نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد چهاردهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰
۶۵-۸۲
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI:10.22069/EJCP.2021.17868.2314

بررسی اثرات تنش خشکی و محلول‌پاشی با اسیدآبسیزیک بر عملکرد، ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia* cv. Organic Munstead)

حسین گرگینی‌شبانکاره[۱*]، سارا خراسانی‌نژاد[۲]، حسن سلطانلو[۳]، وحید شریعتی[۴]

[۱]دانش‌آموخته دوره دکتری رشته گیاهان دارویی، گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

[۲]استادیار، اصلاح گیاهان دارویی، گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

[۳]دانشیار، اصلاح نباتات، گروه اصلاح و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

[۴]استادیار، مهندسی ژنتیک و بیوانفورماتیک، مرکز ملی مهندسی ژنتیک و بیوتکنولوژی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۳

چکیده

سابقه و هدف: گیاه دارویی اسطوخودوس با دارا بودن پتانسیل اقتصادی و زینتی و کاربرد زیاد آن در صنایع آرایشی- بهداشتی و دارویی، در سراسر جهان کشت می‌شود. خشکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در سرتاسر جهان و شایع‌ترین تنش محیطی است. به‌طور کلی، اهمیت تنش خشکی از آن جهت است که سبب اختلال در وضعیت آب و اثرگذاری کلیدی بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه می‌گردد. در پاسخ به تنش‌های محیطی، اسیدآبسیزیک (ABA) نقش مهمی در راه‌اندازی و هماهنگی بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در کاهش تنش اکسیداتیو دارد. باتوجه به این‌که خشکی و کم‌آبی در ایران همواره از مهم‌ترین مسائل و مشکلات کشاورزی است و از طرفی به دلیل خصوصیات دارویی منحصر به‌فرد گیاه اسطوخودوس پژوهش حاضر، به‌منظور بررسی عملکرد، ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia* cv. Organic Munstead) در شرایط رژیم‌های آبیاری و کاربرد اسیدآبسیزیک با هدف درک چگونگی القای تحمل به خشکی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی و کاربرد اسیدآبسیزیک بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی اسطوخودوس آزمایشی گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشکده تولید گیاهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ به‌اجرا درآمد. فاکتور اول آزمایش رژیم آبیاری در چهار سطح (۱۰۰-۹۰، ۸۰-۷۰، ۶۰-۵۰ و ۴۰-۳۰ درصد ظرفیت زراعی) و فاکتور دوم محلول‌پاشی اسیدآبسیزیک در سه سطح (صفر، ۱۵ و ۳۰ میکرومولار در لیتر) بودند. صفات موردارزیابی عبارت از وزن تازه و خشک گیاه، شاخص سطح برگ، پرولین، فنل کل، فلاونوئید کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی DPPH، کارتنوئید، قندهای محلول و محتوای نسبی آب برگ بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که افزایش سطح خشکی سبب افزایش معنی‌دار فنل (۱۵۱/۴۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و کارتنوئید (۴۶/۳۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در مقایسه با شاهد شد. به‌همین ترتیب اسیدآبسیزیک نیز بر تمامی صفات مورد بررسی به‌جز فنل و کارتنوئید اثر معنی‌دار (سطح معنی‌داری یک‌درصد) داشت. همچنین، اثر متقابل خشکی و کاربرد اسیدآبسیزیک به‌جز

[*]مسئول مکاتبه: h.shabankareh92@gmail.com

برای فنل و کارتنوئید برای سایر صفات موردبررسی معنی‌دار بود به‌طوری که محلول‌پاشی ۳۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدآبسیزیک به‌ترتیب در شرایط خشکی ۴۰-۳۰ و ۶۰-۵۰ درصد ظرفیت زراعی موجب افزایش ۴۷/۵۶ و ۵۳/۹۳ درصدی فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها و ۵۵/۲۰ و ۶۵/۷۲ درصدی قندهای‌محلول نسبت به شاهد شد. محلول‌پاشی ۱۵ میکرومولار اسیدآبسیزیک در شرایط ۴۰-۳۰ درصد ظرفیت زراعی موجب افزایش ۱۲۰/۱۷ درصدی پرولین گردید. همچنین، بیش‌ترین میزان محتوای نسبی آب برگ (۷۸/۷۴ درصد) از برهم‌کنش ۳۰ میکرومولار اسیدآبسیزیک در شرایط ۱۰۰-۹۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی نتایج این آزمایش، کاربرد ۳۰ میکرومولار در لیتر اسیدآبسیزیک را در شرایط خشکی با ۴۰-۳۰ و ۶۰-۵۰ درصد ظرفیت زراعی به‌عنوان بهترین تیمار معرفی می‌کند، زیرا با مصرف کم‌تر آب و کاربرد اسیدآبسیزیک در شرایط تنش، می‌توان به سطوح بالاتری از اثربخشی اسیدآبسیزیک در القای تحمل به خشکی دست یافت.

واژه‌های کلیدی: پرولین، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فلاونوئید کل، فنل کل، قندهای محلول.

مقدمه

گیاهان دارویی علاوه‌بر مصرف دارویی در طب سنتی، به‌عنوان معطرکننده و طعم‌دهنده غذا نیز مورداستفاده بوده‌اند و امروزه نقش دارویی آن‌ها به اثبات رسیده‌است (۲۲، ۲۹). همچنین، تأثیر ضدمیکروبی و ضدسرطانی توسط گیاهان دارویی مختلف مانند اسطوخودوس ثابت شده است (۳۸). جنس اسطوخودوس از گیاهان گل‌دار متعلق به خانواده Lamiaceae بوده که به‌طور وحشی در نواحی مدیترانه، شبه‌جزیره عربستان، جزایر قناری و هند می‌روید. تاکنون ۳۹ گونه از آن شناسایی شده‌است که پرکاربردترین گونه آن به‌لحاظ صنایع آرایشی-بهداشتی و دارویی اسطوخودوس انگلیسی (*Lavandula angustifolia*) می‌باشد (۴۴) که به‌دلیل خواص دارویی و زینتی شناخته شده آن، این گیاه در سراسر جهان کشت می‌شود (۴۲).

اسطوخودوس گیاهی چندساله، بومی مناطق مدیترانه با میزان بارش بالا و تابستان طولانی می‌باشد (۱۳). از طرف دیگر، بین عوامل محیطی مؤثر بر گیاهان، آب محدودکننده‌ترین عامل برای کیفیت و عملکرد محصول تولیدی گیاهان زراعی می‌باشد (۱۱). به‌طور کلی، خشک‌سالی از این جهت به‌عنوان اصلی‌ترین عامل محیطی محسوب می‌شود که با ایجاد اختلال در وضعیت آب و اثرگذاری کلیدی بر فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، تنفس و جذب مواد مغذی معدنی سبب اختلال در میزان رشد و تکامل گیاه می‌گردد (۳۷). در مطالعه اثر تنش خشکی بر میزان پرولین و قندهای محلول گیاهچه‌های کلزا (*Brassica nupus*) مشاهده شد که خشکی سبب افزایش میزان پرولین، گلوکز، مانوز و رامنوز در بافت‌های ارقام کلزا شد (۲۸). بررسی اثر خشکی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی مرزه (*Satureja khuzestanica*) نشان داد که میزان پرولین، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فنل کل گیاه در اثر خشکی افزایش یافت (۱۵). محققان با بررسی اثر تنش خشکی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی از قبیل پرولین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) نشان دادند که اعمال تنش خشکی به‌شدت سبب افزایش میزان پرولین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی برای مقابله با شرایط تنش شد (۱۹). بررسی اثر خشکی بر گیاه دارویی خرفه (*Portulaca oleracea* L.) مشخص نمود که افزایش میزان آبیاری سبب افزایش معنی‌دار فنل کل، فلاونوئید کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، پرولین و قند محلول گردید. به‌طوری‌که در شرایط ۲۵ درصد ظرفیت زراعی، به‌طور معنی‌داری، افزایش

۱/۰۹ درصدی پرولین و در مقابل کاهش ۶/۵۳ درصد محتوای آب نسبی برگ نسبت به شاهد، حاصل شد (۳۰).

