تنش‌های محیطی ثابت شده است (Hayat *et al*., 2007). همچنین، سالیسیلیک اسید بر رشد گیاه، جوانه‌زنی بذر، جذب و انتقال یون، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، مقدار کلروفیل، گلدهی و رسیدن میوه تأثیر می‌گذارد (Belkhadi *et al*., 2010). افزایش رشد در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید در گندم (Azimi *et al*., 2013)، سویا (Drazic and Mihailovic, 2005) و ذرت (Farahbakhsh and Shamsaddin Saiid, 2011) مشاهده گردیده است.

طبق نتایج مرتضوی و همکاران (Mortazavi *et al*., 2016) بکارگیری سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری بر صفات ارتفاع گیاه، میزان آنتوسیانین، میزان کلروفیل و وزن تر ریشه داشت. بزازی و همکاران (Bazazi *et al*., 2013) تأثیر تنش خشکی بر خصوصیات مورفولوژیک و اجزای عملکرد گیاه دارویی شنبلیله را ارزیابی کرده و کاهش تعداد روز تا گل‌دهی، تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته و اجزای عملکرد (تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه) در اثر تنش خشکی را گزارش نمودند.

۱- Umbelliferae

با توجه به این که خشکی و کم‌آبی در ایران بخصوص در منطقه سیستان، همواره از مهم‌ترین مسایل و مشکلات کشاورزی است بنابراین، پژوهش حاضر، به‌منظور ارزیابی کاربرد سالیسیلیک اسید در جهت توجه به اهداف کشاورزی پایدار و تعیین تغذیه بهینه گیاه دارویی رازیانه در شرایط تنش کم‌آبی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه آموزشی تحقیقاتی دانشگاه زابل واقع در سد سیستان (با طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۴۸۱ متری از سطح دریا، با اقلیم گرم و خشک، میانگین درجه حرارت سالانه ۲۱/۷ درجه سلسیوس، میانگین بارندگی سالانه ۵۵ میلی‌متر، تبخیر سالانه از سطح آزاد آب ۴۵۰۰ تا ۵۰۰۰ میلی‌متر) اجرا گردید. خاک محل آزمایش دارای بافت شنی- لومی بود. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اجرای آزمایش از عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک تعیین و در جدول ۱ ارایه شده است.

آزمایش به صورت طرح اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به اجرا در آمد. تنش خشکی عامل اصلی در سه سطح، آبیاری در زمان تخلیه ۴۰، ۶۰ و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی با آب (شاهد)، ۲/۵ و ۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و ارقام اصفهان، همدان و نهاوند به‌عنوان عامل فرعی بودند. در قطعه زمینی که برای کشت در نظر گرفته شده بود، پس از انجام تجزیه خاک و عملیات خاک‌ورزی شامل شخم، دیسک و تسطیح، کرت‌هایی به ابعاد ۳×۲ متر مربع تهیه شد. هر کرت دارای ۷ ردیف کاشت به فاصله ۳۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر و فاصله بین تکرارها ۲ متر در نظر گرفته شد. همچنین، بذور به عمق ۲-۳ سانتی‌متر کشت شدند. کاشت به روش دستی انجام شد، بدین صورت که برای حصول اطمینان از سبز شدن بذرها در هر چاله کاشت چند بذر گذاشته شد. وجین و سله‌شکنی به‌طور منظم تا زمان جوانه‌زنی بذور انجام شد. بذرها حدود ۹ روز پس از کاشت شروع به سبز شدن کردند. با توجه به اینکه رشد اولیه بوته‌های رازیانه بسیار کند است، وجین دستی علف‌های هرز نیز در این مرحله انجام شد. چون بذور با تراکم بیشتر کشت شده بودند، بنابراین تنک کردن بوته‌ها در مرحله چهار برگی انجام گرفت. علف‌های هرز غالب مزرعه شامل علف شور، اویارسلام و خارشتر بود.

تیمار تنش خشکی در دو مرحله (مرحله اول بعد از چهار برگی و مرحله دوم، دو هفته قبل از گل‌دهی) بر روی گیاه اعمال شد. تیمار سالیسیلیک اسید در دو مرحله (مرحله اول هفت روز قبل از اعمال تنش خشکی و مرحله دوم سه هفته قبل از گل‌دهی) روی گیاه مورد نظر محلول‌پاشی شد. برای اندازه‌گیری رطوبت خاک از دستگاه TDR[1] استفاده شد. اساس دستگاه TDR بر این اصل استوار است که دستگاه گیرنده علایمی را به داخل سنسور میله‌ای ارسال کرده که از میله اصلی (میله وسطی) این علایم خارج و توسط میله‌های کناری دریافت می‌شوند. سپس در روزهای متوالی، اندازه‌گیری رطوبت خاک به وسیله دستگاه صورت گرفت و زمانی که رطوبت خاک به هر یک از مقادیر مشخص شده رسید، آبیاری مزرعه به روش نشتی انجام شد.

۱-Time Domain Reflectometry

محلول‌پاشی‌ها در بعد از ظهر و در هوای صاف و ملایم طوری که برگ‌های گیاه کاملاً خیس شدند، انجام شد. میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر به روش آرنون (Arnon, 1967) اندازه‌گیری شد. میزان قندهای محلول (کربوهیدرات‌ها) به روش ایریگوین و همکاران (Irigoyen *et al*., 1992) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت پرولین از روش بیتز و همکاران (Bates *et al*., 1973) استفاده شد.

برای بررسی صفات مورفولوژیکی پس از حذف حاشـــیه‌ها از ردیف‌های وسـط جهت نمونه‌برداری در طول آزمایش استفاده شد و تعداد ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی از هر کرت انتخاب و صفات مورد نظر اندازه‌گیری شدند. ارتفاع نهایی بوته از حد فاصل بین محل طوقه در سطح خاک تا انتهای بوته بر حسب سانتی‌متر در بوته‌ها اندازه‌گیری شد. وزن هزار دانه، از هر تیمار تعداد ۱۰۰۰ بذر شمارش و وزن شد. پس از برداشت کامل کرت‌های آزمایشی، عملکرد اقتصادی بر حسب کیلوگرم در هکتار یادداشت گردید. عملکرد بیولوژیکی، وزن کل بخش‌های هوایی هر واحد آزمایشی وزن شده و بر حسب کیلوگرم در هکتار یادداشت گردید. همچنین، تعداد چتر در گیاه، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چترک، تعداد ساقه فرعی، قطر ساقه و وزن تر گیاه اندازه‌گیری شد.

آنالیز داده‌های تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به‌وسیله نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ محاسبه شدند. میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته:

برهم‌کنش تنش خشکی و رقم و رقم و محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصـد و برهم‌کنش تنش خشکی و محلول‌پاشی و اثرات سه‌گانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج اثرات متقابل سه‌گانه (جدول ۳) نشـان می‌دهد بیشترین ارتفاع بوته از عدم محلول‌پاشی و رقم نهاوند در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش نرمال) به‌دست آمد و کمترین ارتفاع از عدم محلول‌پاشی و رقم اصفهان در شرایط آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش شدید) به‌دست آمد که این کاهش ارتفاع در حالت دوم ۲۷/۰۵ درصـد کمتر از حالت اول بود. رضائی‌چیانه (Rezaei-Chianeh, 2012) در تحقیق خود گزارش کرد که با افزایش سطوح آبیاری گیاه مواد فتوسنتزی بیشتری را به ریشه اختصاص می‌دهد. در نتیجه سهم مواد فتوسنتزی به اندام‌های هوایی از جمله ساقه کاهش می‌یابد که این امر منجر به کاهش ارتفاع بوته رازیانه شد. همچنین، لباسچی و شریفی عاشورآبادی (Lebaschi and Sharifi Ashoorabadi, 2004) تیمارهای آبیاری ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی را روی گیاهان اسفرزه، بومادران، مریم گلی، همیشه بهار و بابونه بررسی کرده و نتیجه گرفت با تشدید تنش خشکی، وزن اندام هوایی و ارتفاع بوته در تمام گیاهان مورد مطالعه کاهش پیدا کرد. تنش خشکی منجر به کاهش ارتفاع بوته می‌شود و این کاهش ارتفاع بوته ناشی از تنش خشکی را احتمالاً می‌توان به اختلال در فتوسنتز و کاهش محصولات فتوسنتزی دانست با کاهش تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌ها در اثر

کاهش فشار اسمزی درون سلول می‌باشد، (Hamroudi *et al*., 2001).

تعداد چتر در بوته:

با توجه به جدول تجزیه واریانس، تعداد چتر در بوته رازیانه تحت تأثیر اثرات اصلی و اثر متقابل تنش خشکی و رقم قرار گرفت (جدول ۲). طبق شکل ۱، اثر متقابل تنش خشکی و رقم نشان می‌دهد که در شرایط عدم تنش خشکی (شاهد) ارقام اصفهان، همدان و نهاوند در یک کلاس آماری قرار گرفتند اما با افزایش تنش در شرایط تنش متوسط رقم نهاوند و با ۱۵/۸۱ بیشترین چتر در بوته را به خود اختصاص داد، اما در شرایط تنش شدید دو رقم همدان و نهاوند از نظر تعداد چتر در یک کلاس و کمترین مربوط به رقم اصفهان با ۱۱/۶۳ دانه در چترک کمترین مقاومت را نسبت به تنش خشکی شدید نشان داد. کوچکی و همکاران (Koochaki *et al*., 2006) کاهش تعداد چتر در بوته رازیانه را در شرایط کم آبی گزارش نمودند.

