نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد چهاردهم، شماره ۲(۵۴)، تابستان ۱۳۹۹، صفحه ۲۱۶-۱۹۳

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/jcep.2020.679369

تأثیر پرایمینگ بذر با سالیسلیک اسید و محلول‌پاشی برگی براسینواستروئید بر عملکرد و برخی از صفات فیزیولوژیکی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) در شرایط کم‌آبیاری

طاهره مجردی[1*]، محمدرضا یاورزاده[2] و فاطمه شیرزادی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۳ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۵/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۲

چکیده

استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد یکی از راه‌های کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی است. به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش کم‌آبیاری، پرایمینگ بذری با سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی برگی براسینواستروئید بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد رازیانه آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۷ در ایستگاه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بم واقع در استان کرمان آزمایشی به‌صورت اسپلیت- فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل سه سطح آبیاری شامل ۵۰ (به‌عنوان شاهد)، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A بود. فاکتور فرعی شامل پرایمینگ بذر با سالیسیلیک اسید (در دو سطح عدم کاربرد و پرایمینگ بذر با غلظت ۱۶۰۰ میکرومولار) و محلول‌پاشی برگی براسینواستروئید در سه سطح با غلظت‌های صفر ، 10^{-8} و 10^{-7}مولار در مراحل شش‌برگی و ظهور چتر بود. صفات مورد مطالعه شامل محتوای نسبی آب برگ، محتوای کلروفیل a، b و کل، محتوای کاروتنوئید، آنتوسیانین، قندهای محلول، درصد اسانس و عملکرد دانه بود. طبق نتایج حاصل کم‌آبیاری سبب کاهش محتوای آب نسبی برگ، محتوای کلروفیل، کاروتنوئید و عملکرد دانه و افزایش آنتوسیانین، قندهای محلول و درصد اسانس شد. پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و براسینواستروئید تأثیر مثبتی بر اغلب صفات مورد مطالعه داشت. بیشترین میزان کلروفیل کل (۱/۵۴) و عملکرد دانه (۱۲۸۱ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۵۰ میلی‌متر و پرایمینگ با سالیسیلیک اسید مشاهده شد. غلظت‌های 10^{-7} و 10^{-8} مولار براسینواستروئید به‌ترتیب سبب افزایش ۵/۴ و ۳/۲ درصدی محتوای آب نسبی برگ شد. پرایمینگ با سالیسیلیک اسید در غلظت‌های صفر، 10^{-8} و 10^{-7} مولار براسینواستروئید درصد اسانس را به‌ترتیب ۸، ۲۴/۴ و ۱۳/۶ درصد افزایش داد. در تیمارهای کم‌آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر به‌ترتیب ۴/۵، ۶/۷ و ۱۴ درصد افزایش قندهای محلول در اثر پرایمینگ با سالیسیلیک اسید مشاهده شد. با توجه به نتایج، پرایمینگ سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی براسینواستروئید می‌تواند تا حدودی اثرات منفی ناشی از کم‌آبیاری را کاهش دهد.

واژگان کلیدی: تنظیم‌کننده‌های رشد، درصد اسانس، رنگیزه‌های فتوسنتزی، تنش خشکی.

۱- دانشجوی دکترای زراعت گرایش اگروتکنولوژی، گروه کشاورزی، واحد بم، دانشگاه آزاد اسلامی، بم، ایران.

۲- دانشیار گروه کشاورزی، واحد بم، دانشگاه آزاد اسلامی، بم، ایران.

۳- دکترای زراعت گرایش اگرواکولوژی، عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه ازاد اسلامی کرمانشاه، ایران

* نگارنده‌ی مسئول mojaraditahereh@yahoo.com

مقدمه

رازیانه با نام علمی (*Foeniculum vulgare Mill.*) یکی از گیاهان دارویی چندساله و معطر از تیره چتریان و بومی مناطق مدیترانه‌ای است (Barros *et al*., 2010). محصول این گیاه کاربردهای متنوعی از نظر دارویی داشته و اهمیت ویژه‌ای در صنایع غذایی و محصولات آرایشی و بهداشتی دارد (Rather *et al*., 2016). علاوه بر اسانس، رازیانه حاوی لیپیدها و فیتواسترول‌هایی است که در صنعت کاربرد زیادی دارند (Barros *et al*., 2010). در حال حاضر در بیشتر نقاط جهان زمین‌های زراعی وسیعی زیرکشت رازیانه قرار دارد (Omidbaigi, 2007). رازیانه نسبت به تنش‌های محیطی نسبتاً مقاوم است، بنابراین گیاه دارویی مناسبی برای کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران است تا بتوان با مشکل کم‌آبی فزاینده مقابله نمود (Askari and Ehsanzadeh, 2015).

تنش خشکی یکی از محدود کننده‌ترین تنش‌های غیرزنده در جهان است که مانع جدی برای تولید محصولات کشاورزی است (Aslam *et al.,* 2013). گیاهان دارای مکانیسم‌های متعدد مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی هستند که آنها را نسبت به تنش خشکی سازگار می‌کند (Karkanis *et al*., 2011). همچنین، عملکرد و مواد مؤثره گیاهان دارویی واکنش‌های متفاوتی نسبت به تنش خشکی دارند (Pirbalouti *et al.,* 2014). استفاده از تنظیم کننده‌های رشد یکی از مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌ها برای کاهش اثر سوء تنش خشکی بر گیاهان است.

پرایمینگ بذر یکی از روش‌های مؤثر برای بهبود جوانه‌زنی و استقرار دانه‌رست است (Demir Kaya *et al*., 2006). در حال حاضر از ترکیبات متعددی برای القای مقاومت به تنش‌های مختلف و افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی استفاده می‌شود که یکی از مهم‌ترین آنها سالیسیلیک اسید است. سالیسیلیک اسید و مشتقات آن از جمله ترکیباتی هستند که به‌عنوان تنظیم کننده رشد گیاهی عمل نموده و در شرایط تنش می‌توانند گیاه را محافظت نمایند (Miura and Tada, 2014). در تحقیقات متعددی به بررسی نقش پرایمینگ بذور با سالیسیلیک اسید در کاهش اثرات تنش خشکی و شوری در گیاهان مختلف پرداخته شده است (Tavili *et al*., 2010). سالیسیلیک اسید فرایندهای فیزیولوژیکی در گیاهان را تنظیم و عوارض جانبی تنش را کاهش داده و می‌تواند اثر نامطلوب تنش را بهبود بخشد (Yavas and Unay, 2016). سالیسیلیک اسید موجب افزایش میزان کلروفیل، بهبود کارآیی مصرف آب، تحریک رشد ریشه و بهبود عملکرد اقتصادی گندم در تنش خشکی شد (Agarwal *et al*., 2005). در بین مواد شیمیایی مختلفی که برای کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی وجود دارند، براسینواستروئید ماده‌ای است که رشد و تولید گیاهان را تحت شرایط خشکی تنظیم می‌کند. براسینواستروئیدها هورمون‌های استروئیدی هستند که رشد و نمو گیاه را تنظیم نموده و باعث افزایش سازگاری گیاهان در برابر شرایط نامساعد محیطی می‌شوند (Bajguz and Hayat, 2009). کاربرد خارجی براسینولید فرایندهای مختلف فیزیولوژیکی و متابولیکی مانند فتوسنتز، اسیدهای نوکلئیک، تجمع پرولین و ساخت پروتئین را تحریک می‌کند. براسینواستروئیدها می‌توانند موجب پاسخ‌های سلولی متعددی نظیر طویل شدن ساقه، رشد لوله دانه گرده، تشکیل ریشه، القای بیوسنتز اتیلن، فعال کردن پمپ پروتون و

تنظیم بیان ژن شود (Kagale *et al*., 2007). همچنین ثابت شده است که این ماده در مراحل رونویسی ژن و ترجمه نقش داشته و سطوح پروتئین‌ها و آنزیم‌ها را بهبود می‌بخشد. با وجود اینکه بسیاری از مطالعات روی بهبود تحمل گیاهان به تنش‌های شوری و دمای بالا متمرکز شده است، گزارش‌های محدودی در خصوص توانایی براسینواستروئید در کاهش اثر خشکی در گیاهان وجود دارد (Anjum *et al*., 2011). به گزارش محققان کاربرد براسینواستروئید موجب افزایش محتوای نسبی آب، محتوای کلروفیل، سطح برگ و میزان فتوسنتز شده و در نتیجه تولید زیست‌توده و عملکرد بیشتر می‌شود (Fariduddin *et al*., 2008).

با توجه به محدودیت منابع آب در کشور و اهمیت توسعه کشت گیاهان دارویی به نظر می‌رسد که استفاده از تنظیم کننده‌های رشد چه به صورت پرایمینگ و چه به صورت محلول‌پاشی بتوانند تا حدودی اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را کاهش داده و سبب بهبود عملکرد و درصد اسانس گیاهان دارویی شود. لذا این تحقیق با هدف بررسی اثر پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی براسینواستروئید بر عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیکی رازیانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بم واقع در استان کرمان اجرا شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. کرت‌های اصلی سه سطح آبیاری شامل ۵۰ (به‌عنوان شاهد)، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A و فاکتور فرعی شامل پرایمینگ با سالیسیلیک اسید (در دو سطح عدم کاربرد و پرایمینگ با غلظت ۱۶۰۰ میکرومولار) و محلول‌پاشی براسینواستروئید در سه سطح با غلظت‌های صفر، 10^{-8} و 10^{-7} مولار بود (Ronaldo *et al*., 2013). قبل از اجرای آزمایش نیز نمونه خاک به‌صورت تصادفی از زمین محل اجرای آزمایش برداشت و جهت تعیین خصوصیات خاک به آزمایشگاه منتقل شد که نتایج آن در جدول ۱ آمده است.