تنش‌های زنده و غیرزنده بر فاکتورهایی به نام تنظیم‌کننده‌های رشد (فیتوهورمون‌ها) از قبیل اسید آبسیزیک، اتیلن، جیبرلین، سایتوکنین و براسینواستروئیدها ترکیبات شیمیایی مؤثر هستند که بسیاری از فعالیت‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی را در گیاهان کنترل نموده و از این طریق سبب تغییر در رشد و توسعه گیاه می‌گردد (۱). گیاهان از این شبکه‌های تنظیم‌کننده فیتوهورمونی به‌عنوان مکانیسم بقا در جهت کاهش اثرات سوء تنش‌های محیطی استفاده می‌برند. اسید آبسیزیک نقش مهمی در راه‌اندازی و هماهنگی بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی در پاسخ به استرس‌های محیطی دارد (۵، ۲۴،۲۰، ۴۴). اسید آبسیزیک یکی از مهم‌ترین هورمون‌های گیاهی است که متعلق به ترپنوئیدها می‌باشد و در بسیاری از فرآیندهای بیولوژیکی گیاه از جمله تنظیم‌رسیدگی و خواب بذر، تقسیم سلولی، ریزش برگ‌ها، کنترل تحرکات روزنه‌ای و عکس‌العمل‌های تنشی گیاه دخالت می‌کند (۵۰). اسید آبسیزیک از طریق تشکیل یک سیستم هموستازی به شرایط تنش پاسخ می‌دهد، به‌طوری‌که این سیستم شامل تعامل با سیستم یوبی‌کیوتین- پروتئوزوم که سبب تغییر تخریب رونویسی تنظیم‌کننده‌ها و بسته شدن روزنه‌ها که رشد سلولی را محدود می‌کند، قرار دارد (۴۶، ۵۰). بررسی اثر کاربرد اسید آبسیزیک بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه دارویی آرتیشو (*Cynara cardunculus* L. var. scolymus) نشان داد که خشکی سبب کاهش میزان محتوای آب نسبی برگ (RWC) گردید در حالی‌که کاربرد ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید آبسیزیک مقاومت گیاهان در معرض تنش و افزایش میزان RWC را به دنبال داشت (۴۱). با توجه به این‌که خشکی و کم‌آبی در ایران همواره از مهم‌ترین مسائل و مشکلات کشاورزی است، از این پدیده‌ی طبیعی و تأثیرگذار نمی‌توان اجتناب نمود. بنابراین، باتوجه به تأثیر منفی خشکی در محدود نمودن تولید محصولات، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر اسید آبسیزیک بر عملکرد، ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia* cv. Organic Munstead) در شرایط خشکی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در دانشکده 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 اثرات دو عامل خشکی و اسید آبسیزیک بر تغییرات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد اسطوخودوس به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار (که هر تکرار شامل سه واحد آزمایشی بود)، در شرایط مسقف با پلی‌اتیلن در فضای باز، مورد بررسی قرار گرفت. خشکی در چهار سطح ۱۰۰-۹۰ درصد، ۸۰-۷۰ درصد، ۶۰-۵۰ درصد و ۴۰-۳۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی اسید آبسیزیک در سه غلظت، صفر، ۱۵ و ۳۰ میکرومولار در لیتر در نظر گرفته شدند.

بذر گیاه *Lavandula angustifolia* cv. Organic Munstead از شرکت Strictly Medicinal Seeds® آمریکا تهیه شد. برای شکست خواب بذر، بذرها به‌مدت سه هفته در محیط کاملاً مرطوب، در دمای چهار درجه سلسیوس قرار داده شد، سپس در داخل سینی نشا کشت شده و حدود سه ماه بعد، به‌منظور

تهیه نشا، تعداد یک بوته در هر گلدان (گلدان‌هایی با شش سانتی‌متر قطر و ۱۰ سانتی‌متر ارتفاع) کشت گردید. پس از گذشت حدود چهار ماه، نشاها در مرحله‌ی ۱۰ برگی به گلدان‌های اصلی (گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۳۰ و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر) منتقل شدند. در مجموع ۱۰۸ گلدان (با احتساب زیرواحدهای موجود در هر تکرار) برای کشت استفاده شده و پس از گذشت سه ماه و سازگار شدن نشاها، گلدان‌ها در اواخر فروردین‌ماه سال ۹۷ به فضای آزاد منتقل شدند. وجین علف‌های هرز در واحدهای آزمایشی در سه نوبت (یک مرحله قبل از اعمال تیمارهای آبیاری، مرحله دوم در اواسط دوره رشدی گیاه و مرحله سوم قبل از دوره گل‌دهی) به‌صورت دستی صورت پذیرفت.

اعمال تیمارهای تنش خشکی، به‌روش وزنی بود. به‌طوری که ابتدا در کف هر کدام از گلدان‌ها به مقدار مساوی سنگ‌ریزه (جهت انجام زه‌کشی) ریخته شد و با استفاده از ترازو به‌صورت هم وزن از خاک پر شدند (در داخل هر گلدان نه کیلوگرم خاک). جهت شناسایی خصوصیات کمی و کیفی خاک مورد استفاده (که ترکیبی از خاک مزرعه، خاک‌برگ و ماسه با نسبت‌های به‌ترتیب ۲: ۱:۱ بود)، نمونه‌ای به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل و تجزیه شیمیایی و فیزیکی انجام گرفته و نتایج حاصل از تجزیه خاک در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table 1- Soil physical and chemical characteristics.

بافت Texture	درصد ماسه Sand (%)	درصد لای Silt (%)	درصد رس Clay (%)	پتاسیم قابل‌جذب (قسمت در میلیون) K(ava) P.P.M	فسفر قابل‌جذب (قسمت در میلیون) P.P.M P(ava)	درصد کربن آلی O.C (%)	درصد ازت N (%)	درصد مواد خنثی شونده T.N.V (%)	درصد اشباع SP (%)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	pH
-Sandy Silty سیلتی- شن	42	42	12	256	24.8	0.9	0.09	5.59	141.86	4.076	7.34

سپس با افزودن آب، خاک هر گلدان را به درجه اشباع رسانده و به‌مدت ۴۸ ساعت روی سطح مشبک قرار داده شد تا هر گلدان پس از زه‌کشی آب اضافی به ظرفیت زراعی برسد. در این مرحله گلدان‌ها به‌سرعت وزن شده و خاک آن‌ها در دمای ۱۰۵ درجه به مدت ۴۸ ساعت کاملاً خشک گردید (۱۹). 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. تا ۲۰ روز پس از کاشت (مرحله شش تا هشت‌برگی شدن بوته‌ها)، گلدان‌ها در شرایط یکسان آبیاری گردیدند و از این مرحله به بعد، برای تعیین سطوح کم‌آبیاری به‌طور روزانه رطوبت از هرکدام از گلدان‌ها اندازه‌گیری و در سطوحی که درصد وزنی رطوبت خاک به درصد موردنظر رسیده بود، آبیاری در هر تیمار انجام شد (۱۹). اسید آبسیزیک جهت اعمال تیمار از شرکت (Sigma Aldrich®) تهیه گردید.

جدول ۲- تجزیه واریانس خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی اسطوخودوس در پاسخ به خشکی و کاربرد اسید آبسیزیک روی اسطوخودوس.

Table 2- Analysis of variance of physiological and biochemical traits of Lavender in response to drought stress and abscisic acid application on *Lavandula angustifolia* cv. Organic Munstead.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares									
		وزن تازه گیاه Plant wet weight	وزن خشک گیاه Plant dry weight	شاخص سطح برگ Leaf area index	پرولین Proline	کارتنوئید Carotenoid	قندمحلول Soluble carbohydrate	محتوای آب نسبی برگ Leaf Water Ratio	فنل کل Total phenol	فلاونوئیدکل Total flavonoid	فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity
تکرار Replication	2	1922.68	121.58	0.014	0.031	0.0025	1.07	10.28	0.0001	0.0003	2.90
خشکی Drought	3	115031.49**	9743.68**	1.73**	1.28**	0.0382**	1624.54**	1218.92**	0.0053**	0.0049**	1425.26**
اسید آبسیزیک Abscisic acid	2	102805.55**	6255.46**	0.55**	0.62**	0.0017^{ns}	1612.47**	1066.13**	0.0002^{ns}	0.0001*	844.38**
خشکی× اسید آبسیزیک Abscisic acid× Drought	6	4309.55**	299.58**	0.04*	0.14**	0.0047^{ns}	31.92*	100.38**	0.0002^{ns}	0.0001**	107.73**
خطاError	22	1074.98	72.22	0.013	0.02	0.0018	12.43	14.13	0.00006	0.00003	22.58
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		8.97	9.41	5.61	8.83	17.46	7.09	14.58	13.08	6.75	8.73

*،** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌دار بودن می‌باشند.