تعداد چتر در گیاه به میزان رشد رویشی گیاه بستگی داشته و کاهش رشد رویشی در اثر تنش ایجاد شده قبل از گلدهی منجر به کاهش تعداد چتر در گیاه زیره شده است، کاهش تعداد چتر در گیاه زیره سبز در اثر تنش خشکی گزارش شده است (Yazdani Cham Heidari *et al*., 2014). همچنین، می‌توان کاهش ارتفاع گیاه، کاهش سطح برگ و کاهش تعداد چتر در بوته جهت انتقال به بخش‌های در حال رشد گیاه و همچنین کاهش تورژسانس نسبت داد. نتایج این تحقیق با یافته‌های برخی محققان در گیاه پونه معطر و رازیانه که بیان داشتند در شرایط تنش ارتفاع بوته، سطح برگ و تعداد چتر در بوته کاهش می‌یابد، مطابقت دارد (Hassanpour and Niknam, 2014; Moosavi *et al*., 2014).

تعداد چترک در چتر:

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تنش خشکی و رقم و بر هم‌کنش تنش خشکی و رقم در سطح یک درصد و برهم‌کنش اثرات متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی، رقم و محلول‌پاشی و اثرات سه‌گانه رقم و تنش خشکی و محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج اثرات سه‌گانه نشان داد که بیشترین تعداد چترک در چتر از محلول‌پاشی پنج میلی‌مولار و رقم نهاوند در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه به‌دست آمد و کمترین تعداد چترک در چتر از محلول‌پاشی پنج میلی‌مولار و رقم اصفهان در شرایط آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه به‌دست آمد که این کاهش تعداد چترک در چتر در حالت دوم ۴۳/۰۸ درصد کمتر از حالت اول بود (جدول ۳).

گزارش‌های متعددی در زمینه اثر تنش خشکی بر رشد گیاهان موجود می‌باشد که همگی اثرات تخریبی تنش آبی را روی بسیاری از فرایندهای رشد تأیید می‌کند. فراهمی رطوبت قابل دسترس سبب افزایش توسعه کانوپی گیاه شده، در نتیجه انرژی تشعشعی بیشتری جذب گیاه می‌شود که منجر به افزایش اجزای عملکرد در گیاه می‌گردد، در این آزمایش تعداد چترک در چتر در تیمار بدون تنش و بالاترین غلظت سالیسیلیک اسید افزایش چشمگیری داشت که با نتایج سالارپور غربا و فرحبخش (Salarpour Goraba and Farahbakhsh, 2016) مطابقت داشت.

تعداد دانه در چترک:

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تنش خشکی و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و اثرات متقابل تنش خشکی و رقم، تنش خشکی و محلول‌پاشی، رقم و محلول‌پاشی و اثرات سه‌گانه تنش خشکی، محلول‌پاشی و رقم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج اثرات سه‌گانه نشان داد بیشترین تعداد دانه در چترک از پنج میلی‌مولار و رقم اصفهان در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه (شاهد) به‌دست آمد و کمترین دانه در چترک از عدم محلول‌پاشی و رقم اصفهان در شرایط آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش شدید) به‌دست آمد که این کاهش تعداد دانه در چترک در حالت دوم ۶۸/۰۷ درصد کمتر از حالت اول بود (جدول ۳). تعداد دانه در چترک نیز تحت تنش خشکی کاهش معنی‌داری یافت، به‌طوری‌که به نظر می‌رسد عدم تأمین مواد فتوسنتزی لازم برای رشد جنین و تکامل بذر، یکی از دلایل عمده کاهش تعداد دانه در چترک در شرایط تنش خشکی باشد، به‌نحوی که کاهش تعداد دانه در چترک در نهایت منجر به کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Salarpour Goraba and Farahbakhsh, 2016). همچنین، در شرایط آبیاری کامل، گیاه با بهره‌گیری از کلیه شرایط محیطی، توسعه اندام‌های رویشی و تولید مناسب مواد فتوسنتزی بیشترین تعداد غلاف را تولید می‌کند و در نتیجه بیشترین تعداد دانه از این سطح حاصل می‌شود و هر گونه تنشی باعث کاهش تعداد غلاف و تعداد دانه می‌شود (Imam and Zavareh, 2005).

در تنش کم‌آبی، برخی از گل‌های تلقیح شده مؤفق به دریافت کربوهیدرات کافی برای توسعه و پر نمودن دانه نخواهد شد و ناچاراً تعداد دانه کمتر می‌شود که با گزارش‌های حاصل از آزمایش محققان مطابقت دارد (Mastrodomenico *et al*., 2013).

تعداد ساقه فرعی:

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که همگی اثرات اصلی و اثرات متقابل (به جزء اثرات سه‌گانه) بر تعداد ساقه فرعی معنی‌دار شد (جدول ۲). در شرایط عدم تنش خشکی (شاهد) رقم نهاوند با میانگین ۴/۹۲ بیشترین تعداد ساقه فرعی را به خود اختصاص داد اما با افزایش تنش در شرایط تنش شدید رقم همدان با میانگین ۴/۴۰ بیشترین و رقم اصفهان با میانگین ۳/۷۰ کمترین تعداد ساقه فرعی را به خود اختصاص داد (شکل ۲). همچنین، با توجه به نتایج اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر تعداد ساقه فرعی، در شرایط تنش نرمال (شاهد) بیشترین تعداد ساقه فرعی از عدم محلول‌پاشی با میانگین ۴/۸۱، در تنش متوسط با محلول‌پاشی پنج میلی‌مولار بیشترین تعداد ساقه فرعی را با میانگین ۵/۰۲ و در نهایت در تنش شدید هر سه سطح محلول‌پاشی در یک کلاس قرار گرفتند (شکل ۳).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و محلول‌پاشی بر تعداد ساقه فرعی (شکل ۴) نشان داد در سطح اول محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید (عدم محلول‌پاشی) رقم نهاوند با ۴/۸۱ بیشترین تعداد ساقه فرعی و محلول‌پاشی ۲/۵ میلی‌مولار رقم همدان با ۴/۴۴ بیشترین تعداد ساقه فرعی و در محلول‌پاشی ۵ میلی‌مولار ارقام همدان و اصفهان به‌ترتیب با میانگین ۴/۶۱ و ۴/۵۷ بیشترین و رقم نهاوند با میانگین ۴/۲۳ کمترین تعداد ساقه فرعی را به خود اختصاص داد. کاهش

تعداد ساقه‌ها در گیاه در شرایط تنش به دلیل کاهش رطوبت خاک بود که باعث کاهش رشد رویشی گردیده است (Rahimizadeh *et al*., 2010).

قطر ساقه:

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بر قطر ساقه نشان داد که اثرات ساده و اثرات متقابل دوگانه (به جز تنش خشکی و سالیسیلیک اسید) و سه‌گانه بر قطر ساقه رازیانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج اثرات متقابل سه‌گانه نشان داد بیشترین قطر ساقه از عدم محلول‌پاشی و رقم نهاوند در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه (شاهد) به‌دست آمد و کمترین قطر ساقه از محلول‌پاشی ۲/۵ میلی‌مولار و رقم همدان در شرایط آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش متوسط) به‌دست آمد (جدول ۳). دلیل افزایش قطر ساقه را می‌توان به تجمع مواد و بیوماس بالاتر گیاه نسبت داد که با نتایج احتشامی و همکاران (Ehteshami *et al*., 2012) که همبستگی مثبت و معنی‌داری را با کلروفیل داشت، مطابقت دارد.

وزن تر بوته:

وزن تر بوته نیز تنها تحت تأثیر اثرات اصلی و اثر متقابل تنش خشکی و رقم در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و رقم نشان می‌دهد که در شرایط عدم تنش خشکی (شاهد) رقم نهاوند با ۳۰/۹۷ گرم بیشترین وزن تر بوته را به خود اختصاص داد اما با افزایش تنش در شرایط تنش متوسط رقم نهاوند با ۲۳/۵۰ گرم بیشترین وزن تر بوته را به خود اختصاص داد، اما در شرایط تنش هر سه رقم در یک کلاس آماری قرار گرفتند (شکل ۵). با کاهش مقدار آبیاری، ارتفاع بوته، قطر ساقه، سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و عملکرد گیاه ریحان کاهش پیدا کرد (Hasani *et al*., 2003; Moghaddam *et al*., 2015).

