

اثر اسیدآبسیزیک بر عملکرد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای پرولین گیاه اسطوخودوس (*Lavendula angustifolia* cv. Organic Munstead) در واکنش به کم‌آبیاری

حسین گرگینی شبانکاره^۱، سارا خراسانی‌نژاد^{۲*}، حسن سلطانیلو^۳ و وحید شریعتی^۴

۱، ۲ و ۳. دانشجوی دکتری، استادیار و دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۴. استادیار، مرکز ملی مهندسی ژنتیک و بیوتکنولوژی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۲۰ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۵)

چکیده

خشکی از مهمترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در سرتاسر جهان و شایع‌ترین تنش محیطی بوده و اسیدآبسیزیک (ABA) نقش مهمی در راه‌اندازی و هماهنگی بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در کاهش تنش اکسیداتیو دارد. به‌منظور مطالعه اثر محلول‌پاشی اسیدآبسیزیک بر عملکرد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای پرولین اسطوخودوس (*Lavendula angustifolia* cv. Organic Munstead) تحت تنش کم‌آبیاری، آزمایشی گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به‌اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش در چهار سطح رژیم‌های آبیاری (شامل ۱۰۰-۹۰، ۸۰-۷۰، ۶۰-۵۰ و ۴۰-۳۰ درصد ظرفیت زراعی (FC)) و سه سطح محلول‌پاشی ABA (شامل صفر، ۱۵ و ۳۰ میکرومولار در لیتر) لحاظ گردید. صفات در مرحله گلدهی اندازه‌گیری شدند. کم‌آبیاری در بیشترین سطح، منجر به افزایش ۹۱/۰ درصدی پرولین و کاهش ۲۹/۸۸ درصدی کارتنوئید برگ نسبت به شاهد گردید. ABA نیز بر تمامی صفات موردبررسی، بجز کارتنوئید، اثر معنی‌دار داشت. بیشترین فعالیت CAT، POD و SOD در ۳۰ میکرومولار در لیتر ABA در شرایط رژیم آبیاری ۴۰-۳۰ درصد FC حاصل شد، درحالی‌که بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل (۷۰/۵۴ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) از کاربرد ۱۵ میکرومولار در لیتر ABA در ۵۰-۶۰ درصد FC و پرولین (۲/۵۱ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) از محلول‌پاشی ۱۵ میکرومولار ABA در ۴۰-۳۰ درصد FC مشاهده شد. بیشترین میزان وزن تازه و خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه از عدم کاربرد ABA در ۹۰-۱۰۰ درصد FC حاصل شد. می‌توان بیان داشت که ABA در شرایط تنش کم‌آبیاری با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، باعث کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبیاری در اسطوخودوس شد.

واژه‌های کلیدی: آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز، تنش اکسیداتیو، سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز.

The Effect of Abscisic acid regulator on yield, antioxidant enzymes activity and proline content of lavender (*Lavendula angustifolia* cv. Organic Munstead) in response to deficit irrigation

Hossein Gorgini Shabankareh¹, Sarah Khorasaninejad^{2*}, Hassan Soltanloo³ and Vahid Shariati⁴

1, 2, 3. Ph. D. Candidate, Assistant Professor and Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

4. Assistant Professor, National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology, Tehran, Iran

(Received: Nov. 11, 2019- Accepted: Jan. 25, 2020)

ABSTRACT

Drought is one of the most important factors limiting plant growth worldwide and the most common environmental stress. In response to environmental stresses, abscisic acid (ABA) plays an important role in initiating and coordinating many physiological and biochemical processes in reducing oxidative stress. To study the effects of abscisic acid on some antioxidant enzymes and proline of *Lavendula angustifolia* cv. Organic Munstead under deficit irrigation stress, a pot experiment was conducted as factorial based on randomized complete block design with three replications. The treatments were four levels of irrigation regimes (30-40, 50-60, 70-80 and 90-100 percent field capacity (FC)) and ABA including three levels (0, 15 and 30 mM/L). Traits evaluated in flowering stage. The highest level of drought resulted an increasing 91% in proline and decreasing 29.88% in carotenoid compared to control. Abscisic acid had a significant effect on all traits, except of carotenoid content. Abscisic acid 30 mM/L spray and irrigation regimes 30-40 percent FC induced the highest content of CAT, POD and SOD, while the maximum of antioxidant activity (70.54 mg/g DW) has resulted in ABA 15 Mm/L application and irrigation regimes 50-60 percent FC and the maximum of proline (2.51 mg/g DW) has resulted in ABA 15 mM/L application and irrigation regimes 30-40 percent FC. The highest fresh and dry weight of shoot and root were obtained from non-application of ABS in irrigation of 90-100% FC. It is determined abscisic acid application in deficit irrigation stress conditions increased the activity of antioxidant enzymes of lavender to counteract the negative effects of deficit irrigation stress.

Keywords: Antioxidant, anthocyanin, ascorbate peroxidase, catalase, peroxidase, superoxide dismutase.

* Corresponding author E-mail: skhorasaninejad@yahoo.com

مقدمه

تغییرات سریع آب و هوایی، رویدادهای شدید و گسترده خشکسالی که ناشی از کاهش بارش و افزایش تبخیر می‌باشد را به دنبال داشته است (Dai, 2013). به‌طور کلی، خشکی از این جهت به عنوان اصلی‌ترین عامل محیطی محسوب می‌شود که سبب اختلال در وضعیت آب و تاثیر کلیدی بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی از قبیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و میزان اسمولیت‌های گیاهی می‌گردد (Darvizheh *et al.*, 2019).

زمانی که گیاهان با تنش‌های زنده و غیر زنده محیطی مواجه می‌شوند، به سرعت میزان ROS در آنها به عنوان اولین لایه دفاعی تجمع پیدا می‌کند (Baxter *et al.*, 2014; Kocsy *et al.*, 2013). گونه‌های فعال اکسیژنی دارای فعالیت شیمیایی بالا و نیمه‌عمر نسبتاً کوتاه می‌باشند. این گونه‌های فعال اکسیژنی باتوجه به ویژگی ذاتی خود می‌توانند سبب آسیب به ماکرومولکول‌هایی همانند پروتئین‌ها، چربی‌ها و اسیدهای نوکلئیک شوند که در نهایت منجر به مرگ سلولی می‌گردند. این گونه‌های فعال اکسیژنی اکسیداتیو سبب حفظ هومئوستازی مناسب سلول می‌گردند، درحالی‌که، تولید بیش از حد ROSها آسیب و مرگ سلول را به دنبال خواهد داشت (Baxter *et al.*, 2014; Choudhury *et al.*, 2017). عمده آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، شامل آسکوربات‌پراکسیداز (APX)، کاتالاز (CAT)، تیلاکوئیدال آسکوربات‌پراکسیداز (tAPX)، و سوپراکسید مس-روی دیسموتاز (SOD) می‌باشند که یک سیستم بسیار کارآمد را برای حفظ و نگهداری هومئوستازی ROSها در نقاط مختلف یک سلول تحت شرایط نرمال و تنش را فراهم می‌آورند (Qi *et al.*, 2018). بررسی پاسخ فیزیولوژیکی گیاه اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia* Mill) تحت شرایط آبیاری و عدم آبیاری نشان داد که بیشترین میزان فعالیت هیدروژن‌پراکسیداز در تیمار ۱۰ روز یکبار آبیاری مشاهده می‌شود (Du & Rennenberg, 2018). بررسی اثر تنش خشکی بر گیاه آویشن نشان داد که میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در ۴۰ درصد ظرفیت زراعی

نسبت به شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) ۱/۸۷ درصد افزایش یافت (Gorgini Shabankareh *et al.*, 2018).

تنش‌های زنده و غیرزنده در ارتباط مستقیم با فاکتورهایی به نام تنظیم‌کننده‌های رشد (فیتوهورمون‌ها) از قبیل اسیدآبسیزیک، اتیلن، جیبرلین، سایتوکینین و براسینواستروئیدها ترکیبات شیمیایی هستند که بسیاری از فعالیت‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی را در گیاهان کنترل می‌کنند و از این طریق سبب تغییر در رشد و توسعه گیاه می‌گردند (Arulbalachandran *et al.*, 2016). گیاهان از شبکه‌های تنظیم‌کننده فیتوهورمونی به‌عنوان یک مکانیسم بقا در جهت کاهش اثر سوء تنش‌های محیطی استفاده می‌برند. در پاسخ به استرس‌های محیطی، اسیدآبسیزیک (ABA) نقش مهمی در راه‌اندازی و هماهنگی بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی دارد (Wang *et al.*, 2016). ABA یکی از مهمترین هورمون‌های گیاهی است که متعلق به خانواده ترپنئوئیدها می‌باشد که در بسیاری از فرآیندهای بیولوژیکی گیاه از جمله تنظیم رسیدگی بذرها، خواب بذر، تقسیم سلولی، ریزش برگ‌ها، کنترل تحرکات روزنه‌ای و عکس‌العمل‌های تنشی گیاه دخالت می‌کند (Yu *et al.*, 2016). اسیدآبسیزیک از طریق تشکیل یک سیستم هومئوستازی به شرایط تنش پاسخ می‌دهد. بررسی اثر محلول‌پاشی اسیدآبسیزیک بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و برخی خصوصیات بیوشیمیایی گیاه *Cannabis sativa* L. تحت شرایط رطوبتی مختلف نشان داد که محلول‌پاشی ۲۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدآبسیزیک در شرایط تنش خشکی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی سبب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه شاهدانه گردید (Motamedi *et al.*, 2019). بررسی اثر رژیم‌های آبیاری بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی مرزه (*Satureja khuzestanica*) نشان داد که میزان پرولین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل گیاه در اثر رژیم آبیاری افزایش یافتند (Gorgini Shabankareh & Khorasaninejad, 2017). محققان با بررسی اثر تنش کم‌آبیاری بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و

در شرایط رژیم‌های آبیاری و نقش این هورمون در ایجاد و القای تحمل به کم‌آبیاری اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ در دانشکده‌ی تولید گیاهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی، طول ۵۳ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۵۵ متری از سطح دریای آزاد اجرا شد. در این تحقیق اثر دو عامل رژیم‌های آبیاری و اسیدآبسیزیک بر عملکرد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای پرولین گیاه دارویی اسطوخودوس به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار (که هر تکرار شامل سه واحد آزمایشی بود) مورد بررسی قرار گرفت. رژیم آبیاری در چهار سطح آبیاری ۱۰۰-۹۰، ۸۰-۷۰، ۶۰-۵۰ و ۴۰-۳۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی اسیدآبسیزیک در سه غلظت، صفر، ۱۵ و ۳۰ میکرومولار در لیتر در نظر گرفته شدند. غلظت‌های انتخاب شده بر اساس گزارش‌های قبلی و انجام آزمایش‌ها پیش تست برای این گیاه می‌باشد.