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

محلول‌پاشی اسید آبسیزیک در دو مرحله رشد (آغاز اعمال تنش خشکی و شروع گلدهی) انجام گرفت. جهت تهیه محلول‌های مورد نظر، ابتدا اسید آبسیزیک 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 (۴۱)، سپس محلول‌پاشی انجام گرفت. حدود ۱۲ هفته پس از شروع تیمارهای خشکی (زمانی‌که ۷۰ درصد بوته‌ها در مرحله گلدهی کامل بودند)، اقدام به اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیولوژیکی (رطوبت نسبی آب برگ، کارتنوئید، پرولین و قند محلول)، بیوشیمیایی (فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل و فلاونوئید کل) و اجزای عملکرد گیاه (شاخص سطح برگ، وزن تازه و خشک گیاه) گردید به‌طوری‌که از هر تیمار، سه تکرار انتخاب شده، رطوبت نسبی آب برگ اندازه‌گیری گردید. بعد از حذف ریشه و خشک نمودن اندام‌های هوایی در دمای اتاق، عصاره متانولی گیاه، تهیه و صفاتی نظیر فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ، فنل کل برگ، فلاونوئید کل برگ، کاتنوئید، پرولین و قند محلول برای هر گلدان اندازه‌گیری شد.

میزان فنل کل به‌روش فولین‌سیوکالتو اندازه‌گیری شد (۲۶). برای محاسبه فلاونوئید کل از روش آلومینیوم کلرید استفاده شد (۷). برای اندازه‌گیری میزان مهار رادیکال‌های آزاد DPPH (دی‌فنیل پیکریل‌هیدرازیل)، از روش میلیاسکاس و همکاران (۲۰۰۴) استفاده شد (رابطه ۱) (۲۷).

DPPH درصد =درصد جذب شاهد)- درصد جذب نمونه درصد جذب شاهد (× رابطه ۱: ۱۰۰ اعداد به‌دست آمده برابر با درصد مهار رادیکال‌های آزاد در عصاره متانولی (۰/۱ قسمت در میلیون) نمونه‌ها می‌باشد(۶). استخراج قندهای محلول با استفاده از روش اوموکولو و همکاران (۲۰۰۲) انجام شد (۳۴). برای اندازه‌گیری کارتنوئید برگ از روش بارنس استفاده شد (۳). همچنین، برای اندازه‌گیری پرولین از روش بیتز استفاده شد (۴). برای تعیین درصد محتوای نسبی آب برگ، از روش یاماساکی و دیلنبرگ (۱۹۹۹) استفاده شد (۴۸) و محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه لویت محاسبه شد (۲۳):

رابطه ۲:

$$\%RWC=[(Wf-Wd)/(Wt-Wd)]\times 100$$

که در این رابطه W_f وزن تازهٔ برگ، W_t وزن آماس برگ، و W_d وزن خشک برگ است.

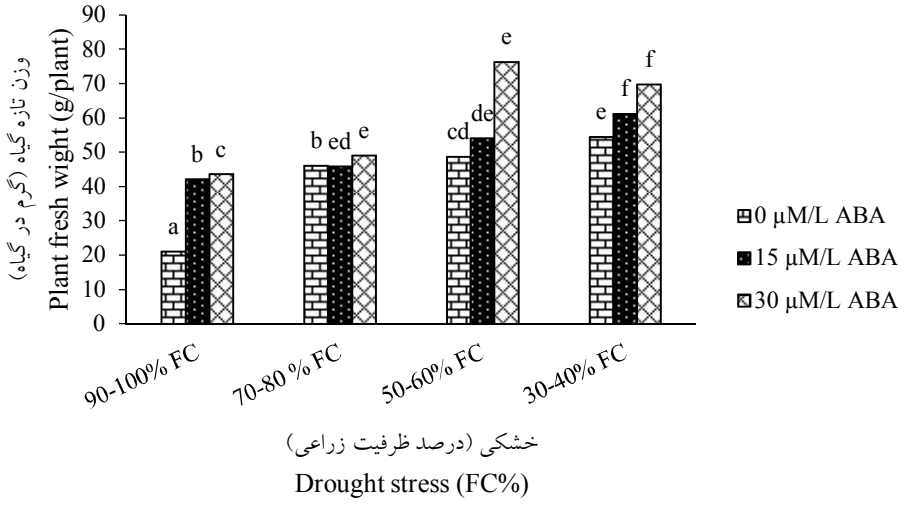
تجزیه و تحلیل داده‌ها (تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به‌روش LSD) با استفاده از نسخه ۹/۲ نرم‌افزار SAS و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

وزن خشک، وزن تازه و شاخص سطح برگ: نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان می‌دهد که فاکتور خشکی، اسید آبسیزیک و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) بر میزان وزن تازه و خشک گیاه و سطح احتمال پنج درصد برای شاخص سطح برگ داشت (جدول ۲). به‌طوری‌که بیش‌ترین وزن تازه (۱۶۶/۵۲ گرم در گیاه) و خشک گیاه (۶۲/۸۰ گرم در گیاه) از شرایط عدم کاربرد اسید آبسیزیک در ۱۰۰-۹۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد (شکل ۱).

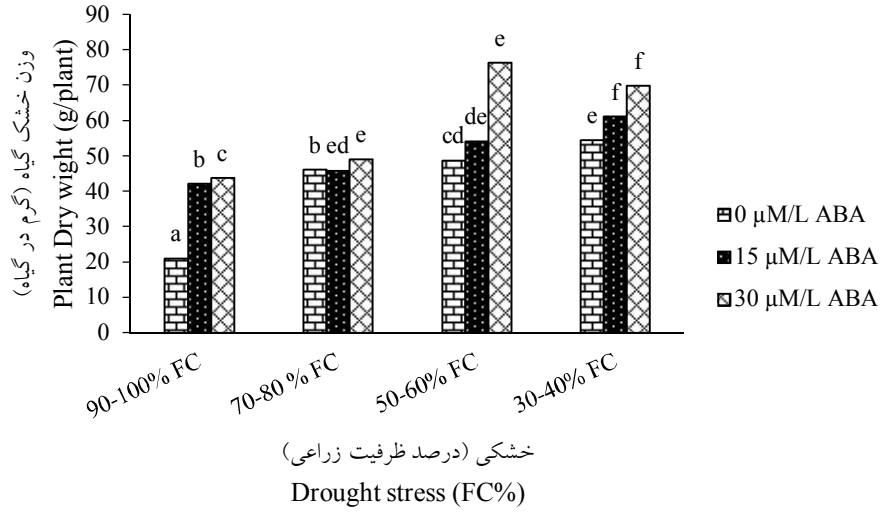
نتایج نشان داد که کاربرد اسید آبسیزیک در شرایط خشکی اثر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ داشت، به‌طوری‌که کاربرد ۱۵ و ۳۰ میکرومولار در لیتر از این ماده در شرایط خشکی ۱۰۰-۹۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب برابر با ۲/۷۵ و ۲/۶۳ شد که از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۳). یکی از علل اصلی کاهش وزن تازه و خشک گیاه در شرایط تنش خشکی، تخصیص بیش‌تر بیوماس

تولیدی گیاه به‌سمت ریشه‌ها می‌باشد. به‌عبارت دیگر، کمبود آب در گیاهان می‌تواند سبب اختلالات فیزیولوژیک هم‌چون کاهش فتوسنتز و تنفس شود (۱۵). از دلایل دیگر کاهش وزن تازه و خشک گیاه، کاهش سطح برگ می‌باشد به‌طوری که گیاهان زمانی‌که در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرند سطح برگ خود را کاهش می‌دهند که این امر سبب کاهش تولید مواد فتوسنتزی در گیاه می‌گردد، به‌دنبال کاهش مواد فتوسنتزی وزن خشک برگ و در نهایت وزن خشک بوته کاهش می‌یابد (۲۹) که این نتایج با نتایج سایر پژوهش‌گران در آویشن مطابقت دارد (۱۷). در این مطالعه محلول‌پاشی اسید آبسیزیک در هر دو سطح ۱۵ و ۳۰ میکرومولار در لیتر در شرایط خشکی بهبود وزن تازه و خشک گیاه را به‌دنبال داشت. به‌طور عمده، مراحل اولیه پاسخ گیاه به خشکی با افزایش تولید اسید آبسیزیک و بسته شدن روزنه‌ها همراه می‌باشد. در شرایط تنش، پاسخ گیاه به کمبود آب با افزایش درونی تولید تنظیم‌کننده‌های رشدی از قبیل اسید آبسیزیک آغاز می‌شود که سبب افزایش بیان چندین واکنش ژنی و فعال شدن چرخه علامت‌دهی می‌گردد که منجربه کاهش فعالیت‌هایی مانند هدایت روزنه‌ای و میزان دی‌اکسیدکربن داخلی می‌گردد که کاهش میزان دی‌اکسیدکربن منجربه کاهش تولید مواد فتوسنتزی خواهد گردید و در نتیجه کاهش عملکرد تازه و خشک گیاه را به‌دنبال خواهد داشت (۳۵). در شرایط خشکی، گسترش ریشه و برگ‌های جوان به‌عنوان مخزن، زودتر و شدیدتر از عامل فتوسنتز تحت‌تأثیر 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 (۲۴).