به‌منظور اعمال تیمارهای مربوط به پرایمینگ بذر با سالیسیلیک اسید، پس از تهیه غلظت مورد نظر، بذرها در محلول به مدت ۲۴ ساعت غوطه‌ور شده و پس از آن خشک شده و در مزرعه کشت شدند. غلظت‌های 10^{-8} و 10^{-7} مولار ۲۴-اپی‌براسینولید (MW=480.7) ساخت شرکت سیگما تهیه و تیمارهای براسینواستروئید در مراحل شش‌برگی و ظهور چتر سه بار با فواصل ۷۲ ساعت انجام شد. از محلول توئین ۲۰ (با غلظت ۰/۰۱ درصد) به‌عنوان سورفاکتانت و به منظور افزایش سطح جذب استفاده شد. گیاهان کنترل نیز با آب مقطر آبیاری شدند. هر واحد آزمایشی شامل ۴ ردیف به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و به طول ۴ متر بود. کاشت رازیانه در فروردین ۱۳۹۷ به صورت دستی و عمق کاشت سطحی ۲ سانتی‌متر انجام شد. بذر مورد استفاده در این آزمایش از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. با توجه به اینکه رشد اولیه بوته‌های رازیانه بسیار کند است وجین دستی علف‌های هرز در مراحل اولیه انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت بذر، انجام شد. گیاهان تا مرحله سه برگی به‌طور منظم و یکنواخت آبیاری شدند. بعد از استقرار کامل گیاهان، به‌منظور اعمال تیمارهای کم‌آبیاری، آبیاری بر اساس میزان تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A در کرت‌ها صورت

گرفت. صفات مورد مطالعه شامل محتوای نسبی آب برگ، محتوای کلروفیل a، b و کل، محتوای کاروتنوئید، آنتوسیانین، قندهای محلول، درصد اسانس و عملکرد دانه بود. برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، از برگ کامل استفاده گردید. در شروع گلدهی از هر واحد آزمایشی ده برگ کامل از برگ‌های میانی جمع‌آوری و پس از توزین با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم، به پتری‌دیش‌های درب‌دار حاوی آب دوبار تقطیر انتقال یافتند و به مدت ۲۴ ساعت جهت جذب کامل آب در دمای ۴ درجه سلسیوس در تاریکی نگهداری شدند. پس از خارج کردن برگ‌های فوق جهت حذف رطوبت اضافی، آنها را در بین دو لایه کاغذ صافی خشک نموده و سپس وزن آماس آنها اندازه‌گیری شد. برگ‌های فوق در آون ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک گردیده و دوباره توزین شده و محتوای آب نسبی برگ با استفاده از رابطه زیر به درصد تعیین شد (Mahmood *et al.*, 2003):

$$RWC= (Fw-Dw)/(Tw-Dw)$$

که در آن Fw: وزن تر برگ، Dw: وزن خشک برگ و Tw: وزن آماس یافته برگ (اشباع از آب) است. برای اندازه گیری محتوای کلروفیل a و b و کل از روش پورا (Porra, 2002) استفاده گردید. بدین منظور، ۵۰۰ میلی‌گرم از هر برگ انتخابی در ۵ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد هموژن گردید و پس از انجام سانتریفیوژ با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه، مایع رویی را برداشته و حجم آن با استن ۸۰ درصد به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر غلظت محلول در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئید قرائت و رنگدانه‌های فتوسنتزی با استفاده از روابط محاسبه گردید.

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3\times A_{663}-0.86\times A_{645})V/1000W$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3\times A_{645}-3.6\times A_{663})\ V/1000W$$

$$\text{Carotenoid} = 7.6\times(A_{470})-14.9\times(A_{510})\ V/1000\times W$$

آنتوسیانین برگ‌ها از روش واگنر (Wagner, 1979) اندازه‌گیری شد. برای محاسبه غلظت، ضریب خاموشی $M^{-1}cm^{-1}$ ۳۳۰۰۰ در نظر گرفته شد و نتایج بر حسب میلی‌مولار بر گرم وزن تر گزارش گردید. میزان قندهای محلول گیاه با استفاده از روش فنل اسید سولفوریک و توسط اسپکتروفتومتر مدل UV-2100 در طول موج ۴۸۵ نانومتر قرائت شد (Irrigoyen *et al.*, 1992).

برای تعیین عملکرد دانه در هر کرت نمونه‌برداری توسط کوادرات ۱×۱ متر به‌صورت تصادفی و با حذف اثر حاشیه از داخل کرت‌ها انجام شد. مقدار ۵۰ گرم از دانه تولید شده در هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و اسانس آن توسط دستگاه کلونجر با استفاده از روش تقطیر با آب، اندازه‌گیری شد. به‌این منظور هر نمونه ابتدا کاملاً آسیاب و سپس درون بالن یک لیتری ریخته شد و ۷۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه گردید، سپس به مدت ۴ ساعت در دستگاه کلونجر قرار داده شد و پس از رطوبت زدایی آب آن توسط سولفات سدیم، درصد اسانس تعیین شد.

تجزیه واریانس صفات با استفاده از نرم‌افزار SAS ورژن 9.4 انجام شد. جهت انجام مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و برای مقایسه میانگین‌های برهمکنش‌ها از روش برش‌دهی اثرات متقابل استفاده شد.

نتایج و بحث

محتوای آب نسبی برگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده کم‌آبیاری، پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی براسینواستروئید بر محتوای آب نسبی برگ معنی‌دار بود (جدول۲). مقایسه میانگین اثرات ساده کم‌آبیاری، پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی براسینواستروئید در جدول ۳ ارایه شده است. مقایسه میانگین اثر ساده کم‌آبیاری نشان داد که تیمار ۵۰ میلی‌متر (شاهد) با میانگین ۸۲/۶ درصد بیشترین محتوای آب نسبی برگ را دارا بود. سطوح کم‌آبیاری ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A به‌ترتیب سبب کاهش ۸/۶ و ۲۰/۵ درصدی محتوای آب نسبی برگ نسبت به شاهد (آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر) شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر ساده پرایمینگ با سالیسیلیک اسید نشان داد که پرایمینگ بذور با سالیسیلیک اسید محتوای آب نسبی برگ را نسبت به شاهد ۳/۴ درصد افزایش داد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر ساده محلول‌پاشی براسینواستروئید نشان داد که غلظت 10^{-7} مولار براسینواستروئید بیشترین و تیمار عدم مصرف آن کمترین محتوای آب نسبی برگ را داشت. غلظت‌های 10^{-7} و 10^{-8} مولار به‌ترتیب سبب افزایش ۵/۴ و ۳/۲ درصدی محتوای آب نسبی برگ شد (جدول ۳). یکی از پارامترهای فیزیولوژیکی پاسخ‌دهنده به کم‌آبی، محتوای نسبی آب برگ است که همبستگی خوبی با تحمل به خشکی نشان می‌دهد (Colom and Vazzana, 2003). تحقیقات نشان می‌دهد که تنش خشکی موجب کاهش پتانسیل آب، محتوای نسبی آب برگ، تعرق، هدایت روزنه‌ای و در نهایت عملکرد می‌شود (Pakmehr *et al*., 2015). در شرایط تنش خشکی، شرایط جذب آب برای گیاه مشکل خواهد شد. فراست (Ferasat, 2010) گزارش کرد بیشترین محتوای آب نسبی در تیمار شاهد معادل ۸۸/۳ درصد و کمترین آن در تیمار آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه با محتوای ۶۵/۸ درصد است. به گزارش زرگریان و همکاران (Zargerian *et al*., 2016) با افزایش شدت کم‌آبی در ریحان، محتوای آب نسبی برگ کاسته شد و کاربرد سالیسیلیک اسید سبب افزایش محتوای آب نسبی برگ شد. چنین نتایجی که بیانگر تأثیر مثبت کاربرد سالیسیلیک اسید بر محتوای نسبی آب برگ بود روی گیاهان دیگر مانند لوبیا چشم‌بلبلی (Pakmehr *et al*., 2015) و گندم (Singh and Usha, 2003) نیز به دست آمده است. اختلاف در محتوای آب نسبی برگ ممکن است نشان‌دهنده تأثیر متفاوت تیمارها برای جذب آب از خاک و یا توانایی کنترل هدرروی آب از طریق روزنه‌ها و یا اختلاف در توانایی گیاهان برای تجمع و تنظیم اسمزی برای حفظ تورژسانس بافت و افزایش فعالیت‌های فیزیولوژیکی باشد. یکی از اثرات گزارش شده سالیسیلیک اسید افزایش طول ریشه و افزایش توان استخراج آب است. از سوی دیگر گزارش شده است پرایمینگ با سالیسیلیک اسید از طریق افزایش سرعت، یکنواختی سبز کردن، شاخص سبز و درصد سبز کردن (Pakmehr, 2015) موجب افزایش کارآیی بذرهای تیمار شده گردید. این اثرات مثبت، ممکن است با بهبود و افزایش سرعت رشد ریشه‌ها در ابتدای زندگی گیاه، دلیلی برای افزایش محتوای نسبی آب گیاهان باشد. اثر مثبت براسینواستروئید بر محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش به معنی افزایش جذب آب در گیاهان می‌باشد. کاربرد تنظیم کننده رشد براسینواستروئید در گیاهـان

مختلـف از جملـه گندم (Talaat and Shawky, 2012)، گوجه‌فرنگی (Yuan *et al*., 2010)، برنج (Farooq *et al*., 2009) باعث افـزایش محتوای آب نسبی برگ شده است. محتوای نسبی آب برگ گیاه ذرت در اثر تنش شوری کاهش یافت و پیش‌تیمار بذور با سالیسیلیک اسید و براسینواستروئید موجب افزایش معنی‌دار آن شد (Agami, 2013).

کلروفیل a: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده کم‌آبیاری، پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی براسینواستروئید در سطح احتمال یک‌درصد و نیز اثر متقابل کم‌آبیاری و محلول‌پاشی براسینواستروئید در سطح احتمال پنج‌درصد بر محتوای کلروفیل a معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده پرایمینگ نشان داد که پرایمینگ بذور رازیانه سبب افزایش (۹/۴۸ درصد) محتوای کلروفیل a گردیده است (جدول۳). مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و محلول‌پاشی براسینواستروئید بر محتوای کلروفیل a در شکل ۱ نشان داد که به طورکلی کم‌آبیاری سبب کاهش محتوای کلروفیل a شد و محلول‌پاشی براسینواستروئید تأثیر مثبت بر محتوای کلروفیل a داشت. اما تأثیر این تنظیم‌کننده در سطوح مختلف کم‌آبیاری مشابه نبود. به‌طوری‌که، کاربرد غلظت 10^{-7} براسینواستروئید در سطوح کم‌آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر به‌ترتیب سبب افزایش ۱۳/۲، ۳۵ و ۱۵/۲ درصدی محتوای کلروفیل a نسبت به عدم مصرف آن گردید (شکل ۱). بیشترین محتوای کلروفیل a در تیمار آبیاری پس از ۷۵ میلی‌متر تبخیر و کاربرد 10^{-7} مولار براسینواستروئید مشاهده شد (شکل ۱). مقایسه میانگین اثر ساده محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر میزان کلروفیل نشان داد که محلول‌پاشی با این تنظیم کننده رشد سبب افزایش میزان کلروفیل شده است (جدول ۲).