بذر گیاه *L. angustifolia* 'Munstead Organic' از شرکت Strictly Medicinal Seeds[®] آمریکا تهیه شد. برای شکست خواب بذر، در اردیبهشت‌ماه سال ۹۶ بذور به‌مدت سه هفته در محیط کاملاً مرطوب، در دمای چهار درجه‌سانتی‌گراد قرار داده شد و در خردادماه ۹۶ بذرها در داخل سینی نشا (با نسبت برابر کوکوپیت و پرلیت) کشت شد. حدود سه ماه بعد از کشت در سینی نشا (شهریورماه ۹۶) به‌منظور تهیه نشا، تعداد یک بوته در داخل هر کدام از گلدان‌ها (گلدان‌هایی با ۶ سانتی‌متر قطر و ۱۰ سانتی‌متر ارتفاع) کشت گردید پس از گذشت حدود چهار ماه یعنی در دی‌ماه ۹۶ نشاها در مرحله‌ی ۱۰-برگی به گلدان‌های اصلی با قطر دهانه ۳۰ و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر (حاوی دو واحد خاک، یک واحد پرلیت و یک واحد خاک برگ) منتقل شدند. در مجموع ۱۰۸ گلدان (با احتساب زیرواحدهای موجود در هر تکرار) برای کشت استفاده شد. پس از گذشت سه ماه و سازگار شدن نشاها، گلدان‌ها در اواخر فروردین‌ماه سال ۹۷ به فضای

بیوشیمیایی از قبیل پرولین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) نشان دادند که اعمال تنش خشکی به شدت سبب افزایش میزان پرولین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی برای مقابله با شرایط تنش می‌گردد (Khorasaninejad et al., 2018). بررسی اثر رژیم آبیاری بر گیاه دارویی خرفه (*Portulaca oleracea* L.) نشان داد که افزایش میزان آبیاری سبب افزایش معنی‌دار فنل، فلاونوئید، آنتی‌اکسیدان و محتوای پرولین گردید. به‌طوری‌که در ۲۵ درصد ظرفیت زراعی، پرولین ۱/۰۹ درصد افزایش و در مقابل محتوای آب نسبی برگ به میزان ۶/۵۳ درصد کاهش یافت (Mozafari et al., 2017).

جنس اسطوخودوس (*Lavandula* spp.) از گیاهان گلدار متعلق به خانواده Lamiaceae بوده و به‌طور وحشی در نواحی مدیترانه، شبه‌جزیره عربستان، جزایر قناری و هند با میزان بارش بالا و تابستان طولانی می‌روید (Du & Renneberg, 2018). تاکنون ۳۹ گونه از آن شناسایی شده است که پرکاربردترین گونه آن به لحاظ صنایع آرایشی-بهداشتی و دارویی اسطوخودوس انگلیسی (*Lavandula angustifolia*) می‌باشد (Upson & Andrews, 2004). با توجه به پتانسیل اقتصادی و زینتی آن در صنایع آرایشی-بهداشتی و دارویی این گیاه در سراسر جهان کشت می‌شود (Stanev et al., 2016).

باتوجه به این‌که خشکی و کم‌آبی در ایران همواره از مهمترین مسائل و مشکلات کشاورزی است و مواجهه با این تنش محیطی به نظر در شرایط کنونی امری اجتناب‌ناپذیر است و نیز با توجه به تأثیر منفی تنش خشکی در محدود نمودن تولید محصولات، استفاده از نظام‌های کشاورزی پایدار و معرفی روش‌های مدیریتی نظیر کاربرد اسیدهای آلی از طریق بررسی‌هایی نظیر مطالعه حاضر ضروری می‌باشد. از طرف دیگر علی‌رغم خصوصیات دارویی منحصر به‌فرد گیاه اسطوخودوس و مقاومت بالای این گیاه به شرایط تنشی، پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی اثر کاربرد اسیدآبسیزیک در جهت نیل به اهداف کشاورزی پایدار و تعیین نیاز آبی گیاه دارویی اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia* cv. Monesead Organic)

اسیدآبسیزیک جهت اعمال تیمار، از شرکت (Sigma Aldrich®) تهیه شد. محلول پاشی اسیدآبسیزیک در سه سطح (صفر، ۱۵ و ۳۰ میکرومولار در لیتر) در سه مرحله رشد (کامل شدن دوره رشد رویشی، شروع گلدهی و گلدهی کامل) انجام گرفت. جهت تهیه محلول‌های مورد نظر، ابتدا اسیدآبسیزیک در ۰/۵ میلی‌لیتر محلول سود یک نرمال حل شده و با آب مقطر به حجم مورد نظر (با احتساب مقدار مورد نیاز برای هر سطح)، رسانده شدند و سپس محلول پاشی انجام گرفت. جهت شناسایی خصوصیات کمی و کیفی خاک محل آزمایش، نمونه خاک مورد استفاده به آزمایشگاه منتقل و تجزیه شیمیایی و فیزیکی انجام گرفته و نتایج حاصل از تجزیه خاک در جدول ۱ آورده شده است.

حدود ۸ هفته پس از شروع تیمارهای رژیم آبی (زمانی که ۵۰٪ بوته‌ها در مرحله گلدهی کامل بودند)، اقدام به اندازه‌گیری عملکرد رشدی (وزن تازه و خشک گیاه، وزن تازه و خشک ریشه)، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی (پرولین، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، کارتنوئید، آنزیم کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات‌پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز) گردید. به طوری که از هر تیمار، سه نمونه انتخاب شده، وزن تازه و خشک ریشه و اندام هوایی، پس از قراردهی دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت اندازه‌گیری گردید. بعد از حذف ریشه و خشک نمودن سرشاخه هوایی در دمای اتاق، اندازه‌گیری وزن خشک گیاه انجام شد. سپس عصاره متانولی از اندام هوایی خشک شده تهیه و صفاتی نظیر فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل، پرولین برگ، کارتنوئید و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برای هر تکرار اندازه‌گیری شد. کارتنوئید به روش بیتز و به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طیف جذبی ۴۷۰ نانومتر خوانده و اندازه‌گیری شد (Bates et al., 1973). همچنین برای پرولین از روش Bates et al. (1973) استفاده شد.

آزاد منتقل شدند. بعد از سبز شدن، بوته‌ها وجین علف‌های هرز در واحدهای آزمایشی در سه نوبت (یک مرحله قبل از اعمال تیمارهای آبیاری، مرحله دوم در اواسط دوره رشد گیاه و مرحله سوم قبل از دوره گلدهی) به صورت دستی صورت پذیرفت.

اعمال تیمارهای تنش خشکی، به روش وزنی بود. به طوری که ابتدا در کف هر کدام از گلدان‌ها به مقدار مساوی سنگ‌ریزه (جهت انجام زهکشی) ریخته شد و با استفاده از ترازو به صورت هم وزن از خاک پر شدند (در داخل هر گلدان ۹ کیلوگرم خاک). سپس با افزودن آب، خاک هر گلدان را به درجه اشباع رسانده و به مدت ۴۸ ساعت روی سطح مشبک قرار داده شد تا هر گلدان پس از زهکشی آب اضافی به ظرفیت زراعی برسد. در این مرحله گلدان‌ها به سرعت وزن شده و خاک آنها در دمای ۱۰۵ درجه به مدت ۴۸ ساعت کاملاً خشک گردید. در ادامه پس از مشخص شدن درصد وزنی رطوبت خاک در ظرفیت زراعی مزرعه، میزان رطوبت موجود در خاک برای اعمال تیمارهای رطوبتی مختلف مشخص شده تا با توزین روزانه گلدان نمونه در هر بلوک، کسری آب محاسبه و مقدار آب مورد نیاز به گلدان‌ها اضافه گردید. برای کنترل وزن خشک بوته‌ها، هر تیمار رطوبتی دارای گلدان اضافی بود تا وزن خشک بوته‌ها به وزن خشک گلدان‌ها اضافه نشده و مقدار صحیحی از آب در زمان اعمال تیمارهای رطوبتی به هر گلدان اختصاص یابد. تا ۲ ماه بعد از انتقال گلدان‌های اصلی به فضای آزاد (اواسط خرداد ۹۷)، گلدان‌ها در رژیم‌های یکسان آبیاری گردیدند و از این مرحله به بعد (اواخر خرداد ۹۷، حدود نه ماه پس از کاشت)، برای تعیین رژیم‌های آبیاری به طور روزانه رطوبت از هر کدام از گلدان‌ها اندازه‌گیری و رژیم‌هایی که درصد وزنی رطوبت خاک به کمتر از درصد مورد نظر رسیده بود آبیاری در هر تیمار انجام شد (Khorasaninejad et al., 2018).