عملکرد اقتصادی:

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی و متقابل (به جز اثر متقابل رقم و سالیسیلیک اسید) بر عملکرد اقتصادی رازیانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). با توجه به نتایج اثرات سه‌گانه، بیشترین عملکرد اقتصادی از محلول‌پاشی ۵ میلی‌مولار و رقم اصفهان در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه (شاهد) به‌دست آمد و کمترین عملکرد اقتصادی از عدم محلول‌پاشی (شاهد) و رقم اصفهان در شرایط آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش شدید) به‌دست آمد که این کاهش عملکرد اقتصادی در حالت دوم ۸۴/۹۳ درصد کمتر از حالت اول بود (جدول ۴).

کاهش شدید عملکرد اقتصادی در شرایط تنش خشکی را می‌توان به تأثیر منفی تنش بر رشد رویشی و به‌ویژه اجزای عملکرد مربوطه دانست، زیرا بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فشار تورژسانس سلول‌های گیاهی در شرایط کمبود آب، می‌تواند قابلیت رشدی، فتوسنتزی و زایشی گیاه و درنهایت عملکرد اقتصادی رازیانه را کاهش دهد. کاهش عملکرد اقتصادی در شرایط تنش با نتایج تحقیقات موسوی و همکاران (Moosavi *et al*., 2014) در رازیانه مطابقت دارد. در آزمایش محتشمی و همکاران (Mohtashemi *et al*., 2015) بر گیاه دارویی رازیانه، بیشترین عملکرد اقتصادی از آبیاری کامل و کمترین میزان در شرایط تنش خشکی حاصل شد.

عملکرد بیولوژیکی:

عملکرد بیولوژیکی نیز تحت تأثیر اثر اصلی تنش (در سطح احتمال یک درصد)، سالیسیلیک اسید (در سطح احتمال پنج درصد) و اثر متقابل تنش خشکی و رقم با پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). اثر متقابل تنش خشکی و رقم نشان می‌دهد که در شرایط عدم تنش خشکی (شاهد) رقم نهاوند با ۲۷۲۸/۳ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد بیولوژیکی را به خود اختصاص داد اما با افزایش تنش در شرایط تنش متوسط رقم نهاوند با ۲۴۱۵/۸ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد بیولوژیکی را به خود اختصاص داد، اما در شرایط تنش شدید این رقم همدان بود که نسبت به دو رقم اصفهان و نهاوند با ۲۳۱۸/۷ کیلوگرم در هکتار بیشترین مقاومت را نسبت به تنش خشکی شدید نشان داد (شکل ۶).

به‌طورکلی، افزایش سطوح تنش خشکی عوامل رشد گیاه رازیانه و در نتیجه عملکرد بیولوژیکی رازیانه را کاهش داد، این مسئله احتمالاً نتیجه اختلال در فتوسنتز، تعرق و فرایندهای متابولیکی گیاه است که درنهایت کاهش عملکرد بیولوژیکی را به دنبال دارد. تنش خشکی از طریق اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی، عرضه مواد پرورده را کاهش داده و موجب تغییر در اجزای عملکرد و کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Pirasteh-Anosheh *et al.*, 2010). نتایج آزمایشی که بر گیاه گشنیز انجام شد نشان داد که خشکی باعث کاهش عملکرد بیولوژیک و اجزای عملکرد شد در مقابل سالیسیلیک اسید و مخلوط کود اوره سبب افزایش معنی‌دار در صفات مذکور گردید (Yeganpour *et al.*, 2016). پازکی و همکاران (Pazeki *et al.*, 2012) گزارش کردند که از نظر وزن خشک اندام هوایی گیاه آویشن بین سطوح آبیاری، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده گردید. در این شرایط، بیشترین میزان در شرایط آبیاری مطلوب و کمترین میزان در شرایط تنش آبی شدید حاصل گردید.

وزن هزار دانه:

وزن هزار دانه نیز تحت تأثیر اثرات سه جانبه رقم، تنش و سالیسیلیک اسید قرار گرفت و در سطح آماری یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج اثرات متقابل سه‌گانه نشان داد بیشترین وزن هزار دانه از محلول‌پاشی ۲/۵ میلی‌مولار و رقم همدان در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه (شاهد) به‌دست آمد و کمترین وزن هزار دانه از عدم محلول‌پاشی (شاهد) و رقم اصفهان در شرایط آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش شدید) به‌دست آمد (جدول ۴).

رنگدانه‌های فتوسنتزی

کلروفیل a و b:

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل سه‌گانه (رقم و تنش و سالیسیلیک اسید) بر کلروفیل a و b در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). نتایج اثرات متقابل سه‌گانه (جدول ۵) نشان داد بیشترین کلروفیل a از عدم محلول‌پاشی و رقم اصفهان در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش نرمال) به‌دست آمد و کمترین کلروفیل a از عدم محلول‌پاشی و رقم همدان در شرایط آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش شدید) به‌دست آمد که این کاهش کلروفیل a در حالت دوم ۴۰/۶۹ درصد کمتر از حالت اول بود. بیشترین کلروفیل b از محلول‌پاشی ۵ میلی‌مولار و رقم اصفهان در شرایط آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش متوسط) به‌دست آمد و کمترین

کلروفیل b از محلول‌پاشی ۲/۵ میلی‌مولار و رقم همدان در شرایط آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش متوسط) به‌دست آمد.

کاهش محتوای کلروفیل برگ در تنش خشکی به دلیل کاهش عوامل لازم جهت سنتز کلروفیل و تخریب ساختمان آن می‌باشد، به این معنی که کاتابولیسم کلروفیل در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد که علت عمده آن علاوه بر موارد ذکر شده می‌تواند پیری زودرس برگ‌ها در اثر اختلال هورمونی ناشی از تنش خشکی باشد (Kafi and Rustami, 2007). از عوامل دیگر کاهش محتوای کلروفیل در هنگام مواجه گیاهان با تنش خشکی، تولید گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن و متعاقب آن پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب کلروفیل است (Xiao *et al*., 2008).

کلروفیل کل:

با توجه به معنی‌داری اثرات سه‌گانه در سطح یک درصد، بیشترین کلروفیل کل از عدم محلول‌پاشی و رقم اصفهان در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش نرمال) به‌دست آمد و کمترین کلروفیل کل از محلول‌پاشی ۲/۵ میلی‌مولار و رقم نهاوند در شرایط آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش شدید) به‌دست آمد (جدول ۵). در آزمایشی بر گیاه بادمجان، در شرایط عدم تنش سرما و غلظت‌های صفر و ۱ میلی مولار سالیسیلیک اسید، محتوای کلروفیل a و b در بالاترین میزان بود. بیشترین ترکیبات کاروتنوئیدی در شرایط عدم تنش سرما همراه با غلظت‌های صفر، ۱ و ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید مشاهده شد.

کاروتنوئیدها:

نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی و رقم، اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل رقم و محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و رقم نشان می‌دهد که در شرایط عدم تنش خشکی (شاهد) رقم همدان و نهاوند به‌ترتیب با میانگین ۴/۶۷ و ۴/۶۶ بیشترین کاروتنوئیدها را به خود اختصاص داد اما با افزایش تنش در شرایط تنش متوسط رقم اصفهان با ۴/۰۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بیشترین کاروتنوئیدها را به خود اختصاص داد، اما در شرایط تنش شدید رقم همدان و اصفهان نسبت به رقم نهاوند برتری داشتند (شکل ۷). با توجه به شکل ۸، نتایج اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر کاروتنوئیدها نشان داد در شرایط تنش نرمال بیشترین کاروتنوئیدها از محلول‌پاشی ۲/۵ میلی‌مولار با میانگین ۴/۴۴ میلی‌گرم در لیتر وزن تر و در تنش شدید با محلول‌پاشی ۵ میلی‌مولار بیشترین کاروتنوئیدها را با میانگین ۳/۶۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر نشان داد.

نتایج اثر متقابل رقم و محلول‌پاشی بر کاروتنوئیدها نشان داد در رقم همدان بیشترین کاروتنوئیدها از محلول‌پاشی ۵ میلی‌مولار، در رقم نهاوند ۲/۵ میلی‌مولار و در رقم اصفهان محلول‌پاشی ۵ میلی‌مولار بیشترین کاروتنوئیدها را شامل شد (شکل ۹). کاروتنوئیدها نور را در طول موج‌هایی جذب می‌کنند که توسط کلروفیل‌ها جذب نمی‌شود بنابراین، گیرنده نوری مکمل می‌باشند (Mohammadi, 2008).

آنتوسیانین:

نتایج اثرات متقابل سه‌گانه نشان می‌دهد بیشترین آنتوسیانین از عدم محلول‌پاشی و رقم اصفهان در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت

مزرعه به‌دست آمد و کمترین آنتوسیانین از محلول‌پاشی ۵ میلی‌مولار و رقم اصفهان در شرایط آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش شدید) به‌دست آمد (جدول ۵).