شکل ۱- اثر متقابل اسید آبسیزیک و خشکی بر وزن تازه گیاه گیاه اسطوخودوس.

Figure 1- Interaction between Abscisic acid and drought stress on plant fresh weight of *Lavandula angustifolia* cv. Organic Munstead.



شکل ۲- اثر متقابل اسید آبسیزیک و خشکی بر وزن خشک گیاه گیاه اسطوخودوس.

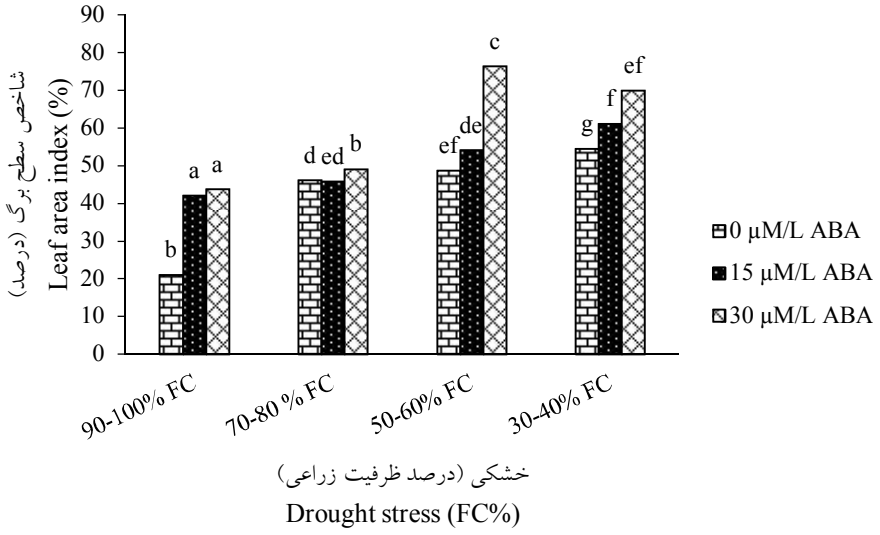
Figure 2- Interaction between abscisic acid and drought stress on plant dry weight of *Lavandula angustifolia* cv. Organic Munstead.

فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی: صفات فنل، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر تیمارهای خشکی و اسید آبسیزیک قرار گرفتند (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین میزان فنل کل با میانگین ۰/۰۸۸ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک گیاه مربوط به تیمار خشکی در ۴۰-۳۰ درصد ظرفیت زراعی و کم‌ترین آن از سطوح اول و دوم رژیم آبیاری ۱۰۰-۹۰ و ۸۰-۷۰ درصد ظرفیت زراعی که اختلاف معنی‌داری از نظر آماری نداشتند، مشاهده شد (شکل ۲). با افزایش میزان خشکی، میزان فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین، در شرایط خشکی در سطوح بالا، کاربرد اسید آبسیزیک توانست میزان فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش دهد، به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار فلاونوئید کل (۰/۰۵۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۷۶/۹۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) به‌ترتیب از کاربرد ۳۰ میکرومولار اسید آبسیزیک در ترکیب تیمار خشکی در ۶۰-۵۰ درصد ظرفیت زراعی برای فلاونوئید کل و ۴۰-۳۰ درصد ظرفیت زراعی برای فعالیت آنتی‌اکسیدانی حاصل شد (شکل ۳).

یکی از تغییرات بیوشیمیایی که در گیاهان تحت شرایط تنش خشکی اتفاق می‌افتد، تجمع گونه‌های اکسیژن فعال (Reaction Species Oxygen) است. در گزارش‌های متعددی بیان شده است که تنش خشکی میزان تولید گونه‌های اکسیژن فعال را افزایش می‌دهد. سلول‌های گیاهی قادرند از طریق القای سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی بر شرایط تنش اکسیداتیو ایجاد شده تحت‌تنش غلبه کنند. بنابراین، توانایی برای به‌دام انداختن گونه‌های اکسیژن فعال یک راهکار سازشی در گیاهان است که گونه‌های گیاهی از آن برای مقابله با تنش اکسیداتیو استفاده می‌کنند (۱۴). مقاومت گیاه به تنش‌های مختلف محیطی ممکن است با سطح فعالیت آنزیم‌های مسئول به‌دام انداختن رادیکال‌های آزاد اکسیژن مرتبط باشد. پاسخ آنتی‌اکسیدان‌ها به کمبود آب، به‌شدت تنش و نوع گونه گیاهی بستگی دارد. گونه‌های گیاهی مقاوم، معمولاً ظرفیت حفاظتی کارآمدتری در مقابل تنش اکسیداتیو القا شده توسط تنش کم‌آبی دارند که

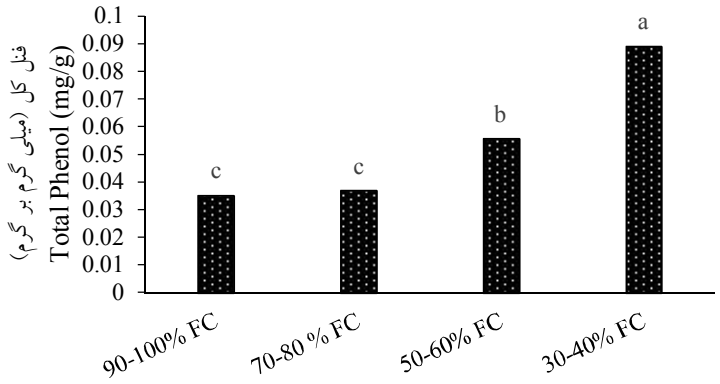
می‌تواند از طریق بالا بردن میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی افزایش پیدا کند (۱۷). از جمله مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهان تحت‌تنش خشکی، افزایش سطوح ترکیبات فنلی است، چراکه این گونه ترکیبات به‌عنوان پالاینده‌های گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن عمل کرده و در نتیجه سبب ثبات غشاهای سلولی و مانع از پراکسیداسیون لیپیدها می‌شوند (۸). در این تحقیق نیز میزان فنل کل گیاه اسطوخودوس با افزایش میزان خشکی افزایش یافت که نوعی مکانیسم دفاعی برای حفاظت از گیاهان تحت تنش محسوب می‌گردد.

با افزایش سطوح خشکی میزان فلاونوئید کل افزایش یافت. فلاونوئیدهای موجود در برگ به‌عنوان گیرنده رادیکال‌های آزاد عمل می‌کنند و گیاهان را در برابر تنش‌های اکسیداتیو محافظت می‌کنند. همچنین، فلاونوئیدها به‌دلیل داشتن نقش آنتی‌اکسیدانی، به‌طور مستقیم با وارد شدن در واکنش‌های احیایی و یا به‌طور غیرمستقیم به‌وسیله کلات‌کردن آهن، مانع تنش اکسیداتیو می‌شوند (۴۹). نتایج مشابهی روی گیاه آویشن (*Thymus vulgaris* L.) به‌دست آمده که، ترکیبات فنلی و آنتی‌اکسیدانی در شرایط خشکی که پدیدآورنده تنش اکسیداتیو می‌باشد، وارد عمل شده و میزان آن‌ها افزایش می‌یابد (۱۶). همچنین، در بررسی اثر تنش خشکی بر گیاه دارویی مرزه (*Satureja khuzestanica*) مشخص شد که علت بالا رفتن سطوح ترکیبات فنلی، افزایش فعالیت و میزان آنزیم بیوسنتزی فنل‌ها (فنیل‌آلانین آمونیالیاز) است (۱۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که، بیش‌ترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۷۶/۹۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) مربوط به محلول‌پاشی ۳۰ میکرومولار در لیتر اسید آبسیزیک در شرایط خشکی (۶۰-۵۰ درصد ظرفیت زراعی) حاصل شد (شکل ۵).



شکل ۳- اثر متقابل اسید آبسیزیک و خشکی بر شاخص سطح برگ اسطوخودوس.

Figure 3- Interaction between abscisic acid and drought on leaf area index of *Lavandula angustifolia* cv. Organic Munstead.