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان‌ها

Table 1. Physical and chemical properties of soil used in pots

Texture	%Sand	%Silt	%Clay	K(ava) p.p.m	P(ava) p.p.m	O.C %	N (%)	T.N.V (%)	SP	EC*10 (dS/m)	pH	Depth (cm)	Description	Lab .No
Clay -Silty	42	42	12	256	24.8	0.9	0.09	5.59	141.86	4.076	7.34	0-30	Gorgan	947

T.N.V: درصد کل مواد خنثی شونده

درصد (وزنی حجمی)، در هاون روی یخ ساییده و عصاره با استفاده از کاغذ صافی صاف شد. محلول‌های همگن حاصل در ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه، به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد و محلول رویی برای سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز استفاده شد. مخلوط واکنش شامل بافر سدیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار، آب اکسیژنه ۴۴ میکرومولار، آسکوربات ۵ میلی‌مولار و عصاره آنزیمی بود. کاهش جذب آسکوربات در طول موج ۲۹۰ نانومتر تعیین و به ازای هر میلی‌گرم پروتئین در عصاره آنزیمی بیان شد.

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز براساس روش Giannopolitis & Ries (1977) انجام شد. محلول واکنش در حجم نهایی یک میلی‌لیتر برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز شامل ۸۳۵ میکرولیتر بافر فسفات سدیم ۵۰ میلی‌مول (pH=7/8)، ۵۰ میکرومولار نیتروبلوتترازولیوم (NBT)، ۱۳ میلی‌مول در لیتر متینین، ۱/۳ میکرومول ریبولوین، ۷۵ نانومولار EDTA و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. تغییرات جذب محلول واکنش نسبت به تیمار شاهد به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز بر اساس میکرومول در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین بیان گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها (تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به روش LSD) با استفاده از نسخه ۹/۲ نرم‌افزار SAS و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

باتوجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) تیمار آبیاری اعمال شده بر تمامی صفات مورد اندازه‌گیری اثر معنی‌دار (در سطح احتمال یک درصد) داشتند. همچنین اثر اسیدآبسیزیک بر تمامی خصوصیات گیاه به جز کارتنوئید معنی‌دار (در سطح احتمال یک درصد) شد و اثر متقابل رژیم آبیاری و اسیدآبسیزیک به جز برای صفات کارتنوئید، وزن تازه ریشه و آنزیم آسکوربات پراکسیداز برای سایر صفات اثر معنی‌دار داشت (جدول ۲).

برای اندازه‌گیری میزان مهار رادیکال‌های آزاد DPPH (دی‌فنیل پیکریل هیدرازیل)، ابتدا یک میلی‌لیتر از عصاره متانولی با یک میلی‌لیتر DPPH با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار مخلوط گردید. برای نمونه شاهد یک میلی‌لیتر متانول خالص به جای یک میلی‌لیتر عصاره متانولی قرار داده شد و برای بلانک از متانول خالص استفاده شد. بعد از ۳۰ دقیقه تاریکی، نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شدند. اعداد به دست آمده از جذب نمونه توسط رابطه ۱ به درصد مهار رادیکال آزاد تبدیل شد (Miliauskas *et al.*, 2004).

$$\text{رابطه ۱) } = \text{درصد DPPH} \\ \times 100 = \frac{\text{(درصد جذب نمونه - درصد جذب شاهد)}}{\text{درصد جذب شاهد}}$$

اعداد به دست آمده برابر با درصد مهار رادیکال‌های آزاد در عصاره متانولی (۰/۱ ppm) نمونه‌ها می‌باشد (Brahmi *et al.*, 2012).

فعالیت آنزیم کاتالاز به روش Maehly & Chance (1954) اندازه‌گیری شد که بر پایه تجزیه پراکسید هیدروژن توسط آنزیم کاتالاز استوار است. مخلوط واکنش شامل ۳ میلی‌لیتر بافر سدیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=7) حاوی ۴/۵۱ میکرومولار پراکسید هیدروژن و ۵۰ میکرولیتر عصاره بود. پس از اضافه کردن عصاره، کاهش جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر به مدت یک دقیقه با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتری اندازه‌گیری شد.

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز طبق روش Fahimi & Herzog (1976) انجام شد. مخلوط واکنش شامل ۳ میلی‌لیتر بافر سدیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=7/8) حاوی ۴/۵۱ میکرومولار پراکسید هیدروژن، ۳/۳۵ میکرولیتر گایاکول و ۵۰ میکرولیتر عصاره بود. پس از اضافه کردن عصاره، کاهش جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر به مدت دو دقیقه با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتری اندازه‌گیری شد.

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز براساس روش Nakano & Asada (1981) اندازه‌گیری شد. ۰/۲ گرم نمونه منجمد گیاهی با ۳ میلی‌لیتر بافر سدیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH 7/8 حاوی EDTA ۵ میلی‌مولار، دی‌تیوتریتول ۵ میلی‌مولار، کلرید سدیم ۱۰۰ میلی‌مولار و پلی‌وینیل پیرولیدین ۲

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر اسیدآبسیزیک و کم‌آبیاری بر وزن تر و خشک شاخه و ریشه، پرولین و کارتنوئید اسطوخودوس
Table 2. Results of variance analysis of abscisic acid and deficit irrigation on fresh and dry weight of shoot and root, prolin and carotenoid of lavender

Source of variation	df	Mean of squares					
		Shoot fresh weight	Shoot dry weight	Root fresh weight	Root dry weight	Proline	Carotenoid
Replication	2	98.22	69.37	167.16	0.98	0.031	0.003
Deficit irrigation	3	1510.42**	1351.02**	1738.93**	669.35**	1.28**	0.036**
Abscisic acid (ABA)	2	1889.13**	1910.95**	517.37**	1311.67**	0.625**	0.001 ^{ns}
Deficit irrigation × Abscisic acid	6	169.31**	120.85**	73.76 ^{ns}	128.44**	0.146**	0.005 ^{ns}
Error	22	47.50	29.96	116.70	24.17	0.029	0.002
C.V. (%)		7.27	11.99	11.86	10.64	8.83	20.16

*, **, ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.

*, **, ns: Significantly difference at 5% and 1% of probability levels and non-significantly difference, respectively.

ادامه جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر اسیدآبسیزیک و کم‌آبیاری بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فعالیت برخی آنزیم‌ها در اسطوخودوس
Continued table 2. Results of variance analysis of abscisic acid and deficit irrigation on antioxidant activity and activity of some enzymes in lavender.

Source of variation	df	Mean of squares				
		Antioxidant activity	Catalase	Peroxidase	Scorbate peroxidase	Superoxide dismutase
Replication	2	2.90	518.47	523.03	3538.23	662.48
Deficit irrigation	3	1425.26**	82514.72**	15976.99**	23126.28**	24454.00**
Abscisic acid (ABA)	2	844.38**	29265.62**	3973.64**	10274.12**	8881.11**
Deficit irrigation × Abscisic acid	6	107.73*	3161.35*	713.16*	2404.34 ^{ns}	970.66**
Error	22	22.58	1211.57	219.23	1230.03	364.07
C.V. (%)		8.73	9.23	7.03	10.80	6.63

*, **, ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.

*, **, ns: Significantly difference at 5% and 1% of probability levels and non-significantly difference, respectively.

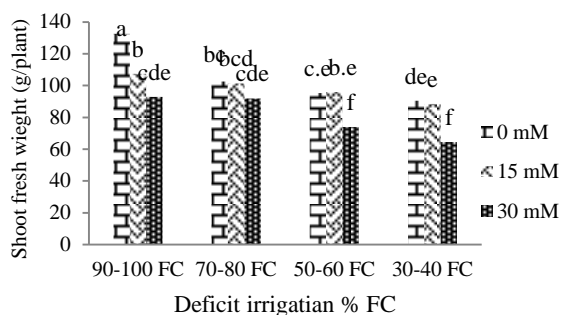
گرم در گیاه) از سطح اول کم‌آبیاری و کمترین میزان وزن تازه ریشه (۷۲/۱۹ گرم در گیاه) از سطح چهارم کم‌آبیاری حاصل شد (شکل ۳). کاربرد ۱۵ و ۳۰ میکرومولار در لیتر اسیدآبسیزیک موجب کاهش معنی‌دار این صفت نسبت به شاهد گردید. به طوری که بیشترین مقدار این صفت از ۹۰-۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد (شکل ۴). همچنین قابل ذکر است که از کاربرد اسیدآبسیزیک در شرایط کم‌آبیاری برای صفت وزن تازه ریشه اثر معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲).

در این مطالعه کم‌آبیاری شدید (۳۰-۴۰ درصد ظرفیت زراعی) تنش کم‌آبیاری آثار مضر بر عملکرد رویشی گیاه اسطوخودوس داشت. این اثر ممکن است از کمبود آب حاکی باشد. چرا که تنش کم‌آبیاری موجب کاهش مقدار آب، آماس، پتانسیل کل آب، پژمردگی، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش در بزرگ شدن سلول‌ها و رشد رویشی می‌گردد عملکرد رویشی گیاه بستگی به تقسیم سلولی، بزرگ شدن سلول‌ها و تمایز دارد و کلیه این حوادث متأثر از تنش خشکی می‌باشد (Gorgini Shabankareh et al., 2017).