متابولیت‌های سازگاری

قندهای محلول:

اثر متقابل تنش خشکی و رقم، اثرات سه‌جانبه در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل تنش خشکی در محلول‌پاشی و رقم در محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). نتایج اثرات متقابل سه‌گانه نشان می‌دهد بیشترین قندهای محلول از محلول‌پاشی ۵ میلی‌مولار و رقم اصفهان در شرایط آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش شدید) به‌دست آمد و کمترین میزان قندهای محلول از محلول‌پاشی ۵ میلی‌مولار و رقم همدان در شرایط آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش شدید) به‌دست آمد (جدول ۵).

انباشت قندهای محلول در شرایط تنش خشکی و شوری، در تنظیم اسمزی سلولی، حفظ تورژسانس و پایداری مولکول‌های زیستی و غشاها نقش مهم ایفا کرده و کمک می‌کند تا پتانسیل آب سلول کاهش یافته و آب بیشتری برای حفظ تورگر تحت شرایط تنش خشکی داخل سلول باقی بماند (Farahat *et al*., 2007). در این تحقیق در شرایطی که گیاه رازیانه تحت تنش خشکی قرار داشت مقدار قندهای محلول افزایش قابل توجهی نشان داد. این نتایج با سایر گزارش‌های دیگر در مورد گیاه ترخون (Lotfi *et al*., 2014) و سیاهدانه (Rezapor *et al*., 2011) مطابقت دارد.

پرولین:

نتایج نشان داد اثر متقابل رقم و محلول‌پاشی، اثر متقابل سه‌گانه رقم، تنش خشکی و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). نتایج اثرات متقابل سه‌گانه نشان می‌دهد بیشترین پرولین از محلول‌پاشی ۵ میلی‌مولار و رقم اصفهان در شرایط آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش شدید) به‌دست آمد و کمترین پرولین از عدم محلول‌پاشی و همدان در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه (شاهد) به‌دست آمد (جدول ۵). پرولین یکی از اسید آمینه‌های فعال در پدیده تنظیم اسمزی می‌باشد که در ایجاد و حفظ فشار اسمزی درون گیاه نقش به‌سزایی دارد (Abbaszadeh *et al*., 2008).

نتایج آزمایشی سطوح مختلف تنش خشکی بر چای ترش نشان داد تنش خشکی سبب افزایش مقدار پرولین شد (Sanjari Mijani *et al*., 2015). افزایش ۴۵ درصدی پرولین در تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، در مطالعه‌ی حاضر در تطابق با افزایش تولید پرولین در گیاه در مواجه با تنش خشکی است (Simon-Sarkadi *et al*., 2006). در گزارشی، تأثیر متقابل تنش سرما و سالیسیلیک اسید بر بادمجان نشان داد در شرایط تنش سرما، محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید ۳ میلی‌مولار سبب افزایش محتوای پرولین و کربوهیدرات‌های محلول هم در برگ و هم در ریشه شد (Farzaneh *et al*., 2013).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این آزمایش نشان داد که عملکرد و اجزای عملکرد، رنگدانه‌های فتوسنتزی و متابولیت‌های سازگاری گیاه دارویی رازیانه تحت تأثیر تنش و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید قرار گرفت، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه از آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی با محلول‌پاشی ۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به‌دست آمد. از

این‌رو، می‌توان این سطح از سالیسیلیک اسید را برای منطقه مورد آزمایش پیشنهاد کرد. در مجموع با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش می‌توان گفت که در صورت کمبود آب در منطقه، با کاهش آبیاری در مرحله زایشی و در نتیجه صرفه‌جویی در مصرف آب، می‌توان عملکرد مناسبی به‌دست آورد. همچنین، با توجه به اینکه بیشترین خسارت وارد شده بر عملکرد بیولوژیکی و عملکرد اقتصادی در تیمار تنش خشکی در مرحله رشد رویشی مشاهده شد، تأمین نیاز آبی رازیانه در مرحله رشد رویشی ضروری به نظر می‌رسد. در این آزمایش کاربرد سالیسیلیک اسید به‌ویژه غلظت ۵ میلی‌مولار به‌عنوان بهترین تیمار برای حصول حداکثر عملکرد دانه در شرایط تنش شناخته شد. بهترین رقم از نظر عملکرد دانه رقم اصفهان با محلول‌پاشی ۵ میلی‌مولار در شرایط آبیاری کامل حاصل گردید.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق ۳۰ سانتی‌متری

Table 1- Some of physical and chemical characteristics of the soil are tested at a depth of 30 cm

بافت خاک Soil texture	رس Clay	شن Sand	لوم Loam	سدیم Sodium	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus	نیتروژن Nitrogen	ماده آلی Organic matter	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی E.C.
	(%)			(mg/kg)			(%)	(%)		(dS/m)
Loam-Sand	31.6	48	20.4	434	115	8.2	0.05	0.81	7.4	1.46

جدول ۲- تجزیه واریانس ویژگی‌های کمی رازیانه تحت تأثیر تنش خشکی، سالیسیلیک اسید و رقم

Table 2- Analysis of variance of quantitive characteristics of affected by drought stress, salicylic acid and cultivar

منابع تغییرات Sources of Variation	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات (Mean of squares)				
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد چتر در بوته Number of umbrella per plant	تعداد چترک در چتر Number of umbrella in the umbrella	تعداد دانه در چترک Number of seed in the umbrella	تعداد ساقه فرعی Number of Lateral branches
تکرار Replication	2	3.83	7.55	0.99	0.37	0.05
تنش خشکی Drought stress (Ds)	2	190.60**	74.42**	16.91**	39.62**۳۹	1.16**
خطای فرعی Main error	4	13.39	2.95	0.31	0.35	0.11
رقم Cultivar	2	6.14^{ns}	9.88**	25.39**	0.97^{ns}	1.00**
سالیسیلیک اسید Salicylic acid (Sa)	2	53.38*	18.71**	0.01^{ns}	12.31**	0.66*
تنش خشکی× رقم (Ds)× (Sa)	4	41.92*	5.78**	4.87**	6.54**	0.92**
خشکی× سالیسیلیک اسید (Ds)× (Sa)	4	42.49**	1.71^{ns}	2.70*	5.65**	1.90**
رقم× سالیسیلیک اسید Cultivar×Salicylic acid	4	30.03*	0.70^{ns}	2.58*	7.27**	1.20**
رقم× خشکی× سالیسیلیک اسید (Ds)× (Sa)×(C)	8	29.22*	0.98^{ns}	2.61*	4.12**	0.27^{ns}
خطای فرعی Sub error	48	11.23	0.93	0.91	0.46	0.60
ضریب تغییرات C.V.%	-	4.94	6.78	9.03	7.32	9.00

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ۱ درصد و عدم معنی‌داری

*, ** and ns are significant at 5% and 1% respectively and are not significant

ادامه جدول ۲-

Table 2- Continued

منابع تغییرات Sources of Variation	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات (Mean of squares)				
		قطر ساقه Stem diameter	وزن تر بوته Fresh weight of the plant	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	عملکرد اقتصادی Economic yield
تکرار Replication	2	0.0005	36.26	0.26	69806.31	46274.39
تنش خشکی Drought stress (Ds)	2	0.066**	718.64**	2.40**	1153880.57**	3550845.07**
خطای فرعی Main error	4	0.002	23.22	0.42	278318.40	12796.47
رقم Cultivar	2	0.013**	27.24**	0.69**	89852.00^{ns}	364544.92**
سالیسیلیک اسید Salicylic acid (Sa)	2	0.018**	53.35**	0.08^{ns}	228023.51*	444205.44**
تنش خشکی× رقم (Ds)× (Sa)	4	0.006**	19.24**	0.06^{ns}	154135.55*	133899.38**
خشکی× سالیسیلیک اسید (Ds)× (Sa)	4	0.001^{ns}	3.29^{ns}	0.07^{ns}	48752.51^{ns}	160331.01**
رقم× سالیسیلیک اسید Cultivar×Salicylic acid	4	0.01**	3.23^{ns}	0.26**	41229.95^{ns}	24510.41*
رقم× خشکی× سالیسیلیک اسید (Ds)× (Sa)×(C)	8	0.009**	2.70^{ns}	0.18**	39181.56^{ns}	88699.76**
خطای فرعی Sub error	48	0.001	1.82	0.04	48669.09	8373.16
ضریب تغییرات C.V.%	-	6.33	5.74	5.62	9.24	9.04

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ۱ درصد و عدم معنی‌داری

*, ** and ns are significant at 5% and 1% respectively and are not significant

جدول ۳- تجزیه واریانس ویژگی‌های کیفی رازیانه تحت تأثیر تنش خشکی، سالیسیلیک اسید و رقم

Table 3- Analysis of variance of quantitive characteristics of fennel affected by drought stress, salicylic acid and cultivar