کلروفیل b: طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثرات ساده کم‌آبیاری، پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی براسینواستروئید در سطح احتمال یک‌درصد و نیز اثر متقابل کم‌آبیاری و پرایمینگ با سالیسیلیک اسید در سطح احتمال پنج‌درصد بر محتوای کلروفیل b معنی‌دار بود (جدول۲). مقایسه میانگین اثر ساده محلول‌پاشی براسینواستروئید نشان داد که محلول‌پاشی غلظت‌های 10^{-7} و 10^{-8} به‌ترتیب سبب افزایش ۲۰/۸ و ۱۴/۵ درصدی محتوای کلروفیل b گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و پرایمینگ با سالیسیلیک اسید نشان داد که کم‌آبیاری محتوای کلروفیل b را کاهش داده اما گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک اسید مقادیر کلروفیل بالاتری داشتند (شکل ۲). اختلاف تیمار شاهد و پرایمینگ با سالیسیلیک اسید در سطوح مختلف کم‌آبیاری مشابه نبود. به طوری‌که پرایمینگ با سالیسیلیک اسید در تیمار آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر ۱۰ درصد، در تیمار آبیاری پس از ۷۵ میلی‌متر تبخیر ۱۳ درصد و در تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر ۳۷ درصد محتوای کلروفیل b را افزایش داد (شکل ۲).

کلروفیل کل: طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثرات ساده کم‌آبیاری، پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی براسینواستروئید در سطح احتمال یک درصد و نیز اثر متقابل کم‌آبیاری و پرایمینگ با سالیسیلیک اسید در سطح احتمال پنج درصد بر محتوای کلروفیل کل معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده

محلول‌پاشی براسینواستروئید نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل در تیمار محلول‌پاشی با غلظت $۱۰^{-۷}$ و کمترین آن در تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و پرایمینگ با سالیسیلیک اسید با نتایج محتوای کلروفیل b مشابه بود (شکل ۳). بیشترین میزان کلروفیل کل در تیمار شاهد (آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر) و پرایمینگ با سالیسیلیک اسید مشاهده شد. یکی از روش‌های ارزیابی و پیش‌بینی تحمل گیاهان زراعی به تنش خشکی، مطالعه میزان تغییراتی است که در سنتز کلروفیل (a+b) برگ در اثر کمبود آب اتفاق می‌افتد. کاهش سنتز کلروفیل a از واکنش‌های عمومی گیاهان نسبت به کمبود آب می‌باشد (Gardner, 2010). میزان کلروفیل در گیاه زنده یکی از عوامل مهم برای فتوسنتز به شمار می‌آید. در این بین، بسته به شدت، مدت و مرحله تأثیر خشکی بر هر کدام از مقادیر کلروفیل در گیاهان متفاوت است. در واقع، کاهش کلروفیل a بر اثر تنش خشکی مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول می‌شود، زیرا، این رادیکال‌ها سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه کلروفیل a می‌شود (Sheteawi and Tawfik, 2007). در زمان تنش خشکی روزنه برگ‌ها به‌طور کامل یا جزیی بسته می‌شود و این فرآیند طبیعی فتوسنتز را مختل می‌کند. تنش خشکی تأثیر مستقیم بر کاهش شاخص کلروفیل برگ گیاه دارد (Adebayo *et al.*, 2014). علاوه بر این، تحت تأثیر تنش خشکی کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌تواند ناشی از کاهش سنتز کمپلکس اصلی رنگدانه کلروفیل، تخریب نوری کمپلکس پروتئین کلروفیل b که محافظت کننده دستگاه فتوسنتزی هستند، صدمه اکسیداتیو لیپیدهای کلروپلاست رنگدانه‌ها و پروتئین‌ها و یا افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز و اختلالات هورمونی باشد (Tambussi *et al.*, 2000). علاوه بر این، تنش در جذب برخی عناصر ضروری نظیر آهن و منیزیم اختلال ایجاد می‌کند که وجود این عناصر برای سنتز کلروفیل ضروری می‌باشد (Neocleous and Vasilakakis, 2007). لیپوکسیژناز یکی از آنزیم‌های دخیل در کاتابولیسم کلروفیل گزارش شده است. این آنزیم در هنگام تنش یکی از آنزیم‌های دخیل در پراکسیداسیون لیپیدها است (Farooq *et al.*, 2009). تنش خشکی از طریق ایجاد محدودیت در توانایی جذب نیتروژن توسط گیاه، موجب اختلال در فرآیند ساخت کلروفیل می‌گردد (Schmidhalter *et al.*, 2006). بنابراین، در مجموع کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش می‌تواند عمدتاً به‌دلیل تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، واکنش آنها با اکسیژن یکتایی، تخریب پیش‌ماده‌های سنتز کلروفیل و ممانعت از بیوسنتز کلروفیل‌های جدید و فعال شدن آنزیم‌های تجزیه‌کننده کلروفیل از جمله کلروفیلاز و اختلالات هورمونی باشد. متابولیسم گیاهانی که با سالیسیلیک اسید یا مشتقات آن تیمار شده‌اند، تغییراتی را با درجات مختلف نشان می‌دهد که بستگی به نوع گیاه و روش اعمال سالیسیلیک اسید دارد (Pakmehr *et al.*, 2015). مطابق نتایج این تحقیق افزایش میزان کلروفیل در اثر تیمار سالیسیلیک اسید توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Singh and Usha, 2003; Farajzadeh *et al.*, 2016; Abhari and Gholinjad, 2019). به گزارش پاک‌مهر و همکاران (Pakmehr *et al.*, 2015) پرایمینگ بذر لوبیا چشم‌بلبلی با

سالیسیلیک اسید میزان کلروفیل را افزایش داد. بر اساس این گزارش گیاهان حاصل از بذرهای پرایم شده با سالیسیلیک اسید از طریق افزایش محتوای نسبی آب، شدت تعرق، هدایت روزنه‌ای و شاخص کلروفیل برگ گیاه، توانستند سرعت فتوسنتز را در شرایط عادی و تنش بهبود بخشند. به نظر می‌رسد علت افزایش کلروفیل‌ها در اثر کاربرد براسینواستروئید، افزایش مقاومت در برابر تنش اکسیداتیو باشد، زیرا براسینواستروئید دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی می‌باشد. براسینواستروئید می‌تواند از خسارت به غشاها و ماکرومولکول‌ها جلوگیری کند. در آزمایشی که روی گیاه کلزا در تنش شوری انجام شد، تیمار براسینواستروئید و سالیسیلیک اسید هم به تنهایی و هم کاربرد توأم این دو ماده موجب بهبود آثار تنش بر شاخص سبزینگی شد که احتمالاً براسینواستروئید در بیان ژن‌های ویژه سنتز آنزیم‌های مؤثر بر تولید کلروفیل می‌تواند نقش داشته باشد (Agami, 2013). براسینواستروئید علاوه بر اثر بر فعالیت‌های متابولیک، جذب آب و مواد معدنی از جمله نیتروژن، سنتز انواعی از پروتئین‌ها را نیز افزایش می‌دهد و از این طریق موجب افزایش کلروفیل، رشد و در نهایت عملکرد دانه می‌گردد (Fariduddin *et al.*, 2008).

محتوای کاروتنوئید: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده کم‌آبیاری، پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی براسینواستروئید و نیز اثر متقابل کم‌آبیاری و محلول‌پاشی براسینواستروئید در سطح احتمال یک‌درصد، بر محتوای کاروتنوئید معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده پرایمینگ با سالیسیلیک اسید در جدول ۳ نشان داد که گیاهان پرایمینگ شده توسط سالیسیلیک اسید میزان کارتنوئید بالاتری (۱۲/۲ درصد) نسبت به شاهد داشتند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و محلول‌پاشی سطوح مختلف براسینواستروئید نشان داد آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر سبب کاهش محتوای کاروتنوئید برگ و آبیاری پس از ۷۵ میلی‌متر تبخیر میزان کاروتنوئید را افزایش داد (شکل ۴). محلول‌پاشی براسینواستروئید در سطوح مختلف تنش خشکی اثرات متفاوتی داشت. در تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر محلول‌پاشی براسینو استروئید تأثیر معنی‌داری بر محتوای کاروتنوئید نداشت در مقابل در تیمار آبیاری پس از ۷۵ میلی‌متر تبخیر غلظت‌های 10^{-7} و 10^{-8} به ترتیب سبب افزایش ۲۴ و ۱۰ درصدی محتوای کاروتنوئیدها نسبت به شاهد شد (شکل ۴). کاروتنوئیدها انرژی زیادی را از فتوسیستم I و II به‌صورت گرما، یا واکنش‌های شیمیایی بی‌ضرر دفع کرده و می‌توانند غشاهای کلروپلاستی را حفظ نمایند (Juan *et al*., 2005). تنش خشکی با کاهش بیوسنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی باعث کاهش غلظت رنگدانه‌ها و کاهش پتانسیل فتوسنتز شده و تولید اولیه را محدود می‌سازد. از طرف دیگر تنش خشکی باعث ایجاد اختلال در سیستم‌های آنزیمی کاهش‌دهنده فعالیت اکسیژن فعال و افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و در نتیجه خسارت به غشای سلولی و تخریب رنگدانه‌ها می‌گردد (Ruiz-Lozano, 2003). پریدا و داس (Parida and Das, 2005) گزارش کردند که تنش شوری، محتویات کلروفیل و کاروتنوئید را در برگ‌های تعدادی از محصولات کاهش داد. در این تحقیق در سطح کم‌آبیاری ۷۵میلی‌متر میزان کلروفیل a کاهش نشان نداد که احتمالاً به این دلیل است که در این تیمار میزان کاروتنوئیدها بالا بود. کاروتنوئیدها می‌توانند

انرژی را به کلروفیل a منتقل کرده و دامنه طول موج‌های مؤثر بر فتوسنتز را افزایش دهند و نیز کلروفیل را از تخریب اکسیداسیون نوری حفاظت می‌کنند. افزایش کاروتنوئیدها در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید در گندم (Iqbal and Ashraf, 2006)، جو (El-Tayeb, 2005) و بابونه (Dučaiová *et al*., 2013) گزارش شده است. سالیسیلیک اسید با افزایش توان آنتی‌اکسیدانی از جمله کاروتنوئیدها موجب کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و مقدار پراکسید هیدروژن و حفاظت بیشتر از غشاهای سلولی و فتوسنتزی و رنگدانه‌های فتوسنتزی شده و از کاتابولیسم کلروفیل جلوگیری می‌کند (Dučaiová *et al*., 2013). براسینواستروئید با کمک به افزایش سنتز کاروتنوئیدها موجب مهار انواع اکسیژن فعال می‌شود (Khan *et al*., 2012). نتایج آزمایش همتی و همکاران (Hemati *et al*., 2018) نیز نشان داد که کاربرد براسینواستروئیدها در شرایط تنش، میزان کاروتنوئیدها و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را در گیاه همیشه‌بهار افزایش می‌دهند. نتایج مطالعه کایدنظامی و بلوچی (Kaid Nezami and Balochi, 2014) روی عدس نیز نشان داد که استفاده از سالیسیلیک اسید نیم میلی‌مولار در شوری‌های با غلظت بالا باعث افزایش مقدار کلروفیل و کاروتنوئید شد. کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاه ذرت (Khodary, 2004)، جو (Mahdavian, 2018)، آفتابگردان (Mahdavian, 2017) و گوجه‌فرنگی (Szepesi, 2006)، نیز موجب افزایش کاروتنوئید شد.