مقایسه میانگین اثر تیمارها بر صفات اندازه‌گیری شده

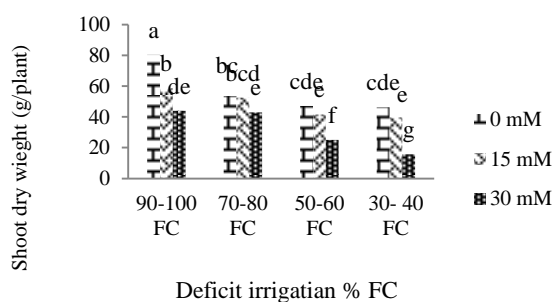
وزن تازه و خشک بوته، وزن تازه و خشک ریشه

وزن تازه و خشک گیاه به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای خشکی (رژیم آبیاری)، اسیدآبسیزیک و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان می‌دهد که تیمار رژیم آبیاری و اسیدآبسیزیک تأثیر معنی‌داری بر میزان وزن تازه و خشک ریشه داشت (جدول ۲). در شرایط محلول‌پاشی اسیدآبسیزیک توأم با رژیم آبیاری، اسیدآبسیزیک نتوانست سبب بهبود صفات مذکور گردد به طوری که بیشترین مقدار وزن تازه گیاه (۱۳۲/۴۷ گرم در گیاه)، وزن خشک گیاه (۸۰/۳۷ گرم در گیاه) و وزن خشک ریشه (۵۹/۷۳ گرم در گیاه) به ترتیب از عدم کاربرد اسیدآبسیزیک در ترکیب تیماری رژیم آبیاری در ۹۰-۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی برای وزن تازه و خشک گیاه (شکل ۱ و ۲) و ۷۰-۸۰ درصد ظرفیت زراعی برای وزن خشک ریشه حاصل شد (شکل ۵). با کاهش سطح آبیاری، میزان وزن تازه ریشه به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۳). به طوری که بیشترین میزان وزن تازه ریشه (۱۰۴/۲۳



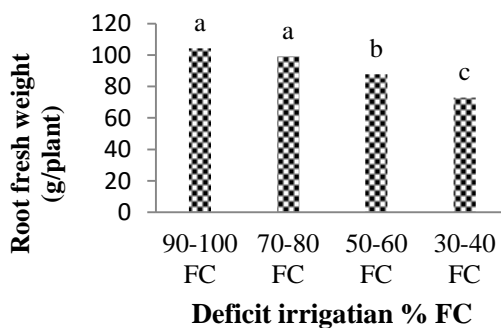
شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل اسیدآبسیزیک و کم‌آبیاری بر وزن تر اندام هوایی اسطوخودوس.

Figure 1. Mean comparison interaction effect of abscisic acid and deficit irrigation on aerial fresh weight of lavender.



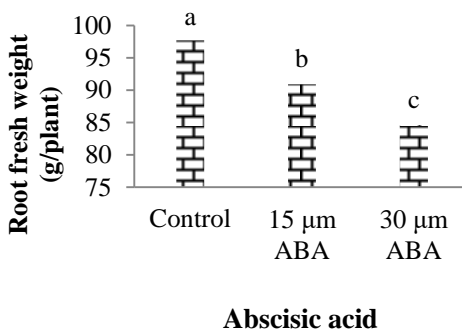
شکل ۲. اثر متقابل اسیدآبسیزیک و رژیم آبیاری بر وزن خشک اندام هوایی اسطوخودوس.

Figure 2. Mean comparison interaction effect of abscisic acid and deficit irrigation on aerial dry weight of lavender.



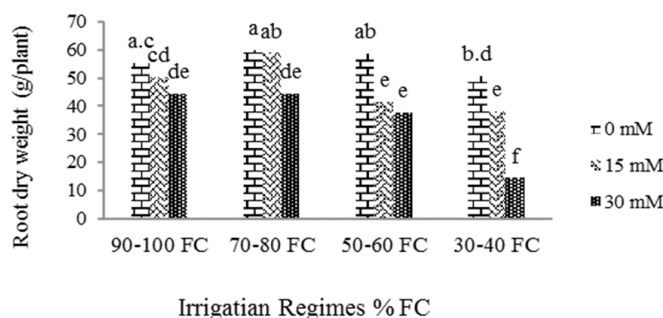
شکل ۳. مقایسه میانگین اثر کم‌آبیاری بر وزن تر ریشه اسطوخودوس.

Figure 3. Mean comparison effect of deficit irrigation on root fresh weight of lavender.



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر اسیدآبسیزیک بر وزن تر ریشه اسطوخودوس.

Figure 4. Mean comparison effect of abscisic acid on root fresh weight of lavender.



شکل ۵. اثر متقابل اسیدآبسیزیک و کم آبیاری بر وزن خشک ریشه اسطوخودوس.

Figure 5. Mean comparison interaction effect of abscisic acid and deficit irrigation on root dry weight of lavender.

،(Shabankareh, Khorasaninejad *et al.*, 2018 آلترناترا (Mehrgan *et al.*, 2018) و ریحان (Damalas, 2019) مطابقت دارد. همچنین کاهش معنی‌دار ماده خشک ریشه در اثر افزایش تنش کم‌آبیاری، دلالت بر تحت تأثیر قرار گرفتن ریشه به‌عنوان یکی از مهمترین اجزای گیاه در اثر این پدیده محیطی دارد. در واقع با پیشرفت تنش کم‌آبیاری همچنان که فتوسنتز برگ کاهش پیدا می‌کند نیاز قندی برای تنظیم اسمزی در گیاهان زیاد شده و به دنبال آن رشد ریشه به طور اجتناب ناپذیری متوقف می‌گردد (Sodaie *et al.*, 2016).

در این مطالعه محلول‌پاشی اسیدآبسیزیک در هر دو سطح ۱۵ و ۳۰ میکرومولار در لیتر اثر مثبتی را برای صفات وزن تازه و خشک به دنبال نداشت. به‌طور عمده، مراحل اولیه پاسخ گیاه به کم‌آبیاری با افزایش تولید ABA و بسته شدن روزنه‌ها همراه می‌باشد. در شرایط تنش، پاسخ گیاه به کمبود آب با افزایش درونی تولید تنظیم‌کننده‌های رشد از قبیل ABA آغاز می‌شود که سبب افزایش بیان چندین واکنش ژنی و فعال شدن چرخه سیگنالینگ می‌گردد که منجر به کاهش فعالیت‌هایی مانند هدایت روزنه‌ای و میزان دی‌اکسیدکربن داخلی می‌گردد. کاهش میزان CO₂ منجر به کاهش تولید مواد فتوسنتزی خواهد گردید و در نتیجه کاهش عملکرد تازه و خشک گیاه را به دنبال خواهد داشت (Osakabe *et al.*, 2014). بر اساس نتایج تحقیقی در شرایط کم‌آبیاری، گسترش ریشه و برگ‌های جوان به عنوان سینک زودتر و

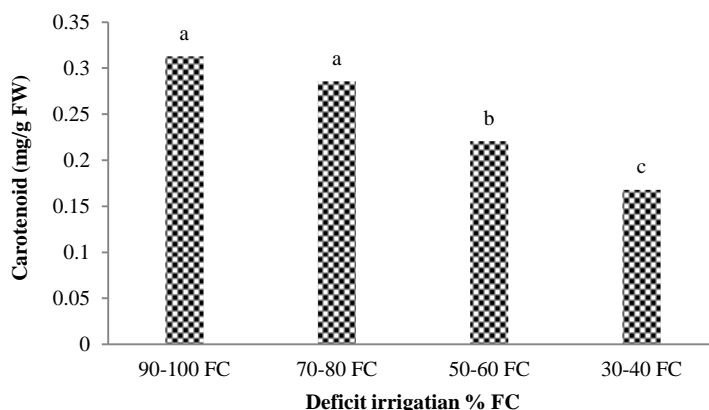
از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش فشار آماس و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سلول در ساقه، برگ و ریشه‌ها است. کاهش تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌ها موجب کاهش سطح برگ و در نتیجه کاهش فتوسنتز و عملکرد رشد می‌گردد. با کاهش رشد و نمو سلول، اندازه اندام محدود می‌شود. به عبارت دیگر کاهش مواد فتوسنتزی تولیدی به علت کاهش سطح برگ و کاهش انتقال مواد آسیمیلاتی به سمت اندام زایشی در اثر کمبود آب سبب کاهش عملکرد هوایی گیاه می‌گردد. به همین دلیل اولین اثر محسوس کم‌آبی بر گیاهان را میتوان از روی اندازه کوچکتر برگ‌ها و ارتفاع کمتر گیاهان تشخیص داد. یکی از علل اصلی کاهش وزن تازه و خشک گیاه در شرایط تنش کم‌آبیاری، تخصیص بیشتر بیوماس تولیدی گیاه به سمت ریشه‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر کمبود آب در گیاهان می‌تواند سبب اختلالات فیزیولوژیک همچون کاهش فتوسنتز و تنفس شود که نهایتاً کاهش عملکرد اندام هوایی و ریشه را به دنبال خواهد داشت (Gorgini Shabankareh & Khorasaninejad, 2017). از دلایل دیگر کاهش وزن تازه و خشک گیاه، کاهش سطح برگ می‌باشد به‌طوری‌که گیاهان زمانی که در معرض تنش کم‌آبیاری قرار می‌گیرند سطح برگ خود را کاهش می‌دهند که این موضوع سبب کاهش تولید مواد فتوسنتزی در گیاه می‌گردد، بدنبال کاهش مواد فتوسنتزی وزن خشک برگ و در نهایت وزن خشک بوته کاهش می‌یابد (Moradi, 2017). این نتایج با نتایج دیگران روی آویشن (Gorgini

شدیدتر از عامل فتوسنتز تحت تأثیر خشکی قرار می‌گیرند. بر این اساس، رشد ریشه برای فراهم آوردن سطح بیشتر جذب آب، نسبت به اندام هوایی افزایش می‌یابد که این مکانیسم در شرایط خشکی سبب افزایش بهره‌وری گیاه در شرایط کمبود آب، از طریق کاهش عملکرد اندام هوایی می‌گردد (Li *et al.*, 2018).