منابع تغییرات Sources of Variation	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات (Mean of squares)						
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Chlorophyll a+b	کاروتنوئیدها Carotenoides	آنتوسیانین Anthocyanin	قندهای محلول Solubles suger	پرولین Peroline
تکرار Replication	2	0.81	0.07	1.12	0.27	0.14	0.11	0.03
تنش خشکی Drought stress (Ds)	2	20.68**	4.82**	41.73**	4.03**	8. 24**	4.51**	0. 27**
خطای فرعی Main error	4	3.60	0.06	4.29	0.58	0.11	0.89	0.005
رقم Cultivar	2	2.04^{ns}	0.17^{ns}	3.41^{ns}	0.56**	3.60**	7.70**	0.14**
سالیسیلیک اسید Salicylic acid (Sa)	2	0.56^{ns}	0.44^{ns}	1.31^{ns}	0.12^{ns}	1.42**	0.04^{ns}	0.13**
تنش خشکی× رقم (Ds)× (Sa)	4	2.67*	2.15**	4.93**	2.12**	0.87**	1.69**	0.004^{ns}
تنش خشکی× سالیسیلیک اسید (Ds)× (Sa)	4	3.33**	1.87**	6.57**	0.51**	1.35**	0.53*	0.01^{ns}
رقم× سالیسیلیک اسید Salicylic Cultivar×acid	4	9.50**	2.06**	15.84**	0.32*	3.26**	0.46*	0.02**
رقم×تنش خشکی× سالیسیلیک اسید (Ds)× (Sa)×(C)	8	10.02**	1.54**	15.85**	0.16^{ns}	2.15**	0.45**	0.03**
خطای فرعی Sub error	48	0./77	0.19	1.14	0.09	0.13	0.13	0.007
ضریب تغییرات C.V.%	-	7.48	8.44	6.27	8.11	7.64	6.53	5.08

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ۱ درصد و عدم معنی‌داری

*, ** and ns are significant at 5% and 1% respectively and are not significant

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه تنش خشکی، رقم و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر ویژگی‌های کمی رازیانه

Table 4- Comparison means of triple effects of drought stress, cultivar and application of salicylic acid on quantitive characteristics of fennel

تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی) Drought stress	رقم cultivar	اسید سالیسیلیک salicylic acid (mMol)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد چترک در چتر Number of umbrellas in the umbrella	تعداد دانه در چترک Number of seeds in the umbrella	قطر ساقه Stem diameter (mm)	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	عملکرد اقتصادی Economic yield ($kg.ha^{-1}$)
90	Hamedan	0	69.88^{a}	11.84^{a-c}	9.14^{bc}	0.60^{ab}	4.00^{a-d}	1051.76^{e-g}
		2.5	68.22^{a}	11.03^{a-d}	9.22^{bc}	0.52^{a-f}	4.54^{a}	1336.94^{c-e}
		5	70.77^{a}	12.26^{ab}	9.25^{bc}	0.58^{a-c}	4.52^{ab}	1512.78^{a-c}
	Nahavand	0	73.11^{a}	12.54^{a}	10.00^{bc}	0.62^{a}	4.53^{a}	1387.20^{cd}
		2.5	71.05^{a}	12.45^{ab}	10.00^{bc}	0.59^{a-c}	3.93^{a-d}	1435.40^{cd}
		5	71.44^{a}	12.65^{a}	10.66^{b}	0.60^{ab}	4.25^{a-c}	1754.64^{ab}
	Esfahan	0	72.89^{a}	11.54^{a-c}	9.00^{bc}	0.58^{a-c}	4.29^{a-c}	1331.48^{c-e}
		2.5	68.33^{a}	8.99^{c-e}	9.33^{bc}	0.52^{a-f}	3.71^{a-d}	899.46^{f-j}
		5	72.22^{a}	9.97^{a-e}	15.66^{a}	0.54^{a-d}	3.59^{cd}	1826.69^{a}
60	Hamedan	0	63.66^{ab}	10.04^{a-e}	9.78^{bc}	0.49^{c-g}	3.83^{a-d}	987.94^{f-i}
		2.5	70.00^{a}	11.67^{a-c}	10.00^{bc}	0.37^{h}	3.84^{a-d}	117.34^{d-f}
		5	68.66^{a}	11.82^{a-c}	10.00^{bc}	0.57^{a-c}	3.55^{cd}	1190.6^{d-f}
	Nahavand	0	64.44^{a}	10.61^{a-d}	9.48^{bc}	0.58^{a-c}	3.57^{cd}	982.86^{f-i}
		2.5	64.11^{a}	9.53^{b-e}	9.74^{bc}	0.55^{a-d}	3.74^{a-d}	957.57^{f-i}
		5	65.44^{a}	9.56^{b-e}	9.66^{bc}	0.44^{d-h}	3.80^{a-d}	1032.71^{e-h}
	Esfahan	0	66.66^{a}	9.04^{c-e}	9.96^{bc}	0.50^{d-h}	3.62^{b-d}	717.11^{h-k}
		2.5	66.66^{a}	10.34^{a-d}	9.70^{bc}	0.49^{c-g}	3.69^{a-d}	886.28^{f-j}
		5	70.00^{a}	9.98^{a-e}	9.81^{bc}	0.39^{gh}	3.30^{d}	792.33^{g-k}
40	Hamedan	0	66.66^{a}	11.16^{a-c}	8.00^{c}	0.58^{a-c}	3.54^{cd}	711.31^{i-k}
		2.5	70.00^{a}	10.82^{a-d}	8.33^{c}	0.44^{d-h}	3.64^{a-d}	762.09^{j-k}
		5	67.33^{a}	11.84^{a-c}	8.33^{c}	0.54^{a-d}	3.86^{a-d}	991.93^{f-i}
	Nahavand	0	66.66^{a}	10.62^{a-d}	8.03^{c}	0.51^{a-f}	3.72^{a-d}	676.40^{i-k}
		2.5	66.66^{a}	9.87^{a-e}	8.70^{bc}	0.42^{f-h}	3.77^{a-d}	709.80^{j-k}
		5	66.66^{a}	9.79^{a-e}	8.55^{bc}	0.50^{b-f}	3.54^{cd}	750.56^{g-k}
	Esfahan	0	53.33^{b}	8.09^{de}	5.00^{d}	0.43^{e-h}	3.71^{a-d}	275.15^{l}
		2.5	66.66^{a}	10.37^{a-d}	8.18^{c}	0.53^{a-e}	3.27^{d}	643.39^{jk}
		5	70.00^{a}	7.20^{e}	8.52^{bc}	0.43^{e-h}	3.44^{cd}	520.92^{kl}

وجود حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

The presence of different letters indicates a significant difference at the 5% probability level by Duncan's multiple range test.

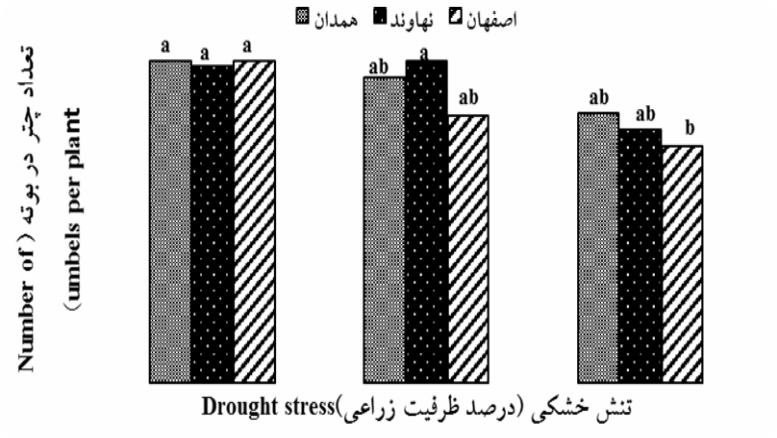
جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه تنش خشکی، رقم و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر ویژگی‌های کیفی عملکرد رازیانه

Table 5- Comparison means of triple effects of drought stress, cultivar and application of salicylic acid on quantitive characteristics of fennel