محتوای آنتوسیانین: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده کم‌آبیاری، پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی براسینواستروئید و نیز اثر متقابل کم‌آبیاری و پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و اثر متقابل پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی براسینواستروئید در سطح احتمال یک درصد، بر محتوای آنتوسیانین معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و پرایمینگ با سالیسیلیک اسید نشان داد پرایمینگ با سالیسیلیک اسید سبب افزایش میزان آنتوسیانین شد اما میزان افزایش در سطوح مختلف کم‌آبیاری مشابه نبود (شکل ۵). به طوری‌که در بیشترین افزایش (۲۱ درصد) در سطح آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر و کمترین افزایش (۳ درصد) در سطح شاهد (آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر) مشاهده شد. بیشترین میزان آنتوسیانین نیز در تیمار آبیاری پس از ۷۵ میلی‌متر تبخیر و پرایمینگ با سالیسیلیک اسید مشاهده شد (شکل ۵). مقایسه میانگین اثر متقابل پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی براسینواستروئید نشان داد که پرایمینگ با سالیسیلیک اسید در سطح شاهد (عدم مصرف براسینواستروئید) تفاوت معنی‌داری در محتوای آنتوسیانین ایجاد نکرد اما در تیمارهای 10^{-7} و 10^{-8} مولار براسینواستروئید پرایمینگ با سالیسیلیک اسید به‌ترتیب سبب افزایش ۱۲ و ۱۸ درصدی محتوای آنتوسیانین شد (شکل ۶). این نتیجه بیانگر برهم‌کنش مثبت این دو فاکتور بر محتوای رنگدانه آنتوسیانین است. یانگ و همکاران (Yang *et al*., 2001) اظهار داشتند که آنتوسیانین‌ها از ساختارهای حساسی مانند غشاها حفاظت کرده و از زوال کلروفیل جلوگیری می‌کنند. این ترکیبات در بافت‌های گیاهی تجمع می‌یابند و می‌توانند به‌واسطه گروه‌های هیدروکسیل موجود در ساختارشان به عنوان خنثی کننده رادیکال آزاد عمل کنند (Grace and Logan, 2000). مقدار آنتوسیانین‌ها

در برگ‌های گیاهچه‌ی لوبیا چشم‌بلبلی در شرایط تنش‌خشکی افزایش داشت (Fathi Amirkhiz *et al*., 2015). کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاه گوجه‌فرنگی میزان آنتوسیانین را افزایش داد. این افزایش می‌تواند به دلیلی تولید گونه‌های فعال اکسیژن توسط سالیسیلیک اسید با توجه به نقش آن در پیام‌رسانی در گیاه باشد (Maleki and Ehsanpour, 2018). به گزارش محققان، براسینواستروئیدها باعث افزایش میزان متابولیت‌های سازگاری شده و اثرات تنش را در گیاهان کاهش می‌دهند (Zhang *et al*., 2008).

میزان قندهای محلول: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده کم‌آبیاری، پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی براسینواستروئید و نیز اثر متقابل دوگانه کم‌آبیاری و پرایمینگ با سالیسیلیک اسید بر میزان قندهای محلول معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده محلول‌پاشی براسینواستروئید نشان داد که بیشترین میزان قندهای محلول از غلظت 10^{-7} مولار به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۶/۵ درصد افزایش داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و پرایمینگ با سالیسیلیک اسید در شکل ۷ نشان داد که افزایش شدت کم‌آبیاری میزان قندهای محلول را افزایش داد. پرایمینگ با سالیسیلیک اسید نیز میزان قندهای محلول را افزایش داد اما درصد افزایش در سطوح مختلف کم‌آبیاری مشابه نبود (شکل ۷). در تیمارهای کم‌آبیاری پس از ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر به‌ترتیب ۴/۵، ۶/۷ و ۱۴ درصد افزایش قندهای محلول در اثر پرایمینگ با سالیسیلیک اسید مشاهده شد (شکل ۷). قندهای محلول از جمله فرآورده‌های فتوسنتزی سازگار هستند که در شرایط تنش بر مقدار آنها افزوده می‌شود و تجمع آنها سبب تنظیم اسمزی و تورژسانس سلول‌ها شده و از طرف دیگر، سبب حفاظت و پایداری غشا و پروتئین در شرایط تنش می‌گردد، زیرا که افزایش قندهای محلول یکی از سازوکارهای افزایش فشار اسمزی داخل سلول است که گیاه سعی دارد در شرایط کم‌آبی فشار اسمزی محیط را خنثی نموده و آب بیشتری را از خاک جذب نماید، تجمع قندهای محلول داخل سلول‌ها در تنظیم اسمزی نقش مهم ایفاء نموده و کمک می‌کند تا پتانسیل آب سلول کاهش یافته و آب بیشتری برای حفظ تورژسانس تحت تنش کم‌آبی داخل سلول باقی بماند. این مکانسیم موجب پایداری غشای زیستی، پروتئین‌ها، افزایش فتوسنتز و مقاومت به خشکی می‌شود. افزایش تجمع قندهای محلول در سلول در شرایط تنش خشکی به‌منظور تنظیم فشار اسمزی در ذرت (Johari, 2010) و همیشه‌بهار (Hemati *et al*., 2018) نیز گزارش شده است. سالیسیلیک اسید باعث تأخیر در کاهش مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی شده، و به علت تعدیل در کاهش مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی و احتمالاً با حفظ ساختار و فعالیت آنزیم روبیسکو سبب افزایش مقدار قندها می‌شود (Krantev *et al*., 2008). پژوهش‌های لی و فنگ (Li and Feng, 2011) تأثیر مثبت براسینواستروئید را در افزایش قندهای محلول تایید ونشان دادند که کاربرد براسینواستروئید موجب افزایش تحمل تنش خشکی در *Xantrhoceras sorbifolia* می‌شود.

درصد اسانس: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده کم‌آبیاری، پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی براسینواستروئید و نیز اثر متقابل پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی براسینواستروئید در سطح احتمال

یک درصد، بر درصد اسانس رازیانه معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده کم‌آبیاری نشان داد که افزایش شدت کم‌آبیاری، درصد اسانس را افزایش داد و بیشترین درصد اسانس از تیمار کم‌آبیاری ۱۰۰ میلی‌متر (۲/۵۴ درصد) و کمترین آن (۲/۲۷ درصد) از تیمار آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر به‌دست آمد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که در مجموع با افزایش غلظت براسینواستروئید درصد اسانس افزایش یافت (شکل ۸). پرایمینگ با سالیسیلیک اسید نیز تأثیر مثبت بر افزایش درصد اسانس داشت (شکل ۸). میزان افزایش در سطوح مختلف براسینواستروئید مشابه نبود. پرایمینگ با سالیسیلیک اسید با غلظت‌های صفر، 10^{-8} و 10^{-7} مولار درصد اسانس را به‌ترتیب ۸، ۲۴/۴ و ۱۳/۶ درصد افزایش داد (شکل ۸). بیشترین درصد اسانس از تیمار پرایمینگ با سالیسلیک اسید و محلول‌پاشی 10^{-7} مولار براسینواستروئید به‌دست آمد (جدول ۳). اسانس‌ها جزیی از متابولیت‌های ثانویه گیاهی هستند و گیاه معمولاً هنگام دریافت تنش محیطی، میزان متابولیت‌های ثانویه را افزایش می‌دهند (Kapoor *et al*., 2004). از آنجایی که سالیسیلیک اسید نوعی تنظیم‌کننده‌ی رشد گیاهی است، در برخی گیاهان دارویی سبب افزایش عملکرد ماده خشک و میزان اسانس شده است (Meher *et al*., 2011). افزایش میزان اسانس در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید ممکن است به‌دلیل افزایش رشد رویشی، جذب عناصر غذایی بیشتر توسط ریشه‌ها به‌دلیل افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه و نیز تغییر در تعداد غدد تولید کننده اسانس در برگ‌ها باشد (Pérez *et al*., 2014). با توجه به نقش سالیسیلیک اسید به عنوان محرک رشد (Valladares and Niinemets, 2007) میزان فتوسنتز و به تبع آن میزان شیره پرورده گیاه افزایش یافته و توان تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاه افزایش می‌باشد. افزایش عملکرد و تولید متابولیت‌های گیاهان دارویی مرزنجوش و ریحان (Gharib, 2006)، مریم گلی (Yadegari, 2018)، همیشه بهار (Bayat *et al*., 2012) و شیرین بیان (Shabani *et al*., 2009) در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید پیشتر گزارش شده است. این اثرات به‌دلیل کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند پلی‌فنل اکسیداز و پراکسیداز، بهبود استقرار (Zare *et al*., 2010)، کاهش گلوتاتیون، باندهای پروتئینی و ترکیبات اکسید شده (Meher *et al*., 2011)، افزایش جذب مواد غذایی و کاهش مقدار سدیم و کلر (Khan *et al*., 2010) می‌باشد. با توجه با این‌که رازیانه یک گیاه دارویی می‌باشد، افزایش میزان ترکیبات دارویی آن دارای اهمیت می‌باشد. همانند نتایج این تحقیق، محققان دیگر نیز نشان دادند که عملکرد اسانس در اثر کاربرد براسینواستروئید افزایش می‌یابد مانند درصد اسانس شوید (Haghshenas and Eskandari, 2011)، همیشه‌بهار (Hemati *et al*., 2017) و نعناع (Naeem *et al*., 2012). کاربرد ۳ میکروگرم از هورمون ۲۸-هومو براسینولید، محتوای اسانس شمعدانی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد(Swamy and Rao, 2008).