مقدار کارتنوئید و پرولین

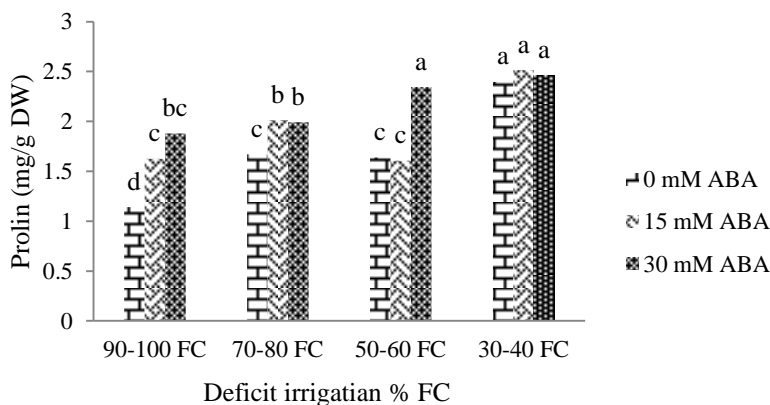
نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تیمار رژیم‌های آبیاری تأثیر معنی‌داری بر مقدار کارتنوئید داشت (جدول ۲). بیشترین میزان کارتنوئید با میانگین ۰/۳۱۳ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک از تیمار آبیاری در ۹۰-۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین آن با میانگین ۰/۱۶۸ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک از سطح چهارم رژیم آبیاری

همچنین کاربرد اسیدآبسیزیک در شرایط کم‌آبیاری اثر معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) بر میزان پرولین گیاه داشت (جدول ۲). به طوری که کاربرد اسیدآبسیزیک (۱۵ و ۳۰ میکرومولار در لیتر) در شرایط ۳۰-۴۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین میزان پرولین گیاه را به دنبال داشت (شکل ۷). همچنین قابل‌ذکر است که از کاربرد ۱۵ و ۳۰ میکرومولار اسیدآبسیزیک در شرایط تنش (۳۰-۴۰ درصد ظرفیت زراعی) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و هر دو در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۷).



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر کم‌آبیاری بر کارتنوئید اسطوخودوس.

Figure 6. Mean comparison effect of deficit irrigation on carotenoid of lavender.



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل اسیدآبسیزیک و کم‌آبیاری بر میزان پرولین اسطوخودوس.

Figure 7. Mean comparison interaction effect of abscisic acid and deficit irrigation on proline of lavender.

به‌طور کلی، در این مطالعه کاربرد اسیدآبسیزیک در شرایط کم‌آبیاری سبب بهبود میزان پرولین گیاه اسطوخودوس شد. ایجاد همئوستازی و علامت‌دهی هورمون گیاهی از طریق اسیدآبسیزیک برای بهبود کارایی گیاهان در شرایط تنش خشکی لازم و حیاتی به نظر می‌رسد. سیگنال‌های ایجاد شده توسط اسیدآبسیزیک در طول چرخه زندگی گیاه، برای کنترل فرآیندهای رشد و نمو، هم در شرایط طبیعی و مطلوب و هم در شرایط تنش‌زا بسیار حیاتی‌اند. ژن‌های عکس‌العمل نشان دهنده در برابر تنش‌ها می‌توانند به دو صورت وابسته به اسیدآبسیزیک و مستقل از اسیدآبسیزیک بیان شوند. اسیدآبسیزیک از طریق راه‌اندازی سیگنالینگ و تولید طیف وسیعی از پروتئین‌های تنظیمی (نظیر عوامل رونویسی و فاکتورهای علامت‌دهی) و پروتئین‌های کارکردی (مانند آنزیم‌های تنظیم‌کننده گونه‌های فعال اکسیژن) نقش اساسی در تولید اسمولیت‌های سازگار از قبیل پرولین در برابر خشکی را ایفا می‌کند (Lu *et al.*, 2009; Namvar *et al.*, 2017). گزارش شده است که استفاده از منبع خارجی اسیدآبسیزیک (۲/۵ میکرومولار) در تنش، سطوح داخلی اسیدآبسیزیک و اسمولیت‌ها را در گیاه نخود تنظیم نموده و خسارات ناشی از تنش اکسیداتیو را با افزایش میزان پرولین و بتائین‌گلاسیسین کمتر می‌کند (Kumar *et al.*, 2012). همچنین گزارش‌ها حاکی از آن است که کاربرد اسیدآبسیزیک به‌عنوان منابع خارجی محافظ گیاهی نقش مؤثری در تعدیل اثر مخرب تنش‌های غیرزیستی دارد (Namvar *et al.*, 2017).

نتایج این پژوهش نشان داد که کمترین میزان کارتنوئید از تیماری آبیاری در ۳۰-۴۰ درصد ظرفیت زراعی بدست می‌آید که بیانگر کاهش میزان کارتنوئید در شرایط کم‌آبیاری می‌باشد. خشکی سبب کاهش محتوای رنگیزه‌های سلول‌های گیاهی (کلروفیل و کارتنوئید) می‌گردد. کارتنوئیدها نقش حفاظتی در مقابل تنش اکسیداتیو دارند و در سمیت‌زدایی از کلروفیل نقش داشته و باعث کاهش اثر سمی رادیکال‌های آزاد می‌شوند. گونه‌هایی که بتوانند محتوای کارتنوئید بیشتری داشته باشند، در مقابل گونه‌های اکسیژن فعال، دفاع موفق‌تری داشته و در

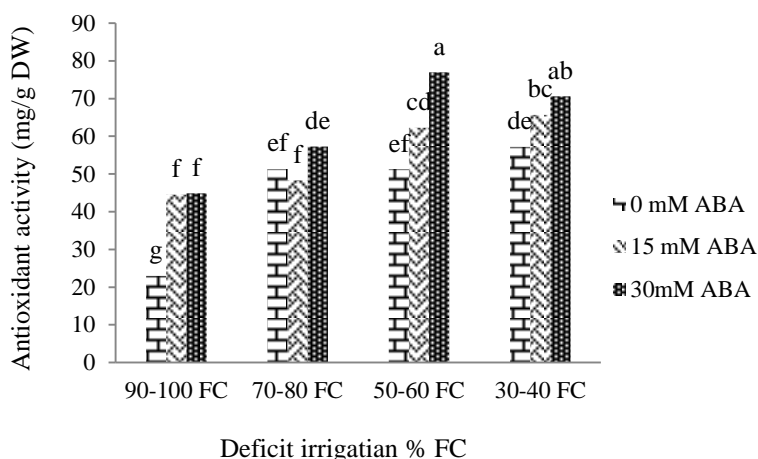
یکی از تغییراتی که در اغلب تنش‌های زیستی و غیرزیستی رخ می‌دهد افزایش میزان اسمولیت‌ها می‌باشد. به همین دلیل گیاه برای مقابله با اثر منفی ناشی از تنش، سازگار شدن با شرایط جدید و جلوگیری از تغییر شکل و تخریب مولکول‌های زیستی میزان اسمولیت خود از قبیل پرولین را افزایش می‌دهد (Orang & davodnia, 2019). در برخی از گیاهان ثابت شده است که تغییرات میزان پرولین با توانایی آنها برای تحمل یا سازش به شرایط تنش کم‌آبیاری مرتبط است و می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای انتخاب گیاهان مقاوم به تنش خشکی استفاده شود (Niknam *et al.*, 2006). هنگامی که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد، تجزیه پروتئین‌ها و در نتیجه افزایش آمینواسیدها و آمیدها تسریع می‌شود که یکی از این آمینواسیدها پرولین است (Kafi *et al.*, 2009). همچنین هنگامی که گیاهان تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرند، غلظت اسمولیت‌هایشان را افزایش می‌دهند تا جذب آب تحت شرایط تنش ادامه یابد. در بین اسمولیت‌های آلی، پرولین احتمالاً فراوان‌ترین و عمومی‌ترین ماده حل‌شده سازگار است که تجمع می‌یابد (Sanjari Mijani *et al.*, 2015). پرولین، اسیدآمینو ذخیره‌شده در سیتوپلاسم بوده و احتمالاً در حفاظت از ساختمان ماکرومولکول‌های درون سلول در طی تنش کم‌آبیاری نقش مؤثری دارد. پرولین در واقع به‌عنوان یک شاخص در تعیین میزان حساسیت به تنش کم‌آبیاری در گیاهان به‌شمار می‌رود. احتمالاً گیاه اسطوخودوس به دلایل یادشده پرولین خود را افزایش داده‌است. افزایش پرولین طی تنش کم‌آبیاری در گیاه آویشن (*Thymus vulgaris*) نیز گزارش شده است (Babaie *et al.*, 2010). بالا رفتن میزان این ترکیب در بافت‌های گیاهان به‌نوعی بیانگر فعال شدن مکانیسم تنظیم اسمزی است که شرایط گیاه را برای جذب آب و املاح از محیط ریشه بهینه می‌کند (Sodaie *et al.*, 2016). در مقایسه با تحقیق حاضر، نتایج تحقیقات دیگر محققان در گیاه آویشن باغی نشان داد که با اعمال تنش کم‌آبی میزان پرولین افزایش می‌یابد (Ghaderi *et al.*, 2017; Niknam *et al.*, 2006).

مقدار فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (CAT) و پراکسیداز (POD) نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان می‌دهد که تیمار رژیم آبیاری، اسیدآبسیزیک و اثر متقابل آنها تأثیر معنی‌داری بر میزان آنزیم کاتالاز و پراکسیداز داشت (جدول ۲). کاربرد اسیدآبسیزیک در شرایط کم‌آبیاری افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های مذکور را به دنبال داشت (شکل ۹ و ۱۰). به‌طوری‌که بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۵۸۳/۹۳ میکرومول در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) از کاربرد ۳۰ میکرومولار اسیدآبسیزیک در ۴۰-۳۰ درصد ظرفیت زراعی (شکل ۹) و بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز از کاربرد ۱۵ میکرومولار ABA در شرایط تنشی ۴۰-۳۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (شکل ۱۰).

شرایط تنش کمبود آب تحمل بیشتری از خود نشان می‌دهند (Taghipoure *et al.*, 2014).