تنش خشکی Drought stress (F.C.%)	رقم cultivar	اسید سالیسیلیک salicylic acid (mMol)	کلروفیل a Chlorophyll a ($mg.g^{-1}FW$)	کلروفیل b Chlorophyll b ($mg.g^{-1}FW$)	کلروفیل کل Chlorophyl la+b ($mg.g^{-1}FW$)	آنتوسیانین Anthocyanin ($mg.100\ mL^{-1}$)	قندهای محلول Solubles suger ($mg.g^{-1}FW$)	پرولین Peroline ($\mu mol.g^{-1}$)
90	Hamedan	0	10.88^{c-f}	4.71^{f-i}	15.59^{d-f}	4.45^{d-f}	4.68^{de}	1.46^{d}
		2.5	14.51^{ab}	5.14^{c-i}	19.65^{a-c}	5.11^{b-e}	4.96^{de}	1.60^{b-d}
		5	13.71^{a-c}	5.52^{a-h}	19.24^{a-d}	5.10^{b-e}	5.13^{de}	1.56^{b-d}
	Nahavand	0	12.34^{b-f}	4.49^{d-i}	17.25^{b-f}	5.76^{bc}	5.39^{d}	1.49^{cd}
		2.5	13.91^{a-c}	6.41^{a-c}	20.32^{ab}	7.22^{a}	5.18^{de}	1.57^{b-d}
		5	11.48^{b-f}	5.10^{c-i}	16.58^{c-f}	4.75^{b-f}	5.71^{cd}	1.65^{b-d}
	Esfahan	0	16.39^{a}	6.20^{a-e}	22.59^{a}	7.56^{a}	5.28^{de}	1.60^{b-d}
		2.5	10.06^{ef}	6.00^{a-f}	16.06^{c-f}	4.59^{d-f}	5.64^{d}	1.65^{b-d}
		5	11.45^{b-f}	5.43^{b-i}	16.88^{b-f}	4.46^{d-f}	5.81^{cd}	1.69^{b-d}
60	Hamedan	0	12.20^{b-f}	5.79^{a-g}	17.99^{b-f}	4.52^{d-f}	5.03^{de}	1.51^{cd}
		2.5	11.33^{c-f}	4.11^{i}	15.44^{ef}	3.95^{ef}	4.96^{de}	1.56^{b-d}
		5	13.63^{a-d}	6.86^{a}	20.49^{ab}	4.00^{ef}	5.20^{de}	1.63^{b-d}
	Nahavand	0	10.42^{e-f}	4.53^{g-i}	14.96^{f}	4.08^{ef}	5.26^{de}	1.53^{b-d}
		2.5	12.32^{b-f}	6.66^{ab}	18.99^{a-e}	5.83^{b}	5.33^{de}	1.57^{b-d}
		5	12.00^{b-f}	6.23^{a-d}	18.23^{b-f}	5.43^{b-d}	5.51^{d}	1.62^{b-d}
	Esfahan	0	10.87^{c-f}	4.48^{g-i}	15.26^{f}	4.21^{ef}	5.55^{d}	1.66^{b-d}
		2.5	11.47^{b-f}	5.09^{c-i}	16.56^{c-f}	4.65^{c-f}	5.59^{d}	1.71^{b-d}
		5	10.28^{e-f}	5.00^{d-i}	15.28^{ef}	4.33^{d-f}	5.67^{cd}	1.75^{bc}
40	Hamedan	0	10.90^{c-f}	5.66^{a-g}	16.57^{c-f}	4.06^{ef}	5.61^{d}	1.81^{b}
		2.5	9.72^{f}	5.27^{c-i}	15.00^{f}	4.30^{d-f}	5.79^{b-d}	1.69^{b-d}
		5	11.31^{c-f}	4.34^{hi}	15.66^{d-f}	4.23^{ef}	3.95^{e}	1.72^{b-d}
	Nahavand	0	10.88^{c-f}	4.43^{hi}	15.31^{ef}	4.26^{ef}	5.74^{cd}	1.63^{b-d}
		2.5	10.31^{ef}	4.38^{hi}	14.69^{f}	4.14^{ef}	5.79^{b-d}	1.73^{b-d}
		5	13.16^{b-f}	4.56^{g-i}	17.72^{b-f}	4.69^{b-f}	6.01^{a-d}	1.77^{bc}
	Esfahan	0	11.11^{c-f}	4.86^{e-i}	15.97c-f	5.46^{b-d}	7.12^{ab}	1.66^{b-d}
		2.5	11.33^{c-f}	4.32^{hi}	15.66^{d-f}	4.83^{b-f}	7.03^{a-c}	1.73^{b-d}
		5	10.52^{d-f}	4.68^{f-i}	15.21^{f}	3.92^{f}	7.26^{a}	2.23^{a}

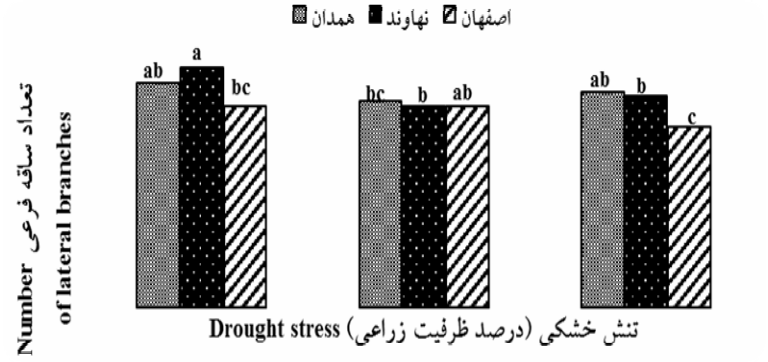
وجود حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

The presence of different letters indicates a significant difference at the 5% probability level by Duncan's multiple range test.



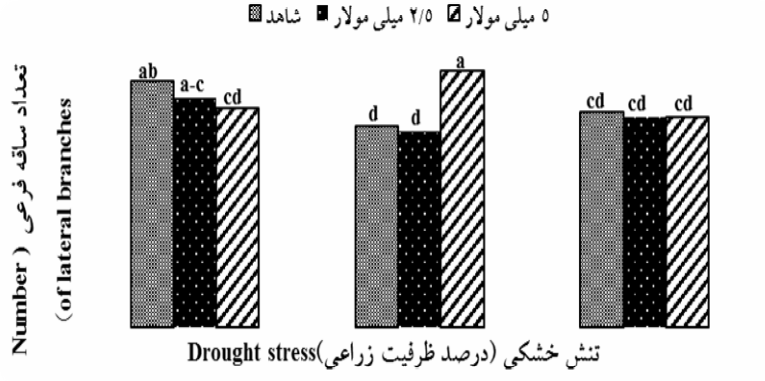
شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و رقم بر تعداد چتر در بوته رازیانه

Figure 1- Means of comparison of the interactions effects of drought stress and cultivar on number of umbrella per plant in fennel



شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و رقم بر تعداد ساقه فرعی رازیانه

Figure 2- Means of comparison of the interactions effects of drought stress and cultivar on number of lateral branches in fennel

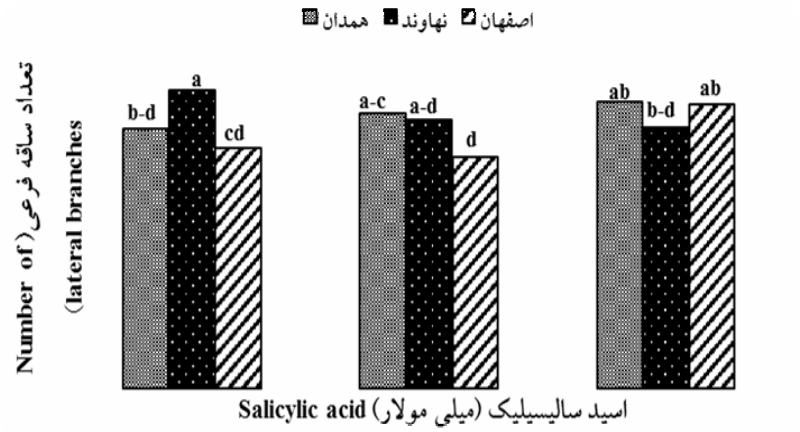


شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر تعداد ساقه فرعی رازیانه

Figure 3- Means of comparison of the interactions effects of drought stress and cultivar on number of lateral branches in fennel

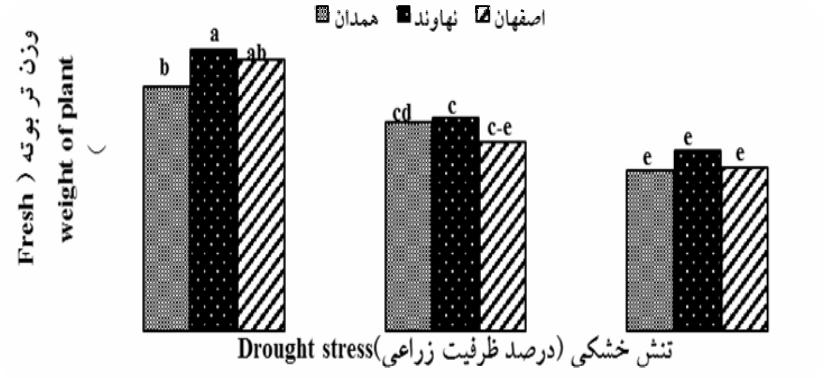
وجود حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

The presence of different letters indicates a significant difference at the 5% probability level by Duncan's multiple range test.