عملکرد دانه و عملکرد اسانس: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده کم‌آبیاری، پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی براسینواستروئید و نیز اثر متقابل کم‌آبیاری و پرایمینگ با سالیسیلیک اسید بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر ساده محلول‌پاشی براسینواستروئید بر عملکرد دانه

نشان داد که غلظت 10^{-7} مولار بیشترین عملکرد دانه را داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد کم‌آبیاری سبب کاهش عملکرد دانه شد و پرایمینگ با سالیسیلیک اسید توانست اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را تا حدودی جبران کند. اما مقادیر افزایش عملکرد در سطوح کم‌آبیاری با اعمال پرایمینگ مشابه نبود. به طوری‌که تیمارهای ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر کم‌آبیاری به‌ترتیب ۳، ۳۱ و ۱۷ درصد افزایش عملکرد دانه در اثر پرایمینگ با سالیسیلیک اسید نشان دادند (شکل ۹). بیشترین عملکرد دانه (۱۲۸۱ کیلوگرم در هکتار) نیز از تیمار ۵۰ میلی‌متر (شاهد) و پرایمینگ با سالیسیلیک اسید به‌دست آمد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده کم‌آبیاری، پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی براسینواستروئید بر عملکرد اسانس در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده کم‌آبیاری بیشترین عملکرد اسانس در آبیاری پس از ۵۰ میلی متر تبخیر (شاهد) مشاهده شد که با تیمار آبیاری پس از ۷۵ میلی‌متر تبخیر از نظر آماری در یک گروه قرار گرفت، زیرا در این تیمار درصد اسانس بالاتر از تیمار عدم تنش بود و عملکرد اسانس از حاصل‌ضرب درصد اسانس و عملکرد دانه به‌دست می‌آید (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر ساده پرایمینگ با سالیسیلیک اسید نیز برتری گیاهان پرایمینگ شده از نظر عملکرد اسانس نسبت به شاهد بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر ساده محلول‌پاشی براسینواستروئید بر عملکرد اسانس نشان داد که غلظت 10^{-7} مولار بیشترین عملکرد اسانس را داشت (جدول ۳). مهار گسترش تقسیم سلولی، کاهش سطح برگ و کاهش سطح دریافت نور، تسریع پیری برگ‌ها، غیرفعال شدن فتوسیستم‌های I و II، به‌دلیل جدا شدن برخی از پروتئین‌ها از آنها، تغییر در هدایت روزنه‌ای، نرخ تعرق، محتوای نسبی آب و کاهش تورگر، تغییر در مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی و القای کلروفیلاز، عدم تعادل و کمبود عناصر ضروری، تنش اکسیداتیو و اکسیداسیون ترکیبات مهم زیستی و آسیب به غشاهای زیستی، دلایلی هستند که برای کاهش رشد و عملکرد در شرایط تنش خشکی در گزارش‌های مختلف ذکر شده است (Shibli *et al*., 2007). به گزارش محققان، کاربرد برگی سالیسیلیک اسید از طریق تقویت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی، پایداری غشای سلولی، بهبود فتوسنتز و فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سبب کاهش اثرات منفی ناشی از تنش خشکی شده و افزایش تولید گیاه را به دنبال دارد و تیمار مناسبی برای مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود (Bijanzadeh *et al*., 2019; Hayat *et al*., 2010). افزایش عملکرد دانه با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید روی سویا (Razmi *et al*., 2017)، ارزن (Kolupaev *et al*., 2011)، آفتابگردان (Hussain *et al*., 2009) گزارش شده است. کاربرد این تنظیم‌کننده‌های رشد با افزایش سرعت فتوسنتز و انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به دانه باعث افزایش وزن دانه و در نتیجه عملکرد دانه شده است (Gunes *et al.,* 2007). افزایش عملکرد دانه با کاربرد براسینولید ممکن است به دلیل راندمان فتوشیمیایی بالاتر از نظر جذب دی اکسیدکربن باشد که به افزایش تجمع رنگدانه های فتوسنتزی به‌ویژه کلروفیل و محتوای بیشتر پروتئین‌های محلول نسبت داده می‌شود (Bera *et al*., 2014). گزارش شده است که کاربرد براسینواستروئید باعث افزایش نقل و انتقال در گیاه می‌شود که این در نهایت منجر به افزایش

تعـداد دانـه در چترک، وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه می‌شود. اثرات مثبت مشاهده شده در اثر کاربرد براسینواستروئید بر فعالیت‌های متابولیک و عملکرد دانه و تحمل در برابر انواع تنش می‌تواند به دلیل بیان بیشتر ژن‌های پاسخ دهنـده در برابـر تـنش (Kagale *et al*., 2007)، تحریک تولید هورمون‌های دیگر، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و تنظیمات اسمزی (Divi *et al*., 2010)، کارآیی فتوسنتزی بالاتر، افزایش پایداری غشا و یا سنتز پروتئین‌های ویژه باشد. براسینواستروئیدها در صورتی که در غلظت مناسب و مرحله رشدی مناسب گیاه مورد استفاده قرار گیرند، می‌توانند در تعدیل انواع تنش‌ها مفید واقع شوند (Bajguz and Hayat, 2009). بر طبق نتایج پژوهش‌های مختلف براسینواستروئیدها نه تنها موجب افزایش عملکرد گیاه می‌شوند، بلکه کیفیت گیاهان زراعی و تحمل آنها به انواع تنش را افزایش می‌دهند (Bajguz and Hayat, 2009; Talaat and Shawky, 2012). کاربرد توأم اسید سالیسیلیک و براسینواسـتروئید در کلـزا (Hayat *et al*., 2012) و ذرت (Agami, 2013) توانست کاهش وزن گیاه ناشی از تنش شوری را بهبود بخشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که تنش خشکی سبب تغییراتی در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه از جمله کاهش محتوای آب نسبی برگ، کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و سایر رنگدانه‌ها و افزایش میزان قندهای محلول و درصد اسانس شد. پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی با براسینواستروئید نیز بر اغلب صفات مورد مطالعه اثرات مثبت داشته و تا حدودی اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را جبران نمود. طبق نتایج به دست آمده، غلظت $۱۰^{-۷}$ مولار براسینواستروئید مؤثرتر بود. در مجموع به نظر می‌رسد که با کاربرد این ترکیبات بتوان تعداد دفعات آبیاری را کاهش داده و علاوه بر مدیریت منابع آب و کاهش اثرات سوء ناشی از تنش خشکی، درصد اسانس را در گیاهان دارویی افزایش داد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of the soil experimental region

عمق نمونه‌برداری Sampling depth (cm)	درصد اشباع S.P	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	واکنش گل اشباع Reaction of saturation med	درصد مواد خنثی Percentage of neutral materials	ظرفیت تبادل کاتیونی C.E.C ($Meq.mg^{-1}$)	کربن آلی O.C (%)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل جذب Available P($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب Available K ($mg.kg^{-1}$)
0-20	52	0.44	7.7	24.6	28.1	0.28	3.1	2.5	241
20-60	50	0.49	7.8	25.9	28.0	0.36	2.4	2.8	234

جدول ۲- تجزیه واریانس برخی صفات رازیانه تحت تاثیر کم‌آبیاری، پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی براسینواستروئید

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of the some traits of fennel under deficit irrigation, salicylic acid priming stress and application of brassinostroid

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	محتوای آب نسبی Relative water content	کلروفیل a chlorophyll a	کلروفیل b chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid
تکرار Replication (R)	2	430.72**	0.0305^{ns}	0.0002^{ns}	0.026^{ns}	0.0637**
کم‌آبیاری Deficit irrigation(A)	2	1307.41**	0.3181**	0.2733**	1.153**	0.9107**
خطا Error	4	9.56	0.0192	0.0001	0.021	0.0046
سالیسیلیک اسید Salicylic acid (B)	1	85.88*	0.0857**	0.0786**	0.328**	0.1547**
براسینواستروئید Brassinostroid (C)	2	68.96*	0.0941**	0.0250**	0.209**	0.0864**
A ×B	2	0.92^{ns}	0.0120^{ns}	0.0110*	0.047*	0.0009^{ns}
A× C	4	2.29^{ns}	0.0323*	0.0005^{ns}	0.034^{ns}	0.0190**
B× C	2	0.54^{ns}	0.0006^{ns}	0.0003^{ns}	0.008^{ns}	0.0003^{ns}
A × B × C	4	0.61^{ns}	0.0002^{ns}	0.0004^{ns}	0.005^{ns}	0.0009^{ns}
خطا Error	30	15.77	0.009	0.003	0.0141	0.0043
ضریب تغییرات(%) C.V.		5.32	11.36	14.52	9.37	7.08

* و** به‌ترتیب نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

** and *: significant in 1% and 5% level, respectively.

ادامه جدول ۲-

Table 2- Continued

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	آنتوسیانین Anthocyanin	قندهای محلول Soluble sugars	درصد اسانس Essential oil (%)	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد اسانس Essential oil yeild
تکرار Replication (R)	2	0.139*	0.7485**	1.028**	24357.9^{ns}	238.35**
کم‌آبیاری Deficit irrigation(A)	2	2.054**	1.6883**	0.299**	610074**	208.35**
خطا Error	4	0.039	0.0253	0.023	39016	41.68
سالیسیلیک اسید Salicylic acid (B)	1	1.276**	0.4807**	1.591**	370182.2**	794.72**
براسینواستروئید Brassinostroid (C)	2	0.319**	0.0912*	1.993**	84917.5*	486.28**
A ×B	2	0.210**	0.0738*	0.009^{ns}	77160.7*	40.11^{ns}
A× C	4	0.033^{ns}	0.0022^{ns}	0.003^{ns}	2302.7^{ns}	4.84^{ns}
B× C	2	0.200**	0.0005^{ns}	0.145**	5996.1^{ns}	41.94^{ns}
A × B × C	4	0.035^{ns}	0.0005^{ns}	0.007^{ns}	2783.1^{ns}	4.11^{ns}
خطا Error	30	0.037	0.021	0.0158	723150	17.77
ضریب تغییرات(%) C.V.		6.41	6.53	5.23	15.19	16.99

* و** به‌ترتیب نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

** and *: significant in 1% and 5% level, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده کم‌آبیاری، پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی براسینواستروئید بر برخی صفات رازیانه

Table 3- Mean comparisons of simple effects of deficit irrigation, salicylic acid priming and application of brassinostroid on some traits of fennel

تیمار treatment	محتوای نسبی آب (RWC)	کلروفیل a chlorophyll a (mg/g FW)	کلروفیل b chlorophyll b (mg/g FW)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg/g FW)	کاروتنوئید Carotenoid (mg/g FW)
Deficit irrigation levels	سطوح کم‌آبیاری				
50 mm	82.62 a	0.97 a	0.51 a	1.48 a	0.89 b
75 mm	75.5 b	0.93 a	0.40 b	1.33 b	1.17 a
100 mm	65.65 c	0.73 b	0.26 c	0.99 c	0.72 c
SA priming levels	سطوح پرایمینگ با SA				
Control (0)	73.33 b	0.84 b	0.35 b	1.19 b	0.87 b
پرایمینگ با سالیسیلیک اسید Priming with SA	75.85 a	0.92 a	0.43 a	1.35 a	0.98 a
Br application levels	سطوح محلول‌پاشی براسینواستروئید				
Control (0)	72.52 b	0.81 b	0.35 b	1.16 c	0.86 c
10^{-8} M	74.85 ab	0.87 b	0.40 a	1.26 b	0.92 b
10^{-7} M	76.41 a	0.96 a	0.42 a	1.38 a	1.00 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر جزء بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means with same letter(s) for each component have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