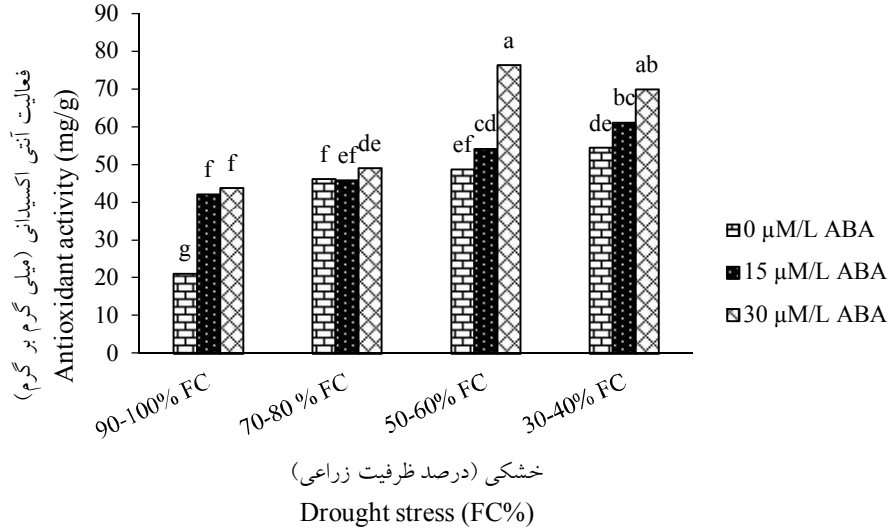
شکل ٤- اثر متقابل اسیدآبسیزیک و خشکی بر فنل کل اسطوخودوس.

Figure 4- Interaction between abscisic acid and drought on total phenol of *Lavandula angustifolia* cv. Organic Munstead.

در شرایط خشکی در سطوح بالا کاربرد اسید آبسیزیک به‌خوبی توانست اثرات ناشی از خشکی را در گیاه اسطوخودوس کاهش دهد، به‌طوری که بالاترین عملکرد فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی از کاربرد ۳۰ میکرومولار در لیتر اسید آبسیزیک در شرایط خشکی ۶۰-۵۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد و پس از آن با افزایش میزان خشکی، مقدار این صفت کاهش یافت. درخصوص نتیجه به‌دست‌آمده می‌توان چنین بیان داشت که گیاهان اسطوخودوس با تغییر در سازوکارهای استفاده از اسید آبسیزیک در شرایط تنش از ۶۰ -۵۰ درصد ظرفیت زراعی به سمت ۴۰-۳۰ درصد ظرفیت زراعی از طریق تولید اسمولیت‌های دیگر، هموستازی سلول را حفظ می‌کنند. به‌طورکلی، در شرایط تنش خشکی، از یک طرف در سیتوپلاسم سلولی گیاهان، میزان گونه‌های فعال اکسیژنی القا و افزایش می‌یابد که سبب آسیب به اندام‌های درون‌سلولی از قبیل کلروپلاست، میتوکندری و پراکسی‌زوم و غیره می‌گردد و از طرف دیگر در شرایط خشکی، القای اسید آبسیزیک سبب افزایش تولید آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی می‌گردد تا از این طریق گیاه را در برابر اثرات منفی ناشی از خشکی حفاظت کند (۱). در شرایط خشکی، اسید آبسیزیک به‌عنوان یک پیام‌رسان شیمیایی عمل نموده و از طریق فعال کردن پیام‌رسان‌های ثانویه از قبیل گونه‌های اکسیژن فعال ، که نوعی راهکار دفاعی در مقابل تنش می‌باشد را رقم می‌زند (۴۷). بنابراین t با مستندات موجود، افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات فلاونوئیدی در گیاه اسطوخودوس در پاسخ به خشکی از طریق افزایش اسید آبسیزیک درونی و به‌کارگیری اسید آبسیزیک خارجی در مکانیسم‌های مقاومت در جهت حفظ همئوستازی سلولی منطقی به‌نظر می‌رسد.

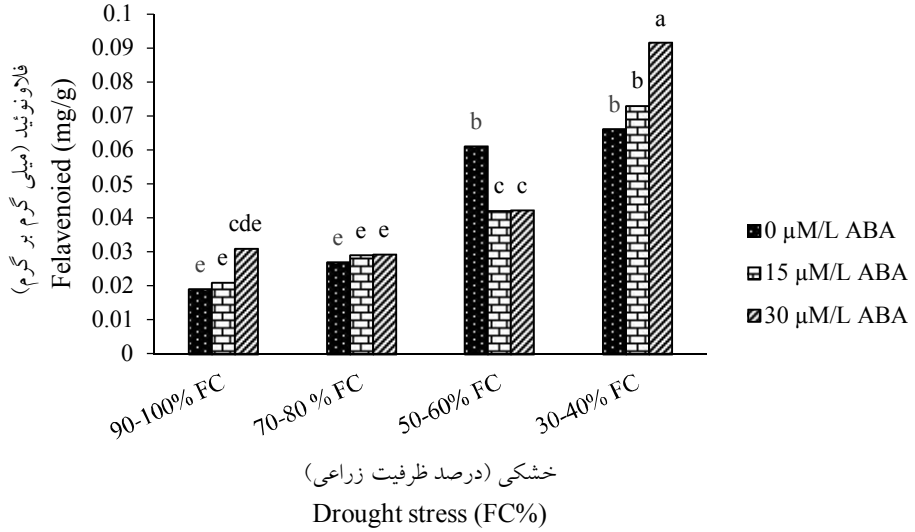
قند محلول، کارتنوئید و پرولین: نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان می‌دهد که تیمار خشکی، اسید آبسیزیک و اثر متقابل آن‌ها اثر معنی‌داری (در سطح احتمال پنج درصد) بر میزان قند محلول داشت (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین، بیش‌ترین میزان قند محلول (۷۵/۴۱ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) از کاربرد ۳۰ میکرومولار اسید آبسیزیک در ۴۰-۳۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد (شکل ۴). نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که

تیمار خشکی اثر معنی‌داری بر میزان کارتنوئید داشت. بیش‌ترین میزان کارتنوئید با میانگین ۰/۳۱۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک گیاه از تیمار آبیاری در ۱۰۰-۹۰ درصد ظرفیت زراعی و کم‌ترین آن با میانگین ۰/۱۶۸ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک گیاه از سطح چهارم خشکی (۴۰-۳۰ درصد ظرفیت زراعی) حاصل شد (شکل ۴). همچنین، قابل‌ذکر است که، از کاربرد جداگانه اسید آبسیزیک و همراه با خشکی اثر معنی‌داری برای صفت کارتنوئید مشاهده نشد (جدول ۲). همچنین، از کاربرد ۱۵ و ۳۰ میکرومولار اسید آبسیزیک در شرایط تنش (۴۰-۳۰ درصد ظرفیت زراعی) برای صفت پرولین از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و هر دو در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۵).



شکل ۵- اثر متقابل اسید آبسیزیک و خشکی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسطوخودوس.

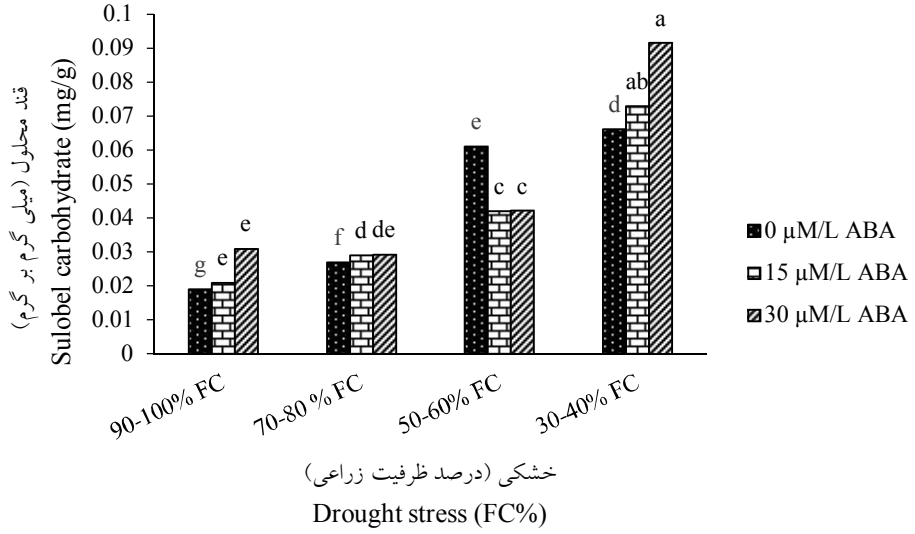
Figure 5- Interaction between abscisic acid and drought on antioxidant activity of *L.angustifolia* cv. Organic Munstead.



شکل ٦- اثر متقابل اسید آبسیزیک و خشکی بر میزان فلاونوئید اسطوخودوس.

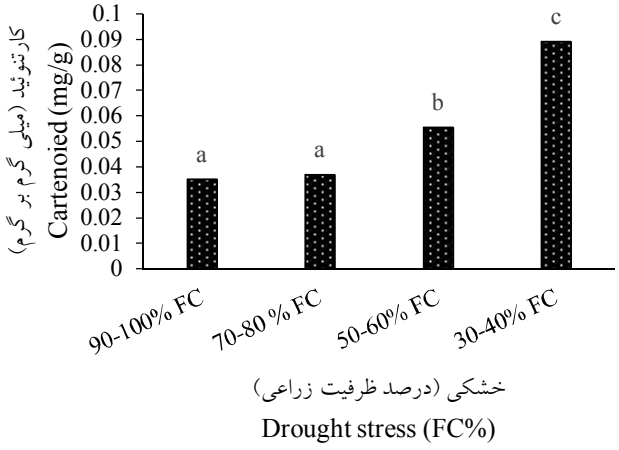
Figure 6- Interaction between abscisic acid and drought on total Flavenoied of *L.angustifolia* cv. Organic Munstead.