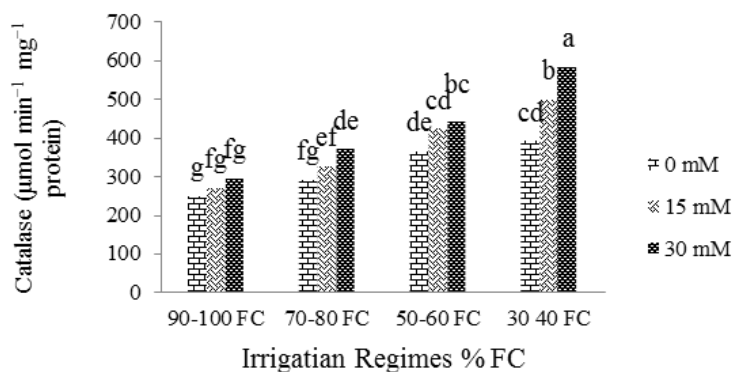
فعالیت آنتی‌اکسیدانی

فعالیت آنتی‌اکسیدانی تحت تأثیر رژیم آبیاری، اسیدآبسیزیک و اثر متقابل آنها قرار گرفت (جدول ۲). در شرایط کم‌آبیاری در سطوح بالا، کاربرد اسیدآبسیزیک توانست میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش دهد، به‌طوری‌که بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۷۶/۹۱ میلی‌گرم بر گرم ماده‌خشک) از کاربرد ۳۰ میکرومولار اسیدآبسیزیک در ترکیب تیماری رژیم آبیاری در ۴۰-۳۰ درصد ظرفیت زراعی برای فعالیت آنتی‌اکسیدانی حاصل شد (شکل ۸).



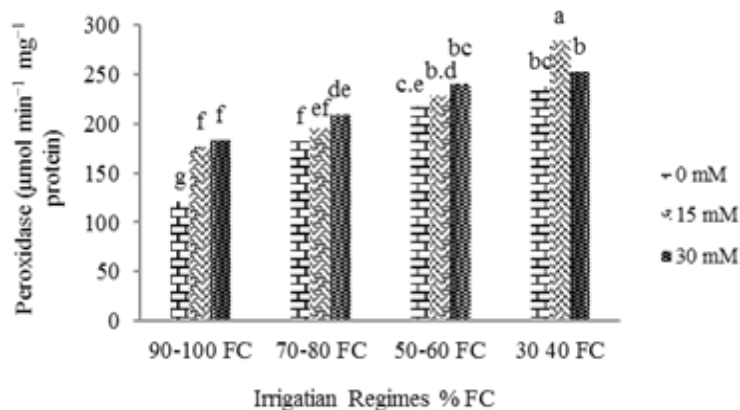
شکل ۸. مقایسه میانگین اثر متقابل اسیدآبسیزیک و کم‌آبیاری بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسطوخودوس.

Figure 8. Mean comparison interaction effect of abscisic acid and deficit irrigation on antioxidant activity of lavender.



شکل ۹. مقایسه میانگین اثر متقابل اسیدآبسیزیک و کم‌آبیاری بر میزان فعالیت کاتالاز اسطوخودوس.

Figure 9. Mean comparison interaction effect of abscisic acid and deficit irrigation on catalase activity of lavender.



شکل ۱۰. اثر متقابل اسیدآبسیزیک و رژیم آبیاری بر میزان فعالیت پراکسیداز اسطوخودوس
Figure 10. Mean comparison interaction effect of abscisic acid and deficit irrigation on peroxidase activity of lavender.

یکی از تغییرات بیوشیمیایی که در گیاهان تحت شرایط تنش خشکی اتفاق می‌افتد، تجمع گونه‌های فعال اکسیژن (Reaction oxygen species) (ROS) است. سلول‌های گیاهی قادرند از طریق القای سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی بر شرایط تنش اکسیداتیو ایجاد شده تحت تنش غلبه کنند. بنابراین، توانایی برای به‌دام انداختن گونه‌های فعال اکسیژن یک راهکار سازشی در گیاهان است که گونه‌های گیاهی از آن برای مقابله با تنش اکسیداتیو استفاده می‌کنند (Foyer & Noctor, 2003). در این تحقیق نیز میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل گیاه اسطوخودوس با افزایش میزان رژیم آبیاری (کم‌آبیاری) افزایش یافت که نوعی مکانیسم دفاعی برای حفاظت از گیاهان اسطوخودوس تحت تنش محسوب می‌گردد.

به‌طور کلی، زمانی که گیاهان با تنش‌های زنده و غیرزنده محیطی مواجه می‌شوند، به‌سرعت میزان ROS در آنها به‌عنوان اولین لایه دفاعی تجمع پیدا می‌کند (Baxter *et al.*, 2014; Kocsy *et al.*, 2013). این گونه‌های فعال اکسیژنی اکسیداتیو سبب حفظ هومئوستازی مناسب در سلول می‌شوند، در حالی که، تولید بیش از حد ROSها سبب آسیب و مرگ سلول را به دنبال خواهد داشت (Baxter *et al.*, 2014). در این حالت گیاهان برای مقابله با چنین شرایطی با افزایش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی از طریق تولید آنزیم‌های

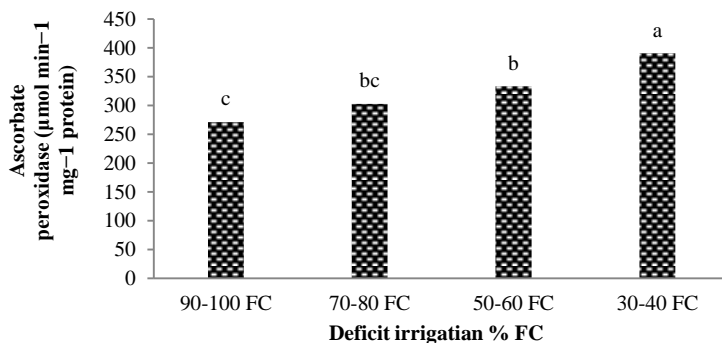
آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز (APX) و سوپراکسیددیسموتاز (SOD)

آنزیم‌های آسکوربات‌پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0.01$) تحت تأثیر تیمارهای رژیم آبیاری و اسیدآبسیزیک قرار گرفتند (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز با میانگین $390/58$ میکرومول در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین مربوط به تیمار رژیم آبیاری در $30-40$ درصد ظرفیت زراعی و کمترین آن با میانگین $271/55$ میکرومول در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین از $90-100$ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (شکل ۱۱). کاربرد اسیدآبسیزیک در هر دو سطح سبب افزایش آنزیم مذکور گردید (شکل ۱۲). از کاربرد اسیدآبسیزیک در شرایط رژیم آبیاری اثر معنی‌داری برای صفت آسکوربات‌پراکسیداز مشاهده نشد (جدول ۲).

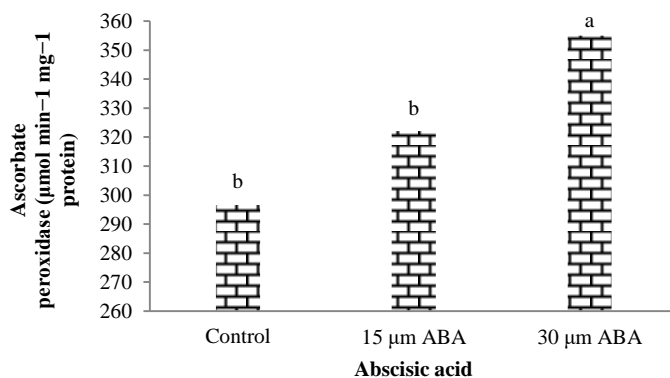
همچنین مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد اسیدآبسیزیک در شرایط رژیم آبیاری سبب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز می‌گردد (شکل ۱۳). به‌طوری‌که بیشترین میزان فعالیت آنزیم مذکور از کاربرد توأم اسیدآبسیزیک در شرایط $30-40$ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد. همچنین قابل‌ذکر است که از کاربرد 15 و 30 میکرومولار اسیدآبسیزیک در شرایط تنش ($30-40$ درصد ظرفیت زراعی) از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و هر دو در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۱۳).

دنبال داشت. در مقایسه با این تحقیق، در آزمایشی که در رابطه با تأثیر تنش خشکی روی گیاه دارویی خرفه انجام شد میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی تحت تأثیر خشکی افزایش یافتند (Mozafari *et al.*, 2017).

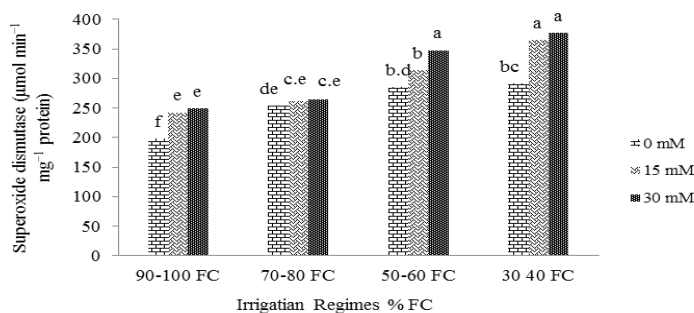
آنتی‌اکسیدانی یک سیستم بسیار کارآمد را برای حفظ و نگهداری همئوستازی ROSها در نقاط مختلف یک سلول تحت شرایط نرمال و تنشی را فراهم می‌آورند (Qi *et al.*, 2018). در این پژوهش نیز افزایش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل حفظ همئوستازی سلولی گیاهان اسطوخودوس را به



شکل ۱۱. مقایسه میانگین اثر کم آبیاری بر آسکوربات پراکسیداز اسطوخودوس.
Figure 11. Mean comparison effect of deficit irrigation on ascorbate peroxidase of lavender.



شکل ۱۲. مقایسه میانگین اثر اسیدآبسیزیک بر آسکوربات پراکسیداز اسطوخودوس.
Figure 12. Mean comparison effect of abscisic acid on ascorbate peroxidase of lavender.



شکل ۱۳. مقایسه میانگین اثر متقابل اسیدآبسیزیک و کم آبیاری بر فعالیت سوپراکسید دیسموتاز اسطوخودوس.
Figure 13. Mean comparison interaction effect of abscisic acid and deficit irrigation on superoxide dismutase activity of lavender.