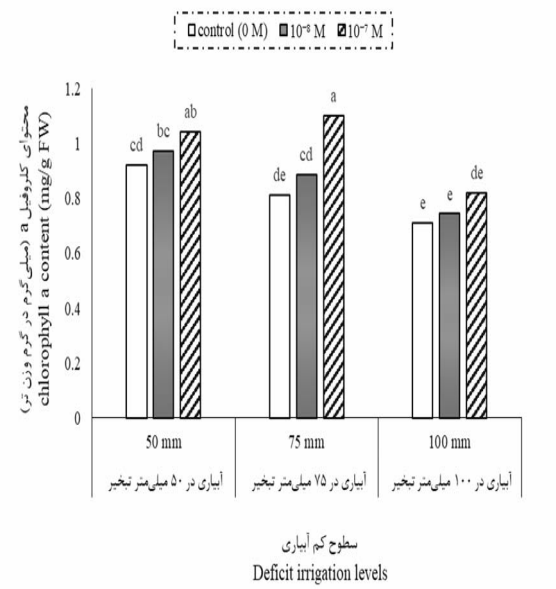
ادامه جدول ۳-

Table 3- Continued

تیمار treatment	آنتوسیانین Anthocyanin (mM/g FW)	قندهای محلول Soluble sugars (mg/g FW)	درصد اسانس Essential oil (%)	عملکرد دانه Seed yield (kg/ha)	عملکرد اسانس Essential oil yield (kg/ha)
Deficit irrigation levels	سطوح کم‌آبیاری				
50 mm	2.94 b	1.93 c	2.28 c	1187.3 a	27.52 a
75 mm	3.36 a	2.24 b	2.41 b	1054.7 b	25.90 a
100 mm	2.69 c	2.54 a	2.53 a	823.6 c	20.99 b
SA priming levels	سطوح پرایمینگ با SA				
Control (0)	2.84 b	2.14 b	2.23 b	939.07 b	20.97 b
پرایمینگ با سالیسیلیک اسید Priming with SA	3.15 a	2.33 a	2.58 a	1104.7 a	28.64 a
Br application levels	سطوح محلول‌پاشی براسینواستروئید				
Control (0)	2.87 b	2.17 b	2.08 c	955.44 b	19.82 c
10^{-8} M	2.98 b	2.24 ab	2.38 b	1017.56 ab	24.41 b
10^{-7} M	3.13 a	2.31 a	2.75 a	1029.61 a	30.19 a

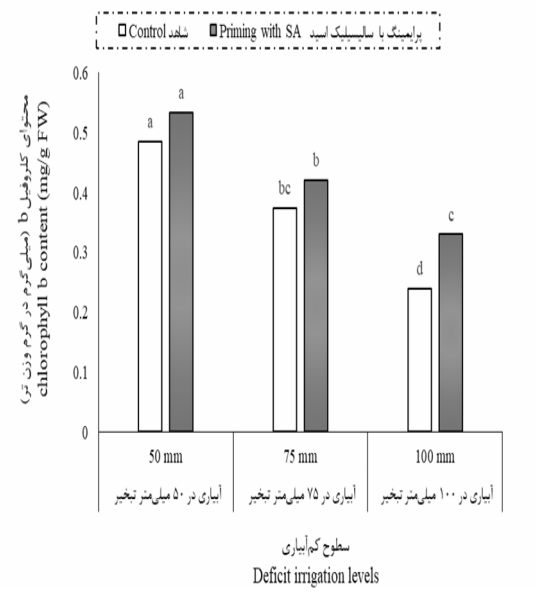
میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر جزء بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means with same letter(s) for each component have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.



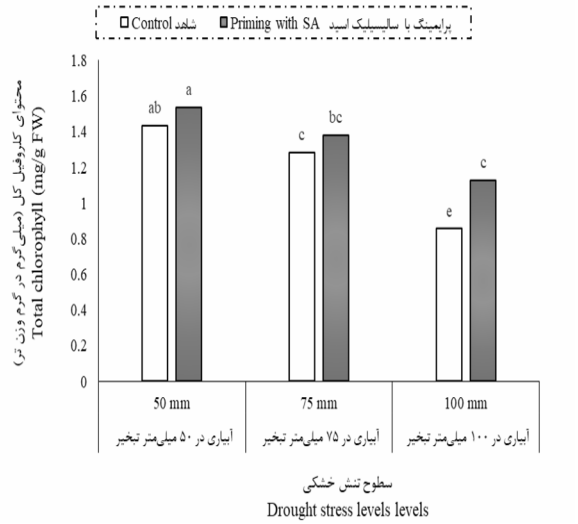
شکل ۱- مقایسه میانگین اثرمتقابل کم‌آبیاری و محلول‌پاشی با براسینواستروئید بر محتوای کلروفیل a

Figure 1- Mean comparisons of interactions of deficit irrigation and application of brassinostroid on chlorophyll a content



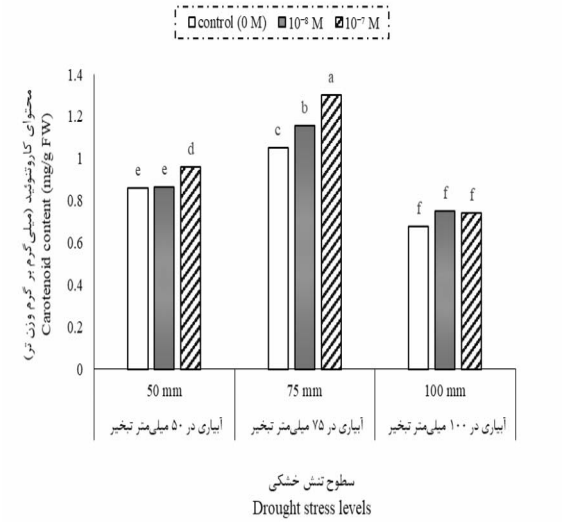
شکل۲- مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و پرایمینگ با سالیسیلیک اسید بر محتوای کلروفیل b

Figure 2- Mean comparisons of interactions of deficit irrigation and salicylic acid priming on chlorophyll b content



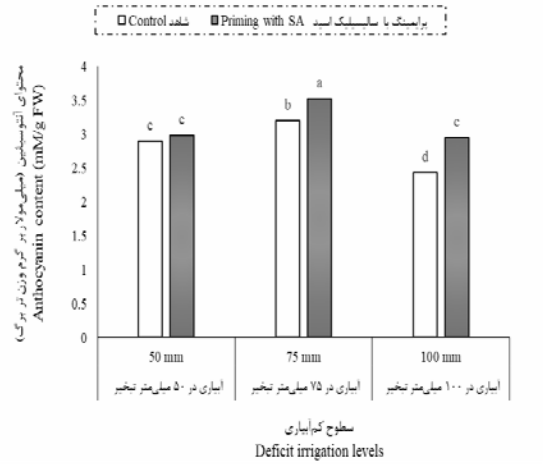
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و پرایمینگ با سالیسیلیک اسید بر محتوای کلروفیل کل

Figure 3- Mean comparisons of interactions of deficit irrigation and salicylic acid priming on total chlorophyll content



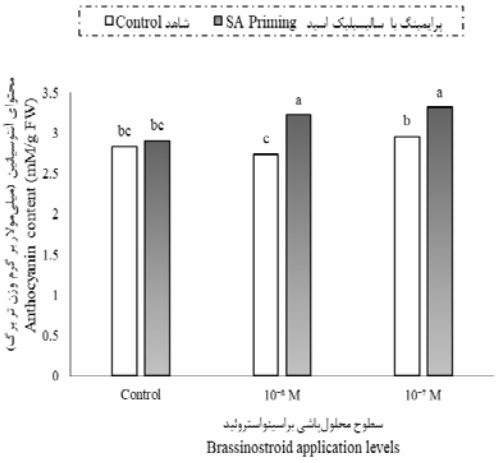
شکل۴ - مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و محلول‌پاشی با براسینواستروئید بر محتوای کاروتنوئید

Figure 4- Mean comparisons of interactions of deficit irrigation and application of brassinostroid on carotenoid content



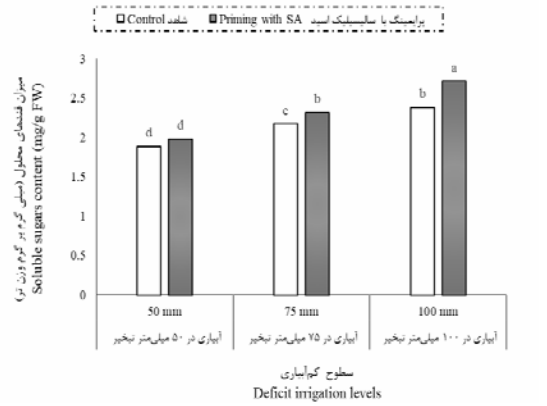
شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و پرایمینگ با سالیسیلیک اسید بر محتوای آنتوسیانین

Figure 5- Mean comparisons of interactions of deficit irrigation and salicylic acid priming on anthocyanin content



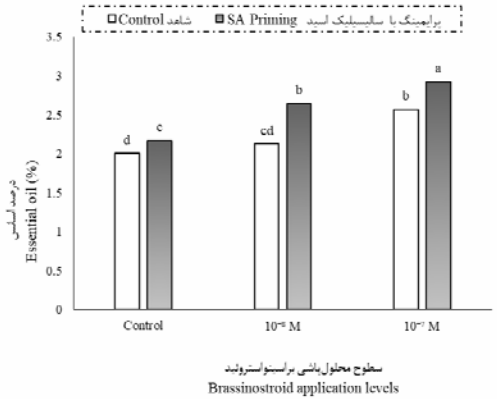
شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی براسینواستروئید بر محتوای آنتوسیانین

Figure 6- Mean comparisons of interactions salicylic acid priming and application of brassinostroid on anthocyanin content



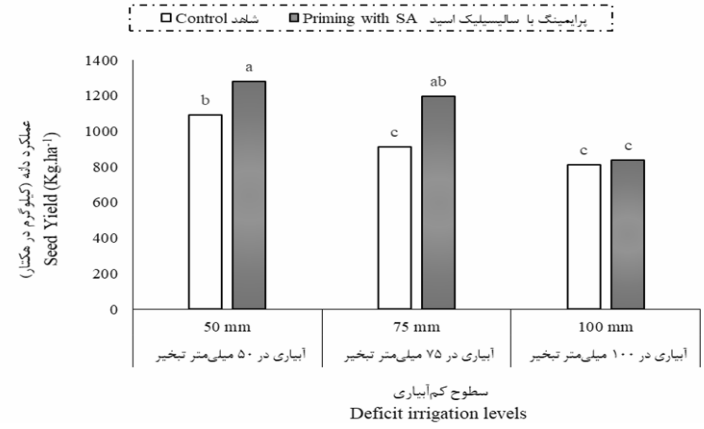
شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و پرایمینگ با سالیسیلیک اسید بر میزان قندهای محلول

Figure 7- Mean comparisons of interactions of deficit irrigation and salicylic acid priming on soluble sugars content



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی براسینواستروئید بر درصد اسانس

Figure 8- Mean comparisons of interactions salicylic acid priming and application of brassinostroid on essential oil percent



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و سطوح کم‌آبیاری بر عملکرد دانه

Figure 9- Mean comparisons of interactions salicylic acid priming and deficit irrigation levels on seed yield