در برخی از گیاهان ثابت شده است کـه تغییـرات میزان پرولین، با توانایی آن‌ها برای تحمل یا سازش به شرایط تنش خشکی مرتبط است و می‌تواند به‌عنـوان شاخصی برای انتخاب گیاهان مقاوم به تنش خشـکی استفاده شود (۳۳). هنگامی‌که گیـاه در معـرض تـنش خشکی قرار می‌گیرد، تجزیه پـروتئین‌هـا و در نتیجـه افزایش آمینواسیدها و آمیدها تسریع می‌شود که یکی از ایـن آمینواسـیدهـا، پـرولین اسـت (۱۸). همچنـین، هنگامی‌که گیاهان تحت‌تأثیر تنش‌ها قـرار مـی‌گیرنـد، غلظت اسمولیت‌هایشان را افزایش می‌دهند تا جـذب آب تحت شرایط تنش ادامه یابد. در بین اسمولیت‌های آلی، پرولین احتمالاً فراوان‌ترین و عمومی‌تـرین مـاده حل‌شده سازگار است که تجمع می‌یابد (۴۰). احتمالاً گیاه به دلایل یاد شده، پـرولین خـود را افـزایش داده است. افزایش پرولین طی تنش خشکی در گیاه آویشن (*Thymus vulgaris*) نیز گزارش شـده اسـت (۲).



شکل ۷- اثر متقابل اسید آبسیزیک و خشکی بر میزان قند محلول گیاه اسطوخودوس.

Figure 7- Interaction between abscisic acid and drought on soluble carbohydrate of *L.angustifolia* cv. Organic Munstead

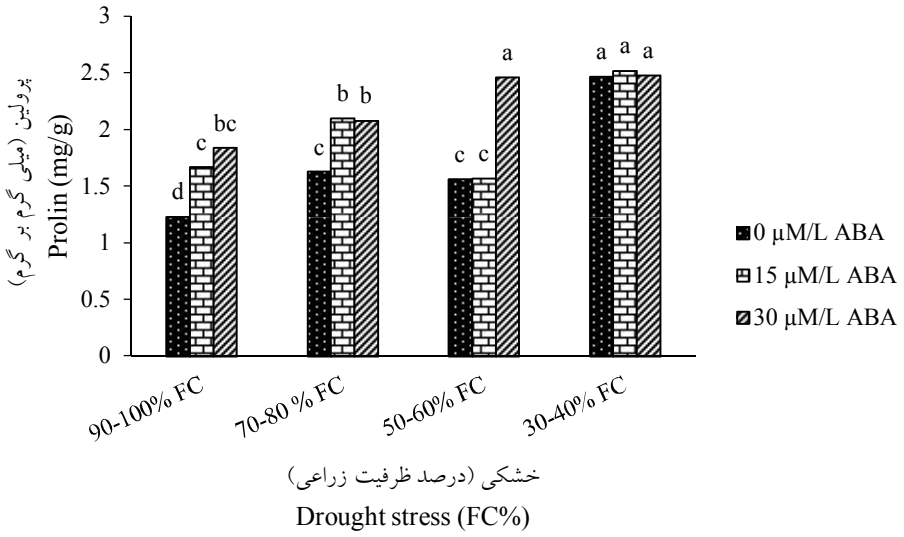


شکل ۸- اثر ساده تنش خشکی روی کارتنوئید گیاه اسطوخودوس.

Figure 8- Simple effect drought on carotenoid (right) of *L.angustifolia* cv. Organic Munstead.

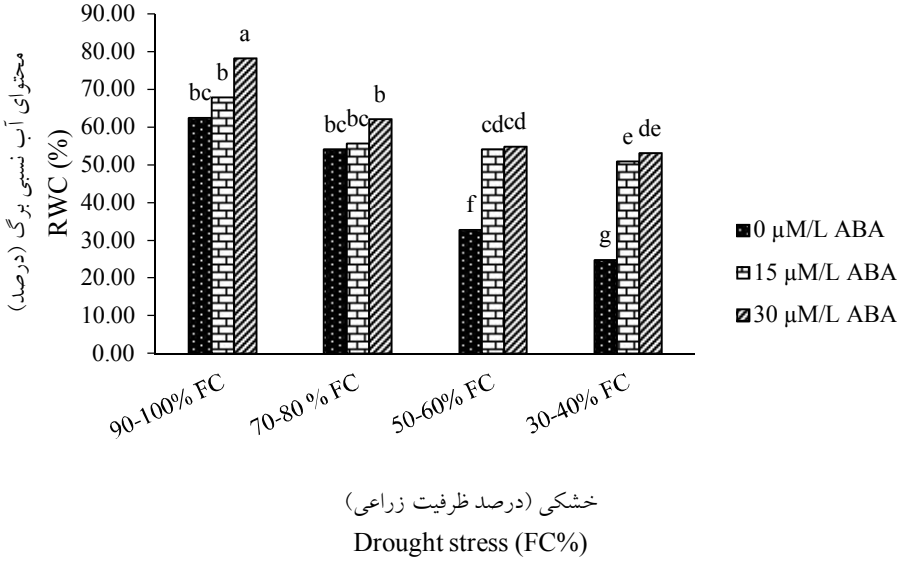
پرولین، اسیدآمینه ذخیره شده در سیتوپلاسم بوده و احتمالاً در حفاظت از ساختمان درشت مولکول‌های درون سلول در طی تنش خشکی نقش مؤثری دارد. پرولین در واقع به‌عنوان یک شاخص در تعیین میزان حساسیت به تنش خشکی در گیاهان به‌شمار می‌رود. بالا رفتن میزان این ترکیب در بافت‌های گیاهان به‌نوعی بیان‌گر فعال شدن مکانیسم تنظیم اسمزی است که شرایط گیاه را برای جذب آب و املاح از محیط ریشه بهینه می‌کند (۴۰). کربوهیدرات‌ها در فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، تعرق و تنفس، نقش مستقیم داشته و از این‌رو، تغییر در مقدار آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. در گیاهان، قندها طی فرآیند فتوسنتز تولید می‌شوند. نقش قندها به‌عنوان پیش‌ماده تولید مواد کربنی و انرژی شناخته شده است و حفاظت از گیاه در مقابل از دست دادن آب، به افزایش قندها بستگی دارد. مطالعات نشان داده است که تنش خشکی تبدیل هگزوزها و سایر کربوهیدرات‌ها مانند ساکارز و نشاسته را به الکل‌های قندی (پلی‌اول‌ها) و پرولین درپی دارد (۳۱). توزیع مواد هیدروکربنی به‌طور مستقیم تحت‌تأثیر تنش‌هایی نظیر کمبود آب و به‌طور غیرمستقیم تحت‌تأثیر هورمون‌های گیاهی قرار می‌گیرد. به‌طور کلی، کاربرد اسید آبسیزیک در شرایط خشکی سبب بهبود میزان پرولین و قندمحلول گیاه اسطوخودوس شد. همئوستازی و علامت‌دهی هورمون گیاهی از قبیل اسید آبسیزیک برای بهبود کارایی گیاهان در شرایط تنش خشکی لازم و حیاتی به نظر می‌رسد.

سیگنال‌های ایجاد شده توسط اسید آبسیزیک در طول چرخه زندگی گیاه، برای کنترل فرآیندهای رشد و نمو، هم در شرایط طبیعی و مطلوب و هم در شرایط تنش‌زا بسیار حیاتی‌اند. ژن‌هایی که در برابر تنش‌ها عکس‌العمل نشان می‌دهند، می‌توانند به دو صورت وابسته به اسید آبسیزیک و مستقل از اسید آبسیزیک بیان شوند. اسید آبسیزیک از طریق راه اندازی شبکه پیام‌رسانی و تولید طیف وسیعی از پروتئین‌های تنظیمی (نظیر عوامل رونویسی و فاکتورهای علامت‌دهی) و پروتئین‌های کارکردی (مانند آنزیم‌های تنظیم‌کننده فعال اکسیژن) نقش اساسی در تولید اسمولیت‌های سازگار از قبیل پرولین و ترکیباتی از قبیل قندهای محلول در برابر خشکی را ایفا می‌کند (۲۵، ۳۲). گزارش شده است که استفاده از منبع خارجی اسید آبسیزیک (۲/۵ میکرومولار) در تنش، سطوح داخلی اسید آبسیزیک و اسمولیت‌ها را در گیاه نخود تنظیم نموده و خسارات ناشی از تنش اکسیداتیو را با افزایش میزان پرولین و بتائین‌گلایسین کم‌تر می‌کند (۲۱). همچنین، گزارشات حاکی از آن است که کاربرد اسید آبسیزیک به‌عنوان منابع خارجی محافظ گیاهی نقش مؤثری در تعدیل اثرات مخرب تنش‌های غیرزیستی دارد (۳۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین میزان کارتنوئید از تیمار آبیاری در ۴۰-۳۰ درصد ظرفیت زراعی دست آمد. که نشان‌دهنده کاهش میزان کارتنوئید در شرایط خشکی 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 اثرات سمی رادیکال‌های آزاد می‌شوند. گونه‌هایی که بتوانند محتوای کارتنوئید بیش‌تری داشته باشند، در مقابل گونه‌های اکسیژن فعال، دفاع موفق‌تری داشته و در شرایط تنش کمبود آب تحمل بیش‌تری از خود نشان می‌دهند (۱۲، ۴۳).