پیدا کند (Hosseini Boldaji *et al.*, 2012). هنگامی که گیاهان با کمبود آب مواجه می‌شوند فعال شدن سیستم دفاعی برای مقاومت در برابر آسیب‌های ناشی از تنش اکسیداتیو ضروری به نظر می‌رسد. بدین صورت که فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز (SOD)، پراکسیداز (POD)، آسکوربات‌پراکسیداز (APX) و کاتالاز (CAT) تحت تنش‌های مختلف محیطی افزایش می‌یابد (Ghassemi *et al.*, 2019). در این مطالعه نیز زمانی که گیاهان اسطوخودوس در شرایط تنش خشکی قرار گرفتند، توانستند با افزایش القا آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از قبیل سوپراکسیددیسموتاز (SOD)، پراکسیداز (POD)، آسکوربات‌پراکسیداز (APX) و کاتالاز (CAT)، یک سیستم بسیار کارآمد را برای حفظ و نگهداری هومئوستازی ROSها در نقاط مختلف سلول را فراهم آورند تا در برابر صدمات ناشی از خشکی از خود محافظت کنند (شکل‌های ۴، ۵ و ۶). اسیدآبسیزیک با القا هومئوستازی تولید گونه‌های فعال اکسیژنی به صورت غیرمستقیم (ROS) و به دنبال آن افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی SOD، CAT و APX، مقاومت گیاهان در برابر کمبود آب را افزایش می‌دهد (شکل ۴، ۵ و ۶). القای فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی یک استراتژی انطباق طبیعی برای غلبه بر تنش اکسیداتیو در گیاهان است (Qi *et al.*, 2018). در میان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، سوپراکسیددیسموتاز SOD به عنوان مهم‌ترین آنزیم شناخته شده دفاعی برای پاسخ به رادیکال‌های آزاد (ROS) از طریق تبدیل آن‌ها به H₂O₂ و پس از آن ارتقا به سایر آنزیم‌ها می‌باشد (Swapna & Shylaraj, 2017). آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (SOD) غلظت هیدروژن پراکسید و سوپراکسید سلول را تنظیم می‌کند و عاملی مهم در سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی در نظر گرفته می‌شود (Sharma *et al.*, 2012). افزایش SOD همراه با مکانیسم‌های مهار H₂O₂ همانند CAT و POD، به عنوان یک مکانیسم ضدخشکی در نظر گرفته می‌شوند (Sunoj *et al.*, 2014). آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز در سم‌زدایی هیدروژن پراکسید تولید شده در اثر فعالیت سوپراکسیددیسموتاز نقش دارد. در این تحقیق، فعالیت آسکوربات‌پراکسیداز در اندام هوایی اسطوخودوس تحت تنش کم‌آبایی و

در شرایط رژیم‌های آبیاری در سطوح بالا کاربرد اسیدآبسیزیک به خوبی توانست اثر ناشی از خشکی را در گیاه اسطوخودوس کاهش دهد به طوری که بالاترین عملکرد فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی از کاربرد ۳۰ میکرومولار در لیتر اسیدآبسیزیک در شرایط کم‌آبایی ۶۰-۵۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد و پس از آن با افزایش میزان خشکی میزان این صفت کاهش یافت، درخصوص نتیجه بدست‌آمده می‌توان چنین بیان داشت که گیاهان اسطوخودوس با تغییر سازوکارهای بکارگیری اسیدآبسیزیک در شرایط تنش از ۶۰-۵۰ درصد ظرفیت زراعی به سمت ۴۰-۳۰ درصد ظرفیت زراعی از طریق تولید اسمولیت‌های دیگر، همئوستازی سلول را حفظ می‌کنند. در شرایط تنش خشکی، از یک طرف در سیتوپلاسم سلولی گیاهان، میزان گونه‌های فعال اکسیژنی القا و افزایش می‌یابد که سبب آسیب به اندام‌های درون سلولی از قبیل کلروپلاست، میتوکندری و پراکسیزوم و غیره می‌گردد و از طرف دیگر در شرایط خشکی القای اسیدآبسیزیک سبب افزایش تولید آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی می‌گردد تا از این طریق گیاه را در برابر اثری منفی ناشی از خشکی حفاظت کند (Arulbalachandran *et al.*, 2016).

در شرایط کم‌آبایی و خشکی، اسیدآبسیزیک به عنوان یک پیام‌رسان شیمیایی عمل نموده و از طریق فعال کردن پیام‌رسان‌های ثانویه از قبیل ROSها، که نوعی راهکار دفاعی در مقابل تنش می‌باشد را رقم می‌زند (Lim *et al.*, 2015). در همین راستا نتایج تحقیق صورت گرفته روی گیاه شاهدانه (*Cannabis Sativa L.*) نشان داد که کاربرد اسیدآبسیزیک به میزان ۲۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط تنش خشکی سبب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل می‌گردد (Motamedi *et al.*, 2019).

مقاومت گیاه به تنش‌های مختلف محیطی ممکن است با سطح فعالیت آنزیم‌های مسئول به دام انداختن رادیکال‌های آزاد اکسیژن مرتبط باشد. پاسخ آنتی‌اکسیدان‌ها به کمبود آب، به شدت تنش و نوع گونه گیاهی بستگی دارد. گونه‌های گیاهی مقاوم معمولاً ظرفیت حفاظتی کارآمدتری در مقابل تنش اکسیداتیو القاشده توسط تنش کم‌آبی دارند که می‌تواند از طریق بالابردن میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی افزایش

خارجی در مکانیسم‌های مقاومت در جهت حفظ هموستازی سلولی منطقی به نظر می‌رسد.

نتیجه‌گیری کلی

باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه پیش‌رو می‌توان اظهار داشت که در راستای کاهش مصرف کودهای شیمیایی و نیل به اهداف کشاورزی پایدار می‌توان بخش زیادی از اثر تنش کم‌آبیاری بر گیاه اسطوخودوس را با کاربرد ABA تعدیل نمود. این موضوع بخوبی در بررسی میزان صفات اندازه‌گیری‌شده نمایان می‌باشد. به‌طوری‌که با افزایش سطح تنش کم‌آبیاری، از مقدار کارتنوئید و میزان وزن خشک گیاه کاسته شد و در مقابل، محتوای پرولین، آنتوسیانین، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، آنزیم کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز افزایش یافت که نوعی سازگاری گیاه با شرایط تنش محسوب می‌شود. با کاربرد خارجی ABA (۳۰ میکرومولار در لیتر) گیاهان اسطوخودوس از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و عملکرد آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مقاومت بیشتری در برابر تنش کم‌آبیاری از خود نشان دادند. به‌طورکلی در این مطالعه بررسی و سنجش فاکتورهای مختلف مؤثر در تحمل گیاه به کم‌آبیاری، بر نقش اعمال ABA خارجی روی بسیاری از مکانیسم‌های القای تحمل به کم‌آبیاری در گیاه اسطوخودوس، تأکید دارد.

اسیدآبسیزیک تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. شواهد تجربی نشان داده‌است که آسکوربات پراکسیداز در شرایط تنش اکسیداتیو نسبت به سوپراکسید دیسموتاز ناپایدارتر است (Chagas *et al.*, 2018). به‌طور کلی در این مطالعه، مقایسه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تحت تنش کم‌آبیاری، افزایش معنی‌داری در فعالیت SOD، CAT، POD و TACHDی APX در تمامی سطوح اعمال تنش خشکی را نشان داد. همچنین تحقیق صورت گرفته در گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea*) نشان داد که تنش کم‌آبیاری (پس از ۶۰ درصد تخلیه رطوبت خاک) سبب افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از قبیل سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز گردید (Darvizheh *et al.*, 2019). در همین راستا تحقیقات نیز نشان دادند که اعمال خشکی سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های SOD و CAT در سطوح مختلف تنش در گیاه برنج (Swapna & Shylaraj, 2017)، رازیانه (Ghassemi *et al.*, 2019)، سویا (Guler & Pehlivan, 2016) و ذرت (Ashraf *et al.*, 2015) گردیده است. محققان گزارش نمودند که محلول پاشی ABA با غلظت ۱۰۰ میکرومولار بعد از ۷۲ ساعت نیز سبب تحریک آنزیم کاتالاز در گیاه آفتابگردان گردید (Kirecci, 2018). بنابراین با مستندات موجود افزایش فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه اسطوخودوس در پاسخ به خشکی از طریق افزایش اسیدآبسیزیک درونی و به‌کارگیری اسیدآبسیزیک

REFERENCES

1. Arulbalachandran, D., Yasmin, K. & Jothimani, K., (2016). Role of ABA on antioxidant mechanism under drought crops. *International Journal for Species*, 17, 48-55.
2. Ashraf, M.A., Rasheed, R., Hussain, I., Iqbal, M., Haider, M.Z., Parveen, S. & Sajid, M.A. (2015). Hydrogen peroxide modulates antioxidant system and nutrient relation in maize (*Zea mays* L.) under water-deficit conditions. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61, 507-523. (in Farsi).
3. Babaie, K., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavie, S. & Jabarie, R. (2010). Effect of drought stress on morphological traits, proline content and thymol percentage in thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plant*, 26, 251-259. (in Farsi).
4. Bates, S., Waldern, R. P., & Teare, E. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soii*, 39, 205-207.
5. Baxter, A., Mittler, R., & Suzuki, N. (2014). ROS as key players in plant stress signaling. *Journal of Experimental Botany*, 65, 1229-1240.
6. Brahmi, C., Kopp, C., Domart-Coulon, I., Stolarski, J. & Meibom, A. (2012). Skeletal growth dynamics linked to trace-element composition in the scleractinian coral *Pocillopora damicornis*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 99, 146-158.
7. Chagas, R., Silveira, J., Ribeiro, R., Vitorello, V. & Carrer, H. (2018). Photochemical damage and comparative performance of superoxide dismutase and ascorbate peroxidase in sugarcane leaves exposed to paraquat-induced oxidative stress. *Pestic. Comparative Biochemistry and Physiology*, 90, 181-188.