References منابع مورد استفاده

- Abhari, A., and E. Gholinejad. 2019. Effect of salicylic acid foliar application on barley water use efficiency in Cut-Off condition. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 17(1): 157-167. (In Persian).
- Adebayo, M.A., A. Menkir, E. Blay, V. Gracen, E. Danquah, and S. Hearne. 2014. Genetic analysis of drought tolerance in adapted × exotic crosses of maize inbred lines under managed stress conditions. *Euphytica.* 196: 261-270.
- Agami, R.A. 2013. Alleviating the adverse effects of NaCl stress in maize seedlings by pretreating seeds with salicylic acid and 24-epibrassinolide. *South African Journal of Botany*. 88: 171-177.
- Agarwal, S., R. Sairam, G. Srivastava, and R. Meena. 2005. Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. *Biologia Plantarum*. 49(4): 541-550.
- Anjum. S.A., X.Y. Xie, L.C. Wang, M.F. Saleem, C. Man, and W. Lei. 2011. Morpholojical, physiolojical and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Reserch*. 6(9): 2026- 2032.
- Askari, E., and P. Ehsanzadeh. 2015. Drought stress mitigation by foliar application of salicylic acid and their interactive effects on physiological characteristics of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) genotypes. *Acta Physiologiae Plantarum.* 37(2):4-18.
- Aslam, M., M.S.I. Zamir, I. Afzal, M. Yaseen, M. Mubeen, and A. Shoaib. 2013. Drought stress, its effect on maize production and development of drought tolerance through potassium application. *Cercetări Agronomice în Moldova*. 46(2): 99-114.
- Bajguz, A., and S. Hayat. 2009. Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses. *Plant Physiology and Biochemistry.* 47(1): 1-8.
- Barros, L., A.M. Carvalho, and I.C. Ferreira. 2010. The nutritional composition of fennel (*Foeniculum vulgare*): Shoots, leaves, stems and inflorescences. *LWT-Food Science and Technology. 43*(5): 814-818.
- Bayat, H., M. Alirezaie, and H. Neamati. 2012. Impact of exogenous salicylic acid on growth and ornamental characteristics of calendula (*Calendula officinalis* L.) under salinity stress. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry.* 8(1): 258-267.
- Bera, A.K., K. Pramanik, and B. Mandal. 2014. Response of biofertilizers and homobrassinolide on growth, yield and oil content of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *African Journal of Agricultural Research.* 9(48): 3494-3503.
- Bijanzadeh, E., R. Naderi, and T.P. Egan. 2019. Exogenous application of humic acid and salicylic acid to alleviate seedling drought stress in two corn (*Zea mays* L.) hybrids. *Journal of Plant Nutrition.* 42: 1-13.
- Colom, M.R., and C. Vazzana. 2003. Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought-sensitive weeping lovegrass plants. *Environmental and Experimental Botany*. 49: 135-144.
- Costa, M.L., P.M. Civello, A.R. Chaves, and G.A. Martinez. 2005. Effects of ethephon and 6-benzylaminopurine on chlorophyll degrading enzymes and a peroxidase-linked chlorophyll bleaching during post-harvest senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L.) at 20°C. *Post Harvest Biology and Technology.* 35(2): 191-199.

- Demir Kaya, M., G. Okcu, M.A. Atak, and O. Kolsarici. 2006. Seed treatment to overcome salt and drought stress during germination in sunflower. *European Journal of Agronomy.* 24: 291-295.
- Divi, U.K., T. Rahman, and P. Krishna. 2010. Brassinosteroid-mediated stress tolerance in Arabidopsis shows interactions with abscisic acid, ethylene and salicylic acid pathways. *Bio Med Central Plant Biology*. 10(1): 151165.
- Dučaiová, Z., V. Petruľová, and M. Repčák. 2013. Salicylic acid regulates secondary metabolites content in leaves of *Matricaria chamomilla*. *Biologia.* 68(5): 904-909.
- El-Tayeb, M.A. 2005. Response of barley grain to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation.* 45(3): 215-225.
- Farajzadeh, R., N.A. Sajedi, and T. Babaei. 2016. Effect of salicylic acid and post anthesis water deficit stress on some agronomic and physiological traits of different wheat genotypes. *Cereal Research.* 6(2): 173-184. (In Persian).
- Fariduddin, Q., S.A. Hasan, B. Ali, S. Hayat, and A. Ahmad. 2008. Effect of modes of application of 28-homobrassinolide on mung bean. *Turkish Journal of Biology.* 32(1): 17-21.
- Farooq, M., A. Wahid, S.M.A. Basra, and I.U. Din. 2009. Improving water relations and gas exchange with brassinosteroids in rice under drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science.* 195: 262–269.
- Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita, and S.M.A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronmy for Sustainable Development*. 29: 185-212.
- Fathi Amirkhiz, K., M. Amini Dehaghi, and S. Heshmati. 2015. Study the effect of iron chelate on chlorophyll content, photochemical efficiency and some biochemical traits in safflower under deficit irrigation condition. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 46(1): 137-145. (In Persian).
- Ferasat, M. 2010. Effect of water stress on some of agronomical, physiological and biochemical characteristics in cultivars safflower. M.Sc. Thesis Agronomy and Crop Development Department. College of Agriculture. Islamic Azad University, Arak Branch. 134 pages. (In Persian).
- Gardner, F.P. 2010. Physiology of crop plants. Scientific Publishers (India), *Crops.* 327 pp.
- Gharib, F.A.E. 2006. Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. *International Journal of Agriculture and Biology.* 4: 485-492.
- Grace, S.C., and B.A. Logan. 2000. Energy dissipation and radical scavenging by the plant phenyl propanoid pathway. *Philosophical Transactions of the Royal Society* B. 355: 1499-1510.
- Gunes, A., A. Inal, M. Alpaslan, F. Eraslan, E.G. Bagci, and N. Cicek. 2007. Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. *Journal of Plant Physiology*. 164(6): 728-736.
- Haghshenas, J., and M. Eskandari. 2011. Growth parameters and essential oil percentage changes of dill (*Anethum graveolens*) as affected by drought stress and

use of 28-homobrassinolide. *Journal of Plant Ecophysiology*. 3: 29-41. (In Persian).

- Hayat, Q., S. Hayat, M. Irfan, and A. Ahmad. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: a review. *Environmental and Experimental Botany.* 68(1): 14-25.
- Hayat, S., P. Maheshwari, A.S. Wani, M. Irfan, M.N. Alyemeni, and A. Ahmad. 2012. Comparative effect of 28 homobrassinolide and salicylic acid in the amelioration of NaCl stress in *Brassica juncea* L. *Plant Physiology and Biochemistry*. 53: 61-68.
- Hemati, K., A. Ebadi, S. Khomari, and M. Sedghi. 2017. Influence of brassinosteroid and ascorbic acid on essential oil yield and chlorophyll changes under drought stress conditions. 1th International and 5th National Conference on Organic vs. Conventional Agriculture. (In Persian).
- Hemati, K., A. Ebadi, S. Khomari, and M. Sedghi. 2018. The response of pot marigold plant (*Calendula officinalis* L.) to ascorbic acid and brassinosteroid under drought stress. *Journal of Crop Ecophysiology*. 12(2): 191-210. (In Persian).
- Hussain, M., M.A. Malik, M. Farooq, M.B. Khan, M. Akram, and M.F. Saleem. 2009. Exogenous glycinebetaine and salicylic acid application improves water relations, allometry and quality of hybrid sunflower under water deficit conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science.* 195(2): 98-109.
- Iqbal, M., and M. Ashraf. 2006. Wheat seed priming in relation to salt tolerance, growth, yield and level of free salicylic acid and polyamines. *Annals of Botany.* 43(4): 250-259.
- Irrigoyen, J.H., D.W. Emerich, and M. Sanchez Diaz. 1992. Water stress induced changes in concentration of proline and total soluble sugars in modulated alfalfa (*Medicago sativa*). *Plant Physiological Pantarum*. 84: 55-60.
- Johari, M. 2010. Effect of soil water stress on yield and proline content of four wheat lines. *African Journal of Biotechnology*. 9: 36-40.
- Juan, M., R.M. Rivero, L. Romero, and J.M. Rviz. 2005. Evaluation of some nutritional and biochemical indicators in selecting salt-resistant tomato cultivars. *Environmental and Experimental Botany.* 54: 193-201.
- Kagale, S., U.K. Divi, J.E. Krochko, W.A. Keller, and P. Krishna. 2007. Brassinosteroid confers tolerance in *Arabidopsis thaliana* and *Brassica napus* to a range of abiotic stresses. *Planta*. 225(2): 353-364.
- Kaid Nezami, R., and H. Balochi. 2014. Physiological reactions of lentil plant (*Lens culinaris* Medik) to salinity stress and salicylic acid solution. *Journal of Iranian Bean Studies*. 5(2): 98-83. (In Persian).
- Kapoor, R., B. Giri, and K.G. Mukerji. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* Mill. on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresource Technology.* 93(3): 307-311.
- Karkanis, A., D. Bilalis, and A. Efthimiadou. 2011. Architectural plasticity, photosynthesis and growth response velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medicus) plants to water stress in a semi-arid environment. *Australian Journal of Crop Science*. 5(4): 369-374.

- Khan, N., S. Syeed, A. Masood, R. Nazar, and N. Iqbal. 2010. Application of salicylic acid increases contents of nutrients and antioxidative metabolism in mungbean and alleviates adverse effects of salinity stress. *International Journal of Plant Biology*. 1(1): 1-9.
- Khan, N.A., R. Nazar, N. Iqbal, and N.A. Anjum. 2012. Phytohormones and abiotic stress tolerance in plants. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 311p.
- Khodary, S.E.A. 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt-stressed maize plants. *Journal of Agriculture and Biology*. 6: 5-8.
- Kolupaev, Y., T.O. Yastreb, Y.V. Karpets, and N.N. Miroshnichenko. 2011. Influence of salicylic and succinic acids on antioxidant enzymes activity, heat resistance and productivity of *Panicum miliaceum* L. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*. 7(2): 154-163.
- Krantev, A., R. Yordanova, T. Janda, G. Szalai, and L. Popova. 2008. Treatment with salicylic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants. *Journal of Plant Physiology*. 165: 920-931.
- Li, K.R., and C.H. Feng. 2011. Effects of brassinolide on drought resistance of *Xanthoceras sorbifolia* seedlings under water stress. *Acta Physiological Plantarum*. 33: 1293–1300
- Mahdavian, K. 2017. The effect of different concentrations of salicylic acid on moderating the effects of sodium chloride stress on growth parameters and photosynthetic pigments in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Plant Environmental Physiology*. 47(12): 93-106.
- Mahdavian, K. 2018. The effect of different concentrations of salicylic acid on salt-tolerant barley seedlings. *Journal of Crop Physiology*. 36(4): 121-136. (In Persian).
- Mahmood, S., S. Iram, and H.R. Athar. 2003. Intra- specific various quantitative and qualitative attributes under differential salt region. *Journal of Research in Science Teaching*. 14: 177-186.
- Maleki, M.S., and A.A. Ehsanpour. 2018. Effect of salicylic acid on total phenol, flavonoid, anthocyanin and PAL and TAL enzymes in tomato (*Solanum lycopersicum* Mill) plants. *Iranian Journal of Plant Biology*. 9(4): 55-67. (In Persian).
- Meher, H.C., V.T. Gajbhiye, and G. Singh. 2011. Salicylic acid-induced glutathione status in tomato crop and resistance to root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) chitwood. *Journal of Xenobiotics*. 1(1): 22-28.
- Miura, K., and Y. Tada. 2014. Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. *Plant Science Journal*. 5: 410- 424.
- Mohammadi, L., F. Shekari, J. Saba, and E. Zangani. 2011. Effects of seed priming with salicylic acid on vigor and morphological traits of safflower seedlings. *Modern Science of Sustainable Agriculture Journal*. 7: 63-72. (In Persian).
- Naeem, M., M. Idrees, M.M. Alam, T. Aftab, and M.M. Khan. 2012. Brassinosteroid-mediated enrichment in yield attributes active constituents and essential oil production in *Mentha arvensis* L. *Russian Agricultural Sciences*. 38: 106-113 .
- Neocleous, D., and M. Vasilakakis. 2007. Effects of NaCl stress on red raspberry (*Rubus idaeus* L. 'Autumn Bliss'). *Scientia Horticulturae*. 112(3): 282-289.