شکل ۹- اثر متقابل اسید آبسیزیک و خشکی بر میزان پرولین گیاه اسطوخودوس.

Figure 9- Interaction between abscisic acid and drought stress on proline of *L.angustifolia* cv. Organic Munstead.



شکل ۱۰- اثر متقابل اسید آبسیزیک و خشکی بر میزان محتوای آب نسبی برگ گیاه اسطوخودوس.

Figure 10- Interaction between abscisic acid and drought stress on RWC of *L.angustifolia* cv. Organic Munstead.

محتوای نسبی آب برگ: محتوای نسبی آب برگ تحت تأثیر خشکی، اسید آبسیزیک و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). نتایج نشان داد که برهم‌کنش کاربرد اسید آبسیزیک در شرایط خشکی اثر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ داشت. به‌طوری‌که کاربرد ۳۰ میکرومولار در لیتر از این ماده در به‌ترتیب در شرایط خشکی ۸۰-۷۰، ۶۰-۵۰ و ۴۰-۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب برابر با ۶۴/۷۳، ۵۷/۴۸ و ۵۲/۶۷ شد (شکل ۵). تنش خشکی با کاهش RWC و پتانسیل کل آب سبب کاهش رشد گیاهان می‌شود. سازوکار تنظیم اسمزی در گیاهان متحمل به خشکی، سبب حفظ و بالا نگه داشتن RWC در گیاه می‌شود. در آزمایشی محققین روی گیاه بادرشبی (*Dracocephalum moldavica*) نشان دادند که با افزایش شدت تنش آبی، میزان محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت (۳۹). نتایج

تحقیقات بر روی گیاه ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica*) نشان داد که با کاهش میزان آبیاری، میانگین صفت محتوای آب نسبی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (۹). در همین راستا گزارش شده که بالاترین RWC در گیاه تاج‌خروس (*Amaranthus retroflexus*) در گیاه شاهد (۹۴/۰۷ درصد) و کم‌ترین آن تحت شرایط تنش کم‌آبی شدید (۶۴/۰۳ درصد) به‌دست آمده است (۱۰). تنش خشکی، سبب کاهش RWC، پتانسیل کل آب و کاهش رشد گیاهان می‌شود. سازوکار تنظیم اسمزی در گیاهان متحمل به خشکی، سبب حفظ و بالا نگه‌داشتن RWC در گیاه می‌شود. در یک بررسی، تنش خشکی موجب کاهش محتوای نسبی آب گیاه مرزه (*Satureja khuzestanica*) شد (۱۵).

بنابراین، به‌نظر می‌رسد گیاه مقاوم اسطوخودوس با حفظ مقادیر زیاد RWC، به‌نحوی از عوامل محدودکننده غیر روزنه‌ای در شرایط تنش فرار می‌کند. در شرایط خشکی در سطوح بالا، کاربرد اسید آبسیزیک به‌خوبی توانست سبب حفظ بیش‌تر محتوای آب نسبی برگ شود. اسید آبسیزیک در درک شرایط محیطی و نشان دادن عکس‌العمل‌های سازگاری در برابر تنش‌های زیستی به‌عنوان یک پیک درونی عمل می‌کند. این هورمون، تنظیم کننده‌ی اصلی وضعیت آبی گیاه می‌باشد که قادر است به‌صورت خاص سلول‌های محافظ را هدف قرار داده و روزنه‌ها را تنگ‌تر نماید و در کمبودهای آبی شدید با علامت‌دهی سیستماتیک، شرایط تطبیق را فراهم نموده و از این طریق سبب حفظ و مانع از کاهش میزان محتوای آب نسبی برگ گیاه گردد (۳۶).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده از مطالعه پیش‌رو، می‌توان اظهار داشت که می‌توان بخش زیادی از اثرات تنش خشکی بر گیاه اسطوخودوس را با کاربرد ABA تعدیل نمود. این امر به‌خوبی در بررسی میزان صفات اندازه‌گیری‌شده نمایان می‌باشد. به‌طوری‌که با افزایش سطح تنش خشکی، از عملکرد گیاه (وزن تازه و خشک گیاه)، شاخص سطح برگ، مقدار کارتنوئید و محتوای آب نسبی برگ کاسته شد و در مقابل، محتوای پرولین، قندهای محلول، فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت که نوعی سازگاری گیاه با شرایط تنش محسوب می‌شود، اما وابستگی گیاهان در این شرایط به ترکیباتی مانند پرولین نیز برای گیاه هزینه‌بر خواهد بود که این وضعیت با مقادیر اندازه‌گیری شده پرولین در ۴۰-۳۰ درصد ظرفیت زراعی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در ۶۰-۵۰ درصد ظرفیت زراعی ارتباط دارد. ABA از طریق راه‌اندازی و هماهنگی بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و تشکیل یک سیستم هومئوستازی، به شرایط تنش پاسخ می‌دهد. به‌طورکلی، در این مطالعه بررسی و سنجش فاکتورهای مختلف مؤثر در تحمل گیاه به خشکی، بر نقش اعمال ABA خارجی روی بسیاری از مکانیسم‌های القای تحمل خشکی در گیاه اسطوخودوس، تأکید دارد.

References

1. Arulbalachandran, D., Yasmin, K., and Jothimani, K. 2016. Role of ABA on antioxidant mechanism under drought crops. Int J Biodivers Sci Ecosyst Serv Manag. 6: 1092. 48-55.
2. Babaie, K., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavie, S., and Jbarie, R. 2010. Effect of drought stress on morphological traits, proline content and thymol percentage in thyme (*Thymus vulgaris* L.). Ir J. Med Aromat Plant. 26: 2. 251-259. (In Persian)
3. Barnes, J.D., Balaguer, L., Manrique, E., Elvira, S., and Davison, A.W. 1992. A reappraisal of the use of DMSO for the