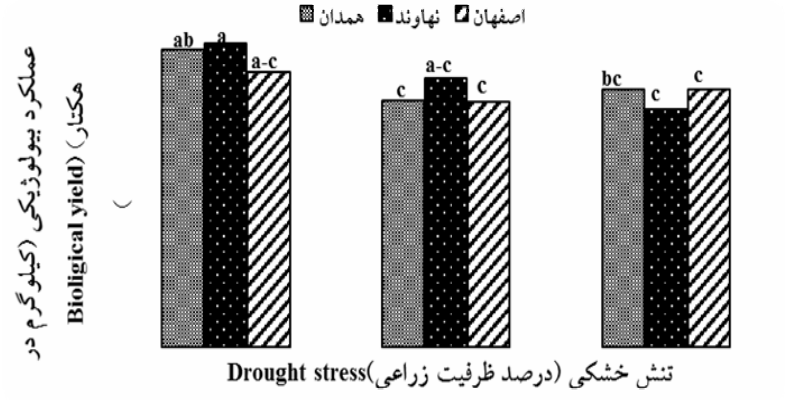
شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل سالیسیلیک اسید و رقم بر تعداد ساقه فرعی رازیانه

Figure 4- Means of comparison of the interactions effects of salicylic acid and cultivar on number of lateral branches in fennel



شکل ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و رقم بر وزن تر بوته رازیانه

Figure 5- Means of comparison of the interactions effects of drought stress and cultivar on fresh weight of the plant in fennel

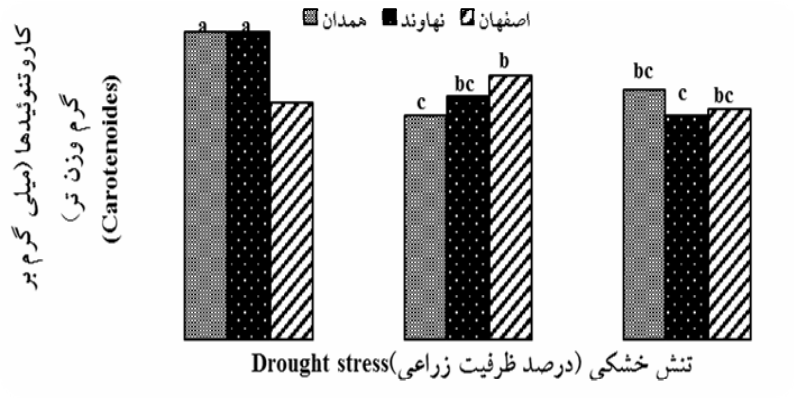


شکل ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و رقم بر عملکرد بیولوژیکی رازیانه

Figure 6- Means of comparison of the interactions ffects of drought stress and cultivar on biological yield in fennel

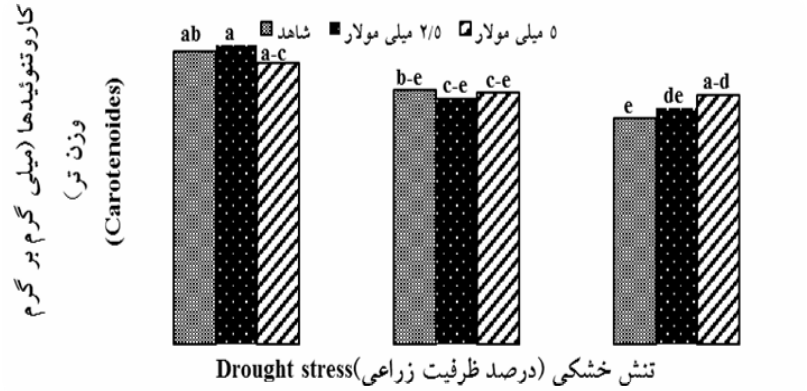
وجود حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

The presence of different letters indicates a significant difference at the 5% probability level by Duncan's multiple range test.



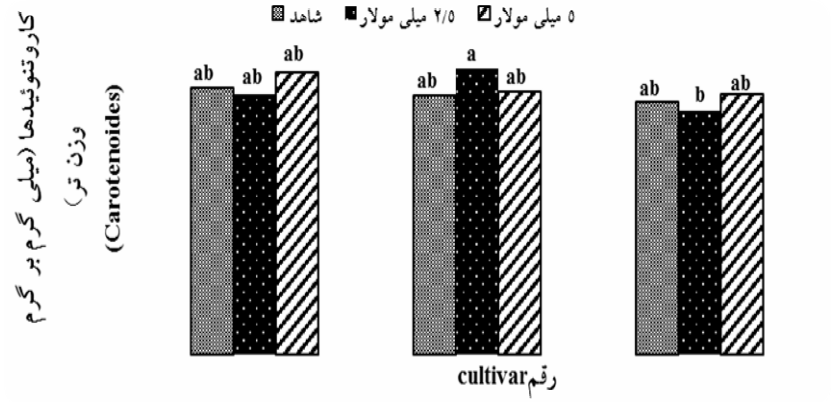
شکل ۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و رقم بر کاروتنوئیدهای رازیانه

Figure 7- Means of comparison of the interactions effects of drought stress and cultivar on carotenoids in fennel



شکل ۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر کاروتنوئیدهای رازیانه

Figure 8- Means of comparison of the interactions effects of drought stress and salicylic acid on carotenoids in fennel



شکل ۹- مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و سالیسیلیک اسید بر کاروتنوئیدهای رازیانه

Figure 9- Means of comparison of the interactions effects of cultivar and salicylic acid on carotenoids in fennel

وجود حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

The presence of different letters indicates a significant difference at the 5% probability level by Duncan's multiple range test.

References منابع مورد استفاده

- Abbaszadeh, B., E. Sharifi Ashourabadi, M.H. Lebaschi, M. Naderi Hajibagher Kandi, and F. Moghadami. 2008. The effect of drought stress on proline contents, soluble sugars, chlorophyll and relative water contents of balm (*Melissa officinalis* L.). *Iranian Journal of Medician and Aromatic Plant*s. 23(4): 504-513. (In Persian).
- Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*. 23:112-121.
- Azimi, M.S., J. Daneshian, S. Sayfzadeh, and S. Zare. 2013. Evaluation of amino acid and salicylic acid application on yield and growth of wheat under water deficit. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences.* 5(7): 709-712.
- Bates, L.S., R.P. Waldern, and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil.* 39(1): 205-207.
- Bazazi, N., M. Khadmabashi, and Sh. Mohammadi. 2013. The effect of drought stress on morphological characteristics and yield components of medicinal plant fenugreek. *Journal of Crop Production and Processing.* 3(8): 11-23. (In Persian).
- Belkhadi, A., H. Hediji, Z. Abbes, I. Nouairi, Z. Barhoumi, M. Zarrouk, W. Chaibi, and W. Djebali. 2010. Effects of exogenous salicylic acid pre-treatment on cadmium toxicity and leaf lipid content in *Linum usitatissimum* L. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 73: 1004–1011.
- Bruyas-Bertholon, V., A. Lachaux, J.P. Dubosi, L. Fourneret, and L. Letrilliart. 2012. Quels traitements pour les coliques du nourrisson? Which treatments forinfantile colis? *La Presse Medicale*. 41(7-8): 404-410.
- Diaaz-Maroto, M.C., M.S. Pearez-Coello, J. Esteban, and J. Sanz. 2006. Comparison of the volatile composition of wild fennel samples (*Foeniculum vulgare* Mill.) from Central Spain. *Journal of Agricultural Food Chemistry.* 54 (18): 6814–6818.
- Drazic, G., and N. Mihailovic. 2005. Modification of cadmium toxicity in soybean seedlings by salicylic acid. *Plant Science.* 168 (2): 511–517.
- Ehteshami, S.M.R., P, Ebrahimi, and B. Zand. 2012. Investigation of quantitative and qualitative characteristics of silage corn genotypes in Varamin region. *Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences.* 5(4): 19-38. (In Persian).
- Farahat, M.M., M.M.S. Ibrahim, L.S. Taha, and E.M.F. El-Quesni. 2007. Response of vegetative growth and some chemical constituents of *Cupressus sempervirens* L. to foliar application of ascorbic acid and zinc at Nubaria. *World Journal of Agricultural Sciences.* 3(4): 496-502.
- Farahbakhsh, H., and M. Shamsaddin Saiid. 2011. Effects of foliar application of salicylic acid on vegetative growth of maize under saline conditions. *African Journal of Plant Science.* 5(10): 575-578.
- Farzaneh, M., M. Ghanbari, A.R. Eftekharian-Jahromi, and S.H. Javanmardi. 2013. The effect of salicylic acid spraying on the amount of osmolites and photosynthetic pigments of Eggplant (*Solanum melongena* L.) under cold stress. *Iranian Journal of Plant Ecophysiology.* 32 (8): 83-75. (In Persian).
- Hamedi, S., A.S. Mehregan, and M.J. Melkoty. 2005. The role of balanced nutrition in reducing the adverse effects of drought on plants. Technical publication No. 424. Senate publications. Tehran Water and Soil Research Institute. (In Persian).