8. Choudhury, F., Rivero, R., Blumwald, E. & Mittler, R. (2017). Reactive oxygen species, abiotic stress and stress Combination. *The Plant Journal*, 90, 856-867.
9. Dai, A. (2013). Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change*, 3(1), 52.
10. Damalas, C. (2019). Improving drought tolerance in sweet basil (*Ocimum basilicum*) with salicylic acid. *Scientia Horticulturae*, 27, 360-365.
11. Darvizheh, H., Zahedi, M., Abaszadeh, B. & Razmjoo, J. (2019). Changes in some antioxidant enzymes and physiological indices of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) in response to water deficit and foliar application of salicylic acid and spermine under field condition. *Scientia Horticulturae*, 247, 390-399.
12. Du, B. & Rennenberg, H. (2018). Physiological responses of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) to water deficit and recovery. *Journal Science African of Botony*, 119, 212-218.
13. Foyer, C. & Noctor, G. (2003). Redox sensing and signaling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. *Physiologia Plantarum*, 119, 355-364.
14. Ghaderi, A.A., Fakheri, B.A. & Mahdi-nezhad, N. (2017). Evaluation of the morphological and physiological traits of thyme under water deficit stress and foliar application of ascorbic acid. *Agricultural Crop Management*, 19 (4), 817-835. (in Farsi).
15. Ghassemi, S., Ghassemi-Golezani, K. & ZehtabSalmasi, S. (2019). Changes in antioxidant enzymes activities and physiological traits of ajowan in response to water stress and hormonal application. *Scientia Horticulture*, 246, 957-964.
16. Giannopolitis, C.N. & Ries, S.K. (1977). Superoxide dismutase: occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, 59, 309-314.
17. Gorgini Shabankareh, H. & Khorasaninejad, S. (2017). The effects of Sodium nitroprusside on some physiological and biochemical properties of *Satureja khuzestanica* under irrigation regimes. *Journal of Production Research*, 3, 55-70. (in Farsi).
18. Gorgini Shabankareh, H., Fakheri, B. & Mohammadpour vashvaie, R. (2017). The Effect of biofertilizer on growth, seed yield and fennel essential oil under water stress. *Journal of Agroecology*, 9(1), 50-62. (in Farsi).
19. Gorgini Shabankareh, Khorasaninejad, S., Sadeghi, M. & Tabasi, A. (2018). The effect of irrigation interval and humic acid on morphophysiological and biochemical characteristics of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, 51, 67-82. (in Farsi).
20. Guler, N.S. & Pehlivan, N. (2016). Exogenous low-dose hydrogen peroxide enhances drought tolerance of soybean (*Glycine max* L.) through inducing antioxidant system. *Acta Biologica Hungarica*, 67, 169-183.
21. Herzog, V. & Fahimi, H.D. (1976). Intracellular distinction between peroxidase and catalase in exocrine cells of rat lacrimal gland: a biochemical and cytochemical study. *Histochemistry*, 46, 273-286.
22. Hosseini Boldaji, S A., Khavari-Nejad, R A., Hassan Sajedi, R., Fahimi, H. & Saadatmand, S. (2012). Water availability effects on antioxidant enzyme activities lipid peroxidation, and reducing sugar contents of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Acta Physiologia Plantarum*, 34, 1177-1186.
23. Kafi, M., Borzoie, A., Salehie, M., Kamandi, A., Maasumie, B. & Nabati, J. (2009). *Physiology of environmental stresses in plants. Academic Center for Education*, 502.
24. Khorasaninejad, S., Alizadeh Ahmadabadi, A. & Hemmati, K. (2018). The effect of humic acid on leaf morphophysiological and phytochemical properties of *Echinacea purpurea* L. under water deficit stress. *Scientia Horticulturae*, 239, 314-323.
25. Kirecci, O. (2018). The Effects of Salt Stress, SNP, ABA, IAA and GA applications on antioxidant enzyme activities in *Helianthus Annuus* L. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27, 3783- 3788.
26. Kocsy, G., Tari, I., Vankova, R., Zechmann, B., Gulyas, Z., Poor, P. & Galiba, G. (2013). Redox control of plant growth and development. *Plant Science*, 211, 77-91.
27. Kumar, S., Kaushal, N., Nayyar, H. & Gaur, P. (2012). Abscisic acid induces heat tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) seedlings by facilitated accumulation of osmo protectants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 34, 1651-1658.
28. Li, L.J., Gu, W.R., Meng, Y., Wang, Y.L., Mu, J.Y., Li, J. & Wei, S. (2018). Physiological and biochemical mechanism of spermidine improving drought resistance in maize seedlings under drought stress. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*, 29, 554-564.
29. Lim, C.W., Baek, W., Jung, J., Kim, J. & Lee S.C. (2015). Function of ABA in stomatal defense against biotic and drought stresses. *International Journal of Molecular Science*, 16, 15251-15270.
30. Lu, S., Sub, W., Li, H. & Guo, Z. (2009). Abscisic acid improves drought tolerance of triploid bermudagrass and involves H₂O₂-and NO-induced antioxidant enzyme activities. *Plant Physiology and Biochemistry*, 47, 132-138.

31. Maehly, A.C. & Chance, B. (1954). The assay of catalases and peroxidases. *Methods of Biochemical Analysis*, 1, 357-424.
32. Mehrgan, B., Mosavifard, S. & Rezaeinejad, A.H. (2018). The effect of potassium silicate foliar application on some physiological and biochemical morphological characteristics of *Altranentra* under drought stress. *Journal of Crop Improvement*, 20, 299-314. (in Farsi).
33. Miliuskas, G., Venskutonis, P. R. & Van Beek, T. A. (2004). Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food Chemistry*, 85, 231-237.
34. Moradi, P. (2017). Effect of drought stress on growth and hormonal changes of thyme (*Thymus Vulgaris*). *Journal of Plant Process and Function*, 6(19), 311-322. (in Farsi).
35. Motamedi, H., Hemati, Kh. & Khorasaninejad, S. (2019). The Effect of abscisic acid foliar application on morphophysiological properties and some biochemical properties of *Cannabis sativa* L. under different soil conditions. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 1, 12-24. (in Farsi).
36. Mozafari, S., Khorasaninejad, S. & Gorgini Shabankareh, H. (2017). The effect of irrigation regimens on some physiological and biochemical characteristics of common purslane medicinal plant in greenhouse. *Agricultural Crop Management*, 19, 401-416. (in Farsi).
37. Nakano, Y. & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology*, 22, 867-880.
38. Namvar, A., Hadi, H. & Seyedscharifi, R. (2017). The role of external sources of plant protection in modulating the destructive effects of non-biological tensions. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, 12, 103-128. (in Farsi).
39. Niknam, V., Razavi, N., Ebrahimzadeh, H. & Sharifzadeh, B. (2006). Effect of NaCl on biomass, protein and proline contents and antioxidant enzymes in seedlings and calli of two *Trigonella* species. *Biologia Plantarum*, 50, 591-5.
40. Orang, S. & Davodnia, B. (2019). Evaluation of growth traits and secondary metabolites in *Thymus vulgaris* L. under mild stresses of salinity and drought. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 6(2), 27-40. (in Farsi).
41. Osakabe, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozak, K. & Tran, L. (2014). ABA control of plant macroelement membrane transport systems in response to water deficit and high salinity. *New Phytologist*, 202, 35-49.
42. Qi, J., Song, C.P., Wang, B., Zhou, J., Kangasjarvi, J., Zhu, J.K. & Gong, Z. (2018). Reactive oxygen species signaling and stomatal movement in plant responses to drought stress and pathogen attack. *Journal Integrative Plant Biology*, 56, 1-23.
43. Sah, S., Reddy, K. and Li, J. (2016). Abscisic acid and abiotic stress tolerance in crop plant. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1-26.
44. Sanjari Mijani, M., Sirousmehr, A.R. & Fakheri, B. (2015). The effect of drought stress and humic acid on some physiological characteristics of *Hibiscus sabdariffa*. *Agricultural Crop Management*, 17, 403-414. (in Farsi).
45. Sharma, P., Jha, A., Dubey, R. & Pessarakli, M. (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, 14, 1-26.
46. Sodaie, H., Shamsaie, M., tajamolian, m., mibodi, A. & Hakimzadeh, M.A. (2016). The effect of drought stress on some morphological and physiological traits of savory. *Plant Processes and Functions*, 5(15), 1-12. (in Farsi).
47. Stanev, S., Zagorcheva, T. & Atanassiov, I. (2016). Lavender cultivation in Bulgaria-21st century developments, breeding challenges and opportunities. *Bulgarian Journal Biologica Agricultural of Science*, 22, 584-590.
48. Sunoj, V.S.J., Naresh Kumar, S. & Muralikrishna, K.S. (2014). Effect of elevated CO₂ and temperature on oxidative stress and antioxidant enzymes activity in coconut (*Cocos nucifera* L.) seedlings. *Indian Journal of Plant Physiology*, 19, 382-387.
49. Swapna, S. & Shylaraj, K.S. (2017). Screening for osmotic stress responses in rice varieties under drought condition. *Journal of Rice Science*, 24, 253-263.
50. Taghipoure, Z., Asghari Zakaria, R., Zareh, N. & Shikhzade, P. (2014). The evaluation of some physiological traits in populations of *Aegilops triuncialis* under drought stress. *Rangelands and Forests Plant Breeding and Research*, 22, 55-66.
51. Upson, T.M. & Andrews, S. (2004). The genus *Lavandula*, a botanical magazine monograph. *Kew: Royal Botanical Gardens, Kew, GB*, 456.
52. Wang, F., Liu, J., Chen, M., Zhou, L., Li, Z., Zhao, Q., Pan, G., Zaidi, S.-H.-R. & Cheng, F. (2016). Involvement of abscisic acid in PSII photodamage and D1 protein turnover for light-induced premature senescence of rice flag leaves. *PLoS ONE*, 11, 161-203.
53. Yu, F., Wu, Y. & Xie, Q. (2016). Ubiquitin-proteasome system in ABA signaling: from perception to action. *Molecular Plant*, 9, 21-33.