extraction and determination of chlorophyll a and b in lichens and higher plants. Environ. Exp. 32: 2. 85-100.
4. Bates S, Waldern, R.P., and Teare, E.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil. 39: 1. 205-207.
5. Baxter, A., Mittler, R., and Suzuki, N. 2014. ROS as key players in plant stress signaling. J. Exp. Bot. 65: 6. 1229-1240.
6. Brahmi, C., Kopp, C., Domart-Coulon, I., Stolarski, J., and Meibom, A. 2012. Skeletal growth dynamics linked to trace-element composition in the scleractinian coral *Pocillopora damicornis*. Geochim. Cosmochim. Acta. 99: 11. 146-158.
7. Chang, H.J. 2002. Kicking away the ladder: development strategy in historical perspective. Anthem Press. 167 p.
8. Chang, W.C., Kim, S.C., Hwang, S.S., Choi, B.K., and Kim, S.K. 2002. Antioxidant activity and free radical scavenging capacity between Korean medicinal plants and flavonoids by assay-guided comparison. Plant Sci. 163: 6. 1161-1168.
9. Chehelgardi, A., Saffari, M., and abdolshahie, A. 2014. The Effect of superabsorbent polymer, sulfatepthasium and manure on physiological traits of *Setaria italica* in favorable irrigation and drought stress conditions. J. Crop Prod. 7: 9. 43-60.
10. Cunhua, S., Jian-jie, S., Dan, W., Bai-Wei, L., and Dong, S. 2011. Effects on physiological and biochemical characteristics of medicinal plant pig weed by drought stresses. J. Med. Plant Res. 5: 17. 4041- 4048.
11. Dai, A., 2013. Increasing drought under global warming in observations and models. Nature.
12. Deng, Y., Wang, C., Huo, J., Hu, W., and Liao, W. 2019. The involvement of NO in ABA-delayed the senescence of cut roses by maintaining water content and antioxidant enzymes activity. Sci. Hortic. 247: 14. 35-41.
13. Du, B., and Rennenberg, H. 2018. Physiological responses of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) to water deficit and recovery. South Afr. J. Bot. 119: 8. 212-218.
14. Foyer, C., and Noctor, G. 2003. Redox sensing and signaling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. Physiol. Plant. 119: 3. 355-364.
15. Gorgini Shabankareh, H., and Khorasaninejad, S. 2017. The effects of Sodium nitroprusside on some physiological and biochemical properties of *Satureja khuzestanica* under irrigation regimes. J Prod Res. 3: 7. 55-70. (In Persian)
16. Gorgini Shabankareh, Khorasaninejad, S., Sadeghi, M., and Tabasi, A. 2018. The effect of irrigation interval and humic acid on morpho-physiological and biochemical characteristics of thyme (*Thymus vulgaris* L.). J. Ir. Plant Ecophysiol Res. 51: 18. 67-82. (In Persian)
17. Hosseini Boldaji, S.A., Khavari-Nejad, R.A., Hassan Sajedi, R., Fahimi, H., and Saadatmand, S. 2012. Water availability effects on antioxidant enzyme activities lipid peroxidation, and reducing sugar contents of alfalfa (*Medicago sativa* L.). Acta Physiol. Plant. 34: 3. 1177-1186.
18. Kafi, M., Borzoie, A., Salehie, M., Kamandi, A., Maasumie, A., and Nabati, J. 2009. Physiology of environmental stresses in plants. Academic Center for Education. 502 p.
19. Khorasaninejad, S., Alizadeh Ahmadabadi, A., and Hemmati, K. 2018.The effect of humic acid on leaf morpho-physiological and phytochemical properties of *Echinacea purpurea* L. under water deficit stress. Sci. Hortic. 239: 23. 314-323.
20. Kocsy, G., Tari, I., Vankova, R., Zechmann, B., Gulyas, Z., Poor, P., and Galiba, G. 2013. Redox control of plant growth and development. Plant Sci. 211: 19. 77-91.
21. Kumar, S., Kaushal, N., Nayyar, H., and Gaur, P. 2012. Abscisic acid induces heat tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) seedlings by facilitated accumulation of osmoprotectants. Acta Physiol. Plant. 34: 5. 1651-1658.
22. Lai, P., and Roy, J. 2004. Antimicrobial and chemopreventive properties of herbs

and spices. Curr. Med. Chem. 11: 11. 1451-1460.
23. Levitt, J. 1986. Recovery of Turgor by Wilted, Excised Cabbage Leaves in the Absence of Water Uptake. Plant Physiol. 82: 1. 147-153.
24. Li, L.J., Gu, W.R., Meng, Y., Wang, Y.L., Mu, J.Y., Li, J., and 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: 2. 554-564.
25. Lu, S., Sub, W. Li, H., and Guo, Z. 2009. Abscisic acid improves drought tolerance of triploid Bermuda grass and involves H_2O_2-and NO-induced antioxidant enzyme activities. Plant Physiol Bioch. 47: 2. 132-138.
26. McDonald, P., and Ho, M.H.R. 2002. Principles and practice in reporting structural equation analyses. Psychol. 7: 1. 64-69.
27. Miliauskas, G., Venskutonis, P.R., and Van Beek, T.A. 2004. Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. Food Chem. 85: 2. 231-237.
28. Mirzaie, M., Moiene, A., and Ghanati, F. 2014. Effect of drought stress on proline and soluble sugar in rapeseed (*Brassica nupus*) seedlings. Ir. J. Bot. 26: 12. 90-98. (In Persian)
29. Moradi, P. 2017. Effect of drought stress on growth and hormonal changes of thyme (*Thymus Vulgaris*). J. Plant Proc Func. 6: 19. 312-323. (In Persian)
30. Mozafari, S., Khorasaninejad, S., and Gorgini Shabankareh, H. 2017. The Effect of irrigation regimens on some physiological and biochemical characteristics of purapole medicinal plant in greenhouse. Agric Crop Manag. 19: 24. 401-416. (In Persian)
31. Najafzadeh Asl, S., and Ehsanpoure, A. 2012. The effect of drought stress on some physiological indices of two potato cultivars (Concord and Kenebec) under in vitro culture conditions. Arid Biomet. 2: 9. 70-82. (In Persian)
32. Namvar, A., Hadi, H., and Seyed sharifi, R. 2017. The role of external sources of plant protection in modulating the destructive effects of non-biological tensions. J. Ir. Plant Eco-physiol Res. 12: 17. 103-128. (In Persian)
33. Niknam, V., Razavi, N., Ebrahimzadeh, H., and Sharifizadeh, B. 2006. Effect of NaCl on biomass, protein and proline contents and antioxidant enzymes in seedlings and calli of two Trigonella Species. Biol Plantarum. 50: 4. 591-596.
34. Omokolo, N.D., Nankeu, D. J., Niemenak, N., and Djocgoue, P.F. 2002. Analysis of amino acids and carbohydrates in the cortex of nine clones of *Theobroma cacao* L. in relation to their susceptibility to *Phytophthora megakarya*. J. Crop Prot. 21: 5. 395-402.
35. Osakabe, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozak, K., and Tran, L. 2014. ABA control of plant macroelement membrane transport systems in response to water deficit and high salinity. New Phytol. 202: 1. 35-49.
36. Pessarakli, M. 2019. Handbook of plant and crop stress. CRc press.
37. Qi, J., Song, C.P., Wang, B., Zhou, J., Kangasjarvi, J., Zhu, J.K., and Gong, Z. 2018. Reactive oxygen species signaling and stomatal movement in plant responses to drought stress and pathogen attack. J. Integr. Plant Biol. 60: 9. 805-826.
38. Rabani, M., Rezaian deloie, R., and Jabari Noqabi, M. 2014. Antibacterial effect of lavender essential oil on *Xanthomonas campestris* and *Escherichia coli*. Agro-ecol J. 33: 3. 195-201.
39. Rahbarian, P., Afsharmanesh, G., and Shirzadi, M.H. 2010. Effects of drought stress and manure on relative water content and cell membrane stability in dragonhead (*Dracocephalum moldavica*). J. Plant Eco-physiol. 2: 1. 13-19. (In Persian)
40. Sanjari Mijani, M., Sirousmehr, A.R., and Fakheri, B. 2015. The effect of drought stress and humic acid on some physiological characteristics of *Hibiscus sabdariffa*. Agric Crop Manag. 17: 2. 403-414. (In Persian)
41. Shinohara, T., and Leskovar, D. 2014. Effects of ABA, antitranspirants, heat and drought stress on plant growth,

physiology and water status of artichoke transplants. Sci. Hortic.165: 29. 225-234.
42. Stanev, S., Zagorcheva, T., and Atanassiov, I. 2016. Lavender cultivation in Bulgaria-21st century developments, breeding challenges and opportunities. Bulg J Agric Sci. 22: 4. 584-590.
43. Taghipoure, Z., Asghari Zakaria, R., Zareh, N., and Shikhzade, P. 2014. The Evaluation of some physiological traits in populations of *Aegilops triuncialis* under drought stress. Rangelandforest plant Breed Res. 22: 1. 55-66. (In Persian)
44. Upson, T.M., and Andrews, S. 2004. The Genus Lavandula, a Botanical Magazine Monograph. Kew: Royal Botanical Gardens, Kew, UK.
45. Wang, F., Liu, J., Chen, M., Zhou, L., Li, Z., Zhao, Q., Pan, G., Zaidi, S.H.R., and Cheng, F. 2016. Involvement of Abscisic Acid in PSII Photo damage and D1 Protein Turnover for Light-Induced Premature Senescence of Rice Flag Leaves. PLoS One. 11: 8. 161-272.
46. Wilkinson, S., and Davies, W.J. 2010. Drought, ozone, ABA and ethylene: New insights from cell to plant to community. Plant Cell Environ. 33: 4. 510-525.
47. Woo Lim, C., Baek, W., Jung, J., Kim, J., and Lee, S.C. 2015. Function of ABA in Stomatal Defense against Biotic and Drought Stresses. Int. J. Mol. Sci. 16: 7. 15251-15270.
48. Yamasaki, S., and Dillenburg, L.R. 1999. Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. Braz. J. Plant Physiol. 11: 2. 69-75.
49. Yousefi, M., Enteshari, Sh., and Saadatmand, M. 2014. Investigating the effect of silica treatment on some morphological, analytical and physiological characteristics of Bacillus (*Echium amoenum* Fisch & C. A.mey). J. Sci Technol Greenh Cult. 5: 2. 83-94. (In Persian)
50. Yu, F., Wu, Y., and Xie, Q. 2016. Ubiquitin–Proteasome System in ABA Signaling: From Perception to Action. Mol Plant. 9: 1. 21-33.