- Hamroudi, I., B.S. Hamadi, and B. Marzouk. 2001. Comparsion components and oil content of selected safflower (*Carthamus tinctorius* L.) accessions in Tunisia. Fifth International safflower Conference. Sidney. ars. usda. gov/ state/ safflon.
- Hasani, A., R. Omidbiqi, and H. Heydari Sharifabad. 2003: A sudy on some indices of drought resistance in basil. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources.* 10 (4): 65-74. (In Persian).
- Hasanzadeh Ghourt-tapeh, A., M. Ghalavand, R. Ahmadi, and K.H. Mirnia. 2001. The effect of chemical, organic and integrated fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of sunflower varieties in elemental uptake. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources.* 4(4): 19-29. (In Persian).
- Hassanpour, H., and V. Niknam. 2014. Effect of water deficit stress on growth and antioxidant enzyme activity of *Mentha pulegium* L. at flowering stage. *Journal of Plant Process and Function.* 3(8): 25-34.
- Hayat, S., B. Ali, and A. Ahmad. 2007. Salicylic acid: Biosynthesis, metabolism and physiological role in plants. Salicylic acid: A plant hormone. 1-14.
- Imam, Y., and H. Zavareh. 2005. Drought tolerance in higher plants: (Genetical, physiological and molecular biological analysis) (translation). Center for Academic Publication.
- Irigoyen, J.J., D.W. Einerich, and M. Sanchez Diaz. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sative*) plants. *Physiologia Plantarum.* 84: 55-66.
- Kafi, M., and M. Rustami. 2007. Effect of drought stress in reproductive stage on yield and yield components and oil content of three safflower cultivars under irrigated conditions with saline water. *Iranian Journal of Agricultural Research.* 5(1): 131-121. (In Persian).
- Khan, M., and S.H. Musharaf. 2014. *Foeniculum vulgare* Mill. A medicinal herb. *Medicinal Plant Research.* 4(6):46-54.
- Koochaki, A., M. Nasiri Mahallati, and G. Azizi. 2006. The effect of different irrigation intervals and plant densities on yield and yield components of two fennel (*Foenicolum vulgar*) landraces. *Iranian Journal Agricultural. Research.* 4(1): 131-140. (In Persian).
- Lebaschi, M., and A. Sharifi Ashoorabadi. 2004. Growth indices of some herbs in different conditions of drought stress. *Iranian Journal of Medicinal Plants and Herbs Research.* 20(3): 241-269. (In Persian).
- Lotfi, M., B. Abbaszadeh, and M. Mirza. 2014. The effect of drought stress on morphology, proline content and soluble carbohydrates of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants.* 30(1): 19-29. (In Persian).
- Mastrodomenico, A.T., L.C. Purcellb, and C.A. King. 2013. The response and recovery of nitrogen fixation activity in soybean to water deficit at different reproductive developmental stages. *Environmental and Experimental Botany.* 85: 16–21.
- Moghaddam, M., M. Alirezaei Naghdar, Y. Saharvarzi, and M. Ghodani. 2015. The effect of drought stress on some morphological and physicochemical

characteristics of three cultivars of Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science.* 46(3): 507-521. (In Persian).

- Mohammadi, R. 2008. Leningrad's biochemistry principles (Nelson Cox). Editorial references fourth edition, Jalalum, p. 740-760. (In Persian).
- Mohtashemi, F., M. Pouryousef, B. Andalibi, and F. Shekari. 2015. Effects of seed priming and foliar application of salicylic acid on yield and essence of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress condition. *Iranian Journal of Research of Medicinal Plants and Aromatic Plants.* 31(5): 840-852. (In Persian).
- Moosavi, S.M., S.G.R. Moosavi, and M.J. Seghatoleslami. 2014. Effect of drought stress and nitrogen levels on growth, fruit and essential oil yield of fennel (*Foenicolum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants.* 30(3): 453-461.
- Mortazavi, S.N., F. Khodabandlu, and M.H. Azimi. 2016. Effect of different concentrations of cycocel and salicylic acid on morphophysiological traits of ornamental cabbage. *Journal of Horticulture Science (Science and Technology).* 30 (4): 590-596. (In Persian).
- Oktay, M., I. Gulcin, and O.I. Kufrevioglu. 2003. Determination of *in vitro* antioxidant activity of fennel (*Foeniculum vulgare*) seed extracts. *LWT-Food Science and Technology.* 36(2): 263-271.
- Pazeki, A.R., H. Rezaei, D. Habibi, and F. Paknezhad. 2012. Effect of drought stress, ascorbate and gibberellin foliar application on some morphological traits, RWC and cell membrane stability of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding.* 8(1): 1-13. (In Persian).
- Pirasteh-Anosheh, H., R. Moradi, A. Saed, and Y. Emam. 2010. Investigation of drought stress indifferent stages on yield and yield components of four maize hybrids. 1st International Conference on Water Resources, Shahrood, Iran. 61, http://www.civilica.com.
- Rahimizadeh, M., A. Kashani, A. ZareFeizabadi, H. Madani, and E. Soltani. 2010. Effect of micronutrient fertilizers on sunflower growth and yield in drought stress condition. *Journal of Crop Production.* 3(1): 57-72. (In Persian).
- Rezaei-Chianeh, E. 2012. Effect of different irrigation treatments on essential oil accumulation, its compounds and some ecophysiological traits in fennel (*Foeniculum vulgare*). Ph.D. Thesis Department of Plant Eco-physiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. (In Persian).
- Rezaenejad, Y., and M. Afyuni. 2001. Effect of organic matter on soil chemical properties and corn yield and elemental uptake. *JWSS - Journal of Water and Soil Science.* 4(4):19-29. (In Persian).
- Rezapor, A.R., M. Heidari, M. Galavi, and M. Ramrodi. 2011. Effect of water stress and different amounts of sulfur fertilizer on grian yield, grain yield components and osmotic adjustment in *Nigella sativa* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants.* 27(3):384-396. (In Persian).
- Salarpour Goraba, F., and H. Farahbakhsh. 2016. Effect of salicylic acid on some physiological traits, yield and yield components of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants.* 32 (2): 216-230. (In Persian).

- Sanjari Mijani, M.A. Siroosmehr, and B.A. Fakheri. 2015. The effects of drought stress and humic acid on some physiological characteristics of Roselle (*Hibiscus sabdarifa*). *Agricultural Crop Management*. 17(2): 403-414. (In Persian).
- Shahram, A.S., and N. Daneshi. 2005. The most suitable irrigation interval and the amount of water needed in the agriculture of white beans. Iranian Soil Sciences Congress, Tehran, September 6-9, 2005. 4 p. (In Persian).
- Simon-Sarkadi, L., G. Kocsy, A. Varhegyi, G. Galiba, and J.A. De ronde. 2006. Effect of drought stress at supraoptimal temperature on polyamine concentrations in transgenic soybean with increased proline levels. *Indian Journal of Medical Research.* 61(11): 833-839.
- Xiao, X., X. Xu, and F. Yang. 2008. Adaptive responses to progressive drought stress in two *Populus cothayana* populations. *Silva Fennica*. 42(5): 705-719.
- Yazdani Cham Heidari, Y., M. Ramroudi, and M.R. Asghiripoor. 2014. The study of drought stress on yield and yield components of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) under the influence of foliar of iron and zinc. *Juornal of Research of Plant Ecophysiology*. 1(3): 81-96. (In Persian).
- Yeganpour, F., S. Zahtab Salmasi, J. Shafagh Kalavagh, and K. Qasemi Golazani. 2016. Effect of drought stress chemical and biofertilizer and salicylic acid on grain yield and yield components of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Crop Production.* 9(4): 37-55. (In Persian).

Effect of Drought Stress and Application of Salicylic Acid on Yield and Yield Components, Photosynthetic Pigments and Compatibility Metabolites of Fennel (*Foeniculum vulgare*) under Sistan Climatic Conditions

Barat Ali Fakheri[1], Forouzan Heidari[2*], Nafiseh Mahdi Nejad[3], and Iman Shahrokhi Sardoui[4]

Received: February 2019 , Revised: 10 May 2019, Accepted: 14 May 2019

Abstract

The use of salicylic acid in the nutrition of medicinal plants under moisture stress conditions has a considerable role in reducing the effects of water stress and improving plant yield. To this purpose, a factorial split plot experiment with three replications based on randomized complete block design was conducted at the Research Farm of Faculty of Agriculture, Zabol University, Iran during 2013-2014 cropping years. Drought stress consisted of three levels (irrigation at 90, normal, 60 and 40 percent of field capacity) as main factor, and salicylic acid spraying wiyh three levels (0, control, 2.5 and 5 mM) and three cultivars (Isfahan, Hamedan and Nahavand) minor factors, respectively. The investigasted traits were plant height, number of umbels per plant, number of umbellate per umbel, number of seeds per umbellate, root length, number of lateral branches, stem diameter, fresh weight of plant, grain and final plant yield, 1000 seed weight, chlorophyll a, b, total chlorophyll, carotenoids, anthocyanins, soluble sugars and proline. The results showed that drought stress decreased the traits under study. Salicylic acid spray caused an increase in some parameters such as the final height of the stem, the number of umbels, number of seeds per umbellate, root length, fresh weight of plant, seed and plant yield, chlorophyll a, b, soluble sugars and proline. Given the results of trilateral interaction effects, the greatest yield of grain was obtained from 5 mM spraying and Isfahan cultivar under irrigation conditions of 90% of the field capacity. Considering trilateral effects, the best cultivar in terms of grain yield was Isfahan cultivar with 5 mM spraying under complete irrigation conditions.

Key words: Fennel cultivars, application, drought stress, economic yield, salicylic acid.

1- Professor of Plant Breeding, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
2- Plant Breeding Instructor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
3- Assistant Professor of Plant Breeding, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
4- MS.c. Garaduated of Plant Breeding, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
**Corresponding Author: heidarif.65@gmail.com*