- Omidbaigi, R. 2007. Production and processing of medicinal plants. Vol. 3, Astane Ghods Razavi press, Mashhad, 325 p. (In Persian).
- Pakmehr, A., F. Shakeri, and M. Rastgo. 2015. The effect of seed priming with salicylic acid on some photosynthetic traits of blubber beans under stress at flowering stage. *Iranian of Journal Pulses Research.* 5(2): 19-30. (In Persian).
- Parida, A.K., and A.B. Das. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 60(3): 324-349.
- Pérez, M.G.F., N.E. Rocha-Guzmán, E. Mercado-Silva, G. Loarca-Piña, and R. Reynoso-Camacho. 2014. Effect of chemical elicitors on peppermint (*Mentha piperita*) plants and their impact on the metabolite profile and antioxidant capacity of resulting infusions. *Food Chemistry.* 156: 273-278.
- Pirbalouti, A.G., M.R. Samani, M. Hashemi, and H. Zeinali. 2014. Salicylic acid affects growth, essential oil and chemical compositions of thyme (*Thymus daenensis* Celak.) under reduced irrigation. *Plant Growth Regulation.* 72(3): 289-301.
- Porra, R.J. 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. *Photosynthesis Research.* 73: 149-156
- Rather, M.A., B.A. Dar, S.N. Sofi, B.A. Bhat, and M.A. Qurishi. 2016. *Foeniculum vulgare*: A comprehensive review of its traditional use, phytochemistry, pharmacology, and safety. *Arabian Journal of Chemistry.* 9: 1574-1583.
- Razmi, N., A. Ebadi, J. Daneshian, and S. Jahanbakhsh. 2017. Salicylic acid induced changes on antioxidant capacity, pigments and grain yield of soybean genotypes in water deficit condition. *Journal of Plant Interactions.* 12(1): 457-464.
- Ronaldo, J.D.D., P.P. Hildete, S. Ladaslav, and R.B.H Claudia. 2013. 24 Epibrassinolide restores nitrogen metabolism of pigeon pea under saline stress. *Botanical Studies*. 54: 9- 15.
- Ruiz-Lozano, J.M. 2003. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmoticstress. *New Perspectives for Molecular Studies Mycorrhiza*. 13: 309–317.
- Schmidhalter, U., C. Bredemeier, D. Geesing, B. Mistele, T. Selige, and S. Jungert. 2006. Precision agriculture: Spatial and temporal variability of soil water nitrogen and plant crop response. *Bibliotheca Fragmenta Agronomica.* 11(3): 97-106.
- Shabani, L., A.A. Ehsanpour, G. Asghari, and J. Emami. 2009. Glycyrrhizin production by in vitro cultured *Glycyrrhiza glabra* elicited by methyl jasmonate and salicylic acid. *Russian Journal of Plant Physiology.* 56(5): 621-626.
- Shakirova, F.M., A.R. Sakhabutdinova, M.V. Bezrukova, R.A. Fatkhutdinova, and D.R. Fatkhutdinova. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science*. 164: 317-322.
- Sheteawi, S.A., and K.M. Tawfik. 2007. Interaction effect of some biofertilizers and irrigation water regime on mungbeen (*Vigna radiata*) growth and yield. *Journal of Applied Sciences Research*. 3(3): 251-262
- Shibli, R.A., M. Kushad, G.G. Yousef, and M.A. Lila. 2007. Physiological and biochemical responses of tomato micro shoots to induced salinity stress with associated ethylene accumulation. *Plant Growth Regulation.* 51: 159-169.

- Singh, B., and K. Usha. 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regulation.* 39: 137-141.
- Swamy, K.N., and S.S.R. Rao. 2008. Influence of 28-homobrassinolid on growth, photosynthesis metabolite and essential oil of geranium. *American Journal of Plant Physiology*. 3(4): 173-179.
- Szepesi, A. 2006. Salicylic acid improves the acclimation of *Lycopersicon esculentum* Mill. to high salinity by approximating its salt-stress response to that of the wild species *L. pennellii*. *Act Biologica Szegediensis.* 50(3-4): 177- 187.
- Talaat, N.B., and B.T. Shawky. 2012. 24-Epibrassinolide ameliorates the saline stress and improves the productivity of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Environmental and Experimental Botany*. 82: 80-88.
- Tambussi, E.A., C.G. Bartoli, J. Beltrano, J.J. Guiamet, and J.L. Araus. 2000. Oxidative damage to thylakoids proteins in water stressed leaves of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Physiologia Plantarum.* 108: 398-404.
- Tavili, A., A. Farajolahi, H. Pouzesh, and E. Bandak. 2010. Treatment induced germination improvement in medicinal species of *Foeniculum vulgare* Miller and *Cuscuta epithymum* (L.). *Modern Applied Science.* 4(7): 163-169 .
- Valladares, F., and U. Niinemets. 2007. The architecture of plant crowns: from design rules to light capture and performance. *Functional Plant Ecology.* 2.101-149.
- Wagner, G.J. 1979. Content and vacuole/ extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanins in protoplast. *Plant Physiology*. 64: 88-93.
- Yadegari, M. 2018. Foliar application effects of salicylic acid and jasmonic acid on the essential oil composition of *Salvia officinalis*. *Turkish Journal of Biochemistry.* 43(4): 417-424.
- Yang, J., J. Zhang, Z. Wang, Q. Zhu, and L. Liu. 2001. Water deficit induced senescence and its relationship to the remobilization of pre-stored carbon in wheat during grain filling. *Agronomy Journal*. 93: 196-206.
- Yavas, I., and A. Unay. 2016. Effects of zinc and salicylic acid on wheat under drought stress. *The Journal of Animal and Plant Sciences.* 26(4): 1012-101.
- Yuan, G.F., C.G. Jia, Z. Li, B. Sun, L.P. Zhang, N. Liu, and Q.M. Wang. 2010. Effect of brassinosteroids on drought resistance and abscisic acid concentration in tomato under water stress. *Scientia Horticulturae*. 126(2): 103-108.
- Zare, S., A. Tavili, A. Shahbazi, and A. Riahi. 2010. The effect of different salicylic acid concentrations on improved germination characteristics of *Sanguisorba minor* L. under salt and drought stress. *Journal of Range and Watershed Management.* 63(1): 29-39.
- Zargerian, M., A. Tehranifar, H. Nemati, and B. Siavashpour. 2016. The effect of salicylic acid on some morphophysiologic characteristics of sunflower seedlings in drought stress conditions. *Journal of Horticulture*. 30(1): 162-151. (In Persian).
- Zhang, M., Z. Zhai, X. Tian, L. Duan, and Z. Li. 2008. Brassinolide alleviated the adverse effect of water deficits on photosynthesis and the antioxidant of soybean (*Glycine m*ax L.). *Plant Growth Regulation*. 56: 257-264.

Research Article DOI: 10.30495/jcep.2020.679369

Effects of Seed Priming of Salicylic Acid and Foliar Application of Brassinostroid on Yield and some Physiological Traits of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under Water Deficit Condition

Tahereh Mojaradi[1*], Mohammad Reza Yavarzadeh[2], and Fatemeh Shirzady[3]

Received: February 2020 , Revised: 5 August 2020, Accepted: 23 August 2020

Abstract

Application of plant growth regulators is one way to reduce the adverse effects of drought stress. To study the effect of different levels of deficit irrigation, salicylic acid priming and foliar application of brassinostroid on yield and physiological traits of fennel a split-factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in 2017 growing season in the Research Station of Bam Islamic Azad University, Kerman, Iran. Main factor included of three levels of irrigation (equivalent of 50 mm (Normal), 75 mm and 100 mm of accumulated evapotranspiration of class A pan evaporation. Sub-plots included: different levels of salicylic acid priming (1600 µmolar), no application of salicylic acid and 3 levels of brassinostroid including 0 (control), 10^{-8} and 10^{-7} molar. The studied traits included relative water content, chlorophyll a, b and total, carotenoid content, anthocyanin, soluble sugars, essential oil percentage and seed yield. Results showed that deficit irrigation decreased relative water content, chlorophyll content, carotenoid and seed yield and increased anthocyanin, soluble sugars and essential oil percent. Priming with salicylic acid and brassinosteroid application showed positive effects on most of the studied traits. The highest total chlorophyll content (1.54) and grain yield (1281 $kg.ha^{-1}$) were observed in non-stress condition with salicylic acid priming. 10^{-7} and 10^{-8} M brassinosteroids increased relative water content by 5.4% and 3.2%, respectively. Priming with salicylic acid at concentrations of 0, 10^{-8} and 10^{-7} M brassinosteroid increased the percentage of essential oil by 8, 24.4 and 13.6%, respectively. Also in drought stress levels 50, 75 and 100 mm, 4.5, 6.7 and 14% increase in soluble sugars were observed, respectively, by salicylic acid priming. According to the results of this study, it seems that salicylic acid priming and brassinostroid reduce some negative effects of drought stress.

Key words: Drought stress, Photosynthetic pigments, Plant growth regulators.

1- Ph.D. Student, Bam Baranch, Islamic Azad University, Bam, Iran.
2- Associate Prof., Department of Agriculture, Bam Baranch, Islamic Azad University, Bam, Iran.
3- Member of Young Research Club ,Kermanshah Baranch, Islamic Azad University, Bam, Iran.
.**Corresponding Author: mojaraditahereh@yahoo.com*